



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE
DESCONSTRUÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE AÇO**

Ouro Preto, novembro de 2014.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DESCONSTRUÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO

AUTORA: ROBERTA CARVALHO MACHADO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências da Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, novembro de 2014.

M149s Machado, Roberta Carvalho.
Sistema para avaliação do potencial de desconstrução e reutilização de estruturas de aço [manuscrito] / Roberta Carvalho Machado. - 2014.
383f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur Souza.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Desconstrução. 2. Aço - Estruturas. 3. Construção metálica. I. Souza, Henor Artur. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.014.2-044.963

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DESCONSTRUÇÃO
E REUTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO**

AUTORA: ROBERTA CARVALHO MACHADO

Esta tese foi apresentada em sessão pública e aprovada em 21 de novembro de 2014, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (UFOP/Orientador)



Prof. Dr. Luiz Fernando Loureiro Ribeiro (UFOP)



Prof. Dr. João Artur de Souza (UFSC)



Prof. Dr. Gustavo de Souza Veríssimo (UFV)



Prof. Dr. Márcio Albuquerque Buson (UnB)

A Deus e à minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que me permitiu mais esse aprimoramento.

Ao professor Henor Artur de Souza pela competente orientação, pela amizade e pelo incentivo em todos os momentos.

Ao professor João Artur de Souza pelos ensinamentos.

Ao professor Luiz Fernando Loureiro Ribeiro por disponibilizar seu acervo fotográfico pessoal e por conceder informações para o Estudo de Caso do Ginásio Osni Geraldo Gonçalves, contribuindo enormemente para este trabalho.

Aos professores participantes da banca avaliadora, por suas contribuições e comentários preciosos para os rumos desta pesquisa.

A CAPES pela concessão da bolsa que viabilizou a realização do doutorado e ao PROPEC/UFOP pela formação recebida e apoio à produção acadêmica.

À Rovadavia pelo pronto atendimento e auxílio durante todo o curso.

Aos colegas do doutorado e aos professores do PROPEC pelos ensinamentos.

Aos meus amigos pelo grande incentivo.

À minha família pela confiança e incondicional estímulo à qualificação profissional.

Um agradecimento especial ao Fernando, pela ajuda, carinho, motivação e compreensão ao longo dessa trajetória.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho, obrigada.

RESUMO

A indústria da construção é responsável por vários impactos ambientais, sociais e econômicos, sendo um dos principais setores consumidores de recursos e geradores de resíduos. Em virtude do aumento do número de edifícios demolidos e da evolução das preocupações ambientais, o conceito de desconstrução vem surgindo como uma alternativa à demolição. A desconstrução pode ser descrita como a desmontagem cuidadosa de um edifício de modo a tornar possível o reuso de seus componentes ao fim da vida útil da edificação. No Brasil, estudos sobre reciclagem e reaproveitamento de materiais de construção vêm sendo desenvolvidos e publicados há algum tempo. Entretanto, temas como desconstrução e Projeto para Desconstrução (PpD) ainda são pouco discutidos e pesquisados. Em razão do aumento dos índices de construções em aço no país e dessas construções poderem apresentar alto potencial de reuso, propõe-se, como objetivo principal deste trabalho, o desenvolvimento de um sistema de análise aplicável a edifícios estruturados em aço já existentes ou em fase de projeto para classificar o potencial de desconstrução dos componentes ou elementos estruturais em aço. Após uma análise dos sistemas de avaliação do potencial de desconstrução encontrados na literatura foram definidos dois sistemas distintos para desenvolvimento desse trabalho: 1) um sistema simplificado de classificação baseado em pontuações pelas avaliações das características estabelecidas e 2) um sistema baseado em modelos de lógica *fuzzy* aplicados no programa MatLab com método de defuzzificação Centróide e Média dos Máximos (MOM). A partir dos principais critérios de PpD as características a serem consideradas nos sistemas de análise foram selecionadas e seus parâmetros de avaliação foram definidos. Um estudo de caso da desconstrução de um ginásio poliesportivo estruturado em aço foi aplicado nos sistemas de análise. Dados fictícios também foram simulados para avaliar os sistemas de avaliação desenvolvidos. O sistema de classificação baseado em pontuação apresentou-se eficiente e de fácil análise, com resultados compatíveis com o esperado. O sistema baseado em modelos com lógica *fuzzy* mostrou resultados satisfatórios para avaliação com defuzzificação MOM e resultados não satisfatórios para defuzzificação Centróide. Concluiu-se que ambos os sistemas de análise podem ser usados como ferramenta de avaliação da desconstrução. No entanto, para a utilização dos modelos em lógica *fuzzy* desenvolvidos recomenda-se utilização da defuzzificação MOM.

Palavras-chave: Desconstrução. Potencial de reuso. Construções em aço.

ABSTRACT

The construction business is responsible for affecting the environmental, social and economic sectors. It is also one of the main industries which consumes both resources and waste generators. Due to the increase in the number of buildings demolished and the constant awareness about the current environmental situation, the concept of deconstruction is emerging as an alternative to demolition. Deconstruction can be described as the careful disassemble of a building in order to reuse building components at the end of the useful life of the building as possible. In Brazil, studies on recycling and reuse of building materials have been developed and published some time ago. However, several issues such as deconstruction and Design for Deconstruction (DfD) are still poorly researched and discussed. Due to the increase in the rate of steel constructions within the country and also the fact that these buildings may present a high potential for reuse, this study shows a proposal of developing an analysis system which can be applied to steel buildings both existent or under construction. This will allow to classify their deconstruction potential of structural steel components or elements. After an analysis of several evaluation systems for the deconstruction potential reported in the literature it was possible to define two separate systems for development of this study: 1) a simplified rating system based on given scores for the assessment of the characteristics established and 2) a system based on fuzzy logic models applied on MatLab software with defuzzification methods Centroid and Middle of Maximum (MOM). From the main DfD criteria the characteristics which have to be considered in the analysis systems were selected and their evaluation parameters defined. A case study of the deconstruction of a gymnasium structured with steel was used in the system analysis. Mock data was also used to evaluate the developed analysis systems. The rating system based on score has shown to be efficient and easy to analyze, presenting results in concordance with the expected ones. The system based on fuzzy logic models has shown satisfactory results for the evaluation with MOM defuzzification and non satisfactory results for Centroid defuzzification. It was concluded that both systems of analysis may be used as an evaluation tool for deconstruction. However, when using developed fuzzy logic models it is recommended to use MOM defuzzification.

Keywords: Deconstruction. Reuse potential. Steel constructions.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
GLOSSÁRIO	xx
SIGLAS	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Impactos dos materiais de construção e seu ciclo de vida	1
1.2. Demolição <i>versus</i> desconstrução.....	5
1.3. Projeto para a desconstrução de edifícios.....	8
1.4. A desconstrução de edifícios em estrutura metálica.....	10
1.5. Proposta	11
1.6. Objetivos	12
1.6.1. Objetivo principal	12
1.6.2. Objetivos específicos	12
1.7. Justificativa e relevância	12
1.8. Metodologia.....	14
1.9. Estrutura do trabalho	15
2. SUSTENTABILIDADE E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.1. Sustentabilidade na construção civil	17
2.1.1. Resolução Conama 307.....	22
2.2. Extração de recursos, resíduos de demolição e reutilização de materiais	24
2.3. Demolição	29
3. DESCONSTRUÇÃO.....	32
3.1. Projeto para a desmontagem de produtos.....	32
3.2. Desconstrução de edificações.....	35
3.2.1. Histórico de edificações projetadas para a desconstrução	36
3.2.2. História recente da desconstrução.....	40

3.3. Princípios de PpD.....	44
3.4. Resumo dos Princípios PpD dos autores.....	44
3.4.1. Categoria 1) Seleção de Materiais	45
3.4.2. Categoria 2) Características Construtivas	46
3.4.3. Categoria 3) Ligações	46
3.4.4. Categoria 4) Hierarquia de Montagem.....	48
3.4.5. Categoria 5) Desmontagem.....	49
3.4.6. Categoria 6) Segurança do Trabalho.....	50
3.4.7. Categoria 7) Plano de Desconstrução	50
4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A DESCONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO	52
4.1. Impactos ambientais causados pelo uso do aço em construções europeias	52
4.2. O PpD e as edificações estruturadas em aço	54
4.3. Potencial de reuso do aço e seleção das ligações	60
5. SISTEMAS EXISTENTES DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES	61
5.1. Potencial de reciclagem de edificações	61
5.2. Potencial de desconstrução.....	64
5.3. Sistema de avaliação do potencial de desconstrução de Thormark (2001a).....	65
5.4. Sistema de avaliação do potencial de desconstrução de GUY e OHLSEN (2003)	66
5.5. Sistema de avaliação do potencial de desconstrução de Durmisevic (2006)	68
5.5.1. Modelo de avaliação de Durmisevic (2006)	69
5.6. Outros sistemas de avaliação de ambientes arquitetônicos utilizando lógica <i>fuzzy</i>	73
5.7. Sistemas de avaliação e certificação ambiental de edificações e incorporação de créditos para Desconstrução no LEED	75
5.7.1. Introdução aos Sistemas de avaliação e certificação ambiental de edificações..	75
5.7.2. O sistema de certificação LEED	77
5.7.3. Incorporação de créditos para Desconstrução no LEED	79
5.8. Considerações sobre os sistemas de avaliação analisados	80
6. SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA O SISTEMA DE ANÁLISE	82

6.1. Características da categoria 1- Seleção de Materiais	83
6.2. Características da categoria 2- Características Construtivas	86
6.3. Características da categoria 3- Ligações	88
6.4. Características da categoria 4- Hierarquia de Montagem	90
6.5. Características da categoria 5- Desmontagem.....	92
6.6. Características da categoria 6- Segurança do Trabalho.....	94
6.7. Características da categoria 7- Plano de Desconstrução	95
7. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS A SEREM SELECIONADAS NO SISTEMA DE ANÁLISE.....	98
7.1. Considerações iniciais	98
7.2. Categoria 1- Benefício com recuperação do material	99
7.2.1. Variável independente (1.1)- Custo	100
7.2.2. Variável independente (1.2)- Expectativa de durabilidade.....	102
7.2.3. Variável independente (1.3)- Estado de conservação	106
7.2.4. Variável independente (1.4)- Dano no processo	107
7.2.5. Variável independente (1.5)- Necessidade de adaptação para novo uso	108
7.3. Categoria 2- Caraterísticas Construtivas	109
7.3.1. Variável independente (2.1)- Padronização	109
7.3.2. Variável independente (2.2)- Modulação.....	111
7.3.3. Variável independente (2.3)- Tecnologia e ferramentas.....	115
7.4. Categoria 3- Ligação	117
7.4.1. Variável independente (3.1)- Padronização	117
7.4.2. Variável independente (3.2)- Simplificação	118
7.4.3. Variável independente (3.3)- Número de ligações.....	118
7.4.4. Variável independente (3.4)- Expectativa de durabilidade.....	119
7.4.5. Variável independente (3.5)- Dano às ligações	120
7.4.6. Variável independente (3.6)- Tempo de remoção da ligação	121
7.4.7. Variável independente (3.7)- Acessibilidade à ligação.....	121
7.4.8. Variável independente (3.8)- Dano às peças.....	126
7.5. Categoria 4- Hierarquia de montagem	126
7.5.1. Variável independente (4.1)- Acessibilidade	128
7.5.2. Variável independente (4.2)- Separação de outros níveis de materiais	130

7.6. Categoria 5- Desmontagem	136
7.6.1. Variável independente (5.1)- Eficiência do tipo de Desmontagem	136
7.6.2. Variável independente (5.2)- Dificuldade pela forma de desmontagem	137
7.6.3. Variável independente (5.3)-Espaço para armazenamento de materiais	140
7.6.4. Variável independente (5.4)- Espaço para equipamentos e manobras.....	142
7.7. Categoria 6- Segurança do Trabalho	143
7.7.1. Variável independente (6.1)- Risco por Trabalho em Altura.....	146
7.7.2. Variável independente (6.2)- Risco por Instabilidade	147
7.7.3. Variável independente (6.3)- Outros riscos	150
7.8. Categoria 7- Plano de Desconstrução.....	154
7.8.1. Variável independente (7.1)- Sistema de informação e identificação dos materiais.....	154
7.8.2. Variável independente (7.2)- Procedimento de desmontagem	158
7.8.3. Variável independente (7.3)- Projeto <i>as built</i>	162
7.9. Potencial de desconstrução.....	163
8. SISTEMAS DE ANÁLISE DA DESCONSTRUÇÃO	164
8.1. Sistema de análise simplificado de pontuação	164
8.2. Introdução ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos.....	168
8.3. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos	169
8.4. Modelos <i>fuzzy</i>	175
8.4.1. Modelo 1: variável de saída: “M1-Necessidade de reparos”	175
8.4.2. Modelo 2: variável de saída: “M2-Benefício com recuperação do material” ..	176
8.4.3. Modelo 3: variável de saída: “M3-Características Construtivas”	177
8.4.4. Modelo 4: variável de saída: “M4- Composição”	177
8.4.5. Modelo 5: variável de saída: “M5-Outras Características”	178
8.4.6. Modelo 6: variável de saída: “M6-Possibilidade de Reutilização”	178
8.4.7. Modelo 7: variável de saída: “M7-Facilidade de remoção”	178
8.4.8. Modelo 8: variável de saída: “M8- Desconstrução da Ligação”	179
8.4.9. Modelo 9: variável de saída: “M9- Ligação”	179
8.4.10. Modelo 10: variável de saída: “M10-Hierarquia de Montagem”	179
8.4.11. Modelo 11: variável de saída: “M11-Permutabilidade”	180
8.4.12. Modelo 12: variável de saída: “M12-Disponibilidade de espaço”	180

8.4.13. Modelo 13: variável de saída: “M13-Desmontagem”	180
8.4.14. Modelo 14: variável de saída: “M14-Segurança do Trabalho”	181
8.4.15. Modelo 15: variável de saída: “M15-Plano de Desconstrução”	181
8.4.16. Modelo 16: variável de saída: “M16-Logística”	181
8.4.17. Modelo 17: variável de saída: “M17-Desconstrução”	182
9. ESTUDOS DE CASO APLICADOS NOS SISTEMAS DE ANÁLISE	210
9.1. Estudo de caso: desconstrução do Ginásio Poliesportivo de Mariana	210
9.1.1. Requalificação Urbanística e Arquitetônica de Mariana	211
9.1.2. Entrevista	214
9.1.3. Elemento de análise: componentes metálicos da estrutura	214
9.1.4. Classificação do potencial de desconstrução do Ginásio	214
9.2. Dados de entrada	215
9.2.1. Variável (1.1)- Custo.....	215
9.2.2. Variável (1.2)- Expectativa de durabilidade	215
9.2.3. Variável (1.3)- Estado de conservação	216
9.2.4. Variável (1.4)- Dano no processo	216
9.2.5. Variável (1.5)- Necessidade de adaptação	216
9.2.6. Variável (2.1)- Padronização	217
9.2.7. Variável (2.2)- Modulação.....	217
9.2.8. Variável (2.3)- Tecnologia e ferramentas	217
9.2.9. Variável (3.1)- Padronização das ligações	217
9.2.10. Variável (3.2)- Simplificação das ligações	217
9.2.11. Variável (3.3)- Número de ligações	218
9.2.12. Variável (3.4)- Expectativa de durabilidade das ligações.....	218
9.2.13. Variável (3.5)- Dano às ligações.....	218
9.2.14. Variável (3.6)- Tempo de remoção das ligações.....	218
9.2.15. Variável (3.7)- Acessibilidade às ligações	218
9.2.16. Variável (3.8)- Dano causado às peças pelas ligações.....	219
9.2.17. Variável (4.1)- Acessibilidade às peças da estrutura	219
9.2.18. Variável (4.2)- Separação de outros níveis de materiais.....	219
9.2.19. Variável (5.1)- Eficiência pelo tipo de desmontagem.....	219
9.2.20. Variável (5.2)- Dificuldade pela forma de desmontagem.....	219

9.2.21. Variável (5.3)- Espaço para armazenamento de materiais.....	219
9.2.22. Variável (5.4)- Espaço para equipamentos e manobras	220
9.2.23. Variável (6.1)- Risco por trabalho em altura	220
9.2.24. Variável (6.2)- Risco por instabilidade	220
9.2.25. Variável (6.3)- Outros Riscos	221
9.2.26. Variável (7.1)- Sistema de informação e identificação dos materiais.....	222
9.2.27. Variável (7.2)- Procedimento de desmontagem.....	222
9.2.28. Variável (7.3)- Projeto “ <i>as built</i> ”	222
9.3. Estudo de caso aplicado aos Sistemas de análise	222
9.3.1. Sistema de análise simplificado de pontuação	223
9.3.2. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos.....	224
9.3.3. Comparação dos resultados de aplicação do estudo de caso nos Sistemas.....	227
9.4. Simulações com valores de entrada mínimos aceitáveis.....	227
9.4.1. Sistema de análise simplificado de pontuação	227
9.4.2. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos.....	229
9.4.3. Comparação dos resultados de aplicação de valores próximos dos aceitáveis nos Sistemas	231
9.5. Simulações com valor de entrada não aceitável para uma variável determinante	231
9.5.1. Sistema de análise simplificado de pontuação	232
9.5.2. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos.....	233
9.5.3. Comparação dos resultados nos Sistemas de análise para um valor acima do aceitável de uma variável determinante.....	236
9.6. Considerações sobre os resultados	236
10. CONCLUSÕES	238
10.1. Sugestões para trabalhos futuros	239
10.2. Considerações finais.....	241
REFERÊNCIAS.....	244
APÊNDICE A- PRINCÍPIOS DE PPD	253
A.1. Princípios de Thormark (2001a)	253
A.2. Princípios de Pulaski et al.(2004)	254
A.3. Princípios de Crowther (2005).....	258

A.4. Princípios de Morgan e Stevenson (2005)	262
A.5. Princípios de Webster e Costello (2005)	264
A.6. Princípios de Durmisevic (2006)	267
APÊNDICE B- LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS E DESCONSTRUÇÃO	270
B.1. Ligações soldadas.....	271
B.2. Ligações parafusadas	272
B.3. Solda versus parafuso na desconstrução	273
B.4. Divisão de Silverstein (2009).....	274
B.5. Novos tipos de ligações.....	277
B.5.1. Ligação Quicon	278
B.5.2. Ligação a momento protendida.....	280
B.5.3. Ligação ATLSS.....	281
B.5.4. Ligação ConX	283
B.5.5. Ligação Girder Clamps	284
APÊNDICE C- MODELOS DE GUY; OHLSEN (2003) E DURMISEVIC (2006)...	289
C.1. Software de GUY; OHLSEN (2003)	289
C.2. Modelo de Durmisevic (2006)	292
APÊNDICE D- SEGURANÇA DO TRABALHO EM ALTURA	300
APÊNDICE E- LÓGICA <i>FUZZY</i>	308
E.1. Introdução à lógica <i>fuzzy</i>	308
E.2. Lógica clássica e lógica <i>fuzzy</i>	309
E.3. Variáveis linguísticas	310
E.4. Funções de pertinência	312
E.5. Regras <i>fuzzy</i>	313
E.6. Proposições <i>fuzzy</i>	313
E.7. Base de regras <i>fuzzy</i>	314
E.8. Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i>	315
E.9. Base de regras.....	315
E.10. <i>Fuzzificação</i>	317
E.11. Processo de inferência <i>fuzzy</i>	318
E.11.1. Modelo de Mamdani	319

E.11.2. Modelo de Takagi-Sugeno	319
E.12. Defuzzificação	320
E.13. Softwares para aplicação da lógica <i>fuzzy</i>	320
E.14. Modelagem no MatLab	320
E.15. Funções de pertinência	323
E.16. Elaboração das regras <i>fuzzy</i>	326
E.17. Utilização do sistema de controle <i>fuzzy</i>	327
APÊNDICE F- QUESTIONÁRIO PARA A ENTREVISTA	328
APÊNDICE G- DADOS INFORMADOS NA ENTREVISTA.....	330
G.1. Informações sobre a obra	330
G.2. Informações sobre os materiais reaproveitados	331
G.3. Processo de desconstrução da estrutura e dificuldades encontradas.....	335
G.4. Duração do processo	342
G.5. Logística do processo.....	343
G.6. Benefícios ambientais com a desconstrução	346
G.7. Orientações para PpD	346
APÊNDICE H- RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE ANÁLISE COM CONJUNTOS DIFUSOS E <i>DEFUZIFICAÇÃO</i> CENTRÓIDE	348
APÊNDICE H- RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE ANÁLISE COM CONJUNTOS DIFUSOS E <i>DEFUZIFICAÇÃO</i> MÉDIA DOS MÁXIMOS- MOM	365
ANEXO A- CRÉDITOS LEED	382

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Fluxo aberto de produção dos materiais de construção, com a maior parte dos resíduos sendo acumulados em aterros.	4
Figura 1.2: Fluxo fechado de produção dos materiais de construção, os resíduos são reaproveitados ou reciclados, tornando-se novamente recursos.	4
Figura 2.2: Progressão de valores na prática da construção civil.	31
Figura 2.3: Prática da construção civil influenciada por um sistema global de sustentabilidade.	31
Figura 3.1: Peças substituíveis da estrutura externa (à esquerda) e interna (à direita) de um carro.	34
Figura 3.2: Modelo linear dominante do ciclo de vida dos materiais e componentes de construções.	35
Figura 3.3: Ciclo de vida sustentável dos materiais e componentes de construção.	36
Figura 3.4: <i>Fun Palace</i> projetado por Cederek Price em 1961.	38
Figura 3.5: Centro George Pompidou, Paris. Edifício projetado por Renzo Piano e Richard Rogers, em 1977.	39
Figura 3.6: <i>IBM travelling exhibition</i> , pavilhão de exposição itinerante projetado por Renzo Piano.	40
Figura 3.7: Detalhe construtivo do <i>IBM travelling exhibition</i>	40
Figura 4.1: Impacto ambiental por fase do ciclo de vida do aço utilizado em construções.	53
Figura 4.2: Esquema de estrutura fechada à esquerda e estrutura hierárquica aberta, à direita.	55
Figura 5.1: Hierarquia das variáveis do modelo.	71
Figura 5.2: Valores de subaspectos de duas estruturas representados em um diagrama radial. O diagrama da esquerda representa subaspectos de uma estrutura mais transformável que a estrutura representada no diagrama da direita.	72
Gráfico 6.1: Princípios da Categoria 1) Seleção de Materiais.	83
Figura 6.1: Categoria 1) Benefício com recuperação do material e suas características.	86
Gráfico 6.2: Princípios da Categoria 2) Características Construtivas.	87

Figura 6.2: Categoria 2) Características Construtivas e características.....	88
Gráfico 6.3: Princípios da Categoria 3) Ligações.....	89
Figura 6.3: Categoria 3) Ligações e características.....	90
Gráfico 6.4: Princípios da Categoria 4) Hierarquia de Montagem.....	91
Figura 6.4: Categoria 4) Hierarquia de Montagem e características.....	92
Gráfico 6.5: Princípios da Categoria 5) Desmontagem.....	93
Figura 6.5: Categoria 5) Desmontagem e características.....	94
Gráfico 6.6: Princípios da Categoria 6) Segurança do Trabalho.....	94
Figura 6.6: Categoria 6) Segurança do Trabalho e características.....	95
Gráfico 6.7: Princípios da Categoria 7) Plano de Desconstrução.....	96
Figura 4.13: Gráfico dos princípios da Categoria 7) Plano de desconstrução.....	96
Figura 6.7: Categoria 7) Plano de Desconstrução e características.....	97
Tabela 7.1: Vida útil mínima de projeto para sistemas.....	103
Figura 7.1: Cenário de componentes de uma edificação e seus respectivos ciclos de vida técnico e de uso.....	105
Figura 7.2: Subdivisões do módulo de 600mm.....	114
Figura 7.3: Trabalhadores em posições que causam riscos ergonômicos.....	122
Figura 7.4: Ilustração de problemas de acesso à ligação.....	124
Figura 7.5: Ilustração de problemas de acesso à ligação por falta de espaço suficiente para as ferramentas de torque.....	124
Figura 7.7: Ilustração de problemas de acesso por risco de acidente com pontas afiadas (indicadas pelo círculo).....	125
Figura 7.6: Risco de mãos e ferramentas ficarem presas ao tentar acessar as ligações.....	125
Figura 7.8: Ilustração da teoria dos layers, de Brand.....	128
Figura 7.9: Pilar de fachada com elemento pré-moldado.....	131
Figura 7.10: Viga de aço com laje de concreto e sobre alvenaria (corte).....	131
Figura 7.11: Ilustração do pilar em aço embutido em parede de alvenaria.....	132
Figura 7.12: À esquerda pilar em aço enclausurado em concreto, à direita representação esquemática do pilar.....	133
Figura 7.13: Argamassa projetada em vigas metálicas.....	134
Figura 7.14: Imagem da <i>Big Dig House</i> , construída com aço da ponte BIG DIG.....	138

Figura 7.16: Estruturas em aço reusadas e mantidas expostas na Big Dig House, em Boston, EUA.....	139
Figura 7.15: Materiais recuperados da ponte <i>Big Dig</i> , em Boston, EUA.....	139
Figura 7.17: Imagens da construção da <i>Big Dig House</i> , com reuso de partes da ponte <i>Big Dig</i>	140
Figura 7.18: Sistema de identificação de estruturas de aço.	155
Figura 7.19: Sistema de identificação de estruturas.	156
Figura 7.20: Sistema de encaixe dos templos em Chiloé: ponta de uma viga com um orifício.....	157
Figura 7.21: Sistema de encaixe dos templos em Chiloé: encaixe de tarugo em viga.	157
Figura 8.1: Estrutura inicial do sistema de análise baseado em lógica fuzzy.	172
Figura 8.2: Divisões do sistema <i>fuzzy</i> em variáveis de entrada, subcategorias, categorias, grupos e saída.....	173
Figura 8.3: Esquema indicando a ordem de desenvolvimento dos modelos representada em ordem crescente pelas iniciais de M1 a M17.	174
Figura 9.1: Ginásio Poliesportivo Osni Geraldo Gonçalves, localizado no município de Mariana, na data de sua inauguração, em 01 de maio de 1988.....	211
Figura 9.2: Ginásio Poliesportivo Osni Geraldo Gonçalves, em 22 de setembro de 2007, antes da desconstrução.....	212
Figura 9.4: Ginásio Arena Mariana, antes da inauguração.....	213
Figura 9.3: Projeto em 3 dimensões do novo Ginásio.	213
Figura 9.5: Trabalho em altura realizado com adoção de medidas de segurança. Data: 31 de março de 2008.....	220
Figura 9.6: Resultados do estudo de caso aplicado ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> centróide.....	225
Figura 9.7: Resultados do estudo de caso aplicado ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> média dos máximos.....	226
Figura 9.8: Resultados com valores de entrada próximo dos aceitáveis aplicados ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> centróide.....	229
Figura 9.9: Resultados com valores de entrada próximo dos aceitáveis aplicados ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> média dos máximos.....	230

Figura 9.10: Resultados do sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e defuzzificação centróide para o valor de entrada acima do aceitável na variável determinante (1.1)- Custo.	234
Figura 9.11: Resultados do sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e defuzzificação média dos máximos para o valor de entrada acima do aceitável na variável determinante (1.1)- Custo.	235
Figura A.2: Matriz de identificação dos envolvidos no projeto que têm habilidades para influenciar cada princípio.	257
Figura A.1: Matriz de identificação do momento apropriado para incorporação de cada princípio durante as etapas de projeto e construção.	257
Figura B.1: Esquema representando as ligações em estrutura metálica.	275
Figura B.2. Ligação soldada em estrutura metálica- exemplo de conexão preenchida.	275
Figura B.3. Rebites, exemplo de conexão de sobrepor.....	276
Figura B.4: Ligação parafusada, exemplo de conexão acessória do tipo interno.....	277
Figura B.5: Ligação parafusada complexa.	278
Figura B.6: Esquema da ligação Quicon.	279
Figura B.7: Esquema da ligação a momento protendida.	280
Figura B.8: Esquema da Plataforma Stewart.....	281
Figura B.9: Esquema de encaixe macho-fêmea da ligação ATLSS.	282
Figura B.10: (a) Detalhe da estrutura de ligação no pilar da ConX-R. (b) Detalhe da estrutura de ligação no pilar da ConX-L.....	283
Figura B.11: Montagem de estruturas em aço com ligação ConX-L.	284
Figura B.12: (a) Componentes da ligação Girder clamp. (b) Detalhe da ligação.....	285
Figura B.13: Resumo de pontos representativos de dados sobre as ligações em forma gráfica.	288
Figura C.1: Página de dados de entradas do <i>software</i>	289
Figura C.2: Página do software relativa a entradas de dados relativas à parede.	291
Figura D.1: Trabalhadores posicionados em pé sobre vigas para acesso temporário em construção metálica.....	303
Figura D.2: Proteção de periferia fixa na viga antes do içamento.....	305
Figura D.3: Guarda corpo de periferia ajustável, conforme a NR18.....	306
Figura D.4: Plataforma principal de proteção, elaborada segundo a NR 118.	306

Figura D.5: Cabos de aço fixados em acessórios soldados no pilar.	307
Figura E.1: Funções de pertinência para a variável temperatura.	311
Figura E.2: Funções de pertinência triangular e trapezoidal.	313
Figura E.3: Esquema do sistema de inferência <i>fuzzy</i>	316
Figura E.4: Tela inicial do Fuzzy Logical Toolbox no Matlab®.	321
Figura E.5: Definição do domínio das variáveis de entrada; nome, formato e pontos da função de pertinência e opção de adição de funções de pertinência.	322
Figura E.6: Ilustração das funções de pertinência existentes no Matlab®.	323
Figura E.7: Função de pertinência triangular.	324
Figura E.8: Função de pertinência gaussiana.	324
Figura E.9: Função de pertinência trapezoidal.	325
Figura E.10: Criação da base de regras fuzzy.	326
Figura E.11: Cenário resultante da seleção de valores das variáveis de entrada e o valor de saída associado para o Modelo M2.	327
Figura G.1: Detalhe do interior do antigo Ginásio com quadra suspensa. Data: 24 de janeiro de 2008.	330
Figura G.2: Detalhe do interior do novo Ginásio com quadra no nível térreo e mesma cobertura.	331
Figura G.3: Arquibancadas do antigo Ginásio sendo removidas. Data: 29 de abril de 2008.	332
Figura G.4: Arquibancadas do antigo Ginásio sendo removidas. Data: 29 de abril de 2008.	332
Figura G.5: Arquibancadas do antigo Ginásio vistas da parte inferior mostrando o apoio apenas nas extremidades. Data: 24 de janeiro de 2008.	333
Figura G.6: Arquibancadas removidas e armazenadas de forma incorreta, com partes em balanço. Data: 29 de abril de 2008.	333
Figura G.7: Peças das arquibancadas danificadas devido ao armazenamento incorreto. Data: 29 de abril de 2008.	334
Figura G.8: Peças das arquibancadas danificadas devido ao armazenamento incorreto. Data: 29 de abril de 2008.	334
Figura G.9: Fechamento vertical em alvenaria do antigo Ginásio. Data: 24 de janeiro de 2008.	335

Figura G.10: Laje sendo separada de viga e pilar com o auxílio de uma britadeira. Data: 03 de junho de 2008.....	336
Figura G.11: Detalhe da separação entre laje e pilar. A interface entre o concreto e a estrutura dificultou o processo de desconstrução. Data: 24 de janeiro de 2008.	336
Figura G.12: Entulho devido à quebra das lajes e alvenaria do antigo Ginásio. Data: 25 de fevereiro de 2008.	337
Figura G.13: Base de pilar danificado. Data: 29 de abril de 2008.....	337
Figura G.14: Peças esbeltas danificadas. Data: 03 de junho de 2008.....	338
Figura G.15: Peça sendo reparada. Data: 31 de março de 2008.	338
Figura G.16: Peças restauradas e pintadas. Data: 31 de agosto de 2008.	338
Figura G.17: Peças mais esbeltas restauradas e pintadas. Data: 31 de agosto de 2008.....	339
Figura G.18: Detalhe das ligações parafusadas da estrutura da arquibancada. Data: 24 de janeiro de 2008.....	339
Figura G.19: Peças retiradas sem danos. Data: 25 de fevereiro de 2008.....	340
Figura G.20: Peças das arquibancadas retiradas sem danos. Data: 03 de junho de 2008.	340
Figura G.21: Parafusos selecionados e armazenados por tipo. Data: 31 de agosto de 2008.	341
Figura G.22: Detalhe das ligações na estrutura de cobertura. Data: 24 de janeiro de 2008.	341
Figura G.23: Peças sendo restauradas e pintadas enquanto o novo Ginásio era construído aos fundos. Data: 31 de agosto de 2008.....	342
Figura G.24: Avanços na construção do novo Ginásio: fundações, pilares e vigas montados. Data: 31 de agosto de 2008.	343
Figura G.25: Numeração dos pilares antes da desmontagem. Data: 04 de março de 2008.	344
Figura G.26: Peças da cobertura etiquetadas antes da desconstrução. Data: 04 de março de 2008.....	344
Figura G.27: Peças identificadas e armazenadas. Data: 04 de março de 2008.....	345
Figura G.28: Peças identificadas após a recuperação. Data: 31 de agosto de 2008.	345

GLOSSÁRIO

MATERIAIS (de construção): produto destinado à edificação e que não é formado como uma unidade distinta, não tem geometria definida ou não tem medidas especificadas nas três dimensões. Exemplos: areia, brita, cal, cimento, chapa, bambu, pedra de mão, aditivo, tinta, argamassa etc. (ABDI, 2009). Os materiais são os produtos com os quais são feitos os componentes e elementos. O vocábulo pode ser usado nesta tese como expressão genérica para designar todos os elementos, componentes, materiais e sistemas utilizados numa construção.

COMPONENTE (construtivo): produto destinado à edificação e formado como uma unidade distinta, de geometria definida e de medidas especificadas nas três dimensões. Exemplos: bloco cerâmico, telha, painel etc. (ABDI, 2009). Trata-se do produto integrante de determinado elemento do edifício, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas.

ELEMENTO (construtivo): parte da edificação com funções específicas, constituída por um conjunto de componentes e/ou materiais de construção. Exemplos: parede, janela, escada (ABDI, 2009). É uma parte de um sistema com funções específicas. São considerados elementos os painéis de vedação pré-fabricados e a estrutura em aço, por exemplo.

SUBSISTEMAS: subdivisão do sistema feita pelo nível funcional de suas partes. Consiste na parte da edificação, constituída de elementos e componentes, destinada a cumprir uma macro função que define. Exemplos: sistemas estruturais, vedações verticais, instalações hidráulicas, etc. Alguns autores também utilizam o vocábulo “sistema” ao invés de “subsistema” para designar a maior parte funcional do edifício.

SISTEMA (conjunto de elementos que interagem): o edifício analisado como um todo.

LAYER: camadas ou níveis de materiais.

AS BUILT: é uma expressão inglesa que significa “como construído”. A expressão “*as built*” é encontrada na NBR 14645 - Elaboração do "como construído" (*as built*) para edificações. O *as built* consiste no levantamento de todas as medidas existentes nas

edificações, transformando as informações aferidas em um desenho técnico que representa um registro das alterações ocorridas durante a obra e facilitando a manutenção de futuras intervenções.

SIGLAS

ABCEM: Associação Brasileira da Construção Metálica

ABDI: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ACV: Avaliação do ciclo de vida

AQUA: Alta Qualidade Ambiental

ATLSS: *Advanced Technology for Large Structural Systems*

BCSA: *British Constructional Steelwork Association*

BIM: *Buiding Information Modelling*

BNH: Banco Nacional da Habitação

BREEAM: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CASBEE: *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*

CBC: Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum

CBCS: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CG: Centro de Gravidade

CIB: *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*

DfCS: *Design for Construction Safety*

DfD: *Design for disassembly* ou *Design for Deconstruction*

DfDD: *Design for Deconstruction and Disassembly*

DfR: *Design for Recycling*

DI: danos irreparáveis

DL: danos leves

DM: danos moderados

DP: danos pequenos

DS: danos severos

EAT: *Experiments in Art and Architecture*

ECSC: *European Coal and Steel Commission*

EPI: Equipamento de Proteção Individual

EPR: *Extended Producer Responsibility*

EUA: Estados Unidos da América

GBC Brasil: *Green Building Council Brasil*

HQE: *Haute Qualité Environnemental*

AI: Inteligência Artificial

IC: Inteligência Computacional

IISI: *International Iron and Steel Institute*

IPHAN: Instituto do Patrimônio Artístico Nacional

LCA: *Life-cycle assessment*

LEED: *Leadership in Energy and Environmental Design*

LG: lesões graves

LL: lesões leves

LM: lesões moderadas

M: morte

MR: morte remota,;

PBQP-H: Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat

PCMAT: Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção

PpD: Projeto para Desconstrução de edifícios

PPRA: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

Procel: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PTA: Plataforma de Trabalho Aéreo

RA: risco alto

RB: risco baixo

RCD: resíduos de construção e demolição

RE: risco extremo

RM: risco moderado

RNA: Redes Neurais Artificiais

ROM: *Royal Ontario Museum*

SCI: *Steel Construction Institute*

SL: sem lesões

SST: Segurança e Saúde do Trabalho

TC: *Transformation Capacity* (Capacidade de Transformação)

TG39: *Task Group 39* (Grupo de trabalho 39)

TRRF: Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

UNESCO: *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
(Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)

USGBC: *United States Green Building Council*

VOC: *Volatile organic compound* (compostos orgânicos voláteis)

VU: Vida Útil

VUP: Vida Útil de Projeto

1. INTRODUÇÃO

1.1. Impactos dos materiais de construção e seu ciclo de vida

A indústria da construção civil representa um dos mais significativos setores econômicos para a maioria dos países, envolve um elevado número de processos e é responsável pela geração de um grande número de produtos e de empregos diretos e indiretos. No entanto, o setor também é conhecido mundialmente pelos impactos ambientais expressivos que provoca em toda a cadeia produtiva envolvida, desde a extração dos recursos naturais para a fabricação dos materiais até a demolição dos edifícios, já no fim da vida útil.

Os impactos ambientais decorrentes dos fluxos de materiais na produção do ambiente construído são evidentes. Segundo John e Prado (2010), nenhum outro setor industrial gera produtos com a escala da construção civil e, em consequência disso, o setor torna-se o principal consumidor de matérias-primas. Estima-se que a indústria da construção e seus produtos consomem aproximadamente 40% da energia e dos recursos naturais (exceto petróleo e água) e geram 40% dos resíduos produzidos por todo o conjunto de atividades humanas, variando a porcentagem de acordo com o país (SJÖSTROM¹, 2000 apud JOHN; SILVA; AGOPYAN, 2001).

Além dos significativos impactos ambientais em biomas (decorrentes da extração de matérias-primas), das emissões de gases poluentes e do consumo de recursos durante o processo de produção dos materiais de construção, impactos mais evidentes no meio urbano são constatados durante as etapas do ciclo de vida das edificações: construção, uso e manutenção e demolição.

Grandes quantidades de resíduos são geradas durante a etapa de construção de uma edificação. Segundo Fossati e Lamberts (2008) esse fator é agravado pelas perdas dos processos não otimizados. Para John e Prado (2010), o problema do consumo de matérias-primas na construção civil ocorre devido a perdas da construção e falhas de qualidade.

¹ SJÖSTROM, C. **Durability of Building Materials and Components**. In: CIB Symposium on Construction and Environment: theory into practice. 23-24 de novembro de 2000. São Paulo, 2000.

Durante as etapas de uso e manutenção da edificação há um grande consumo de água, energia e geração de resíduos, tanto domésticos quanto por reposição de componentes durante as reformas.

Por fim, na etapa de demolição, mais resíduos são gerados em grandes volumes. A geração de resíduos de construção e demolição (RCD) são representados por um número variável, entre 230 e 660kg/hab ao ano, dependendo do país (PINTO², 1999 apud JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007). O valor típico medido no Brasil se encontra em torno de 500kg/hab ao ano (JOHN; PRADO 2010).

Segundo John e Prado (2010), os RCD são, em grande parte, depositados em locais inadequados dentro da malha urbana, afetando o trânsito e os sistemas de drenagem e gerando focos de doenças ao serem depositados em terrenos baldios. Além disso, a remoção deste material gera custos aos municípios, desviando recursos que poderiam ser investidos na melhoria da infraestrutura coletiva.

Existem perspectivas de que no futuro esse cenário se agrave ainda mais, pois a indústria de materiais de construção deve crescer duas vezes e meia entre 2010 e 2050 em nível mundial, sendo que nos países em desenvolvimento (excluída China e Índia) esse índice sobe para 3,2 vezes (IEA/WBCSD³, 2009 apud AGOPYAN; JOHN, 2011). No Brasil a expectativa é que o setor da construção dobre de tamanho até 2022 (FGV Projetos, LCA Consultoria⁴, 2010 apud AGOPYAN; JOHN, 2011).

Em virtude do que foi mencionado, o impacto ambiental das construções crescente no mundo industrializado e em desenvolvimento torna-se inegável no século 21. Sabe-se hoje que a disponibilidade de recursos do planeta é limitada e que os impactos causados pelo setor podem ser mitigados por meio da utilização racional dos recursos, reaproveitamento de resíduos e controle de desperdícios.

² PINTO, T.P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

³ IEA/WBCSD. Cement technology Road map: carbon emission reduction up to 2050. Genebra, WBCSD, 2009.

⁴ FGV Projetos, LCA Consultoria. Construbusiness 2010 – Brasil 2022: planejar, construir, crescer. São Paulo: Fiesp, 2010.

Em tempos de mudanças climáticas, aquecimento global e aumento no custo da energia, é fundamental que haja uma mudança de paradigma no setor construtivo para que os impactos ambientais decorrentes de obras possam ser minimizados, visando economia e conservação dos recursos naturais (CREA MG, 2009).

Segundo Agopyan e John (2011), a cadeia produtiva da construção civil, em nível internacional, está sendo forçada a mudanças culturais, tecnológicas e de comportamento para atender às demandas de uma sociedade cada vez mais esclarecida e exigente em relação à preservação do meio ambiente.

Refletindo essas mudanças, já se encontram disponíveis no mercado inúmeros materiais de construção civil intitulados “*Green*”, “verdes”, “ecológicos”, etc. Também se observa a incorporação de conceitos de sustentabilidade em uma série de construções, sendo algumas classificadas como “sustentáveis” por sistemas de certificação ambiental de edifícios. Essas tendências atuais levam a crer que o século 21 é o começo de uma nova era para a arquitetura e a construção civil.

Segundo Durmisevic (2006), além das mudanças dinâmicas no seio da sociedade, outro fator que indica a necessidade de uma forma alternativa de construção é o padrão de uso dos recursos naturais dentro da indústria da construção - um padrão que tem se mostrado insustentável.

A cadeia produtiva de materiais e componentes de construção, isoladamente, tem um impacto significativo que precisa ser mitigado, pois influi decisivamente no impacto ambiental de edifícios e obras ao longo do seu ciclo de vida (AGOPYAN; JOHN, 2011).

De acordo com Wadel (2009), se a sequência do modelo de produção tradicional da maioria dos materiais construtivos e das construções converte recursos em resíduos, o principal caminho para a sustentabilidade está na transformação dos setores da indústria da construção de forma que, após a vida útil das construções, os resíduos tornem-se novamente recursos, caracterizando o fechamento do fluxo ou do ciclo dos materiais.

O fechamento de fluxo dos materiais é alcançado quando, em um sistema determinado, não existe fluxo de resíduos, apenas de recursos que se reciclam constantemente. Tal condição encontra forte obstáculo no modelo produtivo atual, chamado de fluxo aberto ou ciclo aberto, no qual existe uma sequência linear de

produção: extração – fabricação – resíduo. O fluxo aberto dos materiais de construção está representado no fluxograma mostrado na figura 1.1 com as etapas de produção de resíduos e sua destinação final.



Figura 1.1: Fluxo aberto de produção dos materiais de construção, com a maior parte dos resíduos sendo acumulados em aterros.

Fonte: Adaptado de JOHN; PRADO, 2010.

Em oposição a esse modelo de produção tem-se um sistema produtivo ideal que supõe a eliminação do conceito de resíduo por meio da chamada “ecologia industrial”. Segundo Wadel (2009), nesse novo modelo o sistema produtivo pode ser representado pelo fluxo ou ciclo fechado: reciclagem – fabricação – recurso, como representado no fluxograma mostrado na figura 1.2.

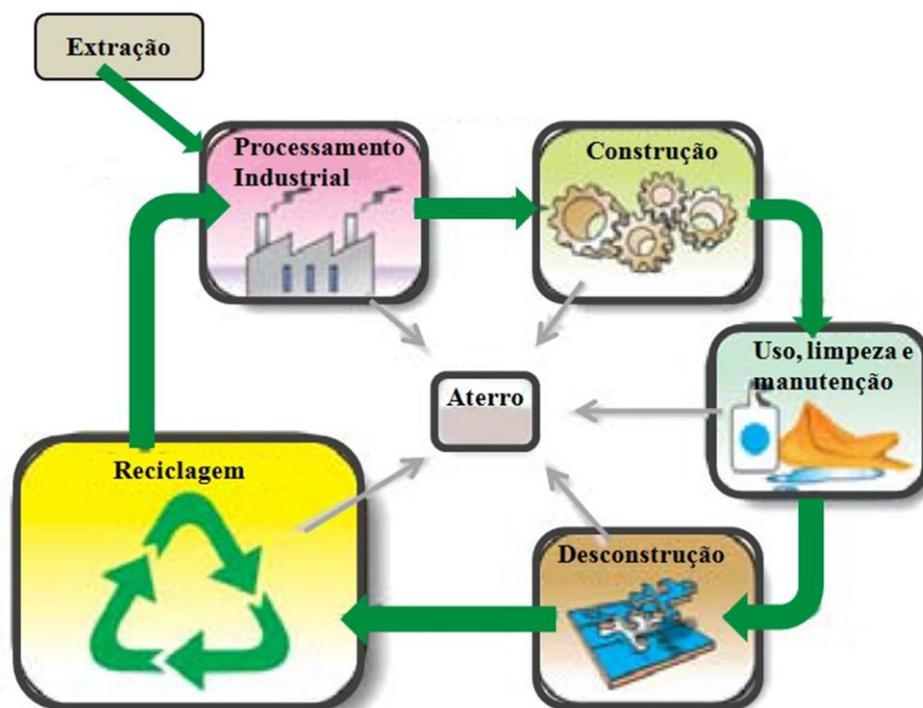


Figura 1.2: Fluxo fechado de produção dos materiais de construção, os resíduos são reaproveitados ou reciclados, tornando-se novamente recursos.

Fonte: Adaptado de JOHN; PRADO, 2010.

1.2. Demolição *versus* desconstrução

Quando as edificações já não conseguem responder às necessidades para as quais foram criadas e não podem ser adaptadas para atender aos requisitos dos usuários, geralmente novos empreendimentos são construídos em seu lugar. Procedese, na maioria destes casos, à demolição tradicional, ou seja, sem qualquer preocupação no sentido da recuperação de componentes, elementos ou materiais de construção.

Demolir é inutilizar o produto edifício por meio de um processo de desmonte (DEGANI; CARDOSO, 2002). A demolição é definida como o processo pelo qual um edifício é desmanchado com pouca ou nenhuma tentativa para recuperar qualquer das suas partes constituintes para reutilização, embora alguns produtos da demolição possam ser reciclados.

De acordo com Durmisevic (2006), uma série de estudos tem alertado que os processos de demolição representam grande parte do impacto negativo ambiental dos edifícios. Isto ocorre porque uma edificação que tem seu fim no processo demolição representa um fluxo de materiais direcional e linear: desde a extração até a demolição, criando um ciclo aberto de produção de materiais e geração de resíduos.

Uma convicção de longa data e ainda mantida por muitos é que os edifícios duram mais quando feitos de materiais mais duráveis. No entanto, práticas cotidianas de demolição ocorrem sem que seja necessário, resultando em perdas materiais e de energia. Ou seja, edifícios em bom estado de conservação são demolidos porque já não atendem plenamente às necessidades dos usuários. Segundo Durmisevic (2006), as práticas atuais de demolição comprovam que:

1. devido às frequentes alterações funcionais dos edifícios, o ciclo de vida de utilização dos materiais é muitas vezes menor do que o ciclo de vida técnico dos materiais;
2. os materiais empregados nas edificações são muitas vezes integrados em um conjunto fixo e a substituição de um elemento significa a demolição dos outros;
3. o final do ciclo de vida dos edifícios geralmente está associado com a demolição e produção de resíduos.

Constata-se que a maioria dos edifícios não são concebidos para serem adaptados e terem seus materiais reaproveitados.

As condições econômicas e ecológicas da atualidade dão indícios que as construções devem ser preservadas, restauradas, reutilizadas ou, no fim de sua vida útil, decompostas em componentes recicláveis e reutilizáveis, em vez de demolidas. Muitos dos materiais de construção descartados e enviados para aterros têm valor e poderiam gerar lucro a partir do processo de reutilização (PULASKI et al., 2004).

Uma solução seria a substituição dos processos lineares pelos processos cíclicos (fluxo ou ciclo fechado), como recomenda a Agenda 21, estabelecida em 1992 na conferência no Rio de Janeiro (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

Tendo isso em mente, pode-se dizer que um elemento fundamental para estender o ciclo de vida dos edifícios e de seus materiais consiste em desenvolver a habilidade de adaptar todos os níveis da composição técnica para a desmontagem e reconfiguração, independentemente dos materiais utilizados. Segundo Durmisevic (2006), para alcançar este objetivo é necessária uma nova abordagem de concepção de projeto que incida sobre o desempenho a longo prazo dos materiais dos edifícios e sua correspondência com uma composição técnica adequada que facilite o reaproveitamento dos materiais.

Neste cenário, a desconstrução surge como uma alternativa à demolição, tornando-se não apenas a melhor escolha do ponto de vista ambiental, mas uma opção capaz de proporcionar uma série de benefícios econômicos e sociais.

A desconstrução de um edifício, também chamada de desmontagem ou demolição seletiva, é um processo que se caracteriza pelo seu desmantelamento cuidadoso, de modo a possibilitar a recuperação de materiais e componentes da construção, promovendo a sua reutilização e reciclagem. Esse processo abre caminho à valorização e reutilização de elementos e materiais de construção que de outra forma seriam tratados como resíduos sem qualquer valor, e removidos para locais de depósito por vezes não autorizados para esse fim. O benefício ocorre porque a desconstrução preserva a energia incorporada dos materiais, reduzindo assim os impactos da incorporação de energia e do esgotamento de recursos não renováveis decorrentes da fabricação de novos materiais. O reaproveitamento dos materiais, além de diminuir a extração, evita os processos de transformação de matéria-prima, transporte e fabricação de novos produtos, com todas as vantagens econômicas e ambientais que daí advém (COUTO; COUTO; TEIXEIRA, 2006).

O sucesso no fechamento do ciclo dos materiais por meio da desconstrução e reaproveitamento na indústria da construção, ainda que parcialmente, teria benefícios ambientais de uma ordem de magnitude talvez maior que em qualquer outra indústria, devido à escala do consumo de materiais (KIBERT, 2003).

Ainda segundo Kibert (2003), análises econômicas iniciais indicam que a revenda de valiosos materiais recuperados pode compensar, em muito, os custos trabalhistas adicionais associados ao processo de desconstrução. Novas indústrias de desmonte de edifícios e de revenda de componentes e materiais recuperados da construção podem resultar da implementação de práticas de desconstrução em grande escala, trazendo também benefícios sociais, com a geração de novos empregos. A desconstrução também pode proporcionar uma fonte potencialmente barata de materiais de alta qualidade para futuras construções, além de ter como consequência uma redução significativa de espaço nos aterros.

A aplicação de soluções práticas que permitem a reutilização de materiais e componentes construtivos contribui para amenizar o problema urbano dos depósitos clandestinos de RCD, proporcionando melhorias do ponto de vista ambiental e social e introduzindo no mercado novos materiais com grande potencialidade de uso.

Dessa forma, a desconstrução tem várias vantagens sobre a demolição convencional, pois possibilita:

- o desvio dos resíduos de demolição que vão para aterros sanitários e depósitos clandestinos;
- o reuso de componentes de construção;
- a reciclagem de materiais;
- uma maior proteção do ambiente, tanto local como globalmente, por meio da economia no uso de recursos;
- a sustentabilidade na construção;
- o incentivo à criação de um novo mercado de materiais de construção e à geração de novos empregos.

Embora apresente vantagens sobre a demolição, as ações de desconstrução são mais complexas, pois o andamento do processo se assemelha mais ao de uma construção do que ao de uma demolição tradicional (FREITAS; CARVALHO FILHO; BRAYNER, 2009).

Desconstruir requer conhecimentos técnicos e, conseqüentemente, aptidões dos intervenientes nesse processo. Previamente, ainda na etapa de elaboração do projeto da construção, devem ser incluídos princípios que permitam a sua desconstrução. Segundo Pulaski et al. (2004), projetar para a desconstrução é uma etapa do processo de concepção arquitetônica essencial para promover a sustentabilidade de edificações e o fluxo fechado do ciclo de vida dos materiais de construção.

Para Thormark (2001a), os edifícios projetados para a desconstrução terão um maior valor, pois o potencial de reutilização dos materiais e componentes de uma edificação no futuro depende, em alto grau, de como o edifício foi planejado e projetado na sua concepção. O projeto para a desmontagem ou desconstrução é a maior contribuição para aumentar o potencial de reaproveitamento futuro dos materiais.

1.3. Projeto para a desconstrução de edifícios

Segundo Kibert (2003), o conceito de Projeto para Desconstrução de edifícios (PpD), chamado de “*design for disassembly*” ou “*design for deconstruction*” (DfD), surgiu no início de 1990 e tem como objetivo o fechamento do ciclo dos materiais da construção por meio da inclusão de princípios durante a sua concepção que permitam a sua desconstrução, num processo que pode ser chamado de "projeto para desconstrução e desmontagem" (DfDD- *design for deconstruction and disassembly*).

Nem sempre uma edificação apresenta um potencial para a desconstrução e o reuso de seus materiais, pois a recuperação dos materiais e componentes da construção está relacionada com as opções tomadas na fase de projeto, no que se refere ao desempenho dos materiais e ao modo como estes se relacionam no âmbito da configuração arquitetônica e tecnológica da edificação.

Para aumentar a eficiência e os benefícios econômicos da desconstrução, é recomendável incorporar elementos ainda na fase de projeto e de concepção arquitetônica, de forma que torne o esforço de desmontagem mais simples e reduza as horas de trabalho requeridas no processo. Dessa forma, arquitetos e engenheiros são os profissionais que têm maior influência sobre o potencial de desconstrução de uma edificação (PULASKI et al., 2004).

O PpD aumenta a eficiência de uma edificação em relação ao potencial de adaptabilidade e de desmontagem, ao mesmo tempo em que reduz os impactos

ambientais causados pela poluição e reposição de materiais em novas edificações. Para tanto, o projeto deve considerar uma série de requisitos que, ao serem atendidos, facilitam o ciclo fechado dos materiais por meio do reaproveitamento. Alguns aspectos a serem considerados para a desconstrução são: os riscos para a saúde e segurança do trabalhador, o local de armazenagem para os materiais retirados no processo, a remoção rápida da edificação, o acesso simplificado a componentes e materiais, a recuperação de materiais com alta eficiência de reutilização e reciclagem, a toxicidade dos materiais, etc. (PULASKI et al., 2004).

Thormark (2001a) também acrescenta aspectos importantes a serem atendidos no PpD, tais como: redução do número de peças; garantia da estabilidade durante a desmontagem; projeto possibilitando a manutenção; escolha de materiais reciclados e recicláveis; facilidade de remoção de peças que contenham materiais perigosos; minimização do número de diferentes materiais (se restringirem o processo de reciclagem); projeto de partes inseparáveis do mesmo material ou de material que não restrinja o processo de reciclagem, etc.

Além disso, aspectos de construtibilidade⁵ considerados durante o projeto de uma edificação simplificam o processo de construção e podem ser estendidos para tratar de parâmetros da desconstrução. Com o uso de princípios similares ao da simplificação da construção inicial de um edifício, a sua desconstrução pode ser viabilizada e o reaproveitamento de seus materiais de construção, no final do ciclo de vida útil, pode ser considerado a um custo razoável (PULASKI et al., 2004). Ainda segundo Pulaski et al. (2004), se um edifício pode ser construído de forma simples, provavelmente poderá ser desconstruído também de forma simples, pois muitos dos princípios da construtibilidade se confundem com os necessários para a realização da desconstrução, como por exemplo: pré-fabricação, modulação, simplificação de conexões e de sistemas de construção, etc.

⁵ Construtibilidade refere-se ao emprego adequado do conhecimento e da experiência técnica em vários níveis para racionalizar a execução dos empreendimentos, enfatizando a inter-relação entre as etapas de projeto e execução (RODRIGUEZ; HEINECK, 2003).

Esses e demais princípios adotados para o desenvolvimento do PpD serão abordados com mais ênfase posteriormente, no Apêndice A, referido no item 3.3 do capítulo 3.

1.4. A desconstrução de edifícios em estrutura metálica

Os resultados do projeto de pesquisa intitulado “análise do ciclo de vida (ACV) para construções em aço⁶” da *European Coal and Steel Commission - ECSC*⁷ (2002 apud DURMISEVIC; NOORT, 2003), que foi realizado por institutos da indústria siderúrgica e da construção em aço da Holanda, Reino Unido e Suécia, revelaram que, no final da vida, 83% dos produtos de construção em aço são reciclados, 14% são reusados, e apenas 3% são levados para aterros. De acordo com esses dados, o aço já pode ser reconhecido como um material com o fluxo de produção quase totalmente fechado. O fluxo fechado do aço é explicado pelo fato do material ter sempre um valor positivo, pois suas propriedades são preservadas (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

Embora estes resultados sejam positivos, maiores benefícios ambientais poderiam ser obtidos aumentando-se a proporção de produtos reutilizados, pois o reuso do aço é a prática que gera menor impacto, visto que não necessita de reprocesso. Segundo Durmisevic e Noort (2003), uma das principais razões para a baixa percentagem de reuso do aço em construções é o projeto da configuração estrutural e das suas ligações, que muitas vezes não facilitam a desmontagem e o reuso.

O potencial de reutilização de produtos siderúrgicos em edifícios pode ser aumentado por meio da aplicação de princípios de desconstrução. Alguns dos princípios de construtibilidade/desconstrução como os citados por Pulaski et al. (2004), Thormark (2001a) e demais autores podem ser facilmente aplicados em edificações em estruturas metálicas.

Além disso, um PpD de edifícios em aço pode melhorar a eficiência ambiental não só em relação ao reuso do aço, mas também pode contribuir para o reaproveitamento dos demais materiais e sistemas, reduzindo assim o impacto ambiental

⁶ *Life Cycle Assessment (LCA) for steel construction.*

⁷ ECSC project: LCA for steel construction. Document RT913, Version 01, July 2002. Project management by Steel Construction Institute, Silwood Park, Ascot, Berks, SL5 7QN.

total da construção após sua vida útil. No entanto, o potencial de desconstrução de edifícios em aço dependerá de uma série de fatores que devem ser considerados ainda na fase de projeto. Dado o exposto, conclui-se que um alto potencial de reutilização de edifícios estruturados em aço pode ser alcançado pela otimização de parâmetros de projeto para a desmontagem.

Segundo Durmisevic e Noort (2003), o aumento do potencial de reutilização dos materiais de uma construção estruturada em aço depende de como os produtos são montados e ligados com as outras partes e o aumento desse potencial passa por um processo de detalhamento mais consciente, que leva em consideração o planejamento da montagem/desmontagem, a geometria das bordas das peças, a hierarquia de produtos de acordo com a coordenação do ciclo de vida dos materiais e os métodos de ligação. Essas considerações devem, atualmente, ser objeto de interesse da indústria da construção em aço, para que no futuro o impacto ambiental das edificações seja minimizado.

Em alguns países os conceitos de PpD já são bastante discutidos e explorados, tanto no meio acadêmico quanto no profissional. Considerando que as construções em aço podem apresentar alto potencial de desconstrução, trabalhos abordando aspectos específicos de PpD para esse tipo de edificação já começaram a ser desenvolvidos, como por exemplo as pesquisas de Durmisevic e Noort (2003) e Gorgolewski et al. (2006).

Entretanto, no Brasil, trabalhos abordando a desconstrução de edificações ainda são pouco desenvolvidos e divulgados. Embora o índice nacional de construções em aço ainda seja modesto, se comparado com o de construções em concreto armado, torna-se imprescindível a discussão do PpD em edifícios estruturados em aço no país, principalmente porque essas construções são cada vez mais incorporadas ao cenário brasileiro e podem apresentar alto potencial de reutilização no futuro, desde que alguns conceitos de PpD sejam aplicados.

1.5. Proposta

Propõe-se nessa tese o desenvolvimento de um sistema de análise que leva em conta os aspectos de projeto e princípios de desconstrução adotados em edificações em estrutura metálica para avaliar e classificar o potencial de desconstrução dos sistemas estruturais em aço, podendo ser utilizado tanto para a análise de viabilidade da

desconstrução de uma edificação já construída, quanto para auxílio durante a fase de concepção projetual de uma construção. O sistema de análise, quando utilizado durante o projeto da edificação, tem como objetivo otimizar as possibilidades de desconstrução de acordo com o atendimento aos princípios considerados mais relevantes para a desconstrução, permitindo assim a melhoria das tecnologias aplicadas a fim de aumentar o reaproveitamento de materiais no fim da vida útil.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema de análise aplicável aos componentes de estruturas metálicas de edifícios em já existentes ou em fase de projeto para classificar o potencial de desconstrução dos sistemas estruturais em aço.

1.6.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo principal, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos:

- Discussão dos princípios de PpD gerais;
- Identificação dos principais critérios de PpD aplicáveis às edificações em estruturas metálicas;
- Análise dos princípios e parâmetros considerados essenciais para a viabilidade da desconstrução futura;
- Investigação dos sistemas de análises atuais para avaliação de edificações.
- Estabelecimento de considerações para a avaliação do potencial de desconstrução de sistemas em estrutura metálica; e
- Aplicação do sistema de análise do potencial de desconstrução em um estudo de caso e em cenários fictícios para validação do método.

1.7. Justificativa e relevância

O consumo de materiais de construção e, conseqüentemente, seus impactos ambientais vêm aumentando nos últimos 100 anos e esse panorama tende a piorar se as atuais soluções tecnológicas adotadas não se modificarem. De acordo com Agopyan e

John (2011), o crescimento da demanda por materiais de construção ocorre principalmente em países em desenvolvimento, onde a sustentabilidade social exige o atendimento às demandas sociais por um ambiente construído de melhor qualidade.

Nas últimas décadas, as preocupações relacionadas aos impactos negativos causados pelo modo de produção e de desenvolvimento atual têm impulsionado novos campos de pesquisa na área de desenvolvimento de produtos e serviços considerados mais sustentáveis e menos prejudiciais ambientalmente.

Nesse contexto, o reaproveitamento dos materiais, por meio da reciclagem e principalmente do reuso, é apontado como um dos principais meios para a diminuição do uso de recursos naturais, de energia e da necessidade de áreas para extração de recursos e deposição de resíduos.

Segundo Thormark (2001a), sistemas que permitem a desmontagem e a aplicação de técnicas de reciclagem começaram a ser desenvolvidos para vários tipos de produtos, de computadores a carros. Mais recentemente, a questão da concepção de produtos de forma a viabilizar a desmontagem e a reciclagem futura tem sido desenvolvida também para o setor de construção.

De acordo com pesquisas desenvolvidas por Pulaski et al. (2004), a etapa mais adequada para incorporação de princípios de desconstrução em uma edificação é durante o projeto esquemático e, entre os intervenientes do processo de concepção e construção de uma edificação, os membros que têm maior capacidade de influenciar o potencial de desconstrução são os arquitetos, seguido pelos engenheiros.

Sistemas construtivos que permitem a desmontagem ou que sejam integralmente recicláveis certamente têm um mercado potencial em um futuro mais sustentável (AGOPYAN; JOHN, 2011). Por isso, muitos países já iniciaram discussões acerca do tema, desenvolvendo sistemas que permitam a desmontagem futura das edificações e o reaproveitamento dos materiais e fornecendo diretrizes para o desenvolvimento de PpD aos profissionais da área. Contudo, pesquisas nessa área ainda são pouco desenvolvidas e divulgadas no Brasil.

Considerando que a adoção dos princípios de desconstrução durante a concepção das construções pode aumentar a percentagem de reutilização de produtos no fim de vida da edificação, diminuindo assim o seu impacto ambiental; que os arquitetos e engenheiros são os principais responsáveis pelo potencial de desconstrução de uma

construção; e que as construções em aço (que vêm sendo cada vez mais adotadas nos últimos anos no país) podem apresentar alto potencial de reutilização no futuro; considera-se imprescindível o início do desenvolvimento de pesquisas nacionais relacionadas a diretrizes para a aplicação do PpD em edificações estruturadas em aço.

Como o campo da pesquisa é relativamente novo, o trabalho para desenvolver um sistema de análise adequado será realizado por meio da combinação de conhecimentos acumulados e adquiridos por meio de estudos teóricos já desenvolvidos.

Espera-se que o resultado desse trabalho forneça uma base para que:

- arquitetos, engenheiros e empreiteiros incluam princípios de desconstrução nos projetos e nas construções em estrutura metálica a fim de facilitar a reutilização de materiais no fim da vida útil da construção;
- produtores de materiais de construção desenvolvam produtos que facilitem o processo de desconstrução.

1.8. Metodologia

A metodologia adotada envolve duas abordagens:

- A) Pesquisa bibliográfica em relação aos critérios de PpD existentes e sistemas de avaliação de edificações;
- B) Proposição de dois sistemas de análise e classificação do potencial de desconstrução dos sistemas estruturais em aço de edificações a partir dos critérios de PpD aplicáveis.

E a partir destes sistemas de análise desenvolvidos:

- Validação dos sistemas de análise por meio de aplicação de um estudo de caso e de cenários fictícios e
- Dedução da eficiência dos sistemas de análise.

Para se alcançar o objetivo proposto, as etapas a serem desenvolvidas compreendem:

1. Revisão bibliográfica sobre o tema desconstrução e levantamento de pesquisas relacionadas ao tema já desenvolvidas;
2. Levantamento dos critérios de PpD e avaliação dos aplicáveis aos componentes estruturais em aço de edificações;

3. Estudo dos sistemas de avaliação de edificações existentes para auxiliar no desenvolvimento do sistema de análise específico do potencial de desconstrução dos sistemas estruturais em aço de edificações;
4. Análise e avaliação das decisões projetuais e dos critérios de PpD a serem considerados nos sistemas de análise a serem desenvolvidos (definição dos meios de avaliação);
5. Ponderação dos critérios de PpD considerados essenciais para a viabilidade da desconstrução futura da estrutura metálica em edificações e definição dos critérios a serem adotados durante a análise (definição de pré-requisitos);
6. Desenvolvimento de dois sistemas de análise do potencial de desconstrução dos sistemas estruturais em aço de edificações: sistema de pontos e sistema baseado em lógica *fuzzy*;
7. Aplicação dos sistemas de análise em um estudo de caso e em cenários fictícios para validação;
8. Análise dos resultados de aplicação dos sistemas de análise desenvolvidos para definição do melhor sistema de análise.

1.9. Estrutura do trabalho

Além deste capítulo introdutório, este trabalho compreende mais nove capítulos, descritos a seguir.

No Segundo Capítulo, uma contextualizada revisão da temática Sustentabilidade na Construção Civil é apresentada, abordando seus aspectos e principais impactos.

No Terceiro Capítulo o processo de desconstrução aplicado às edificações é abordado. São apresentadas as primeiras construções desenvolvidas para a desconstrução e a retomada do conceito em estudos recentes. Também são mencionados seis trabalhos que abordam princípios de desconstrução.

No Quarto Capítulo trata-se das considerações sobre a desconstrução de edifícios estruturados em aço, investigam-se os impactos ambientais causados pelo uso do aço em construções, os princípios de projeto para a desconstrução de edificações estruturadas em aço e a influência das ligações entre as peças estruturais em aço para a desconstrução.

No Quinto Capítulo os sistemas existentes de avaliação do potencial de reutilização de materiais e componentes são citados, diferenciando sistemas de análise do Potencial de reciclagem de edificações dos sistemas de análise do Potencial de desconstrução. Apresentam-se os sistemas de avaliação do potencial de desconstrução desenvolvidos por Thormark (2001a), Guy e Ohlsen (2003) e Durmisevic (2006). Ao final do capítulo outros sistemas de avaliação de ambientes arquitetônicos utilizando lógica *fuzzy* são mencionados, bem como a sugestão de incorporação de aspectos de desconstrução nos créditos do LEED.

No Sexto Capítulo selecionam-se, a partir dos princípios mais citados pelos trabalhos analisados no Capítulo 3, as características a serem avaliadas nos sistemas de avaliação do potencial de desconstrução.

As características a serem consideradas nos sistemas de análise do potencial de desconstrução são estabelecidas no Capítulo Sete. Apresenta-se de que forma essas características influenciam a desconstrução, abordando mais profundamente algumas especificidades das estruturas em aço e os parâmetros para avaliação.

No Capítulo Oito, dois sistemas distintos são propostos para avaliação do potencial de desconstrução e reuso das estruturas metálicas: 1) um sistema simplificado de pontuação baseado nas avaliações das variáveis selecionadas, que pode funcionar também como um checklist e 2) um sistema baseado em modelos de conjuntos difusos aplicados no programa MatLab®.

No Nono Capítulo é realizada uma validação dos sistemas de análise, por meio do estudo de caso da desconstrução de um Ginásio Poliesportivo em estrutura metálica e reuso dos componentes em aço. Os dados de entrada, fornecidos por um engenheiro que acompanhou o processo de desconstrução real do ginásio, foram aplicados ao sistema de pontuação e ao sistema baseado em modelos de conjuntos difusos com defuzzificação centróide e média dos máximos. Os resultados de saída do potencial de desconstrução obtidos foram comparados com o resultado ponderado pelo mesmo engenheiro que forneceu os dados de entrada. Posteriormente também foram realizadas simulações com cenários fictícios e os resultados obtidos foram comparados.

No Capítulo Dez são apresentadas as conclusões e limitações do sistema de análise, bem como, sugestões para futuros trabalhos afins.

2. SUSTENTABILIDADE E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1. Sustentabilidade na construção civil

A partir do século XVIII, com a Revolução Industrial, estabeleceu-se um grande marco no desenvolvimento tecnológico para a sociedade mundial, solidificando uma mudança de comportamento do homem frente à natureza. Tal revolução transformou o modelo de produção vigente e promoveu um progressivo crescimento tecnológico, provocando uma grande aceleração no consumo de recursos naturais disponíveis, principalmente de ferro e de carvão e, posteriormente, de petróleo.

O modelo de produção estabelecido pela Revolução Industrial foi potencialmente fortalecido até meados do século XX, promovendo um cenário de grande impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente. Entretanto, a degradação dos recursos naturais ainda se apresentava como um problema localizado, não interferindo como fator limitante para o desenvolvimento num âmbito global. (MAGRINI⁸, 2001 apud ZAMBRANO, 2004).

O período pós II Guerra Mundial (1939-1945) foi marcado pela abundância de combustível barato e, no âmbito do projeto da Construção Civil, por uma série de descon siderações como, por exemplo, a falta de: conforto térmico, iluminação natural, conforto acústico e interação entre o edifício e o entorno. Para solucionar os problemas criados por essa arquitetura houve um aumento no consumo de energia, o que não foi um grande problema, pois essa tinha custo irrisório e a consciência generalizada sobre a poluição criada na geração e no consumo dessa energia não existia (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Segundo SACHS⁹ (1993 apud MARTINS, 2010), após aproximadamente 30 anos do término da II Guerra Mundial, começaram a surgir diversas críticas ao modelo de desenvolvimento e expansão econômica vigente que revelava a crescente escassez de muitos recursos naturais.

⁸ MAGRINI, A. Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos. **Revista Brasileira de Energia**, Junho/2001.

⁹ SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

A crise energética de 1970, desencadeada pelo embargo de petróleo feito pela Organização de Países Exportadores de Petróleo (Opep), foi o alerta para a elaboração de diversos estudos que corroboraram com um possível conflito entre o atual modelo de progresso econômico e o meio ambiente. Como exemplo, destaca-se o relatório de 1972 realizado pelo Clube de Roma: *The Limits to Growth* (Os Limites do Crescimento), que divulgou os efeitos catastróficos futuros em matéria de crescimento demográfico, poluição ambiental, esgotamento de recursos naturais e qualidade de vida das pessoas (MARTINS, 2010).

Como uma resposta pragmática à alta do petróleo, surgiu a chamada Arquitetura Solar. A preocupação fundamental era incorporar a energia solar aos edifícios, por meio da exploração da energia solar passiva e de sistemas de aquecimento solar da água, contribuindo à sua calefação e poupando energia convencional (CORBELLA; YANNAS, 2003; ROAF, 2006). Segundo Agopyan e John (2011), nos países desenvolvidos, começaram a surgir soluções para a economia de energia de edifícios, levando à avaliação de materiais pelo conceito de energia incorporada¹⁰. O desenvolvimento de uma nova arquitetura começou a alterar os edifícios, que desde a década de 1950 vinham sendo construídos com fachadas de cortinas de vidro e dependiam de condicionamento ambiental artificial.

Refletindo as preocupações com a crise, em 1973, Maurice Strong formulou o conceito de ecodesenvolvimento, segundo o qual se definia um estilo de desenvolvimento adaptado às áreas rurais do Terceiro Mundo baseado na utilização criteriosa dos recursos locais, sem comprometer o esgotamento da natureza, pois nestes locais ainda havia a possibilidade de tais sociedades não se engajarem na ilusão do crescimento mimético (LAYRARGUES, 1997).

Segundo Martins (2010), a expressão Desenvolvimento Sustentável foi criada a partir do conceito ecodesenvolvimento e em 1987, durante a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*), foi apresentada no Relatório Brundtland, também conhecido como “Nosso Futuro

¹⁰ Considerada uma das primeiras formas de avaliação da sustentabilidade dos materiais, a energia incorporada é a energia necessária para a produção de um produto, podendo ser englobadas as etapas desde a extração da matéria-prima até a distribuição do produto no mercado (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007).

Comum”, a primeira definição mundialmente aceita do termo “Desenvolvimento Sustentável”: “é o desenvolvimento que atenda as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades¹¹” (BRUNDTLAND, 1987).

Com o passar dos anos a noção de Sustentabilidade consolidou-se e passou a ser aplicada a quase todas as atividades humanas, por ser suscetível de várias interpretações e por se tratar de um conceito amplo e complexo.

No âmbito da construção civil, apesar de os movimentos arquitetônicos evoluírem com o passar dos anos, acompanhando os modelos de desenvolvimento e de paradigmas presentes em cada época, o setor demorou a começar a discutir e enfrentar os problemas relativos à sustentabilidade. Segundo Agopyan e John (2011), embora a construção civil seja responsável por grandes impactos ambientais, esta não foi colocada como uma indústria com problemas de sustentabilidade até meados da década de 1990.

O movimento ambientalista, os órgãos governamentais encarregados do controle da poluição e a sociedade, estavam mais preocupados com a poluição química, radioativa e aérea concentrada, proveniente das indústrias, sem perceber que a Construção Civil depende de grande massa de materiais cujo processo produtivo envolve reações químicas e geram poluentes em geral, incluindo gases de efeito estufa. Os resíduos da construção, apesar de estarem presentes em todas as cidades e serem em quantidade equivalente a do lixo urbano, eram, em termos práticos, ignorados tanto por órgãos governamentais quanto por engenheiros e ambientalistas. Por cerca de 30 anos a questão do meio ambiente, na construção, se confundiu com a da eficiência energética e da energia incorporada em materiais, com interesse limitado ao norte da Europa (AGOPYAN; JOHN, 2011, p. 29).

Estudos sistemáticos dos impactos associados à atividade de construção iniciaram na década de 1990, surpreendendo pesquisadores e líderes da indústria (AGOPYAN; JOHN, 2011). Apesar da conscientização tardia, o setor da construção civil vem tomando ações decisivas para se tornar menos agressivo à natureza.

Tomadas predominantemente em países desenvolvidos, as primeiras medidas consistentes são relativas a resultados mensuráveis com reciclagem e redução de perdas

¹¹ "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

e de consumo de energia. Ainda no âmbito internacional, o Congresso Mundial da Construção Civil, realizado em 1998 pelo *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB) na Suécia, lançou a *Agenda 21 on sustainable construction*, que se tornou um documento de caráter universal, servindo como alerta, para todos os setores da indústria da construção civil, dos problemas com que interagem e da urgência em programar ações eficazes para combatê-los. Posteriormente, foi elaborada a versão voltada para os países em desenvolvimento, incorporando as suas peculiaridades (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Durante as décadas seguintes ao relatório de Brundtland (1987) e após a conscientização dos impactos causados pela construção civil, criaram-se novos critérios e condicionantes que incorporam os conceitos de sustentabilidade nos projetos. Os profissionais ligados ao Setor da Construção, principalmente os arquitetos, buscam adotar conceitos e práticas mais conscientes que integrem a Arquitetura às características dos diversos usos previstos, ao clima e condicionantes locais, produzindo edifícios de baixo consumo energético que, aliados ao aproveitamento dos recursos naturais disponíveis (como iluminação natural e água de chuva) e às técnicas de execução mais eficientes, possam contribuir para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações.

De acordo com Agopyan e John (2011), as repetidas mensagens da importância da construção civil para o desenvolvimento sustentável foi compreendida pela indústria nos países desenvolvidos e, em certo grau, na China, levando o setor a transformações radicais e abrangentes. Nesses países, novos enfoques como a qualidade do processo de produção, a qualidade do ar interno, redução e reciclagem de resíduos, bem como redução da toxicidade foram integrados a temas mais tradicionais como uso racional da água e economia de energia.

Paralelamente, surgiram novos conceitos e ferramentas a fim de melhorar o desempenho do ambiente construído e atender ao novo paradigma da Sustentabilidade que surgiu. Tanto no âmbito acadêmico como no mercado, começaram a proliferar pesquisas para o desenvolvimento da qualidade ambiental e, posteriormente, da sustentabilidade das edificações. Observa-se, neste período, o desenvolvimento de instrumentos capazes de apoiar e avaliar o projeto e de medir e avaliar a qualidade final

das edificações, bem como atestar este desempenho por meio de selos verdes, certificações ambientais entre outros (ZAMBRANO, 2008).

Agopyan e John (2011) destacam também, nesse período, o surgimento de:

- materiais de construção mais eficientes, com novas funções agregadas, como o vidro e o concreto autolimpantes;
- novos conceitos, como análise do ciclo de vida, declaração ambiental do produto, projeto integrado, projeto para a desconstrução e desmaterialização e
- ferramentas como a Modelagem de Informação da Construção (*buiding information modelling* – BIM) e outras ferramentas de simulação do desempenho de edificações, particularmente nas áreas de energia, conforto térmico e iluminação.

A transformação da construção nos países em desenvolvimento é menos visível. No Brasil, os conceitos de sustentabilidade na construção civil chegaram com algum atraso. Apesar disso, significativas mudanças têm ocorrido nas duas últimas décadas, como a elaboração da Resolução Conama 307, que trata dos resíduos; a criação dos selos voluntários de eficiência energética de edifícios, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica- Procel; e o desenvolvimento do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), que promove a qualidade da construção. Paralelamente acompanhou-se o lançamento no mercado de sistemas de certificação ambiental de edifícios, os selos *green buidings* - viáveis apenas em alguns poucos edifícios corporativos de padrão internacional, e de produtos para a economia de água (exemplo: torneiras automáticas e bacias sanitárias de baixo consumo) e de energia (lâmpadas fluorescentes compactas e aquecedores solares) (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Do exposto conclui-se que a divulgação das políticas de desenvolvimento sustentável já criou um novo vocabulário – responsabilidade social empresarial, análise do ciclo de vida, mudanças climáticas – e é responsável por alterações nas práticas de vários setores e atividades, inclusive na construção brasileira.

A forma como as edificações são projetadas, construídas, operadas, mantidas e dispostas no final da vida útil influencia diretamente no consumo de recursos naturais e no conforto e saúde da população que nelas interage. Por isso, uma das etapas para se promover a sustentabilidade de construções consiste na necessidade de enxergar as edificações por meio do conceito de seu ciclo de vida, cujo ponto de partida antecede a

elaboração dos projetos, a fase de uso requer manutenção periódica e o término se estende além do término das obras, incluindo a destinação final dos resíduos de demolição ou desconstrução.

Considerando que grande parte dos impactos ambientais causados pela construção civil é resultado do uso indiscriminado de materiais de construção e de seus processos de fabricação, um edifício sustentável deve adotar soluções que vão além da redução do consumo de água e de energia no uso cotidiano. As edificações devem ser projetadas para minimizarem o uso dos recursos naturais e, ao fim de sua vida útil, fornecerem recursos para outra arquitetura.

Segundo John e Prado (2010), práticas de construção sustentável devem ter como objetivo desmaterializar – reduzir o consumo de materiais por metro quadrado útil de construção –, seja melhorando projetos, selecionando métodos construtivos que garantam o desempenho adequado com a utilização de menor quantidade de materiais, seja reduzindo perdas e evitando a necessidade de reposição de produtos de baixa qualidade.

Os edifícios também devem usar de tecnologias construtivas acessíveis que suportem alterações posteriores por meio de projetos flexíveis (baixa hierarquia espacial, maior grau de interatividade, menor engessamento funcional, diversidade tipológica, adaptabilidade e ampliabilidade), permitindo eventuais alterações de usos e finalidades (CREA MG, 2009).

Em virtude do que foi mencionado, entende-se que as mudanças em direção a um futuro mais sustentável das construções implicam a revisão dos procedimentos que resultam no elevado consumo de materiais e geração de resíduos.

2.1.1. Resolução Conama 307

A geração de RCD's no Brasil tem sido bastante discutida ultimamente e está regulamentada pela resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente.) n° 307, e sua alteração pela resolução Conama n° 348 (BRASIL, 2002, 2004).

Durante muitos anos, no Brasil, aceitou-se a não responsabilização dos geradores de RCD's e a multiplicação das deposições e bota-foras irregulares. Enquanto o lixo doméstico e os de estabelecimentos de saúde eram coletados, os resíduos da construção civil, talvez por serem menos incômodos e por não serem, em geral,

putrescíveis, permaneciam depositados irregularmente nos centros urbanos (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Em 2002, esse cenário começou a mudar com a publicação da Resolução n. 307 do Conama (BRASIL, 2002), que estabeleceu referências importantes para a gestão de resíduos, com o objetivo de incentivar a reciclagem e a responsabilidade compartilhada entre todos os integrantes da cadeia produtiva, incluindo os fabricantes de materiais, geradores pequenos e grandes e o poder público municipal.

A Resolução impõe aos grandes geradores, como os construtores, a obrigatoriedade da redução, reutilização e reciclagem, quando, prioritariamente, a não geração dos resíduos for inviável. Os grandes geradores devem estabelecer um plano de gestão de resíduos de construção para cada empreendimento. O plano deve incluir a segregação dos resíduos em diferentes classes, incluindo, dentre elas, a dos resíduos perigosos.

Diante do fato que de 70 a 80% dos resíduos provêm de pequenas obras, foi necessário definir que os municípios e o Distrito Federal também contribuíssem, desenvolvendo e implementando Planos Integrados de Gerenciamento, que possibilitem a expressão das responsabilidades dos geradores. Aos municípios cabe a definição da política local de gestão, assumindo a solução para o problema dos pequenos volumes, quase sempre mal dispostos, e disciplinando a ação dos agentes envolvidos com os grandes volumes de resíduos. Além disso, devem definir e licenciar áreas para o manejo dos resíduos em conformidade com a Resolução Conama 307 (BRASIL, 2002), cadastrar e formalizar a presença dos transportadores desses resíduos e exigir responsabilidades dos geradores, inclusive no tocante ao desenvolvimento dos planos específicos previstos na Resolução (PINTO, 2004).

Segundo Agopyan e John (2011), a estruturação de um sistema municipal de gestão integrada dos resíduos de construção, tal como proposto na resolução, é adequada à realidade de municípios médios e grandes, onde os volumes são importantes e as distâncias são maiores. Para a maioria dos municípios brasileiros, que não dispõem sequer de aterro sanitário, esse sistema não é uma prioridade.

Apesar da elaboração da resolução, poucos municípios brasileiros cumpriram seu dever de criar uma infraestrutura adequada para receber estes resíduos (JOHN; PRADO 2010). Segundo Agopyan e John (2011), até o momento, quase todas as

prefeituras falharam em criar condições para que essa resolução tenha efeito. Até mesmo cidades como São Paulo não conseguiram consolidar seus sistemas.

2.2. Extração de recursos, resíduos de demolição e reutilização de materiais

Atualmente já se sabe que os impactos negativos da construção civil ocorrem em toda a sua cadeia produtiva, desde a concepção dos edifícios até a sua demolição e que os materiais de construção utilizados são grandes consumidores de recursos naturais e de energia.

Durante a extração de recursos e a construção de edifícios, grandes alterações ambientais são causadas devido à destruição de biomas e à ocupação de espaços, transformando o ambiente natural no ambiente construído. Esse ambiente construído é permanentemente atualizado e mantido, de acordo com as necessidades de seus ocupantes.

Desse processo de construção e atualização do ambiente construído têm-se a demanda por extração crescente de matérias-primas e a geração de diversos tipos de resíduos, dois grandes problemas que afetam, e muito, o meio ambiente e a vida nas grandes áreas urbanas.

De acordo com Agopyan e John (2011), atualmente, são extraídas a cada ano cerca de 10 toneladas de matérias-primas naturais para cada habitante e em alguns países esse valor pode atingir 80 toneladas/hab.ano. Esse ritmo de extração não pode ser mantido indefinidamente, pois a Terra é um sistema fechado. Segundo John e Prado (2010), em algumas cidades médias já se verificam escassez de areia e de argila para a fabricação de cerâmica. Algumas matérias-primas mais raras também já começaram a escassear em regiões próximas a pontos de consumo, exigindo a exploração em depósitos menos ricos e de difícil acesso, o que gera maiores impactos com a extração e o transporte e resulta em produtos mais caros.

Além dos problemas da extração em si (consequência da grande massa de materiais manejada pela construção civil e agravada pelas perdas nos processos), o setor tornou-se um grande gerador de resíduos. Estima-se que entre $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ dos materiais

extraídos da natureza retornam como resíduos em um período de um ano (National Research Council¹², 2004 apud AGOPYAN; JOHN, 2011).

Os resíduos de construção e demolição (RCD's) são gerados em grandes quantidades pelas atividades de demolição. Os RCD's de demolição parcial ou total (demolição parcial para renovação/reforma e demolição total para a remoção da construção) representam de 30 a 50% do total de resíduos na maioria dos países desenvolvidos e emergentes (KIBERT, 2003).

Os RCD's têm elevado custo de gestão, seja para os construtores e prefeituras, seja para a sociedade como um todo. A deposição clandestina de entulho também agrava os impactos ambientais, uma vez que provoca o assoreamento de córregos e o entupimento de redes de drenagem, causando enchentes urbanas. Aterros ilegais de RCD's são locais atrativos para a destinação a baixo custo de todo tipo de resíduos, agravando o problema (JOHN; PRADO 2010).

Para Wadel (2009) o grande desafio do setor para a amenização desses problemas está no fechamento do fluxo dos materiais em todos os processos técnicos, reincorporando os materiais provenientes de edificações no fim de vida útil em outras construções, por meio do reaproveitamento de resíduos, até devolver-lhes a qualidade de recurso, ou por meio da reutilização de seus elementos componentes. A conversão de resíduos em novos recursos é uma necessidade para enfrentar o desafio da sustentabilidade. Para isso podem ser usados materiais renováveis, que serão gerenciados por meio da biosfera, ou materiais não renováveis, que devem ser regenerados no ciclo técnico. Em qualquer caso, a chave é que os materiais já utilizados se tornarão recursos novamente por meio de uma gestão, que é capaz de fechar o ciclo de materiais.

O setor da construção é potencialmente importante para a incorporação de resíduos em seus produtos devido à variedade de materiais que são utilizados, à magnitude dos volumes processados, e ao fato que, uma vez incorporado em materiais e

¹² NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Materials count: the case for material flows analysis.** Washington D.C.: National Academies Press, 2004.

edificações, os resíduos são imobilizados por longo período (BUHÉ et al.¹³, 1997 apud JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007).

Os RCD's podem ser aproveitados como matéria-prima para a produção de novos materiais ou reutilizados de outra forma. A reutilização de materiais proporciona benefícios ambientais ao reduzir: o consumo de recursos virgens; os impactos decorrentes da extração destes recursos e a quantidade de resíduos dispostos no meio ambiente (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007).

A gestão do fim de vida dos materiais e componentes utilizados na construção necessita ser avaliada em nível da sua recuperação efetiva e destinação final, pois os RCD's podem ter destinos diferentes como: reuso, reciclagem, reaproveitamento¹⁴, compostagem, incineração e aterro, dependendo do seu estado no fim da vida útil da edificação e de sua composição básica.

O tipo de destinação interfere no cálculo dos impactos causados ao longo da vida útil de uma edificação. Como a compostagem é um método de reciclagem de materiais orgânicos e esses geralmente não são empregados nos materiais de construção, a reciclagem, o reaproveitamento e principalmente o reuso dos materiais empregados são as formas de destino dos materiais que mais contribuem para a redução dos impactos causados ao longo da vida útil da edificação, como apresentam as pesquisas de Thormark (2001a); Amoêda (2007, 2009) e Saghaf e Teshnizi (2011).

A reciclagem dos RCD's pode reduzir a energia e os recursos naturais necessários para a fabricação de um novo produto, além de contribuir para a diminuição de áreas para aterro sanitário. Este é o caso dos metais reciclados e dos cimentos contendo cinzas volantes e escórias de alto-forno. No entanto, em outros casos, o uso de resíduos como matéria-prima pode implicar maiores impactos ambientais. Além disso,

¹³ BUHÉ et al. Integration of the recycling processes to the life cycle analysis of construction products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 20, p. 227-243, 1997.

¹⁴ Neste trabalho, o termo **reutilização** é usado como um termo genérico para as diferentes formas de emprego dos materiais já utilizados; o termo **reuso** é utilizado quando o material está em bom estado de conservação e pode ser utilizado novamente sem que seja necessária uma atividade sobre esse, ou seja, pode ser reutilizado com o mesmo propósito inicial, da maneira que foi retirado; o termo **reciclagem** é utilizado quando o material serve de matéria-prima na manufatura de novos materiais, o termo **reaproveitamento** é empregado quando a utilização do material é viável, mas necessita de alterações, tais como adição ou retirada de componente, alterações nas dimensões, etc.

têm sido observados frequentemente, no mercado brasileiro, produtos reciclados que não apresentam durabilidade e desempenho adequados (JOHN; PRADO 2010).

A reciclagem chamada *down-cycling* ocorre quando o material não pode ser reutilizado mantendo suas qualidades, ou seja, as matérias-primas são utilizadas em um produto de valor inferior. Por exemplo, o agregado de concreto geralmente é reutilizado como base para estrada ou como agregado para novo concreto e, nesse caso, não pode ser usado para fazer concreto de alta qualidade. Segundo Durmisevic (2006), este cenário é menos benéfico para o ambiente, devido à degradação dos materiais e perda de energia incorporada. O aço, por outro lado, é um material que possui uma capacidade de reciclagem que pode recuperar a qualidade original do material.

Agopyan e John (2011) dão dois exemplos de utilização de produtos reciclados que podem ser mal sucedidas: 1) cimentos que contêm adições podem não apresentar bom desempenho em algumas aplicações; implicam maior velocidade de carbonatação; podem ser mais sensíveis a alguns ataques químicos e, se houver necessidade de desmoldagem rápida, particularmente em clima frio, esse material pode não ser a melhor opção; 2) concretos produzidos com elevados teores de agregados graúdos produzidos pela reciclagem de resíduos de construção demandam, pelo menos, 10 a 25% de cimento a mais (ANGULO et al.¹⁵, 2010 apud AGOPYAN; JOHN, 2011). Nesse caso, como os agregados estão disponíveis a curtas e médias distâncias, cerca de 90% dos impactos ambientais do concreto estão associados à produção de cimentos e aditivos. Assim, esse tipo de reciclagem, na prática, aumenta o impacto ambiental.

Portanto, avaliar o valor relativo da utilização de materiais reciclados contra a utilização de recursos virgens não é uma questão relativamente simples. Segundo Saghaf e Teshnizi (2011), uma escola de pensamento referida como “escola ecológica¹⁶”, sustenta que manter os materiais em uso produtivo, como em um sistema ecológico, é de primordial importância, e que a energia e outros recursos necessários para alimentar o sistema de reciclagem é uma questão secundária. Outra escola de

¹⁵ ANGULO, S. C. et al. On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete. **Materials and structures/ Materiaux et constructions**, v. 43, p. 519-528, 2010.

¹⁶ *Ecological school*.

pensamento, a “escola Análise do Ciclo de Vida (LCA) ¹⁷”, sugere que se a energia e as emissões são maiores para reciclagem do que para o uso de materiais virgens, então os materiais virgens devem ser usados. Essa escola acredita que a reciclagem é um meio e não um fim, e que o foco excessivo na reciclagem implicitamente dá mais peso às questões de resíduos sólidos e de esgotamento de recursos do que às questões relativas a outros impactos decorrentes, como o aquecimento global, por exemplo.

Deste modo, após o fim da vida útil de uma edificação, a reciclagem e, em alguns casos, o reaproveitamento dos materiais, exigem certo reprocessamento que deve ser considerado para uma análise de viabilidade da reutilização desse material. Deve ser analisado o impacto ambiental da eventual necessidade de adição de novos materiais ou componentes e da incorporação de energia para a manutenção ou reparo do material a ser reutilizado. Esse impacto deve ser menor do que o gerado pela utilização de novos materiais. O desempenho e a necessidade de manutenção dos produtos gerados a partir dessa reciclagem ou reaproveitamento também devem ser avaliados.

Por outro lado, o reuso de materiais de construção não demanda reprocessamento, tornando-se uma das soluções que gera menores impactos. O principal problema desse método de reutilização reside no fato de que geralmente os materiais de construção utilizados não têm potencial para a recuperação e reuso.

Kibert e Chini (2000) estabelecem uma hierarquia de prioridades na gestão de RCD's, representado no esquema mostrado na figura 2.1.

Nessa hierarquia, apenas a redução no uso de materiais está acima do reuso. A redução situa-se no topo da hierarquia de processamento de resíduos de materiais porque produz o efeito mais benéfico para os sistemas naturais, evitando impactos iniciais de extração e processamento. O reuso está um pouco abaixo na hierarquia e tem como etapas a desconstrução e o reuso do componente/material. A solução de gestão menos benéfica na hierarquia, consiste na deposição dos RCD's em aterros.

¹⁷ *Life Cycle Assessment (LCA) school.*

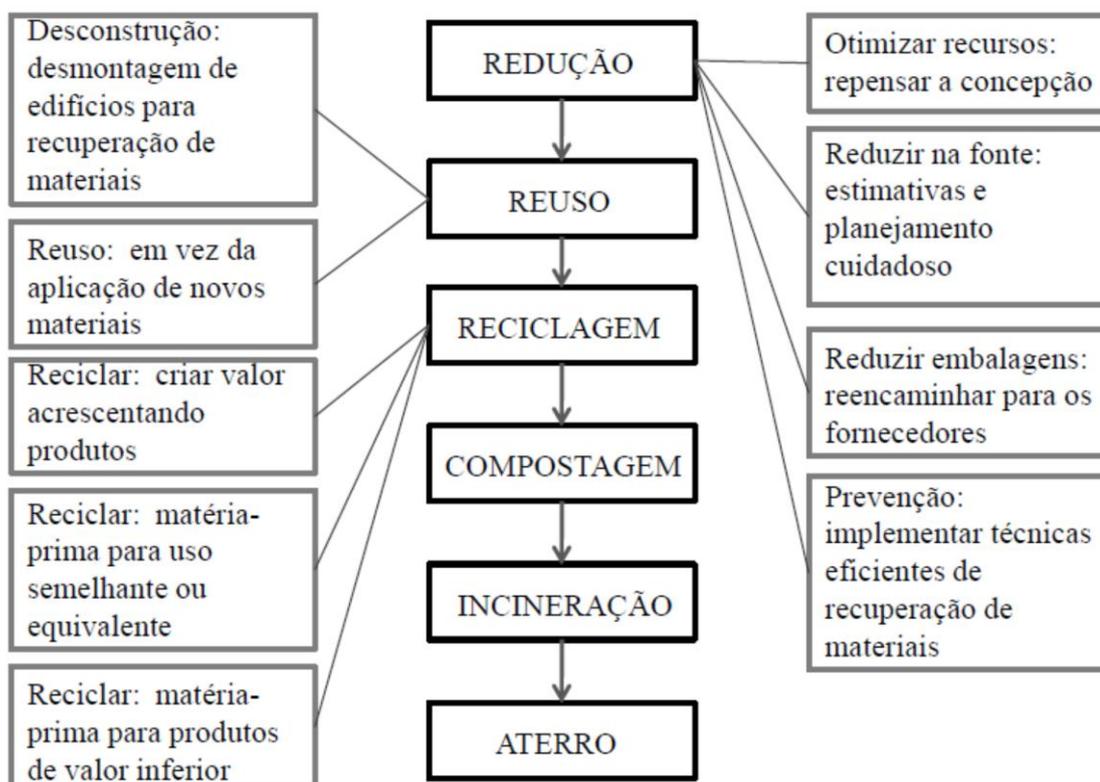


Figura 2.1: Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e operações de construção.
 Fonte: Traduzido de KIBERT; CHINI, 2000.

2.3. Demolição

Segundo Durmisevic (2006), a maioria dos edifícios é concebida como estruturas fixas e permanentes, não sendo previstas transformações futuras. Por essa razão, a maioria das edificações tem de ser demolidas, pelo menos em parte, quando se pretende fazer alterações, adaptações, atualizações e substituições.

Atualmente, a maioria dos materiais resultantes de uma demolição não é reutilizada, embora já existam empresas capazes de transformar o entulho em novos produtos da construção civil. Com isso a maior parte da energia embutida total e dos recursos naturais empregados nas edificações é perdida.

Assim, o fluxo de materiais torna-se unidirecional, pois tem origem na extração do material e acaba em aterros, resultando em grande produção de resíduos e consumo de material. Independentemente da natureza da mudança, as práticas mostram que as transformações nas edificações sempre envolvem demolição e eliminação de resíduos. Na maioria dos países isso resulta em fluxos de resíduos significativos. Nos EUA, por

exemplo, do fluxo total de RCD's, 92% correspondem aos resíduos das atividades de demolição e apenas 8% são resíduos das atividades de construção, relativas a edifícios novos ou à renovação de estruturas existentes (KIBERT, 2002).

Segundo Durmisevic (2006), estudos recentes mostram que as maiores quantidades de resíduos são minerais que se originam das estruturas e, devido à contaminação, grande parte do material que é reciclado é de baixa qualidade. Além disso, esses resíduos não são concebidos para serem reciclados, porque eles são frequentemente compostos por materiais perigosos ou materiais que não podem ser separados. Frequentemente este é o problema da alvenaria.

O impacto das demolições sobre o meio ambiente vai além dos volumes de resíduos que vão para aterros. Também devem ser considerados o ruído e a poeira gerados nas atividades de demolição, bem como a energia e os outros impactos relacionados ao emprego de novos materiais e à atividade de construção da nova edificação.

Por isso é evidente que as práticas de construções tradicionais que não permitem adaptações têm como consequência o consumo ilimitado de materiais cada vez menos disponíveis e de recursos de energia, bem como a lotação rápida dos aterros.

De acordo com Durmisevic (2006), as práticas de construções tradicionais estão focadas predominantemente em valores de curto prazo, como custo, qualidade e tempo. Esses valores atualmente vêm sendo influenciados pelo novo paradigma da sustentabilidade, que também considera as emissões, os recursos e a biodiversidade, como mostrado na figura 2.2.

Contrariamente às práticas tradicionais, as práticas de sustentabilidade relativas às construções tratam esses valores como subfatores que são parte de um sistema global de sustentabilidade que tem como fatores principais os sistemas ambiental, social e econômico, como apresentado na figura 2.3.

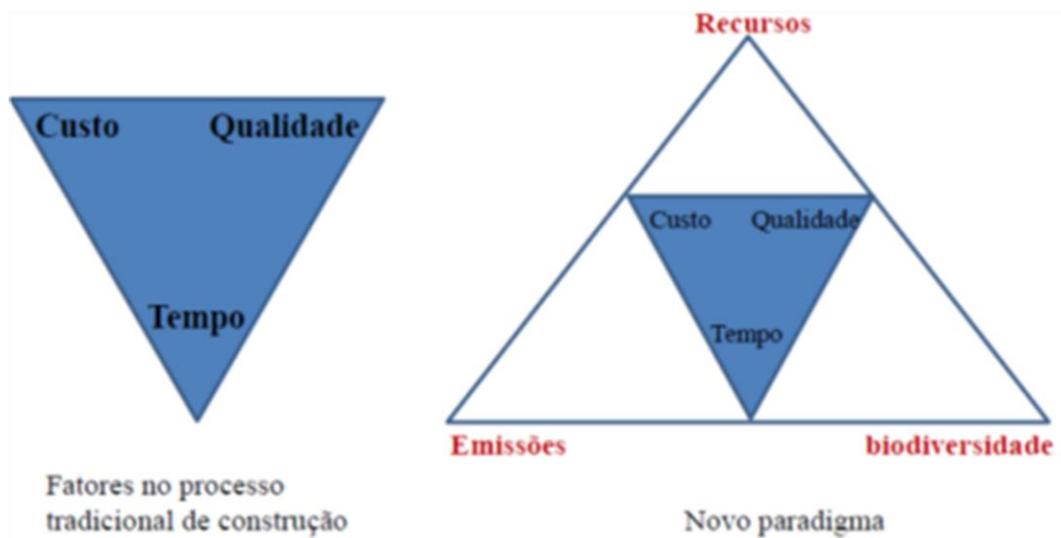


Figura 2.2: Progressão de valores na prática da construção civil.
 Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2014b.

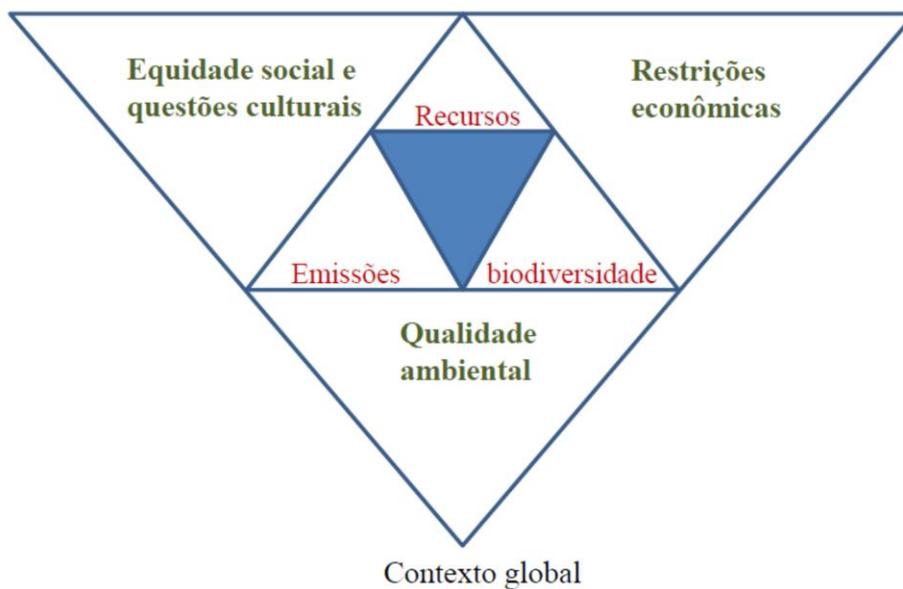


Figura 2.3: Prática da construção civil influenciada por um sistema global de sustentabilidade.
 Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2014b.

3. DESCONSTRUÇÃO

3.1. Projeto para a desmontagem de produtos

A recuperação de materiais vem se tornando uma ação essencial a fim de cumprir as exigências do mercado e as políticas ambientais, tais como a implementação da responsabilidade estendida do produtor (*Extended Producer Responsibility –EPR*) para pequenos produtos eletrônicos e produtos automotivos (AMOÊDA, 2009).

Em um contexto de minimização de resíduos, os fluxos de saída de sistemas de produção se tornaram uma nova fonte de recursos. Os processos de reciclagem e as tecnologias estão evoluindo para transformar os sistemas de produção em processos ambiental e economicamente viáveis. Na engenharia de produção, uma área chamada “Logística Reversa” é responsável por gerenciar e operacionalizar o retorno de bens e materiais, após sua venda e consumo, às suas origens, agregando valor ao que seriam resíduos. A logística reversa trata um material sem condições de ser reutilizado para que retorne ao seu ciclo produtivo ou para outra indústria como insumo, evitando nova busca por recursos na natureza e permitindo um descarte ambiental correto.

Segundo Amoêda (2009), a EPR levantou uma nova perspectiva sobre a gestão no fim de vida de produtos com vista a fechar o ciclo dos materiais, desenvolvendo novas abordagens para projeto de produtos e processos de fabricação. Ferramentas para análise e programação da montagem/desmontagem foram desenvolvidas a fim de maximizar a qualidade de recuperação dos materiais e a eficiência na desmontagem de produtos e componentes, especialmente com vistas à economia de tempo e de trabalho. Na indústria de transformação, especialmente em indústrias de eletrônicos e automotivos, ferramentas qualitativas e quantitativas foram desenvolvidas para auxiliar o projeto e o desenvolvimento de produtos e a sua futura desmontagem, gerando ótimas sequências de desmontagem.

O projeto para a desconstrução (PpD) de edificações é um novo campo de pesquisa com raízes em vários processos industriais de concepção de produtos, como automóveis, computadores, aspiradores de pó e vários outros tipos de produtos (THORMARK, 2001a).

Apesar de o conceito de PpD já ter se consolidado em prática na montagem/desmontagem de linhas na indústria de transformação, as características

únicas dos edifícios como produtos levantaram problemas específicos dentro do contexto de minimização de resíduos e de recuperação de materiais.

Diferentemente de outras unidades de produção e ramos industriais, a construção civil possui características singulares que podem dificultar a aplicabilidade do PpD. Notadamente destacam-se as seguintes características específicas dos edifícios quando comparado com outros produtos (AMOÊDA, 2009; KIBERT, 2003; OECD, 2003):

- tamanho e complexidade do produto;
- são produtos de alto custo;
- o nível de precisão é diferente, dependendo do tipo de construção;
- as construções são executadas num setor industrial que cria produtos únicos, ou seja, os edifícios são heterogêneos;
- a indústria da construção é nômade;
- as edificações são construídas num local por meio do trabalho humano e máquina;
- não são produtos feitos em fábrica, mas incorporam componentes produzidos em fábrica;
- possuem uma extensa cadeia de suprimentos;
- longa duração dos produtos de construção, quando comparado com outros tipos de produtos atuais;
- grande número de intervenientes no processo de projeto e construção, tais como prestadores de serviços e subcontratados para tarefas específicas e entregas;
- a qualidade dos produtos não é amplamente verificada e testada;
- geralmente não são identificados com um rótulo dos produtores.

Estas características que diferenciam o produto “construção” de outros produtos e bens duráveis evidenciam que desafios devem ser enfrentados pela indústria da construção para a incorporação do PpD e para a desconstrução de edificações. No entanto, os princípios e práticas da concepção para a desconstrução nas indústrias de produção de automóveis e produtos eletrônicos, bem como a sua aplicação, forneceram linhas de orientação para o fechamento do ciclo dos materiais na indústria da construção (AMOÊDA, 2009).

Edifícios e produtos não podem ser comparados quando se trata de escala, complexidade de requisitos e estruturas. Entretanto, o que eles têm em comum é o fato de que a composição técnica de ambos seguem princípios semelhantes. Em outras palavras, as configurações de suas partes são resultado de uma análise cuidadosa e da integração da tecnologia, funcionalidade e integração física. A configuração das estruturas de edifícios, como as estruturas de aviões ou de câmeras fotográficas, é resultado da integração do número de peças que têm funcionalidades diferentes. Com relação à desmontagem, a atribuição de funções de cada material e o arranjo de materiais em componentes representa o desempenho dos componentes da construção da mesma forma que representa o desempenho dos componentes de carros ou computadores. Por isso, o modo como os produtos industriais, como os carros, incorporam questões de *design* ambiental e substituem peças individuais (mostrado na figura 3.1) pode ser utilizado no contexto de construções, visando à concepção de edifícios cujos componentes podem ser substituídos e reutilizados (DURMISEVIC, 2006).



Figura 3.1: Peças substituíveis da estrutura externa (à esquerda) e interna (à direita) de um carro.
 Fonte: DURMISEVIC, 2014a.

3.2. Desconstrução de edificações

Os fluxos de materiais na indústria da construção tradicional têm uma direção dominante linear, representado no esquema mostrado na figura 3.2. O sistema linear de uma construção começa na extração de matérias-primas para o processamento de materiais, seguindo para a montagem/construção, a fase de uso e, finalmente, a demolição. A deposição dos resíduos em aterros é o cenário de fim de vida de tais sistemas, resultado do processo de demolição.

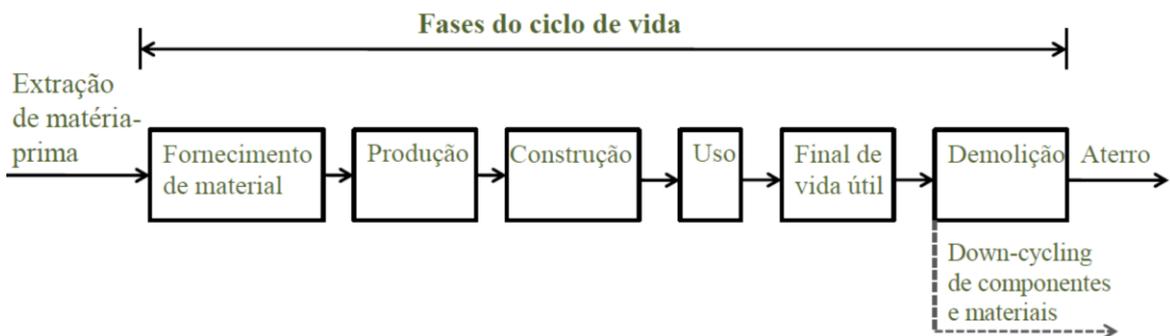


Figura 3.2: Modelo linear dominante do ciclo de vida dos materiais e componentes de construções.

Fonte: Traduzido de DURMISEVIC, 2014a.

Para que uma mudança no fluxo de material linear convencional na indústria de construção ocorra é necessário promover outros cenários no fim de vida útil da edificação que substituam o depósito de materiais de construção em aterros e a incineração. Uma série de exemplos de outras indústrias indica que se o ato de demolição é substituído pela desmontagem, os fluxos convencionais de materiais e componentes podem ser desviados para o reuso, reaproveitamento ou reciclagem. Esse redirecionamento no fluxo consiste no fechamento do ciclo dos materiais, propiciando uma transformação do que seria resíduo durante as diferentes fases do ciclo de vida do produto, conforme o esquema mostrado na figura 3.3.

A técnica de desconstrução pode ser definida como um processo pelo qual um edifício é seletivamente desmontado com a intenção de reutilização de alguns (ou todos) materiais e componentes das suas partes constituintes (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

O conceito de desconstrução surgiu em virtude do rápido crescimento da demolição de edifícios e da evolução das preocupações ambientais da população

(COUTO; COUTO; TEIXEIRA, 2006), tornando-se uma alternativa para as atividades de demolição tradicional que produzem grandes quantidades de resíduos mistos que são, em grande parte, depositados em aterros.

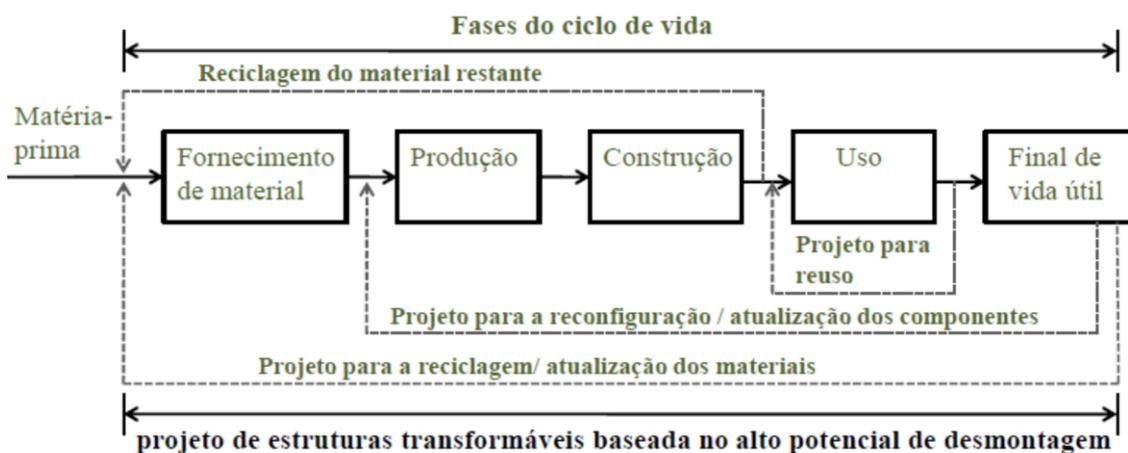


Figura 3.3: Ciclo de vida sustentável dos materiais e componentes de construção.
 Fonte: Traduzido de DURMISEVIC, 2014a.

O processo de desconstrução atual de edifícios enfrenta um problema para estabelecer sequências de desmontagem geral, principalmente porque os edifícios que estão sendo desmontados hoje não foram concebidos para a desconstrução (AMOËDA, 2009).

A concepção de uma edificação para a desconstrução ou desmontagem consiste na elaboração de um projeto cujo objetivo é possibilitar a desmontagem de suas partes, ou seja, o projeto deve facilitar a futura reutilização dos materiais e componentes empregados na construção.

A inserção do novo paradigma da sustentabilidade no campo da construção civil e as restrições ao processo de desconstrução de edificações projetadas sem PpD têm levado projetistas a conceberem novas construções que incorporam os princípios de PpD, contribuindo para a sua difusão em diversos países.

3.2.1. Histórico de edificações projetadas para a desconstrução

As transformações do ambiente construído são resultado da necessidade humana de adaptar o ambiente físico às suas atividades, utilizando, para isso, as tecnologias disponíveis. Segundo Amoêda (2009), historicamente os edifícios e os materiais têm

sido reusados, sendo comum encontrar exemplos desse reuso em edifícios novos, que foram recuperados a partir de antigas estruturas de demolição, especialmente alvenaria de pedra, perfis de aço e vigas de madeira. No entanto, na história da arquitetura, poucos prédios surgem como exemplos de práticas antigas de desmontagem para reutilização e reciclagem de produtos.

Exemplos históricos de edifícios que foram desmontados ou concebidos para a desmontagem futura oferecem informações importantes sobre os aspectos técnicos da desmontagem. Alguns edifícios do passado que foram projetados para a transformação utilizaram tecnologia industrial, de forma que os componentes pudessem ser trocados, reusados ou reciclados.

Na década de 1960, o arquiteto Cedric Price perseguia a ideia de um conjunto flexível de componentes independentes por meio de seus desenhos conceituais para o *Fun Palace*, o *Potteries Thinkbelt* e, mais tarde, para o projeto realizado: *International Community Centre*. Seu esquema para o *Fun Palace*, mostrado na figura. 3.4, foi um trabalho inspirado em edifícios adaptáveis.

O conceito do *Fun Palace* foi baseado em um quadro grande de estrutura em que diferentes unidades e componentes poderiam ser conectados ou desconectados. A estrutura em si poderia ser constantemente alterada e adaptada às diferentes necessidades por meio do uso de paredes e telhados móveis (DURMISEVIC, 2006).

O trabalho de Cedric Price trata da aplicação de diferentes tecnologias industriais para alcançar maior eficiência e capacidade de adaptação do edifício. Seus projetos foram vistos como fonte de inspiração para uma série de grupos de vanguarda surgidos ao redor do mundo na década de 1960, como: o *Archigram*, no Reino Unido; o *Metabolists*, no Japão; o EAT (*Experiments in Art and Architecture*), nos EUA; o UFO e o *Superstudio*, ambos na Itália. A maioria desses grupos visava desafiar a visão convencional de arquitetura e realizar experiências com novos materiais e conceitos, utilizando a adaptabilidade como uma força motriz para a inovação.

Em 1977, concluía-se, em Paris, o Centro Pompidou, de Renzo Piano e Richard Rogers, um ícone na história da arquitetura que teria sido inconcebível sem o *Fun Palace*. Considerado extremamente arrojado, o edifício foi inserido em um momento de crise da arquitetura moderna. Sua estrutura visivelmente decompõe-se, contendo diferentes tipos de elementos e conexões. O edifício trata todos os componentes da

mesma forma, utilizando elementos tecnológicos como objetos estéticos, como podem ser observados nas grandes tubulações aparentes (dutos de ar condicionado e outros serviços), nas escadas rolantes externas e no sistema estrutural em aço, mostrado na figura 3.5. Declarado por seus criadores como um “*non-building*”, como uma estrutura neutra em que várias atividades podem ter lugar, o Centro Pompidou cria uma forma de arquitetura com base nos próprios acontecimentos. Trata-se de um dos principais exemplos da arquitetura *high-tech*, uma tendência dos anos 1970, e que continua a ser observada até hoje, inspirada na arquitetura industrial e nas novas tecnologias (DURMISEVIC, 2006).

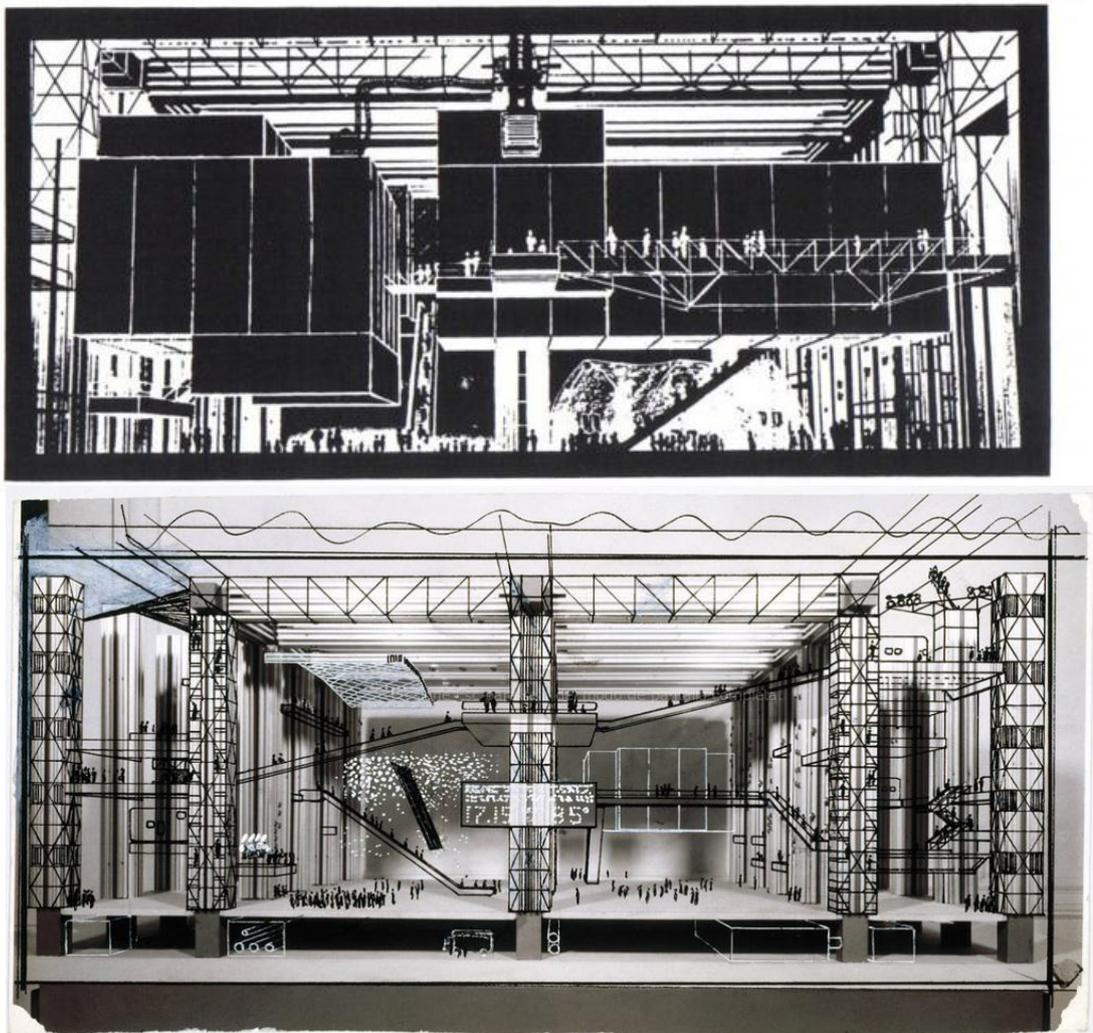


Figura 3.4: *Fun Palace* projetado por Cederik Price em 1961.
Fonte: GLYNN, 2005.

A desconstrução também pode expressar contextos culturais, como o Santuário de Ise, no Japão, que tem sido desmontado e reconstruído a cada 20 anos ao longo dos últimos 1300 anos, com a reutilização de partes do santuário desmontado na construção de novos templos pelo país (AMOÊDA, 2009). Outros exemplos de projetos de edificações históricas concebidos para a desconstrução são: os edifícios temporários para uso militar, como a *Nissen hut*; os projetos Dymaxion de Buckminster Fuller e vários dos projetos de Nicholas Grimshaw (CROWTHER, 2005).



Figura 3.5: Centro George Pompidou, Paris. Edifício projetado por Renzo Piano e Richard Rogers, em 1977. Fonte: PIANO, 2012.

Apesar do projeto para a desmontagem de edifícios ainda não ser uma prática comum, existem exemplos mais recentes de edificações projetadas para a desconstrução, como o *Office Building XX*, do arquiteto Jouke Post, construído na Holanda em 1999. O edifício *Office Building XX* foi concebido com componentes recicláveis e reutilizáveis e projetado para ser desmontado depois de 20 anos de vida útil. A solução da edificação foi baseada em um sistema de construção aberta, com vários sistemas independentes para fornecer um nível elevado de flexibilidade e de desconstrução (VAN DIJK; BOEDIANTO; KOWALCZYK, 2000).

Segundo Amoêda (2009), exemplos práticos de montagem/desmontagem também vieram das construções portáteis e temporárias e das edificações pré-fabricadas. Pavilhões de exposição, como o IBM *travelling exhibition*, mostrado nas figuras 3.6 e

3.7, são exemplos clássicos de edificações temporárias que foram projetadas com princípios de desconstrução incorporados.



Figura 3.6: IBM *travelling exhibition*, pavilhão de exposição itinerante projetado por Renzo Piano.
Fonte: PIANO, 2012.



Figura 3.7: Detalhe construtivo do IBM *travelling exhibition*.
Fonte: PIANO, 2012.

3.2.2. História recente da desconstrução

A Agenda 21 - documento resultante da conferência Rio-92, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992 - desempenhou um papel importante no crescente interesse pelos aspectos ambientais dos materiais de construção e pela reutilização desses. A partir desse documento, intensificaram as discussões em torno de assuntos relacionados aos

aspectos ambientais da construção civil, como: o uso de recursos, a produção dos materiais, o problema de espaço em aterros sanitários devido a resíduos de construção e a geração de RCD's com materiais nocivos (THORMARK, 2001a).

As interpretações da Agenda 21 mais relevantes para o setor da construção civil foram: a Agenda Habitat II, assinada na Conferência das Nações Unidas realizada em Istambul, em 1996; a *Agenda 21 on Sustainable Construction*, que contempla, entre outros pontos, medidas para redução de impactos por meio de alterações na forma como os edifícios são projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo; e a Agenda 21 para construção sustentável em países em desenvolvimento (*Agenda 21 for sustainable construction in developing countries*) (SILVA, 2003).

Questões evidentes surgiram a partir desses documentos e da conscientização dos impactos ambientais causados pelo setor: Como reciclar? Como usar materiais reciclados? Como conceber novos produtos a fim de facilitar a reciclagem no final da vida útil do edifício?

Segundo Thormark (2001a), nos últimos anos da presente discussão, uma questão também levantada foi: como incluir aspectos de reutilização na fase de concepção de novos edifícios, a fim de facilitar a reciclagem futura?

Reciclagem de materiais de construção, bem como a desconstrução são temas novos, que têm atraído interesse crescente. O *International Council for Research and Innovation in Building Construction*¹⁸ (CIB), formou, em 1999, o grupo de trabalho 39 (TG39), cujo objetivo era produzir uma análise abrangente e um relatório sobre a desconstrução de edificações em todo o mundo e os programas de reutilização de materiais que abordam os principais aspectos técnicos, econômicos e políticos necessários para fazer da desconstrução e da reutilização de materiais de construção uma opção viável em substituição à demolição e à deposição em aterros (THORMARK, 2001a). Foram realizadas reuniões anuais durante os quatro anos seguintes, gerando, cada uma delas, uma publicação contendo artigos de pesquisadores de vários países.

A primeira reunião do TG 39 foi em 19 de Maio de 2000 em Watford, Inglaterra, e resultou na primeira publicação do grupo: *CIB Publication 252: "Overview of deconstruction in Selected Countries"* (CIB, 2000). Esta publicação aborda a questão da

¹⁸ Conselho Internacional de pesquisa e inovação em construções.

desconstrução em oito países: Austrália, Alemanha, Israel, Japão, Holanda, Noruega, Reino Unido e Estados Unidos.

A segunda reunião do TG 39 teve lugar em Wellington, Nova Zelândia, em 6 de abril de 2001. Nesse encontro a publicação CIB 266: "*Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy*" (CIB, 2001) foi divulgada, contendo dez artigos que discutem as questões técnicas, econômicas e políticas relacionadas à desconstrução e reutilização de materiais em oito países: Austrália, Alemanha, Japão, Holanda, África do Sul, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos.

A terceira reunião do TG 39 foi realizada em Karlsruhe, Alemanha (DFIU - Universidade de Karlsruhe) em 9 de abril de 2002. A publicação dessa reunião intitulada "*Design for Deconstruction and Materials Reuse*" (CIB, 2002) inclui dezoito artigos que discutem o projeto para a desconstrução e assuntos relacionados, tais como reciclagem de materiais e potencial de reutilização, em onze países: Austrália, Alemanha, Itália, Japão, Holanda, Nova Zelândia, África do Sul, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos e Venezuela.

A reunião final do TG 39 aconteceu em Gainesville, Flórida em 8 de Maio de 2003. Os resultados dos Anais eletrônicos desta conferência foram divulgados na publicação CIB 287 "*Deconstruction and Materials Reuse*" (CIB 2003), composta por 36 artigos que discutem questões de desconstrução e reutilização de materiais em doze países: Alemanha, Itália, Japão, Holanda, Nova Zelândia, Polônia, Espanha, Suécia, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos e Venezuela.

Após a promoção dessas conferências e a divulgação de seus anais eletrônicos, a prática de desconstrução de edifícios e de reciclagem de materiais de construção aumentou na Europa e nos Estados Unidos. Muitos documentos têm sido produzidos e o conhecimento sobre a desconstrução está se difundindo.

A desconstrução de edifícios e reutilização de materiais é uma área de atuação que teve grande progresso nos últimos anos, tanto em termos de execução dessas atividades, quanto em termos de desenvolvimento de pesquisas. Os conceitos e práticas da construtibilidade e desconstrução não eram tradicionalmente considerados como valor incorporado para a sustentabilidade. Entretanto, a indústria da construção civil em alguns países já começou a reconhecer o valor da incorporação desses conceitos e os

edifícios ditos sustentáveis estão se tornando cada vez mais rentáveis e com perspectiva de menores impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida (PULASKI et al., 2004).

Segundo Amoêda (2009), o processo de desconstrução vem sendo mais empregado em países com altas taxas de recuperação de materiais de construção, tais como a Holanda ou Japão, embora sérios esforços estejam sendo realizados em vários países para projetar edifícios para desconstrução eventual.

De acordo com Kibert (2003), os primeiros passos no processo estão em andamento em pelo menos uma dúzia de países do mundo. Os edifícios estão sendo desmontados e não demolidos, e os materiais e componentes da construção estão sendo recuperados ou reciclados para reutilização em edifícios novos ou já existentes. Edifícios existentes, embora não concebidos para serem desmontados, estão, de fato, sendo desmontados para a recuperação de materiais. Nos EUA, por exemplo, vários empregados de uma corporação sem fins lucrativos em Portland, Oregon, trabalham em regime de tempo integral no desmonte de casas e na recuperação de materiais para a revenda no mercado *do-it-yourself*. Em vários países, esforços semelhantes estão em andamento a fim de incluir sistemas de construção que podem ser desmontados e reutilizados (KIBERT, 2003).

Em alguns países, as empresas desenvolveram a tecnologia e as técnicas para transformar restos de demolição antiga em agregado útil. O agregado, processado com resíduos de concreto e de cerâmica, pode ser utilizado como um substituto parcial de agregados em concreto novo ou para a base de estrada (KIBERT, 2003).

Segundo Couto, Couto e Teixeira (2006), em Portugal, já existem alguns estudos em curso que visam: diminuir a excessiva produção de resíduos da construção; introduzir os princípios subjacentes à construtibilidade/desconstrutibilidade e desenvolver soluções construtivas que permitam a aplicação prática da desconstrução a fim de possibilitar a construção de edifícios duráveis, adaptáveis, com materiais de menor impacto ambiental e com grande potencial de reutilização.

No Brasil, estudos sobre reciclagem e reaproveitamento de materiais de construção e demolição estão sendo desenvolvidos e publicados há algum tempo. Entretanto, temas como desconstrução e PpD ainda são pouco discutidos e pesquisados.

As atividades de desconstrução no Brasil são quase inexistentes devido à falta de normas regulamentadoras e estudos sobre o assunto (FREITAS; CARVALHO FILHO;

BRAYNER, 2009). A norma NBR 5682 (ABNT, 1977) - que tratava da contratação, execução e supervisão de demolições - foi cancelada em 03/11/2008 e ainda não possui substituta.

3.3. Princípios de PpD

A análise de edifícios que já foram desmontados ou que foram projetados para a desconstrução, considerando projetos realizados e investigações conceituais, revela um padrão de soluções comuns para a desmontagem. Segundo Crowther (2005), estas abordagens comuns servem como princípios que podem orientar o PpD. Esses princípios têm orientado arquitetos e projetistas na concepção do projeto e no desenvolvimento de técnicas de desenho para a desconstrução futura.

Os princípios de PpD para edifícios foram desenvolvidos em vários trabalhos (exemplos: THORMARK, 2001a; PULASKI et al., 2004; CROWTHER, 2005; MORGAN; STEVENSON, 2005; WEBSTER; COSTELLO, 2005; DURMISEVIC, 2006) a fim de auxiliar projetistas na incorporação dos aspectos que podem influenciar a desmontagem futura da edificação durante a fase de concepção das construções, bem como no prolongamento da vida útil da edificação. No Apêndice A apresentam-se os princípios de PpD desenvolvidos por esses autores.

3.4. Resumo dos Princípios PpD dos autores

Os princípios de PpD enumerados pelos autores estudados foram organizados e representados nos quadros de 3.1 a 3.7 para observação dos princípios que se repetem ou que são semelhantes e facilitação da análise. Para isso, os princípios foram separados por categorias em função de certas características comuns, reunindo os que tratam do mesmo assunto. Foram criadas sete categorias: 1) Seleção de materiais; 2) Características construtivas; 3) Ligação; 4) Hierarquia de montagem; 5) Desmontagem; 6) Segurança do trabalho e 7) Plano de desconstrução. Os números no interior das células correspondem à enumeração, no Apêndice A, dos princípios referentes aos trabalhos de: Thormark (2001a); Pulaski et al. (2004); Crowther (2005); Morgan e Stevenson (2005); Webster; Costello (2005) e Durmisevic (2006). Utilizou-se a seguinte legenda para a identificação dos trabalhos: C: Crowther (2005); P: Pulaski et

al. (2004); T: Thormark (2001a); D: Durmisevic (2006); M: Morgan, Stevenson (2005); W: Webster; Costello (2005).

3.4.1. Categoria 1) Seleção de Materiais

Nessa categoria foram organizados os princípios relacionados com as características preferíveis dos materiais e componentes de construção que podem facilitar a desconstrução. A categoria 1 e seus princípios estão apresentados no Quadro 3.1. O número inserido nas colunas coloridas corresponde ao item específico listado no apêndice A.

Quadro 3.1. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 1- Seleção de Materiais

Itens	PRINCÍPIOS DE PpD	Autores					
		C	P	T	D	M	W
1	SELEÇÃO DE MATERIAIS						
1.1	Usar componentes pré-fabricados e sistemas de produção em massa	23	1		17		
1.2	Preferir estratégias de reuso dos materiais					1	
1.3	Minimizar variação de materiais e componentes e equipamentos necessários. Reduzir ao mínimo as partes diferentes	2 7 22	5	4	7		3
1.4	Evitar materiais tóxicos e perigosos	3					8
1.5	Utilizar materiais reciclados, recicláveis, reutilizáveis	1	9	1 2		21	9
1.6	Reduzir o número de peças. Peças maiores e em menor quantidade são preferíveis em vez de muitas peças menores (para desmontagem com equipamentos mecânicos)			7			4
1.7	Usar componentes e materiais de tamanho adequado para manipulação. Usar componentes e materiais leves (no caso de desmontagem manual)	14 24			21	19	4
1.8	Usar componentes de pequeno tamanho que são parte de um conjunto maior a fim de aumentar a possibilidade de variação				22		
1.9	Evitar acabamentos secundários para materiais. Utilizar subconjuntos inseparáveis do mesmo material e evitar materiais compostos, salvo se permitirem reciclagem sem causar impactos negativos ao ambiente ou se permitirem reutilização em conjunto.	4 5		5	35		1 0
1.10	Usar componentes duráveis					21	8
1.11	Evitar materiais que pareçam semelhantes, mas têm propriedades diferentes						6

Os princípios dessa categoria devem, preferencialmente, ser adotados no início do projeto para auxiliar na escolha de materiais e nas estratégias que contribuirão com a desconstrução futura. Quando a edificação já está construída podem-se avaliar quais desses princípios foram atendidos e em que medida eles contribuem para a desconstrução. Ambas as avaliações devem ser realizadas para cada material ou componente, sendo impossível uma avaliação geral porque cada material contém características específicas.

3.4.2. Categoria 2) Características Construtivas

Os princípios dessa categoria relacionam-se por abordarem características relativas ao modo de construção, aos sistemas construtivos e tecnologias e ferramentas empregadas. Da mesma forma que a categoria 1, os princípios podem servir de auxílio no momento do projeto ou como parâmetro de análise para avaliar a desconstrução. A categoria 2 e seus princípios estão apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 2- Características construtivas

Itens	PRINCÍPIOS DE PpD	Autores					
		C	P	T	D	M	W
2	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS						
2.1	Projetar para a flexibilidade e adaptabilidade		10		4	2 17	
2.2	Utilizar sistema de modulação/ criar sistemas estruturais simples, regulares, padronizados. Utilizar e otimizar uma grade estrutural para materiais a fim de tornar mais eficiente o uso de suas propriedades e com isso utilizar menos materiais e padronizar tamanhos. Evitar o uso de múltiplos sistemas estruturais no mesmo edifício	10 22	1	8	15 7	24	2 3 7
2.3	Utilizar ferramentas e tecnologias de construção comuns, de preferência manuais. Reduzir complexidade.	11	8	12			
2.4	Definir sistemas de construção adequados para repetidos processos de produção				19		
2.5	Utilize elementos pré-montados na montagem				17		

3.4.3. Categoria 3) Ligações

Na categoria Ligações foram reunidos os princípios relativos às características preferíveis das ligações entre materiais e componentes da edificação. Os tipos e o número de ligações podem influenciar no tempo necessário para a desconstrução,

dificultando ou facilitando o processo. Além disso, dependendo do tipo de ligação, podem danificar materiais e componentes conectados no processo de desconstrução, podendo comprometer as possibilidades de reutilização. Por isso é importante avaliar as ligações entre os materiais que se quer reaproveitar tanto na fase de projeto quanto na de avaliação da eficiência da desconstrução. A categoria 3 e seus princípios estão apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 3- Ligações

Itens	PRINCÍPIOS DE PpD	Autores					
		C	P	T	D	M	W
3	LIGAÇÕES						
3.1	Se duas peças não podem ser reutilizadas em conjunto, tornar fácil a separação			11			
3.2	Usar conexões mecânicas em vez das químicas. Evitar adesivos a menos que sejam compatíveis com ambas as partes unidas entre si. Evitar o uso de adesivos, resinas e revestimentos que comprometam a possibilidade de reutilização e reciclagem.	8		13	29	21	5
3.3	Utilizar um número mínimo de ligações. Minimizar a variação de elementos de fixação ou conectores: simplificar e padronizar detalhes de ligações/ projetos modulares. Adotar meios de fixação simples	17 18	2	14 18	24	20	3
3.4	Atenção extra para as consequências de juntas e parafusos, pois influenciam no reuso			17			
3.5	Use articulações e fixadores de material compatível com as partes conectadas;			16			
3.6	Projetar articulações e conectores para suportar o uso repetido. Fixações duráveis, que preservam a integridade estrutural e o acabamento dos elementos de construção unidos e reduzem danos às peças	19			20 23	20	
3.7	As conexões entre conjuntos devem ser adequadas para a recuperação ou reciclagem de uma única parte				33		
3.8	Selecionar acessórios, fixadores, adesivos e selantes que permitem a rápida desmontagem e facilitem a remoção de materiais reutilizáveis. Definir sistema de fixação que permita fácil remoção.		6			20	5
3.9	Projetar elemento base como intermediário entre conjuntos, sistemas, componentes e elementos				5 6		
3.10	Elemento base/intermediário deve ser o elemento mais durável entre os elementos do conjunto				16		
3.11	Fornecer um intermediário entre elementos base que pertença a diferentes conjuntos				30		

3.4.4. Categoria 4) Hierarquia de Montagem

Nesta categoria foram reunidos os princípios relativos à ordem de montagem ou de construção, que influencia na relação entre as camadas de diferentes materiais, com funções e ciclos de vida específicos, e na acessibilidade às partes que se quer reutilizar. É uma categoria que deve ser considerada na fase de planejamento e projeto e que também deve ser avaliada quando se pretende avaliar a viabilidade de desconstrução de uma edificação. Essa categoria e seus princípios estão relacionados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 4- Hierarquia de montagem

Itens	PRINCÍPIOS DE PpD	Autores					
		C	P	T	D	M	W
4	HIERARQUIA DE MONTAGEM						
4.1	Fornecer acessibilidade aos componentes com baixo ciclo de vida				28		
4.2	Permitir acesso a todas as partes, componentes e pontos de ligação. Facilitar localização, acesso e remoção de ligações/articulações. Todos os componentes devem ser facilmente acessados e removidos para reparo ou substituição	13		15		19 20	
4.3	Defina partes fixas e modificáveis do edifício				2		
4.4	Providenciar a separação entre as maiores funções do edifício/ Definição de níveis de materiais (layers). Idealizar os edifícios em camadas, de acordo com as expectativas de vida dos materiais e elementos. Separar também os layers de isolamento, acabamento, serviços e estrutura e funcionalidade. Permitir que as áreas submetidas às intempéries sejam facilmente mantidas ou substituídas. Planos e linhas de serviço devem ser facilmente identificáveis e adaptáveis ou mantidos, conforme necessário. Sistemas abertos que se caracterizam pela separação e dissociação entre subconjuntos que têm diferentes funções e expectativas de ciclo de vida	9 12	3		9 10 11 12 13 14 27	18 22 23	11
4.5	Definir um sistema estrutural aparente, incluindo elementos e conexões visíveis						1
4.6	Facilitar a remoção de peças que contenham materiais perigosos			3			
4.7	Desenvolver uma matriz coordenada do ciclo de vida a fim de definir os pontos de desmontagem				3		
4.8	Os conjuntos devem ser montados de forma sistemática adequada para a manutenção e possibilidade de substituição. A sequência de montagem deve ser prevista considerando o tipo de material, seu desempenho e seu ciclo de vida			10	31 32		

3.4.5. Categoria 5) Desmontagem

Nesta categoria foram incluídos os princípios que tratam de como será viabilizada a desmontagem, incluindo temas como: tipo de desmontagem (paralela ou sequencial); treinamento e conscientização da equipe responsável pelo processo; espaço necessário para a desconstrução; forma de desmontagem (manual ou mecânica), entre outros. Esse último tema inclui princípios já considerados nas categorias “Seleção de Materiais” (itens 1.6 e 1.7) e “Características Construtivas” (item 2.3), que também serão avaliados nessa categoria, pois determinam, indiretamente, a forma de desmontagem. A categoria e seus princípios foram dispostos no Quadro 3.5.

Quadro 3.5. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 5- Desmontagem

Itens	PRINCÍPIOS DE PpD	Autores					
		C	P	T	D	M	W
5	DESMONTAGEM						
5.1	Permitir a montagem/ desmontagem em paralelo. Definir a construção em seções de construção que podem ser produzidas e montadas de forma independente	20			18 26		
5.2	Pensar em como a estrutura será desmontada. Prever meios de manuseio e localização de componentes. Fornecer tolerâncias realistas para permitir a manobra durante a desmontagem. Projetar para acomodar a logística da desconstrução. Facilitar acesso e remoção de resíduos. Identificar melhores meios de armazenar os elementos desmontados	15 16	7		25	15	12
5.3	Fornecer peças de reposição e local de armazenamento	26					
5.4	Garantir que instruções iniciais, treinamento para PpD e etapas de auditoria ocorram com empreiteiros e responsáveis pela obra					6	
1.6	Reduzir o número de peças. Peças maiores e em menor quantidade são preferíveis em vez de muitas peças menores (para desmontagem com equipamentos mecânicos)			7			4
1.7	Usar componentes e materiais de tamanho adequado para manipulação. Usar componentes e materiais leves (no caso de desmontagem manual)	14 24			21	19	4
2.3	Utilizar ferramentas e tecnologias de construção comuns, de preferência manuais. Reduzir complexidade.	11	8	12			

Essa categoria envolve essencialmente o planejamento da desconstrução, portanto merece considerações especiais tanto no projeto quanto na avaliação da desconstrução de fato. A categoria deve ser avaliada na fase de projeto quando for voltado para a desconstrução futura, pois pode influenciar na seleção dos materiais, no sistema de construção escolhido e até mesmo na forma da edificação, visando garantir

acesso aos equipamentos de desmontagem e espaço para as manobras necessárias. A análise da categoria também é essencial na fase de avaliação da eficiência da desconstrução, visto que pode até inviabilizar a desconstrução. Por exemplo, se depois de construída de forma mecânica e com peças pesadas, uma edificação não possui acesso às suas partes, seja por falta de planejamento inicial, expansão não prevista ou até mesmo de construções no entorno muito próximas que impedem, de certa forma, a aproximação e o funcionamento de determinadas máquinas e equipamentos necessários para a desmontagem. Esse fator se agrava à medida que o porte dos meios de desconstrução e seu impacto na vizinhança (ruído e vibrações, por exemplo) aumentam.

3.4.6. Categoria 6) Segurança do Trabalho

Na categoria Segurança do Trabalho foram reunidas todas as considerações a respeito da segurança do trabalho e dos trabalhadores durante o processo de desconstrução em um único princípio. Nessa categoria, representada no Quadro 3.6, devem ser considerados os possíveis riscos que podem influenciar na segurança da operação e as medidas de eliminação e controle desses riscos.

Quadro 3.6. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 6- Segurança do Trabalho

Itens	PRINCÍPIOS DE PpD	Autores					
		C	P	T	D	M	W
6	SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO						
6.1	Considerar a segurança do trabalho. Reduzir ou eliminar os riscos de segurança e a utilização de materiais potencialmente perigosos. Garantir a estabilidade durante a desmontagem.		4	9 19		14 25	12

Os tipos de riscos vão variar em função do tipo e do porte da edificação, sendo necessária a avaliação específica de cada caso antes de se iniciar a desconstrução. Pode-se também considerar essa categoria na fase de projeto a fim de evitar a presença de determinados riscos durante a desconstrução futura.

3.4.7. Categoria 7) Plano de Desconstrução

Na categoria “Plano de desconstrução” foram reunidos todos os princípios relativos às documentações que auxiliarão a desconstrução. Os princípios dessa categoria tratam dos seguintes temas: levantamento da situação atual da edificação, de como o projeto foi executado e de suas alterações ao longo da vida útil (projeto *as*

built); formas de identificação das peças; informações disponíveis sobre os materiais empregados; processo de desconstrução em si, com todas as considerações e recomendações sobre o procedimento e distribuição desse plano de desconstrução (Quadro 3.7).

Quadro 3.7. Princípios de PpD estabelecidos por autores- Categoria 7- Plano de Desconstrução

PRINCÍPIOS DE PpD		Autores					
		C	P	T	D	M	W
7	PLANO DE DESCONSTRUÇÃO						
7.1	Definir de estratégias para o edifício no início do projeto, conscientizar equipe e clientes. Pensar a estrutura da edificação de forma a facilitar a desmontagem.				1	4 5 24	
7.2	Fornecer identificação permanente de tipos de materiais e componentes. Identificar os melhores meios de categorizar e registrar os elementos desmontados	6 21		6		15	13
7.3	Guardar todas as informações dos componentes e materiais do edifício, vida útil, ciclo de vida de serviço, potencial de reaproveitamento, rotulagem. Listar elementos e especificações	27			8 34	8 9 10 11 13 25	13
7.4	Identificar os pontos de desmontagem. Indicar os procedimentos de desmontagem; desenvolver plano de desconstrução com instruções para separar componentes e materiais; especificar estratégias adotadas; demonstrar a técnica ideal para a remoção de elementos específicos, caso necessário; descrever equipamentos necessários para desmontar o edifício e os processos sequenciais envolvidos	25 27				3 8 12 13 14 25	12 13
7.5	Adicionar as alterações aos projetos e manter projeto <i>as built</i>	27				7 13 25	14
7.6	Distribuição do Plano de Desconstrução atualizado					16	

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A DESCONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ESTRUTURADOS EM AÇO

Embora haja extensa reciclagem do aço, o seu reuso ainda é relativamente incomum (MORGAN; STEVENSON, 2005; WEBSTER; COSTELLLO, 2005; DURMISEVIC; NOORT, 2003). De acordo com Morgan e Stevenson (2005), não há projeto ou padrões de testes estruturais relacionados com a reutilização do aço até à data, embora Institutos, como o *Steel Construction Institute* na Inglaterra, ofereçam orientações sobre a avaliação de estruturas em aço existentes e adequação estrutural.

As construções em aço podem apresentar alto potencial de desconstrução. Segundo Edmonds e Gorgolewski (2006), a facilidade de aplicação da desconstrução em edificações estruturadas em aço é afetada pelos sistemas de construção e tecnologias empregados e pela disponibilidade de documentações e informações relevantes.

O Governo de países como a Holanda já propaga a reutilização e a desconstrução patrocinando inovações na área de construção civil por meio de incentivo a projetos industriais, flexíveis e desmontáveis, como geralmente são as edificações estruturadas em aço (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

4.1. Impactos ambientais causados pelo uso do aço em construções europeias

Com o objetivo de avaliar os impactos ambientais ligados ao aço usado em construções a *European Coal and Steel Commission- ECSC*¹⁹ - financiou um projeto intitulado “*LCA for Steel Construction*”²⁰, cujo relatório final foi publicado em 2002. Os produtores de aço e os institutos de construção em aço da Holanda, Suécia e Reino Unido realizaram um projeto, baseado em um estudo anterior realizado pelo *International Iron and Steel Institute (IISI)*, que aborda os processos de produção de aço de produtos semiacabados (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

O projeto inicial da ECSC consistiu na avaliação das cargas ambientais (emissões de poluente e uso dos recursos) de todos os processos relacionados com o ciclo de vida de produtos de construção em aço selecionados na Holanda, Suécia e Reino Unido. Estes processos foram sistematizados em cinco fases: Fase 1- Produção de

¹⁹ Comunidade Europeia do Carvão e do Aço.

²⁰ LCA- *Life-cycle assessment* (ACV- Avaliação do ciclo de vida) para Construção em Aço.

produtos de aço semiacabados, por exemplo, bobinas, chapas, perfis, etc; Fase 2- Produção de produtos de aço de construção acabados (o transporte da usina siderúrgica para a fábrica está incluído nesta fase); Fase 3- fase de construção: inclui montagem dentro e fora do local, fixação e montagem de produtos selecionados para aplicações específicas (o transporte para o local de construção está incluso nesta fase); Fase 4- fase de uso: inclui a vida útil do produto, manutenção funcional, reparação e substituição dos produtos dentro de uma estrutura ou edifício sujeitos a diferentes exposições ambientais e condições estéticas e Fase 5- fase final de vida: inclui demolição e atividades de desconstrução, taxas de reutilização e reciclagem da sucata, atividades de processamento e disposição final (o transporte do local de desconstrução para o tratamento de sucata e/ou local de tratamento de resíduos está incluso nesta fase).

O impacto ambiental por fase do ciclo de vida foi apresentado (figura 4.1) em quatro categorias de impactos ambientais: 1) consumo de energia primária, 2) emissão de dióxido de carbono, 3) geração de resíduos não combustíveis e 4) emissões de VOC (compostos orgânicos voláteis).

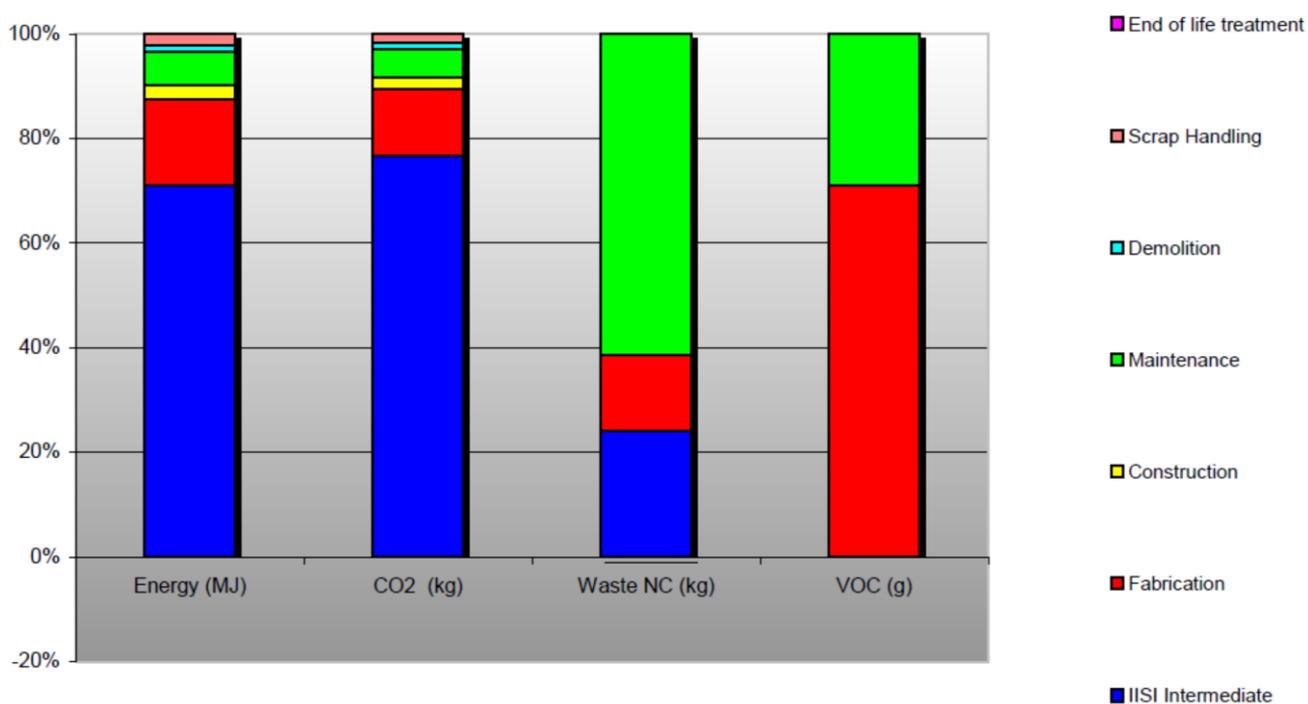


Figura 4.1: Impacto ambiental por fase do ciclo de vida do aço utilizado em construções.
 Fonte: DURMISEVIC; NOORT, 2003.

Para todos os produtos avaliados, o impacto ambiental da fase de fabricação do aço é abundante. Considerando o consumo de energia, a produção de aço normalmente é responsável por 75% de todo o impacto do ciclo de vida (entre 55 a 89%). O maior impacto ambiental negativo da produção do aço é devido às emissões de CO₂.

Por meio do estudo do cenário de fim de vida, conclui-se que 83% dos produtos de aço são reciclados, 14% dos produtos de aço são reaproveitados, e 3% são depositados em aterros.

O aumento da percentagem de reaproveitamento do aço pode diminuir o seu impacto ambiental, pois traria economia na produção de produtos semiacabados, que normalmente é responsável por 75% de todo o impacto de produtos siderúrgicos. A fim de aumentar o potencial de reuso de produtos de aço, o potencial de desconstrução de produtos e das estruturas de construção deve ser aumentado (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

4.2. O PpD e as edificações estruturadas em aço

Algumas pesquisas já associam as edificações estruturadas em aço ao PpD e à maior possibilidade de desconstrução, como: Durmisevic e Noort (2003), Gorgolewski et al. (2006), Edmonds; Gorgolewski (2006), CORUS (2006), Boake (2008) e Boulanger e Mackinnon (2008).

Segundo Durmisevic e Noort (2003), os principais aspectos do projeto de desconstrução são a independência e a permutabilidade das partes construídas na configuração do edifício. A independência de um componente pode ser possível por meio da aglomeração sistemática e disposição/ordenação das partes da construção, de modo que uma estrutura hierárquica aberta seja criada e a dependência entre as partes seja minimizada pela redução de suas relações. Tal hierarquia aberta pode ser definida por especificação de um elemento intermediário em níveis diferentes de uma determinada configuração, como o esquema mostrado na figura 4.2.

Além da independência, a permutabilidade de peças de construção é outro critério de projeto para a desconstrução. A permutabilidade de um componente pode ser possível por meio do projeto de bordas abertas do produto que irão permitir uma sequência de montagens paralelas. O uso de acessórios externos de ligação permite a independência entre os dois elementos conectados (DURMISEVIC; NOORT, 2003).

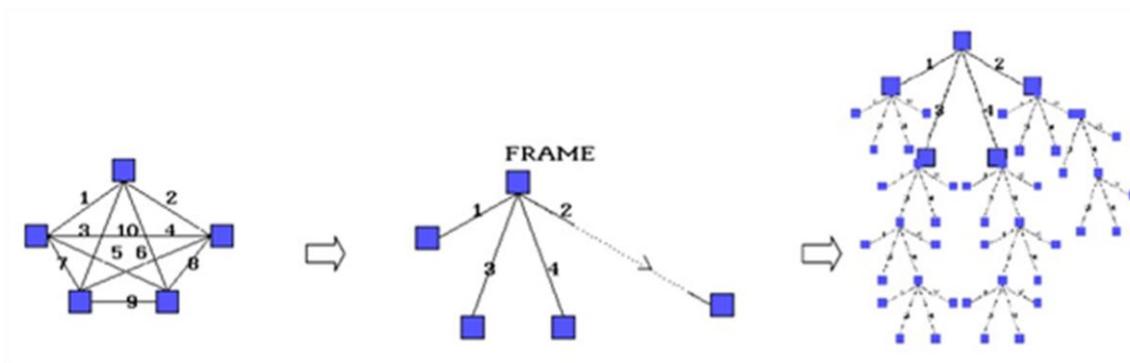


Figura 4.2: Esquema de estrutura fechada à esquerda e estrutura hierárquica aberta, à direita.
Fonte: DURMISEVIC; NOORT, 2003.

Considerando o grau de independência e de permutabilidade das partes da construção, todas as estruturas podem ser classificadas de estruturas fixas, onde o reuso não é possível, a estruturas passíveis de desconstrução. A principal característica das estruturas fixas é a máxima integração e dependência entre os componentes de construção, causadas por: (i) hierarquia de montagem fechada, que não está relacionada com o tempo esperado até os componentes se tornarem obsoletos; (ii) aplicação de montagem sequencial; (iii) concepção de juntas integrais aos componentes e (iv) utilização de ligações químicas. Por outro lado, as principais características das estruturas passíveis de desconstrução são: (i) hierarquia aberta (ii) a aplicação montagem/desmontagem em paralelo em vez de montagem sequencial, (iii) utilização de tipos de juntas de acessórios (requer uma terceira parte adicional para formar a junção entre dois componentes) e (iv) utilização de ligações mecânicas, em substituição de ligações químicas.

De acordo com Durmisevic e Noort (2003), a percentagem de reutilização de produtos de aço pode ser aumentada por um processo de concepção e detalhamento mais consciente, que deve considerar: 1) um planejamento da montagem e da desmontagem; 2) a geometria das bordas do produto; 3) uma hierarquia de montagem de produtos de acordo com o seu ciclo de vida; 4) os métodos de ligação e 5) a montagem e desmontagem em paralelo.

Gorgolewski et al. (2006) desenvolveram um projeto cujo objetivo foi compreender os fluxos de materiais na indústria da construção em aço no Canadá e divulgar esse conhecimento para fornecer ferramentas que facilitem um maior

reaproveitamento e reciclagem dos componentes de aço. O trabalho inicial consistiu na investigação dos fluxos de materiais no setor da construção em aço para entender suas oportunidades de reutilização. Foram contatadas e entrevistadas uma variedade de organizações, incluindo centros de serviço de aço, fornecedores de materiais de demolição, projetistas e fabricantes de aço. Como resultado dessa primeira etapa foi fornecido uma listagem de contatos de envolvidos no processo de reuso do aço, desde compradores a fornecedores e projetistas.

A segunda parte do projeto consistiu no desenvolvimento do site <reuse-steel.org> para informar a indústria sobre as oportunidades de reutilização do aço de forma ambientalmente responsável e facilitar a obtenção de componentes de aço para reuso. No site os usuários podem postar informações sobre venda, compra e troca de componentes de aço usados em construção. O site também contém informações para os projetistas, estudos de casos, informações sobre recursos, notícias, etc.

A terceira etapa desse projeto envolveu a elaboração de estudos de caso e de quatro artigos de informações relacionadas ao reuso do aço em edificações: 1) Projeto para adaptabilidade; 2) Projeto para desconstrução de componentes de aço; 3) Obtenção de Créditos LEED por meio da reutilização de Aço e 4) Revisão da história dos padrões estruturais do aço.

Edmonds e Gorgolewski (2006) abordam princípios fundamentais de PpD que os projetistas precisam considerar a fim de facilitar a desconstrução de componentes estruturais de aço:

- 1) uso de componentes duráveis que podem ser reusados após remoção. Segundo Edmonds e Gorgolewski (2006), muitos componentes de aço podem ser reusados sem a necessidade de reprocessamento;
- 2) uso de componentes simplificados e padronizados, pois aumentam as probabilidades de reaproveitamento;
- 3) utilização de conexões mecânicas e eliminação da necessidade de soldas, pois facilitam o reuso. Utilização de conexões que possam ser reversíveis. Fixações mecânicas reversíveis como as parafusadas podem ser removidas;
- 4) separação da estrutura dos demais elementos a fim de facilitar a adaptação e a desconstrução;
- 5) acessibilidade às conexões para manutenção e desmontagem;

- 6) utilização de poucas conexões e consolidação dos tipos e tamanhos de conectores para reduzir a necessidade de diferentes ferramentas e a mudança constante de instrumentos durante a desmontagem. As conexões devem ser modulares e permutáveis, oferecendo muitas possibilidades de reuso;
- 7) utilização de componentes estruturais modulares pré-fabricados acoplados por conexões;
- 8) utilização de componentes pré-fabricados que possam ser montados no canteiro de obras e possam ser desmontados e reusados/reciclados, onde possível. A utilização de componentes modulares pré-fabricados proporciona alto nível de controle na produção, diminui o tempo e os esforços necessários durante a construção/desconstrução, bem como aumenta o potencial de reuso;
- 9) onde possível, utilização de processo de construção a seco, que proporciona o desmonte mais rápido;
- 10) redução dos acabamentos desnecessários, pois restringem a reutilização;
- 11) marcação ou etiquetagem dos componentes para auxiliar na identificação futura das peças, aumentando as oportunidades de reuso. Rotulagem de componentes e de seus materiais constituintes. Os componentes podem ser individualmente marcados ou etiquetados durante o processo de fabricação, permitindo que no futuro possam ser referenciados e identificados;
- 12) não utilização de materiais perigosos e tóxicos como: asbesto; tratamentos químicos para madeira; materiais sintéticos usados como selantes e alguns tipos de revestimentos, pastas e adesivos;
- 13) consideração do processo de desconstrução na etapa do projeto e promoção de um plano de desconstrução para edificação;
- 14) divisão da edificação em uma série de níveis de materiais (*layers*) relacionados a diferentes expectativas dos ciclos de vidas dos componentes. A vida útil do nível de material da estrutura é usualmente maior que a vida da maioria dos demais níveis de materiais da edificação. A vida útil das estruturas metálicas em edificações deve ser considerada de 30 a 100 anos, embora uma estrutura em aço, bem projetada, possa durar um período de tempo maior;
- 15) componentes individuais devem ser capazes de serem removidos prontamente quando necessário e recuperados ou substituídos;

- 16) utilização de sistema estrutural simples com linhas de apoio claros;
- 17) integração dos serviços com cuidado, para que possam ser facilmente identificados, mantidos, atualizados e substituídos;
- 18) previsão de espaço suficiente, com capacidade para acomodar maquinário necessário para a desconstrução;
- 19) manutenção de projetos *as built* e de registros precisos de todas as mudanças ocorridas durante a vida da construção. Devem ser mantidos em um livro de registro do edifício, que contenha informações a partir do início do projeto, com todos os testes realizados nos materiais, bem como atualizações de mudanças que ocorrem durante toda a vida do edifício. Assegurar que essas informações serão repassadas para os proprietários da edificação;
- 20) estabelecimento de um plano de desconstrução para facilitar a identificação de componentes e de suas características estruturais.

Segundo CORUS (2006), as medidas para maximizar o potencial de reutilização dos edifícios de aço incluem:

- 1) usar conexões parafusadas em detrimento de juntas soldadas;
- 2) usar detalhes de conexão padrão, como tamanhos do parafuso e o espaçamento dos furos;
- 3) garantir fácil acesso às conexões;
- 4) utilizar estruturas longas que permitem flexibilidade máxima de utilização e maximizam a possibilidade de reutilização, por meio do corte de estruturas para um novo comprimento.

Como pôde ser observado, os princípios de PpD indicados para edificações em aço são semelhantes aos indicados no capítulo 3 para quaisquer edificações.

Boake (2008) apresenta as vantagens do reuso do aço estrutural e elenca uma série de edificações que já reaproveitaram o aço. Primeiramente o autor cita o Crystal Palace, projetado em 1851 por Sir Joseph Paxton em ferro forjado e componentes industrializados, como o primeiro edifício a ser propositadamente concebido para a desmontagem posterior. Após o Crystal Palace, uma série de edifícios mais recentes atingiu reconhecimento empregando aço como parte de um plano de projeto ecológico. O Centro de Vida de Estudante da Universidade de Toronto, projetado por *Dunlop Architects*, utilizou vigas de aço que foram recuperadas a partir da demolição de partes

do *Royal Ontario Museum* (ROM), incorporando os componentes no novo edifício e totalizando o reuso de aproximadamente 18 toneladas de aço. Uma construção classificada pela certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) como Gold, O *Tohu Chapiteau des Arts*, do *Cirque du Soleil*, também utilizou vigas de aço retiradas de edifícios na zona das docas de Montreal para criar uma estrutura exposta na edificação.

O edifício *Angus Technopole*, em Montreal, teve o programa de projeto em torno da completa reutilização de um edifício de armazém antigo de aço-moldado. No caso de *Angus* e de *Tohu* não só o aço foi reaproveitado, mas os acabamentos originais e as marcações foram mantidas para que os ocupantes ficassem mais conscientes do uso sustentável dado aos materiais. Estes dois projetos inovadores foram selecionados para representar o Canadá nos desafios internacionais *Green Building* em 2000 e 2005, respectivamente. O site <www.reuse-steel.org> explica ainda as vantagens deste processo, bem como fornece um recurso para localizar aço existente (BOAKE, 2008).

Boulanger e MacKinnon (2008) ressaltam, em seu trabalho, a natureza única do aço como material de construção e sua vida infinita, analisando-o em termos de recuperação, ao responder questionamentos sobre o processo de reuso do aço em edificações e apresentando três estudos de caso de desconstrução de edificações e reuso de elementos estruturais em aço em construções no Canadá. Segundo os autores, embora a principal motivação para o reuso do aço seja o custo, aproximadamente metade do custo de um aço novo, ainda há a questão da sustentabilidade ambiental e obtenção de pontos extras com certificações ambientais.

No Canadá é possível adquirir aço de "segunda-mão" em centros de serviço de aço, com construtores ou, mais provavelmente, a partir de uma edificação no fim de vida útil. Alguns centros de serviço de aço tornaram o aço "de segunda mão" um negócio que pode representar 10% do seu faturamento. Contudo, ainda não é comum que esses centros ofereçam muitas peças idênticas para uso em um projeto. A melhor opção, segundo os autores, é manter contato com equipes de demolição antes de uma construção ser demolida e certificar-se que as estruturas serão manuseadas com cuidado (BOULANGER; MACKINNON, 2008).

4.3. Potencial de reuso do aço e seleção das ligações

Sabe-se que as peças das estruturas em aço diferem-se fisicamente em relação a: dimensões, formas, peso e ligações entre as partes. Características como forma, dimensão e peso das estruturas podem influenciar na desconstrução facilitando ou dificultando o processo, devido a requisitos de equipamentos de sustentação e remoção das peças e espaços necessários para as manobras de desmontagem. Como o material de constituição das peças é basicamente o mesmo, talvez a principal característica que pode afetar o potencial de desconstrução e reuso das estruturas seja o tipo de ligação adotada. Por isso, decidiu-se abordar neste trabalho as diferenças entre os tipos de ligações entre as estruturas.

O desenvolvimento e especificação de ligações facilmente desmontáveis são fundamentais para o sucesso das atividades de desconstrução, uma vez que as ligações desempenham um papel fundamental e determinista no potencial de desconstrução de um produto (AMOÊDA, 2009).

No Apêndice B abordam-se os tipos de ligações entre estruturas em aço, inclusive sobre as tendências de desenvolvimento de ligações que otimizam a desconstrução.

5. SISTEMAS EXISTENTES DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES

O potencial de reutilização de materiais e componentes depende igualmente de fatores de mercado e custo (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007). Sua viabilidade técnica pode ser obtida em dois momentos (DORSTHORST; KOWALCZYK, 2001): (a) durante o projeto, por meio da adoção de ferramentas de PpD, quando estratégias de desconstrução da edificação podem ser estabelecidas para facilitar o processo de reuso dos elementos e componentes no futuro e (b) durante a demolição ou desconstrução, otimizando os processos a fim de melhorar e aumentar a reutilização de materiais e elementos. Esta é a solução mais comum hoje em dia, porque a maior parte dos edifícios já construídos não foi concebida para a desmontagem.

Segundo Dorsthorst e Kowalczyk (2001) existe ainda o Projeto para Reciclagem (*Design For Recycling - DfR*), que consiste na adoção de considerações, durante a etapa de projeto, sobre o que fazer com os materiais de construção após a demolição. Nesse caso deve haver separação dos materiais após a demolição e esses, separados, podem ser usados como matéria-prima para a produção de novos materiais de construção.

O desenvolvimento e a aplicação de sistemas de análise do edifício, de forma a prever o quanto efetiva será a recuperação dos elementos de construção, permite a melhoria das soluções a fim de maximizar, o quanto possível, a recuperação dos materiais e componentes.

As ferramentas de análise do potencial de reutilização dos edifícios têm sido desenvolvidas em duas vertentes: ferramentas de avaliação do potencial de reciclagem e ferramentas de avaliação do potencial de desconstrução.

5.1. Potencial de reciclagem de edificações

A reciclagem e o fechamento do ciclo dos materiais são estratégias eficientes para reduzir os impactos ambientais da indústria da construção. Há, no entanto, uma dificuldade em convencer os clientes a pagarem um pouco mais para que o projeto seja desenvolvido e executado para a desconstrução futura, pois o benefício, seja ambiental ou econômico, só é alcançado quando e se ocorrer a desconstrução no fim da vida útil da edificação. Segundo Tingley e Davison (2012), um argumento é o investimento em carbono. Como produtos com um alto carbono incorporado são susceptíveis de terem

um maior valor no futuro, devido às tarifas de carbono, impostos e políticas provavelmente vão ser postas em prática para reduzir as emissões. O reuso de materiais de construção deve ser encorajado e uma das formas de se estimular esse reuso está na quantificação dos benefícios ambientais associados ao processo e divulgação dessa informação aos projetistas e clientes.

Thormark (2001a) descreve o potencial de reciclagem de um edifício como uma forma de expressar a quantidade de energia incorporada e de recursos naturais utilizados em um produto que pode, por meio da reutilização, ser útil após a demolição.

De acordo com Thormark (2001a), tanto a possibilidade de separação dos materiais daqueles que podem prejudicar o processo de reciclagem ou reuso, quanto a quantidade de materiais a serem descartados ou reaproveitados na desconstrução precisam ser avaliados na análise do potencial de reciclagem dos materiais utilizados em edificações.

Atualmente já existem métodos para avaliar o potencial de reciclagem dos edifícios, como os desenvolvidos nos trabalhos de Thormark (2001a), Amoêda (2009) e Saghafi e Teshnizi (2011). Esses sistemas de avaliação apresentam enfoques que levam em consideração a energia incorporada dos materiais e os cálculos de aproveitamento dessa energia no futuro, caso os materiais das edificações venham a ser recuperados e reusados, reaproveitados ou reciclados. No entanto, não existe um método único, universalmente aceito, para considerar a reciclagem e a comparação do potencial de reciclagem de materiais em ferramentas de avaliação (HAMMOND; JONES²¹, 2010 apud SAGHAFI; TESHNIZI, 2011).

Thormark (2001a, 2001b) propôs um método para avaliação do potencial de reciclagem a fim de expressar o quanto de toda a energia incorporada e dos recursos naturais utilizados na construção de uma edificação ou de um elemento de construção é possível recuperar após o fim da vida útil por meio de processos de reutilização dos materiais empregados.

Saghafi e Teshnizi (2011) desenvolveram um sistema para avaliar a energia de materiais de construção poupada por meio da reciclagem, sendo esse um valor indicador

²¹ HAMMOND G.; JONES C. *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, Annex A. Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK, 2010.

de potencial de reciclagem. O sistema de avaliação leva em conta a seleção de materiais, tecnologias de construção e desconstrução e a frequência de reciclagem. Esse sistema apresenta novos enfoques do potencial de reciclagem desenvolvido por Thormark (2001a), considerando também o material descartado durante a reciclagem, a frequência de reciclagem, as tecnologias aplicadas à construção e demolição/desconstrução e o tempo de vida do material, com base no tempo de vida do edifício. A fim de fazer uma comparação precisa entre os materiais e produtos possíveis, sugere-se um novo sistema de avaliação baseado na energia incorporada e na eventual energia reutilizada.

Amoêda (2009) desenvolveu um sistema de avaliação que, por meio da aplicação dos princípios da concepção para a desconstrução e da teoria da Emergia, estima o benefício da recuperação dos materiais de construção.

Tingley e Davison (2012) propuseram uma ferramenta livre denominada Sakura, disponível no site: <http://dfd.group.shef.ac.uk/start_sakura.html> para quantificar a energia incorporada e as emissões de carbono poupadas com o reuso de estruturas após a desconstrução. O programa Sakura foi desenvolvido especificamente para projetistas explorarem os benefícios do uso de PpD nas estruturas de seus projetos para a desconstrução. No método, dados dos materiais especificados podem ser inseridos de duas maneiras: em quilograma por metro quadrado (kg/m^2) ou somente o total de massas, em quilograma.

Enquanto alguns trabalhos e estudos abordam a quantificação de emissão de CO_2 poupado e de energia incorporada com o reuso dos materiais otimizados pela desconstrução, muitos não discutem como um projeto pode ser desenvolvido para a desmontagem e reutilização futura (TINGLEY; DAVISON, 2012). Embora estudos sobre energia incorporada e desconstrução e reuso de materiais estejam bem desenvolvidos em alguns países, ainda não foram desenvolvidos trabalhos e pesquisas nacionais que discutem sistemas de avaliação do potencial de reciclagem de edifícios.

Os métodos de avaliação do potencial de reciclagem citados não serão abordados nesse trabalho, pois como o tema desconstrução ainda é novidade no Brasil, ponderou-se que seria mais útil para projetistas e arquitetos a proposição de um método de avaliação da possibilidade de desconstrução que pudesse ser utilizado também como um *checklist* de diretrizes para o PpD.

5.2. Potencial de desconstrução

O reuso de materiais, entendido como o prolongamento da vida útil na mesma função original, oferece benefícios ambientais similares ao da reciclagem, embora com menores riscos ambientais, visto que, para serem reusados, os materiais necessitam de pouco ou nenhum processamento (JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007).

O processo de desconstrução de uma edificação pode oferecer vantagens ambientais e econômicas, entretanto Kibert e Chini²² (2000 apud JOHN; OLIVEIRA; LIMA, 2007) apresentam possíveis barreiras para a adoção da desconstrução: (a) o fato de edificações e componentes existentes não terem sido projetados para serem desconstruídos; (b) falta de ferramentas adequadas para a desconstrução; (c) baixos custos de deposição de resíduos de demolição; (d) demanda de tempo, em geral, maior que a alternativa de demolição; (e) códigos construtivos que não contemplam a reutilização de componentes; (f) falta de explicitação e evidência de vantagens econômicas e ambientais. Por isso a avaliação da possibilidade de desmontagem de uma construção e separação dos seus materiais é importante, tanto na avaliação do potencial de reciclagem, quanto na avaliação e estimativa dos possíveis benefícios do processo.

Segundo Thormark (2001a), em métodos utilizados para a concepção de produtos, a avaliação da possibilidade de desconstrução baseia-se frequentemente no tempo necessário para a desmontagem, que geralmente é medido em estudos de casos dos produtos sendo desmontados. Porém essa base de avaliação utilizada para construções é limitada e a medição em estudos de casos é inviável, mesmo porque cada construção é única e específica.

Na época do trabalho de Thormark (2001a), ainda não havia nenhum método para avaliar a possibilidade de desconstrução de edifícios. Por isso a autora sugeriu um sistema simples de avaliação da facilidade de desmontagem de edificações baseado em parâmetros de desconstrução e pontuação correspondente às características da edificação.

Guy e Ohlsen (2003) desenvolveram um *software* para avaliação do potencial de desconstrução que avalia edificações de um a dois pavimentos com estrutura de madeira

²² KIBERT, C. J.; CHINI, A. R. *Overview of Deconstruction in Selected Countries*. CIB: Rotterdam, 2000.

tipo *wood-framed*. Esse sistema de avaliação foi desenvolvido na forma de um software, onde os dados são inseridos e consegue-se estimar os custos e a eficácia da desconstrução.

Durmisevic (2006) também discutiu os princípios de PpD gerais a fim de propor diretrizes para projetos de estruturas com alta Capacidade de Transformação - TC (*Transformation Capacity*), termo que indica a flexibilidade das construções ou de sistemas em termos de potencial de adaptação e desconstrução da edificação e sua eficiência ambiental. A fim de avaliar a TC, um sistema de avaliação foi desenvolvido pela autora, baseado na lógica *fuzzy* e em diferentes aspectos de PpD.

Ainda não foram desenvolvidos trabalhos e pesquisas nacionais que discutem princípios de PpD e sistemas de avaliação do potencial de desconstrução de edifícios.

Neste trabalho apresentam-se os sistemas de avaliação do potencial de desconstrução desenvolvidos por Thormark (2001a), Guy e Ohlsen (2003) e Durmisevic (2006). Ao final do capítulo citam-se outros sistemas de avaliação de ambientes arquitetônicos utilizando lógica *fuzzy* (HOEKMAN; BLOK; HERWIJNEN, 2009; BRAGA et al., 2014) e apresenta-se a sugestão de incorporação de aspectos de desconstrução nos créditos do LEED (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

5.3. Sistema de avaliação do potencial de desconstrução de Thormark (2001a)

Thormark (2001a) sugeriu uma forma de avaliar a facilidade de desmontagem de uma construção que consiste em estabelecer pontuações para determinados parâmetros considerados pela autora importantes no processo de desconstrução. O sistema consiste no uso de escalas de palavras ou termos descritivos para classificar cada parâmetro analisado. Para cada escala de palavra é dada uma pontuação referente. Cada parâmetro do sistema é avaliado de acordo com as características da edificação analisada e atribuem-se as pontuações correspondentes. Quanto maior a pontuação, maior é a facilidade de desconstrução da edificação.

Os parâmetros que compõe o sistema são: 1) riscos no ambiente de trabalho; 2) exigência de tempo; 3) exigência de ferramentas/equipamentos; 4) acesso às juntas e 5) grau de dano ao material desmontado causado pelo processo de desmontagem. Um esboço do método sugerido é apresentado no quadro 5.1.

Embora simplificado, o sistema de avaliação do potencial de desconstrução proposto por Thormark (2001a) foi exposto apenas para explicar a ideia da autora, apresentando-se incompleto no trabalho. Segundo a autora, o sistema apresentado é composto por vários problemas não resolvidos relacionados à avaliação de uma construção individual e à comparação de construções, tais como:

- Como definir os critérios de avaliação para cada construção individual?
- Uma construção deve cumprir um nível mínimo em cada avaliação individual?
- Os parâmetros devem ser ponderados uns contra os outros? Neste caso, como deve ser feito?

Quadro 5.1. Esboço de método para a avaliação da facilidade de desconstrução

Meta para a desmontagem	Parâmetro avaliado	Avaliação	Pontos
Reuso	1) Riscos no ambiente de trabalho	Grande	1
		Pequeno	2
		Nenhum	3
	2) Exigência de tempo	Longa	1
		Média	2
		Baixa	3
	3) Exigência de ferramentas/ equipamentos	Avançadas	1
		Simples	2
		Manuais	3
	4) Acesso às juntas/ligações	Muito pequeno	1
		Aceitável	2
		Bom	3
	5) Grau de dano ao material desmontado causado pela desmontagem	Grande	1
		Aceitável	2
		Pequeno	3
Reciclagem	Parâmetros relevantes		
Combustão	Parâmetros relevantes		

Fonte: Traduzido de THORMARK, 2001a.

5.4. Sistema de avaliação do potencial de desconstrução de GUY e OHLSEN (2003)

Entre 1999 e 2000, o Departamento de Proteção Ambiental²³ e o Centro de Construção e Meio Ambiente da Universidade da Flórida²⁴ se uniram para desconstruir

²³ *Department of Environmental Protection, Tallahassee, Florida.*

seis casas. Estas casas, de um e dois andares, representavam construção residenciais com estrutura em madeira típicas do sudeste dos Estados Unidos entre 1900-1950. O objetivo da pesquisa foi analisar a relação custo-eficiência da desconstrução quando comparado à demolição tradicional. Os resultados mostraram que o custo é o principal fator que impede o crescimento do mercado da desconstrução, mas não é a única questão. Existem barreiras físicas evidentes tais como a corrosão, danos e ligações difíceis de separar. Também existem obstáculos práticos que incluem a falta de informação, habilidades, mercados e projetos. Além disso, existem as barreiras tradicionais onde os produtos não são projetados para serem desconstruídas e reutilizadas. Todas essas incertezas e riscos deixam o empreiteiro inseguro quanto às situações em que a desconstrução vai ser viável (GUY; OHLSEN, 2003).

Baseado nessas conclusões, Guy e Ohlsen (2003) desenvolveram uma ferramenta para facilitar o negócio da desconstrução, permitindo que empreiteiros de construção ou demolição possam estimar custos e o potencial de desconstrução de edificações. A ferramenta de viabilidade da desconstrução consiste num *software* onde as variáveis econômicas (como a mão de obra local, custos de eliminação e os valores de materiais recuperáveis e recicláveis) podem ser facilmente manipuladas para determinar o nível ótimo de desconstrução. O *software* evidencia onde existem oportunidades de desconstrução e eficiência do processo, podendo, eventualmente, ajudar arquitetos e construtores a projetar para a desconstrução.

O modelo foi desenvolvido para avaliação de edificações de um ou dois pavimentos com estruturas em madeira (*wood-framed*), mas fornece um modelo para outros tipos de estruturas, inclusive estruturas residenciais de alvenaria, estruturas residenciais multi-familiares e estruturas eventualmente comerciais. No Apêndice C apresentam-se mais detalhes sobre o *software*.

De forma semelhante o Instituto Franco-Alemão de Política Ambiental da Universidade de Karlsruhe estava iniciando o desenvolvimento de um software para estimativa do desmantelamento seletivo (SEEMAN; SCHULTMANN; RENTZ, 2002). No Reino Unido também foi criado um software denominado “SMARTWaste”, que fornece um mecanismo pelo qual os resíduos resultantes podem ser aferidos e

²⁴University of Florida’s Center for Construction and Environment (CCE)

categorizados por origem, tipo, quantidade, potencial de reuso e custo (HURLEY et al., 2002).

5.5. Sistema de avaliação do potencial de desconstrução de Durmisevic (2006)

Segundo Durmisevic (2006), o projeto da configuração de um edifício pode ser apresentado ao longo de três domínios principais que se relacionam: funcionais, técnicos e físicos. O domínio funcional consiste na descrição da funcionalidade de uma montagem, compreendendo a decomposição de funções e corresponde aos níveis de materiais. O domínio técnico define o uso de tecnologias e métodos a fim de especificar soluções principais para a composição da estrutura e corresponde à disposição hierárquica numa configuração. O domínio físico consiste nas relações físicas de uma montagem por meio da descrição de partes de conjuntos e suas relações e corresponde à criação de interfaces.

As variáveis que definem a tipologia de configuração da edificação são divididas em três: 1) níveis de materiais; 2) hierarquia e disposição das partes e 3) interfaces. A maneira como estas variáveis são especificadas definem o desempenho de um sistema de configuração.

O desempenho de uma configuração em particular, no que diz respeito à desmontagem (e transformação da estrutura), pode ser medida por dois critérios determinantes do potencial de desmontagem, chamado pela autora de capacidade de transformação: independência e permutabilidade dos materiais. A independência é determinada pelos domínios técnico e funcional. Já a permutabilidade é definida pelo domínio físico.

Os indicadores de desempenho da transformação podem ser avaliados pela análise das três variáveis de configuração usando os dois critérios que determinam o potencial de desmontagem. Decisões de projeto sobre o domínio funcional são formadas por meio de uma especificação de níveis materiais. Domínios técnicos estão relacionados com as decisões sobre hierarquia, enquanto os domínios físicos lidam com o projeto de interfaces. Embora estes três domínios sejam separados, eles não são independentes no processo de tomada de decisão.

Os três domínios de projeto (funcional, técnico e físico) correspondem às três variáveis de configuração (níveis de materiais, hierarquia e interface), que por sua vez

têm relação com determinados aspectos de desconstrução. No Quadro 5.2 apresenta-se a dependência entre os domínios de projeto, as variáveis de configuração, os dois critérios de desempenho determinantes do potencial de desmontagem e os aspectos de desmontagem na configuração de uma edificação.

Quadro 5.2. Dependência entre os domínios de projeto, variáveis de configuração, critérios de desempenho e aspectos de desmontagem na configuração de uma edificação

Domínios de projeto e variáveis de configuração	Critérios determinantes do potencial de desmontagem/ Capacidade de transformação	Aspectos de desmontagem na configuração de uma edificação
Domínio Funcional = Níveis de materiais	Independência	- Decomposição funcional, -Sistematização
Domínio Técnico = Hierarquia		- Especificação de elemento base, - Coordenação do ciclo de vida, - Padrão de relação entre partes
Domínio Físico = Interface	Permutabilidade	- Processo de montagem, - Geometria das bordas, - Conexões

Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2006.

5.5.1. Modelo de avaliação de Durmisevic (2006)

Durmisevic (2006) criou um modelo de conhecimento desenvolvido para avaliar a capacidade de transformação (TC) de estruturas de construção com base em sua desmontagem potencial. Esse modelo baseia-se nos domínios de projeto, variáveis de configuração, critérios determinantes do potencial de reciclagem e aspectos de desmontagem de uma edificação.

Oito aspectos da desconstrução e os seus subaspectos foram utilizados como base para o modelo. A influência que cada aspecto tem na TC foi estabelecida no modelo, definindo fatores de ponderação para cada relação entre as variáveis.

Os dados de entrada do modelo são coletados com base na avaliação dos diferentes subaspectos que têm um impacto sobre o potencial de desmontagem de estruturas. Os dados de entrada não são fixos e diferem de projeto para projeto. Por essa razão as entradas (subaspectos) são definidas como variáveis independentes. O modelo

consiste em 17 variáveis independentes e 14 variáveis dependentes, como apresentado no Quadro 5.3.

Quadro 5.3. Esquema de modelo de conhecimento de Durmisevic (2006) com variáveis dependentes e independentes

Variáveis dependentes				Variáveis Independentes				
TC	Crítérios	Variáveis	Aspectos do projeto para desconstrução	Nº	Sigla	Subaspectos-determinantes	fatores (variáveis independentes)	
14- Capacidade de Transformação	12- Independência	9- Nível de materiais	1- FD- Decomposição Funcional	1.1	fs	Separação Funcional		
				1.2	fdp	Dependência funcional		
			2- SY- Sistematização		2.1	st	Estrutura dos níveis de materiais	
					2.2	c	Tipos de agrupamento	
		3- BE- Elemento Base		3.1	b	Tipo de Elemento Base		
		4- LCC- Coordenação do ciclo de vida		4.1	ucl	Coordenação do ciclo de vida útil		
				4.2	tcl	Coordenação do ciclo de vida técnico		
				4.3	s	Coordenação do ciclo de vida e tamanho		
		5- RP- Padrão de relação		5.1	r	Tipo de padrão de relação		
		13- Permutabilidade	11- Interfaces	6- A- Processo de montagem		6.1	ad	Direção de montagem
	6.2					as	Sequência de montagem	
	7- G- geometria			7.1	gp	Geometria das bordas do produto		
				7.2	spe	Padronização das bordas do produto		
	8- C- conexões			8.1	tc	Tipo de conexões		
				8.2	af	Acessibilidade às conexões		
				8.3	t	tolerância		
				8.4	mj	Morfologia das juntas		

Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2014a.

O modelo de conhecimento, com suas variáveis e relações independentes e dependentes, tem uma estrutura hierárquica, como mostrado na figura 5.1, e pode ser descrito por meio de níveis de dependências:

1) Primeiro nível: nível de entrada, que consiste em aspectos e uma especificação do seu impacto sobre as variáveis.

2) Segundo nível: representa uma especificação do impacto que têm os aspectos principais em três variáveis da configuração do edifício: níveis materiais, hierarquia e Interface. Os pesos definem a hierarquia de importância de cada aspecto.

3) Terceiro nível: representa a especificação do impacto que as variáveis da configuração do edifício têm sobre os indicadores da transformação: a independência e permutabilidade.

4) Quarto nível: especifica o impacto que os indicadores de transformação têm sobre o potencial de desmontagem, o que representa a TC de uma estrutura.

Há ainda o nível zero, que representa as variáveis independentes, os dados de entrada.

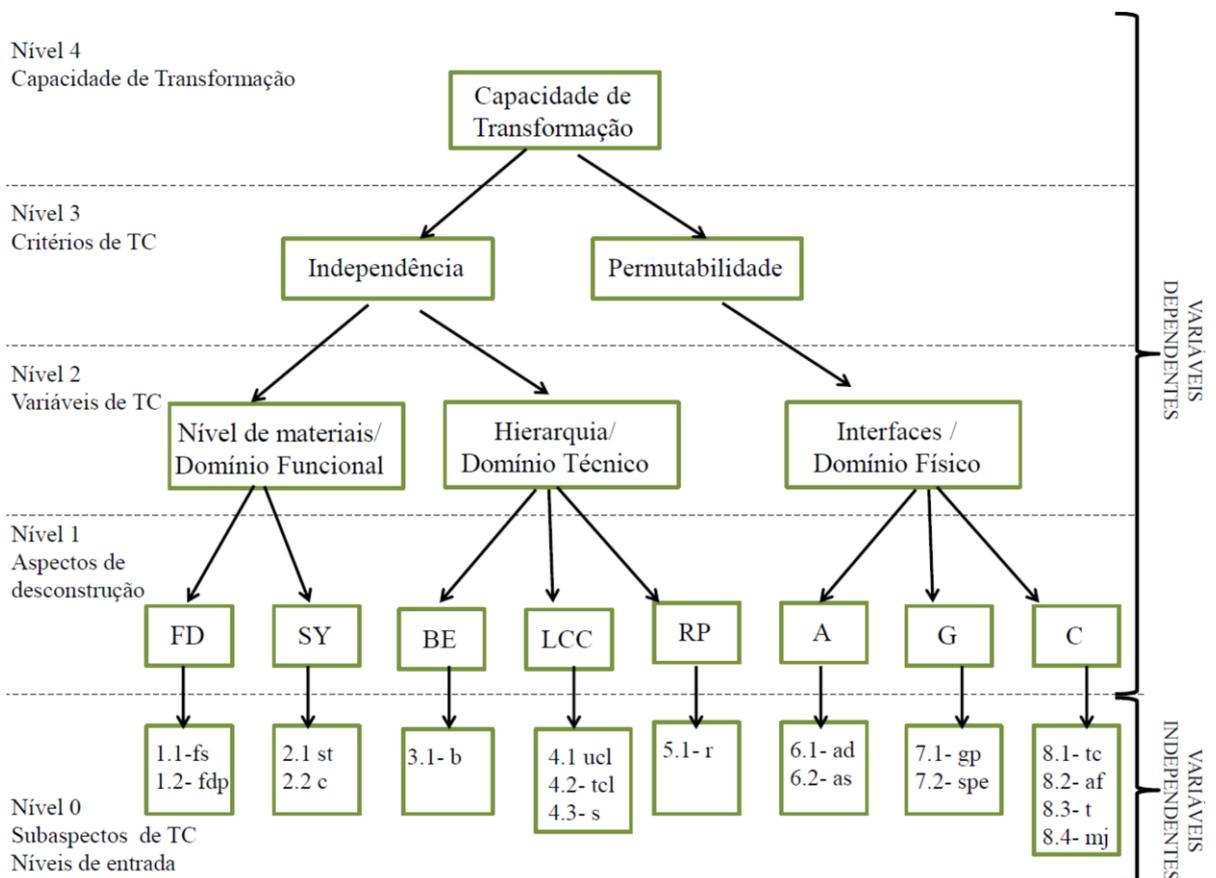


Figura 5.1: Hierarquia das variáveis do modelo.

Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2006.

Cada subaspecto divide-se em variáveis, às quais se deu uma pontuação (peso). Os valores do subaspecto sofrem influência de um fator de ponderação, que representa o

impacto de cada subaspecto no aspecto principal de DfD. Essas pontuações estão apresentadas no Apêndice C.

O valor mais favorável para cada subaspecto de desmontagem é definido como o valor "1". A avaliação de subaspectos deve ser representada num diagrama radial (figura 5.2). A pontuação de cada subaspecto é marcada do centro (valor = 0) ao extremo da circunferência (valor = 1). Quando todos os pontos são ligados, uma figura é criada. Quanto maior for a aproximação dos pontos da figura formada da linha exterior do gráfico, mais a estrutura é transformável. Quando os subaspectos estiverem mais próximos do centro do círculo, significa que a estrutura é pouco desmontável/transformável.

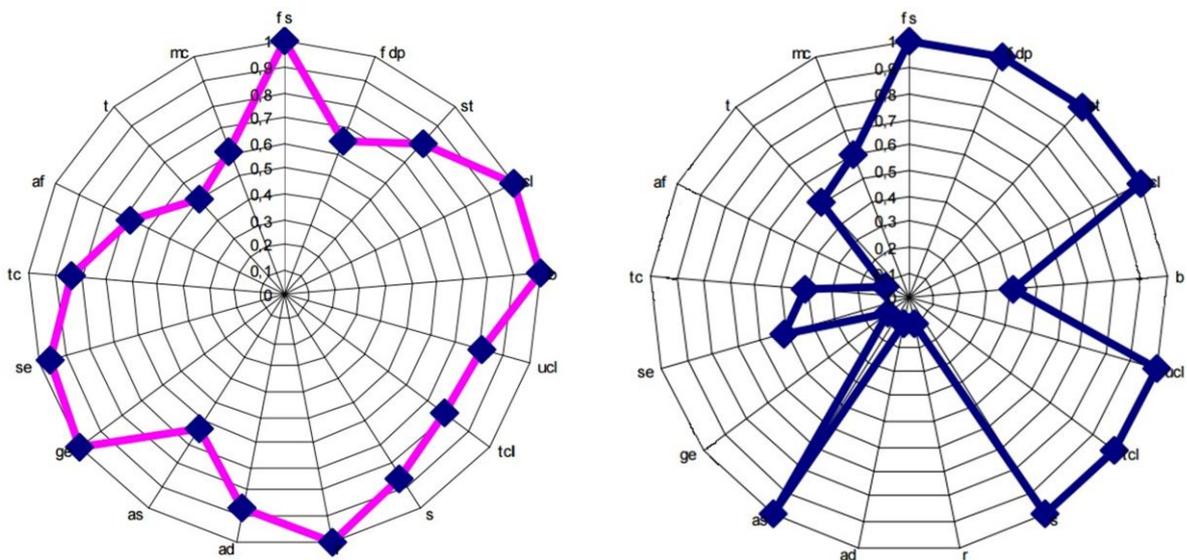


Figura 5.2: Valores de subaspectos de duas estruturas representados em um diagrama radial. O diagrama da esquerda representa subaspectos de uma estrutura mais transformável que a estrutura representada no diagrama da direita.

Fonte: DURMISEVIC, 2014a.

Segundo Durmisevic (2006), o diagrama mostra as soluções mais favoráveis para a transformação, mas não reduz o conflito na avaliação de um projetista, uma vez que cada subaspecto do projeto tem um nível diferente de influência sobre a medida final de transformação. Por isso, Durmisevic (2006) sugere outro modelo de avaliação baseado na lógica *fuzzy* que lida não só com as 17 variáveis independentes e as 14 variáveis dependentes, mas também com 40 relações entre essas variáveis.

No modelo, cada uma das variáveis está representada por um nó. Assim, os nós representam fatores que desempenham um papel na determinação da TC. A cada uma das relações foram dados pesos, que representam a hierarquia de influência que diferentes variáveis têm sobre o resultado final. O objetivo final do modelo é representar todos os fatores que têm um impacto sobre a TC por um único número. No Apêndice C apresentam-se mais detalhes sobre o modelo.

5.6. Outros sistemas de avaliação de ambientes arquitetônicos utilizando lógica *fuzzy*

Outros trabalhos também empregaram a lógica *fuzzy* e neurofuzzy para avaliação de ambientes e componentes arquitetônicos. Hoekman; Blok e Herwijnen (2009) apresentaram uma proposta de ferramenta a ser desenvolvida, na forma de um modelo de conhecimento neurofuzzy híbrido construído com base nos princípios da lógica *fuzzy* e redes neurais, cuja finalidade é identificar e expressar quantitativamente o desempenho de estruturas de construção em relação à adequação de um edifício quanto à sua flexibilidade estrutural.

A lógica Neurofuzzy é uma tecnologia de inteligência artificial que gera regras diretamente de dados numéricos e associa probabilidades a estas regras. Para a criação de um modelo neurofuzzy é necessário que os parâmetros sejam determinados a partir de um conjunto de dados.

Toda técnica de Inteligência Artificial (AI) tem propriedades computacionais particulares que a torna mais adequada para alguns problemas do que para outros. As redes neurais, por exemplo, são boas para reconhecimento de padrões, mas não são boas para explicar a tomada de certas decisões. Os sistemas de lógica *fuzzy*, que tratam informações imprecisas, são bons para explicar as decisões tomadas, mas não podem automaticamente adquirir as regras que os mesmos usam para fazer suas decisões. Essas limitações têm motivado a criação de sistemas híbridos, nos quais duas ou mais técnicas são combinadas de maneira a superar as limitações individuais de cada técnica em particular.

Os sistemas *fuzzy* fornecem um mecanismo de inferência sobre dados incertos e são apropriados para a modelagem de problemas a partir do conhecimento fornecido por

um especialista, nos quais o desempenho do problema depende da experiência do especialista.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) são adequadas para a modelagem de problemas com base no conhecimento implícito num conjunto de dados, sendo capazes de aprendizado, adaptação e generalização. O funcionamento das RNA difere dos sistemas fuzzy porque as RNA conseguem reajustar parâmetros internos.

Os sistemas Neuro-Fuzzy são ditos “híbridos” porque misturam lógica difusa com RNA, podendo tratar incertezas, porém aprendendo com os próprios dados fornecidos e reajustando parâmetros internos, tornando-se em parte independentes do conhecimento do especialista.

Hoekman; Blok e Herwijnen (2009) sugerem que os dados necessários para treinamento de um modelo neurofuzzy poderiam ser obtidos por meio da avaliação, por especialistas, de vários cenários fornecidos. Estas avaliações regulares podem ser correlacionadas, estabelecendo assim certa noção de confiabilidade.

Braga et al. (2014) utilizam da lógica *fuzzy* para apresentar um modelo cujo objetivo foi avaliar a movimentação humana e os aspectos ergonômicos aplicados na concepção arquitetônica de ambientes mais seguros. O modelo foi implementado na plataforma do ambiente MatLab[®] (versão 7.9.0 /R2009b), desenvolvendo-se um programa computacional denominado Fuga. Segundo os autores, neste modelo, por sua natureza multidisciplinar e por envolver diversos aspectos, foi indispensável trabalhar com tomadas de decisões considerando a ocorrência de variáveis subjetivas e qualitativas, o que foi facilitado pela Lógica *Fuzzy*. Justificou-se o emprego de parâmetros subjetivos e qualitativos no modelo da seguinte forma:

Por se viver em uma sociedade cultural e historicamente representacionista, centrada na ação, e não na reflexão, sempre que possível há uma preferência de se utilizarem parâmetros quantitativos ao invés de qualitativos. Entretanto, a subjetividade (tanto quanto a objetividade) e a qualidade (tanto quanto a quantidade) são na verdade indispensáveis ao conhecimento e, portanto, à ciência (MATURANA; VARELA²⁵, 2010 apud BRAGA et al., 2014).

²⁵ MATURANA, H.; VARELA, F. J. **A Árvore do Conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana. 8. ed. São Paulo: Palas Athena, 2010.

5.7. Sistemas de avaliação e certificação ambiental de edificações e incorporação de créditos para Desconstrução no LEED

Apesar de não serem modelos para avaliação de desconstrução, os sistemas de avaliação da sustentabilidade de edificações são brevemente abordados nesse capítulo por apresentarem ferramentas simples para avaliação e classificação de edificações. Ao final desse item acrescenta-se a sugestão de incorporação de créditos no LEED referentes à desconstrução.

5.7.1. Introdução aos Sistemas de avaliação e certificação ambiental de edificações

A partir da década de 1990, o Setor da Construção Civil começou a lançar uma série de iniciativas no sentido de melhorar o desempenho do ambiente construído, visando atender ao novo paradigma da Sustentabilidade que surgia. Segundo Zambrano (2008), tanto no âmbito acadêmico como no mercado, começaram a proliferar pesquisas para o desenvolvimento da qualidade ambiental e, posteriormente, da sustentabilidade das edificações. Observa-se também neste período, o desenvolvimento de instrumentos capazes de apoiar e avaliar o projeto e de medir e avaliar a qualidade final das edificações, bem como atestar este desempenho através de selos verdes, certificações ambientais, entre outros (ZAMBRANO, 2008).

A metodologia pioneira de avaliação ambiental de edifícios foi desenvolvida em 1990, no Reino Unido, com o lançamento do BREEAM- *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. O sistema destina-se a atribuir certificação de desempenho aplicado ao *marketing* do edifício e pode ser aplicado tanto na fase de projeto como durante a utilização ou reformas de edificações comerciais (MARQUES, 2007).

Outros sistemas de avaliação foram lançados logo depois, seguindo a mesma linha do BREEAM e, atualmente, praticamente cada país europeu, além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão, Hong Kong e mais recentemente Brasil, possuem seus próprios sistemas de avaliação.

Os sistemas de avaliação e certificação mais conhecidos atualmente são: o BREEAM (Reino Unido), o LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design* (USA) e o CASBEE - *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (Japão).

Nas Américas Central e do Sul, ainda não existem sistemas próprios de avaliação para edificações verdes, exceto pelo Brasil que lançou, em 2007, a metodologia AQUA (Alta Qualidade Ambiental), uma adaptação da metodologia francesa HQE (*Haute Qualité Environnemental*) para as especificidades do país. Contudo, alguns modelos estrangeiros vêm ganhando espaço junto às construtoras brasileiras, dentre eles a metodologia Norte Americana LEED, bastante utilizada e reconhecida. Porém o LEED ainda não foi adaptado para as especificidades nacionais. Em 2007, foram criados no Brasil: o GBC Brasil (*Green Building Council* Brasil), conselho responsável pelo LEED no país e o CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável).

Nos últimos anos, começou a aumentar no país o interesse pelos sistemas e metodologias voluntárias de avaliações de edificações, principalmente nos ramos: habitacional, devido ao grande apelo mercadológico e valorização dos imóveis, e institucional, por associar as marcas de empresas à questão da Sustentabilidade.

Para Serrador (2008) a consulta a sistemas de avaliação como o LEED tem sido a ferramenta mais acessível adotada e divulgada entre algumas iniciativas para adoção da sustentabilidade nas construções. Isso ocorre a partir do acesso aos *checklists* dos sistemas para concepção projetual e não da avaliação do desempenho do edifício propriamente dito. Dessa forma, a adoção de sistemas, como o LEED e o AQUA, tem servido também como base educativa para o desenvolvimento do Setor e do mercado da Construção Civil, que vêm utilizando seus requisitos e “*checklists*” como ferramentas de auxílio aos profissionais que almejam seguir preceitos mais sustentáveis em suas obras.

De acordo com Montes (2005), esses sistemas de avaliações ambientais de edificações de modo geral classificam e certificam o desempenho de edificações com relação a uma maior ou menor incorporação de critérios de sustentabilidade, qualitativos e/ou quantitativos. Em geral, cada critério é avaliado e medido por meio de pontuação, cujos pesos e critérios considerados são específicos para cada sistema de avaliação. Os pontos são somados e ao final conferem um resultado que corresponde a um nível de certificado ambiental que também varia de acordo com cada sistema.

Segundo Thormark (2001a), a avaliação ambiental dos materiais de construção e de edifícios é uma questão muito complexa e todas as ferramentas de avaliações

utilizam alguns julgamentos subjetivos. Devido à subjetividade, complexidade e problemas de adaptação na importação de sistemas de avaliação de outros países, em combinação com as diferentes necessidades de cada usuário, muitos dos sistemas de avaliação são alvos de críticas.

Apesar das críticas, alguns autores defendem que por meio da popularização desse mecanismo simples e de fácil interpretação (a etiqueta ou a certificação ambiental), a população passa a interagir com o tema sustentabilidade, na medida em que pode facilmente optar por edificações de maior rendimento e menor dano ambiental e naturalmente coloca à margem do mercado as empresas que não se adequam à nova realidade. Esse mesmo mecanismo permite às empresas demonstrarem seu diferencial umas frente às outras, o que passa a ser aproveitado como oportunidade de *marketing*.

Silva (2003) afirma que a implementação de sistemas de avaliação em edifícios tem sido uma estratégia bem sucedida, por permitir que os consumidores tenham um papel mais ativo na responsabilidade de reduzir o impacto ambiental da sociedade e por ajudar a criar uma visão compartilhada do significado prático de ser “ambientalmente amigável”.

O impacto ambiental de um edifício durante seu longo ciclo de vida consiste em uma série de fatores que os clientes não esperam ser conhecedores: soluções de projeto, produtos e materiais usados na sua construção, e também a forma como o edifício é utilizado e mantido. Extrair as características ambientais de um edifício e apresentá-las em um pacote atraente e conciso é uma necessidade mercadológica fundamental, e também um dos maiores desafios (SILVA, 2003, p.6).

5.7.2. O sistema de certificação LEED

O sistema LEED será brevemente descrito para abordar a sugestão de inclusão de aspectos de desconstrução na avaliação da sustentabilidade de uma edificação proposta por Webster e Costello (2005).

O LEED é um modelo norte-americano de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios, desenvolvido, em 1996, pela entidade não governamental USGBC (*United States Green Building Council*). Trata-se de uma certificação, aceita e reconhecida mundialmente, que confere uma classificação ambiental voluntária para edificações.

A Certificação internacional LEED possui áreas a serem avaliadas nas edificações. Todas elas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que quando atendidas garantem pontos à edificação. O nível da certificação é definido, conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar de 40 pontos, nível certificado, a 110 pontos, nível platina.

Os créditos e pré-requisitos de uma certificação LEED dependem do tipo de empreendimento, das características e das finalidades, conforme a lista a seguir: LEED® NC -“*New Construction*” para novas construções e grandes projetos de renovação; LEED® EB -“*Existing Buildings*”, para edifícios existentes; LEED® CI -“*Commercial Interiors*”- para projetos de interiores e edifícios comerciais; LEED® CS -“*Core and Shell*” para projetos da envoltória e parte central do edifício (geralmente a certificação é realizada para o terreno e para as áreas comuns da edificação); LEED® -“*Homes*”- para residências; LEED® ND -“*Neighborhood Development*”- para desenvolvimento de bairro (Desenvolvimento urbano, a certificação é realizada para a parte urbanística) e LEED® -“*Schools*”- para escolas (GBC BRASIL, 2010).

Segundo Marques (2007), o sistema mais comumente utilizado e o pioneiro dos sistemas LEED é o LEED® NC. Esse sistema teve sua primeira versão piloto testada em 1998, tendo os primeiros 12 projetos certificados, na versão 1.0. Já em 2000 foi lançada ao público a versão 2.0 baseada em modificações feitas durante esse primeiro período. Em 2002, acrescentando melhorias, é lançada versão 2.1. O LEED versão 2.2 entrou em vigor em novembro de 2005 e em 2009 foi lançada a atual versão 3.

A classificação do LEED® NC é feita por meio de um *Checklist* (disponível no Anexo A) padronizado, dividido por áreas. Cada uma destas áreas é subdividida em pré-requisitos e créditos estabelecidos pela metodologia e cada um destes deve ser avaliado individualmente. Os pré-requisitos são requisitos mínimos a serem atendidos pelo projeto, para que o mesmo tenha direito a acumulação de pontos para certificação, caso não sejam atendidos o projeto não poderá ser certificado. A pontuação pode variar de acordo com os créditos a serem atendidos, a partir de um número mínimo de pontos a construção poderá ser certificada.

A cada crédito são atribuídos pontos que, somados, dão total de até 110 pontos. Quanto maior o cumprimento dos créditos maior o número de pontos atingidos, o que resulta em uma certificação melhor. São quatro as categorias de certificação a serem

atingidas, descritos a seguir: Certificada (de 40 a 49 pontos), Prata (de 50 a 59 pontos), Ouro (de 60 a 79 pontos) ou Platina (de 80 pontos acima) (USGBC, 2009).

A atual versão lançada em 2009: *Rating Systems LEED 2009 for New Construction and Major Renovations*, distribui o total de créditos em sete áreas de atuação: Espaço sustentável; Uso racional da água; Energia e Atmosfera; Materiais e Recursos; Qualidade ambiental interna; Inovação e processo do projeto e Créditos Regionais.

5.7.3. Incorporação de créditos para Desconstrução no LEED

O LEED atualmente não oferece nenhuma pontuação para os projetos concebidos para a desconstrução (PpD). Webster e Costello (2005) sugerem que o LEED incorpore créditos específicos relacionados à avaliação dos aspectos de PpD. Os autores fizeram considerações de como incorporar esses créditos relativos ao PpD no LEED, bem como sugeriram que também sejam considerados em outros sistemas de classificação de construções sustentáveis, visando incentivar e promover a prática do PpD.

Segundo Webster e Costello (2005), a categoria “Materiais e Recursos” é a categoria ideal para incluir esses créditos, podendo ser um crédito independente ou parte do crédito 3- Reuso de Materiais. Para os autores a principal dificuldade, além de ganhar o apoio popular para instituir tal crédito, é encontrar uma maneira de quantificar os aspectos de PpD avaliados. Certos aspectos podem ser quantificáveis, mas a discussão ainda é necessária para determinar as medidas suficientes para se obter um crédito LEED. Como exemplo, os créditos propostos para pontuação foram:

1. Créditos para uso de um percentual mínimo de componentes de construção reutilizáveis, que deve ser medido em peso. Apenas componentes que atendam aos seguintes critérios de reutilização se qualificam: componentes conectados em campo e que usam fixadores mecânicos facilmente removíveis. São excluídos os materiais conectados utilizando adesivos instalados em campo ou soldas, a menos que possam ser facilmente removidos para permitir o reuso dos materiais. Sugere-se a utilização de parafusos e porcas em construção com estrutura em madeira (evite os pregos). São excluídos também o concreto moldado *in loco* acima do nível, o

grout²⁶, o uso de alvenaria reforçada e de alvenaria com argamassas de cimento portland.

2. Créditos para rotulagem de todos os elementos estruturais com informações pertinentes do material.
3. Créditos para disposição de um local para armazenamento dos projetos de construção e do plano de desconstrução no interior do edifício.

5.8. Considerações sobre os sistemas de avaliação analisados

Os sistemas de avaliação e certificação ambiental de edificações como o LEED e o sistema de avaliação do potencial de desconstrução sugerido por Thormark (2001a) mostraram-se uma forma simplificada de avaliação, de fácil acesso e compreensão. Considera-se que um modelo de avaliação semelhante pode ser desenvolvido e adaptado para a avaliação proposta neste trabalho.

O software desenvolvido por Guy e Ohlsen (2003) mostrou-se uma importante ferramenta para avaliação do potencial de desconstrução da tipologia proposta (edificações de um ou dois pavimentos com estruturas em madeira), mas considera-se esse método sofisticado para uma pesquisa inicial que aborda o tema desconstrução no país. Além disso, considera-se que para o desenvolvimento de um sistema de avaliação semelhante seria necessário o acesso a dados técnicos ainda não disponíveis nacionalmente.

O trabalho de Durmisevic (2006) mostrou-se confuso por abordar vários aspectos e não especificar as funções de pertinência adotadas para cada variável de entrada. O trabalho desenvolvido em Braga et al. (2014) encoraja o uso da lógica *fuzzy* para avaliação de aspectos arquitetônicos, mesmo que se utilize variáveis subjetivas e qualitativas. Dessa forma, considera-se que um sistema de avaliação pode ser desenvolvido para avaliação da desconstrução por meio do emprego da lógica *fuzzy*.

Um método de avaliação que tratasse da avaliação de desconstrução semelhante ao proposto por Hoekman; Blok e Herwijnen (2009) ainda não poderia ser desenvolvido no Brasil devido à pouca quantidade de desconstruções efetivamente realizadas e a não

²⁶ Grout: argamassa composta por cimento, areia, quartzo, água e aditivos especiais que tem como destaque sua elevada resistência mecânica e a capacidade de aumentar de volume durante o processo de cura.

existência de dados técnicos sobre o assunto que poderiam ser utilizados neste trabalho. Por ser um processo ainda relativamente pouco empregado, pode-se considerar que não existem especialistas em desconstrução no país e não há disponibilização de dados internacionais completos abrangendo os aspectos essenciais que influenciam a desconstrução. Além disso, a utilização de dados internacionais relacionados aos setores de construção civil dificilmente seriam compatíveis com as características da construção civil praticadas no Brasil atualmente, pela forma específica com que se desenvolvem os processos de construção no país.

Com base na avaliação dos sistemas de análise de edificações existentes e considerando as informações atuais disponíveis sobre o tema desconstrução definem-se dois métodos de análise do potencial de desconstrução: 1) um método simplificado de pontuação baseado no atendimento ou não de princípios que influenciam a desconstrução, que pode funcionar também como um *checklist* e 2) um método baseado em modelos de conjuntos difusos aplicados no programa MatLab[®].

6. SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS PARA O SISTEMA DE ANÁLISE

O sistema para análise do potencial de desconstrução proposto neste trabalho foi desenvolvido com base nos princípios considerados importantes para a desconstrução a partir dos textos acadêmicos sobre o assunto analisados. O levantamento, classificação e análise dos princípios que influenciam a desconstrução indicados pelos trabalhos abordados no capítulo três foram necessários para a seleção das características a serem consideradas no método desenvolvido nesse trabalho. Para isso, neste capítulo, cada princípio de cada categoria é analisado de acordo com a quantidade de trabalhos que o indicavam como sendo importante para a desconstrução. Apresentam-se a quantidade de trabalhos que indicaram cada princípio e a porcentagem correspondente (considera-se 100% o total dos seis trabalhos estudados). Todos os princípios que mais de dois trabalhos indicaram, ou seja 33,33% ou mais, serão considerados no método de análise. Esse foi apenas um parâmetro utilizado para selecionar as características avaliadas no método de análise. Não significa que os princípios indicados por apenas um trabalho não sejam importantes ou que não serão avaliados de forma indireta por outras características consideradas. Apresenta-se um quadro para cada categoria que fará a relação do princípio selecionado (com dois ou mais autores indicando) com as características da edificação que devem ser analisadas. Apesar de abrangente, tal relação não é de forma alguma completa.

É importante ressaltar que muitos autores indicaram como princípio de PpD medidas que visam prolongar a vida útil da edificação, ou seja, favorecer e facilitar a manutenção e a reposição de materiais e peças e promover a adaptação da edificação existente para novos usos, em vez de desconstruí-la por inteiro.

Entende-se que os autores indicaram essas medidas partindo do princípio que dessa forma estariam evitando a demolição e gerando uma desconstrução parcial, só da parte que precisa ser modificada para que a edificação continue sendo útil. Entretanto, como limitação deste trabalho, no método proposto não são consideradas essas pequenas desconstruções, pois se pretende avaliar a eficiência e a viabilidade da desconstrução após a sua vida útil, considerando que todos os possíveis usos e adaptações na edificação já foram realizados e foram exauridas as demais formas de aproveitamento da edificação como um todo. A intenção é avaliar se os materiais

podem ser removidos e reusados de forma viável. Portanto, os princípios que visam esse prolongamento da vida útil da edificação serão descartados como possíveis características a serem avaliadas. Serão dadas as devidas explicações e justificativas ao longo do texto para esses casos.

6.1. Características da categoria 1- Seleção de Materiais

Os princípios dessa categoria estão apresentados no Gráfico 6.1. No lado esquerdo indicam-se os princípios e a numeração de seus itens da mesma forma apresentada no Quadro 3.1.

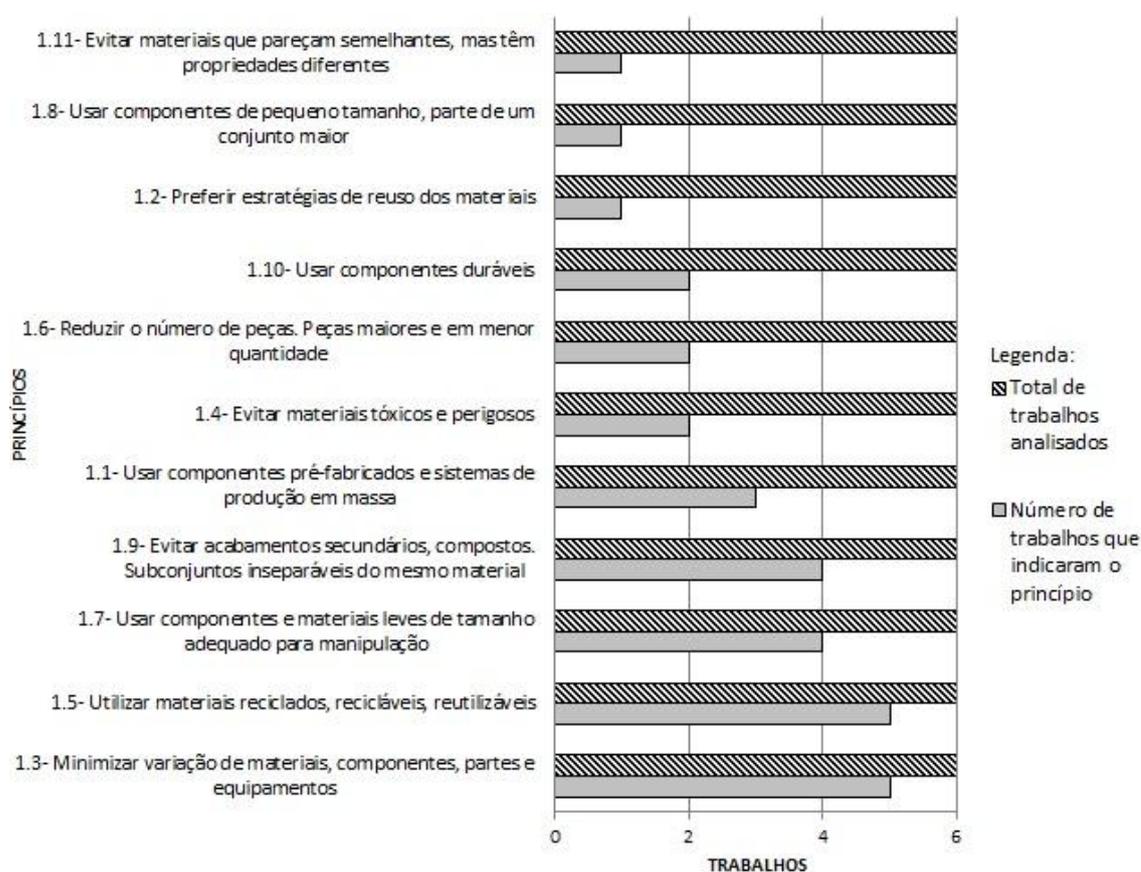


Gráfico 6.1: Princípios da Categoria 1) Seleção de Materiais.

Os princípios apresentados por apenas um autor, com porcentagem de 16,66%, e que serão descartados são: 1.11- Evitar materiais que pareçam semelhantes, mas têm propriedades diferentes; 1.8- Usar componentes de pequeno tamanho, parte de um conjunto maior; 1.2- Preferir estratégias de reuso dos materiais.

Apresenta-se no Quadro 6.1 a relação dos princípios selecionados (que mais de dois trabalhos indicaram), a porcentagem dos trabalhos que indicaram, bem como as equivalentes características da edificação que devem ser consideradas.

Quadro 6.1. Princípios selecionados da Categoria 1- Seleção de Materiais

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
1.1- Usar componentes pré-fabricados e sistemas de produção em massa	50%	Componentes pré-fabricados e sistemas de produção em massa
1.3- Minimizar variação de materiais, componentes, partes e equipamentos	83,33%	Minimizar variação de materiais, componentes e ferramentas
1.4- Evitar materiais tóxicos e perigosos	33,33%	Materiais atóxicos e não perigosos
1.5- Utilizar materiais reciclados, recicláveis, reutilizáveis	83,33%	Materiais reutilizáveis
1.6- Reduzir o número de peças. Peças maiores e em menor quantidade	33,33%	Tamanho e peso dos componentes adequados ao tipo de desmontagem
1.7- Usar componentes e materiais leves de tamanho adequado para manipulação	66,66%	Tamanho e peso dos componentes adequados ao tipo de desmontagem
1.9- Evitar acabamentos secundários, compostos. Subconjuntos inseparáveis do mesmo material	66,66%	Não utilizar materiais compostos ou acabamentos secundários salvo se reutilizados em conjunto
1.10- Usar componentes duráveis	33,33%	Durabilidade

Essa categoria é especialmente complicada de se incorporar como características analisadas em um método de análise da desconstrução de componentes da estrutura em aço de edificações, pois tanto o aço quanto seus fechamentos verticais mais comuns já possuem suas características próprias e alguns princípios expostos são essenciais para que se faça a desconstrução. Por exemplo, ao se avaliar o fechamento vertical, se ele não for reutilizável de alguma forma, não há motivo para a desconstrução.

Para uma desconstrução viável de componentes em aço de edificações deve-se partir do princípio que os materiais de fechamentos e o aço são: reutilizáveis, de alguma forma (recicláveis, reaproveitáveis ou reusáveis) e não são tóxicos ou perigosos; pois qualquer disposição contrária já inviabilizaria a desconstrução desses materiais. Portanto, princípios dos itens 1.4- Materiais atóxicos e não perigosos e 1.5- Materiais reutilizáveis serão considerados pré-requisitos para aplicação do método.

Outro exemplo seria o princípio de utilização de componentes pré-fabricados e sistemas de produção em massa (1.1), geralmente atendido por todos os elementos estruturais e fechamentos verticais utilizados em construções estruturadas em aço,

exceto pelos fechamentos em alvenaria. Esse quesito será desconsiderado no método por esse motivo.

O princípio 1.3- Minimizar variação de materiais, componentes, partes e equipamentos- será avaliado de forma indireta na categoria 2- Características Construtivas, na característica “padronização”.

Os princípios 1.6 e 1.7 se referem ao tamanho dos componentes e materiais e à forma de desmontagem, manual ou mecânica. Se os materiais forem desmontados de forma mecânica devem ser maiores e em menor quantidade e se forem de desmontagem manual devem ser leves, com tamanhos adequados para a manipulação, sendo preferíveis as montagens manuais por, teoricamente, ser um método mais simples, que não envolve máquinas de grande porte, apenas ferramentas manuais, e requer uma logística menos elaborada. Infere-se do exposto que não são princípios determinantes para a desconstrução. Apenas são fatores que podem facilitar a desconstrução, simplificando o processo. Portanto esses dois princípios serão avaliados na Categoria 5- Desmontagem, na característica “Dificuldade pela forma de desmontagem”.

O princípio 1.9- Não utilizar materiais compostos ou acabamentos secundários salvo se reutilizados em conjunto- será avaliado na Categoria 4- Hierarquia de desmontagem, pela característica “facilidade de separação de outros níveis de materiais” que basicamente indica que os materiais que não podem ser reutilizados em conjunto devem ser facilmente separáveis.

Já o item 1.10- Durabilidade do material ou componente- será analisado na Categoria criada para englobar questões relativas aos aspectos financeiros e econômicos que envolvem a recuperação de um material e não foram elencados nos princípios dos autores estudados. Entende-se que a recuperação de materiais, o reuso de recursos e a diminuição dos impactos ambientais do setor de construção civil são aspectos importantes, mas que devem ser avaliados de forma conjunta com os aspectos financeiros e econômicos. Por exemplo, a estratégia de recuperação e reaproveitamento de um material pode exigir um reparo muito grande de forma que resulte em uma utilização maior de recursos do que os empregados em um material novo. Em termos de custo pode acontecer o mesmo, o custo de recuperação do material pode ser maior que o custo do mesmo material novo.

Por isso identificou-se a necessidade de substituição da Categoria 1- “Seleção de Materiais” pela Categoria 1- “Benefício com recuperação do material”, na qual se avaliará, conforme ilustrado na figura 6.1, as seguintes características: 1.1) o custo estimado do processo de desconstrução e recuperação do material avaliado; 1.2) a expectativa de durabilidade do material que se quer recuperar após a vida útil da edificação; 1.3) o seu estado de conservação; 1.4) o dano estimado durante a desconstrução e 1.5) a necessidade de adaptação para novo uso. Os três últimos aspectos analisados (1.3, 1.4 e 1.5) vão determinar a necessidade de reparo do material. Quanto maior a necessidade de reparo, menos vantajosa será a recuperação desse material e mais inviável será a desconstrução.

CATEGORIA 1)- BENEFÍCIO COM RECUPERAÇÃO DO MATERIAL

1.1) CUSTO (custo do processo de desconstrução e da recuperação do material)

1.2) EXPECTATIVA DE DURABILIDADE (durabilidade do material após a desconstrução)

1.3) ESTADO DE CONSERVAÇÃO

1.4) DANO NO PROCESSO

1.5) NECESSIDADE DE ADAPTAÇÃO PARA NOVO USO

NECESSIDADE DE REPARO

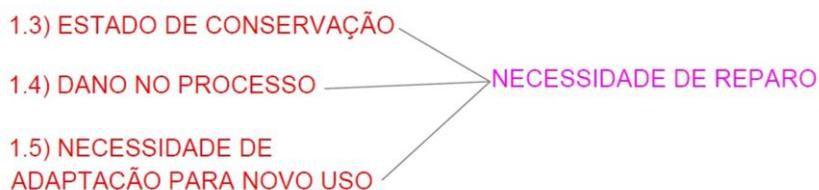


Figura 6.1: Categoria 1) Benefício com recuperação do material e suas características.

6.2. Características da categoria 2- Características Construtivas

Os princípios dessa categoria 2- Características Construtivas- estão apresentados no Gráfico 6.2 (vide também Quadro 3.2).

Os princípios apresentados em apenas um trabalho, com porcentagem de 16,66%, e que serão descartados são: 2.5- Usar elementos pré-montados na montagem e 2.4-Sistemas de construção adequados para repetidos processos de produção.

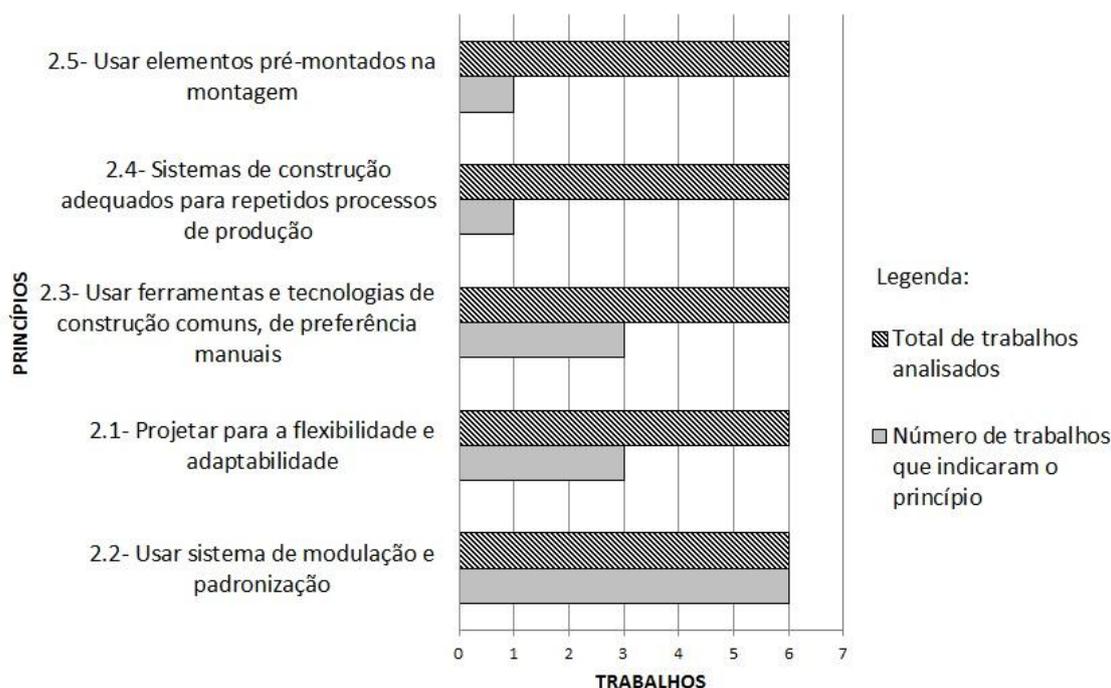


Gráfico 6.2: Princípios da Categoria 2) Características Construtivas.

Apresenta-se no Quadro 6.2 a relação dos princípios selecionados (que mais de dois autores indicaram), a porcentagem dos trabalhos que indicaram, bem como as equivalentes características da edificação que devem ser consideradas.

Quadro 6.2. Princípios selecionados da Categoria 2- Características Construtivas

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
2.1- Projetar para a flexibilidade e adaptabilidade	50%	Flexibilidade e adaptabilidade
2.2- Usar sistema de modulação e padronização	100%	Modulação e padronização
2.3- Usar ferramentas e tecnologias de construção comuns, de preferência manuais	50%	Ferramentas e tecnologia

Conforme ponderado no início do capítulo, o princípio 2.1- Projetar para a flexibilidade e adaptabilidade- visa prolongar a vida útil da edificação, favorecendo a manutenção e a reposição de materiais e peças e a adaptação da edificação. Como o objetivo desse método de análise é avaliar a desconstrução em si, esse princípio não será considerado nessa categoria, apesar de estar indiretamente ligado a outros princípios avaliados, como “acessibilidade” e “facilidade de separação de outros níveis de materiais”, ambos na Categoria 4.

Dessa forma, a Categoria 2- “Características construtivas” consiste, conforme ilustrado na figura 6.2, nas seguintes características: 2.1) Padronização; 2.2) Modulação; 2.3) Tecnologia e ferramentas.

CATEGORIA 2)- CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

2.1) PADRONIZAÇÃO

2.2) MODULAÇÃO

2.3) TECNOLOGIA E FERRAMENTAS

Figura 6.2: Categoria 2) Características Construtivas e características.

6.3. Características da categoria 3- Ligações

Os princípios da categoria 3- Ligações- estão apresentados no gráfico 6.3 (vide também Quadro 3.3).

Os princípios apresentados em apenas um trabalho, com porcentagem de 16,66%, e que serão descartados são: 3.1- Fácil a separação de peças não reutilizadas em conjunto; 3.4- Atenção extra para as consequências de juntas e parafusos, pois influenciam no reuso; 3.5- Articulações e fixadores de material compatível com as partes conectadas; 3.7- Conexões entre conjuntos adequadas para a recuperação ou reciclagem de uma única parte; 3.9- Projetar elemento base como intermediário entre conjuntos, sistemas, componentes e elementos; 3.10- Elemento base deve ser o elemento mais durável entre os elementos do conjunto e 3.11 Fornecer um intermediário entre elementos base que pertença a diferentes conjuntos.

Apresenta-se no Quadro 6.3 a relação dos princípios selecionados (que mais de dois autores indicaram), a porcentagem dos autores que indicaram, bem como as equivalentes características da edificação que devem ser consideradas.

O item 3.2- Usar conexões mecânicas em vez das químicas- será relativizado, pois se sabe que muitas edificações em estrutura metálica utilizam ligações parafusadas e soldadas em alguns pontos. Esse princípio é importante porque muitas ligações químicas comprometem a possibilidade de reutilização. Por isso decidiu-se avaliar a

possibilidade de reutilização ao invés de considerar um ponto negativo todas as ligações químicas. Podem existir pontos soldados que não dificultam a separação de peças.

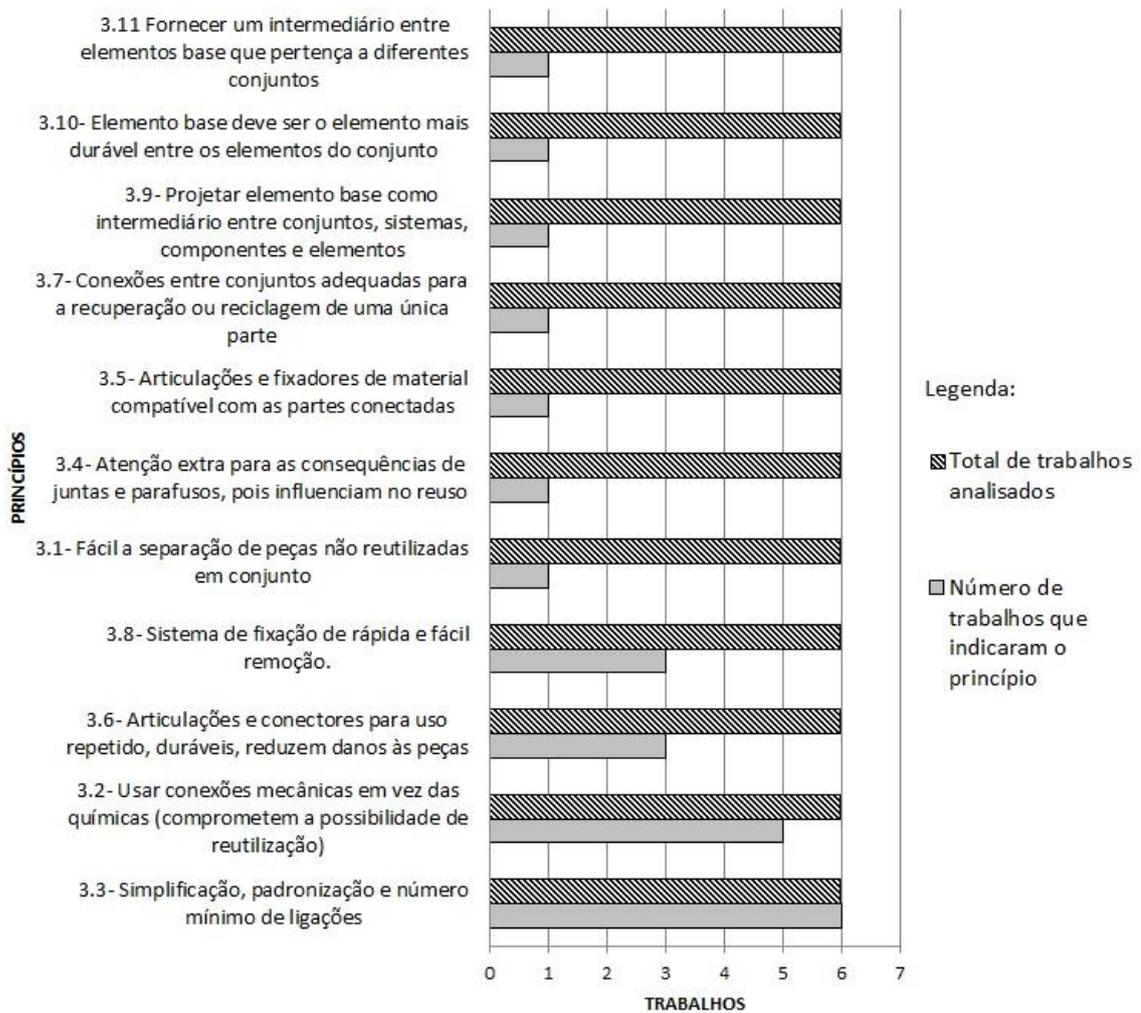


Gráfico 6.3: Princípios da Categoria 3) Ligações.

A Categoria 3- “Ligações” compreende, conforme ilustrado na figura 6.3, nas seguintes características: 3.1) Padronização; 3.2) Simplificação; 3.3) Número de ligações; 3.4) Expectativa de durabilidade; 3.5) Dano às ligações; 3.6) Tempo de remoção da ligação; 3.7) Acessibilidade; 3.8) Dano causado às peças conectadas.

Os itens 3.4 e 3.5 são relativos à possibilidade de reutilização e os itens 3.6 e 3.7 relacionam-se com a facilidade de remoção.

Quadro 6.3. Princípios selecionados da Categoria 3- Ligações

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
3.2- Usar conexões mecânicas em vez das químicas (comprometem a possibilidade de reutilização)	83,33%	*Possibilidade de reutilização, devem ser avaliados: - Dano às ligações e - expectativa de durabilidade
3.3- Simplificação, padronização e número mínimo de ligações	100%	- Padronização - Simplificação - Número de ligações mínimo
3.6- Articulações e conectores para uso repetido, duráveis, reduzem danos às peças conectadas	50%	*Possibilidade de reutilização, devem ser avaliados: - Dano às ligações e - expectativa de durabilidade *Dano causado às peças
3.8- Sistema de fixação de rápida e fácil remoção.	50%	*Facilidade de remoção, devem ser avaliados: - Tempo e - Acessibilidade

CATEGORIA 3)- LIGAÇÕES

3.1) PADRONIZAÇÃO

3.2) SIMPLIFICAÇÃO

3.3) NÚMERO DE LIGAÇÕES

3.4) EXPECTATIVA DE DURABILIDADE

3.5) DANO ÀS LIGAÇÕES

POSSIBILIDADE DE REUTILIZAÇÃO

3.6) TEMPO DE REMOÇÃO DA LIGAÇÃO

3.7) ACESSIBILIDADE

FACILIDADE DE REMOÇÃO

3.8) DANO CAUSADO ÀS PEÇAS

Figura 6.3: Categoria 3) Ligações e características.

6.4. Características da categoria 4- Hierarquia de Montagem

Os princípios da categoria 4- Hierarquia de Montagem - estão apresentados no Gráfico 6.4 (vide também Quadro 3.4).

Os princípios apresentados por apenas um autor, com porcentagem de 16,66%, e que serão descartados são: 4.1- Acessibilidade aos componentes com baixo ciclo de vida; 4.3- Definir partes fixas e modificáveis do edifício; 4.5- Sistema estrutural

aparente, elementos e conexões visíveis; 4.6- Facilitar a remoção de peças com materiais perigosos e 4.7- Desenvolver uma matriz coordenada do ciclo de vida para definir os pontos de desmontagem.

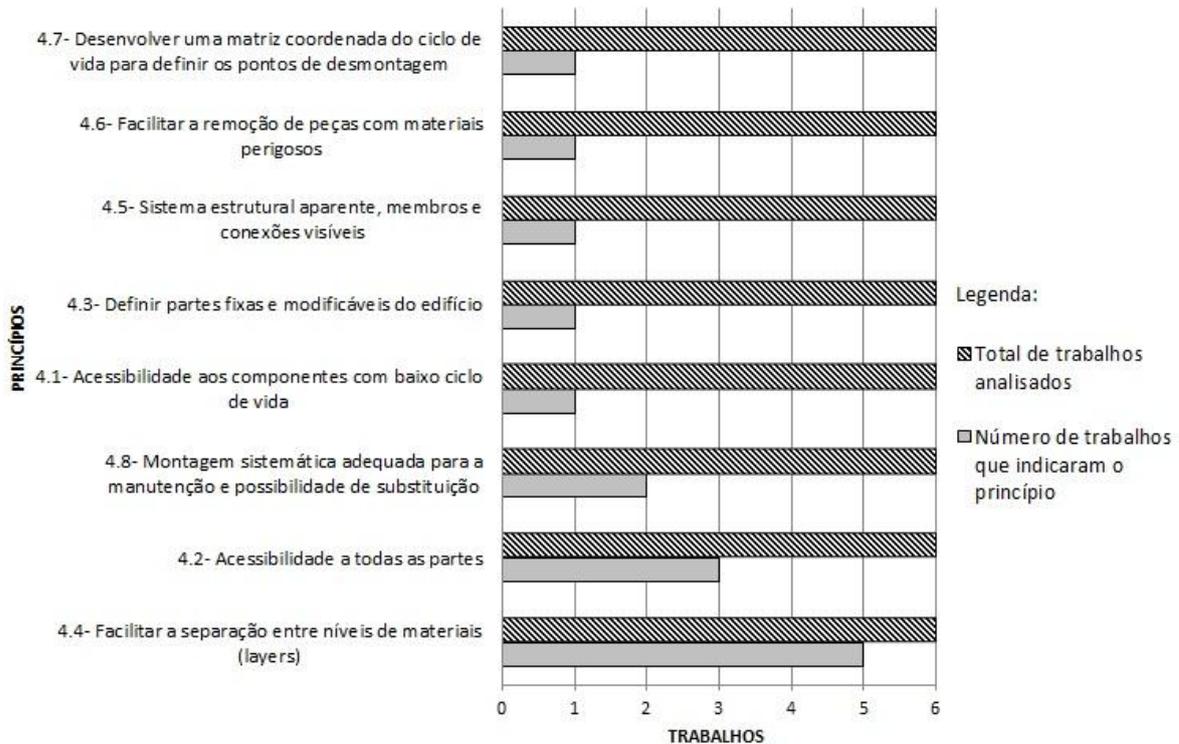


Gráfico 6.4: Princípios da Categoria 4) Hierarquia de Montagem.

Apresenta-se no Quadro 6.4 a relação dos princípios selecionados (que mais de dois autores indicaram), a porcentagem dos autores que indicaram, bem como as equivalentes características da edificação que devem ser consideradas.

O princípio 4.8- Montagem sistemática adequada para a manutenção e possibilidade de substituição - visa prolongar a vida útil da edificação, favorecendo a manutenção e a reposição de materiais e peças, por isso não será considerado nessa categoria.

A Categoria 4- “Hierarquia de Montagem” envolve, conforme ilustrado na figura 6.4, as seguintes características: 4.1- Acessibilidade e 4.2- Facilidade de separação de outros níveis de materiais.

Quadro 6.4. Princípios selecionados da Categoria 4- Hierarquia de Montagem

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
4.2- Acessibilidade a todas as partes	50%	- Acessibilidade
4.4- Facilitar a separação entre níveis de materiais (layers)	83,33%	-Facilidade de separação de outros níveis de materiais
4.8- Montagem sistemática adequada para a manutenção e possibilidade de substituição	33,33%	-Montagem sistemática

CATEGORIA 4)- HIERARQUIA DE MONTAGEM

4.1) ACESSIBILIDADE

4.2) FACILIDADE DE SEPARAÇÃO DE OUTROS NÍVEIS DE MATERIAIS

Figura 6.4: Categoria 4) Hierarquia de Montagem e características.

6.5. Características da categoria 5- Desmontagem

Os princípios da categoria 5- Desmontagem - estão apresentados no Gráfico 6.5 (vide também Quadro 3.5).

Os princípios apresentados por apenas um autor, com porcentagem de 16,66%, e que serão descartados são: 5.3- Fornecer peças de reposição e local de armazenamento e 5.4- Garantir instruções iniciais, treinamento e etapas de auditoria para empreiteiros e responsáveis pela obra.

Apresenta-se, no Quadro 6.5, a relação dos princípios selecionados (que mais de dois autores indicaram), a porcentagem dos autores que indicaram, bem como as equivalentes características da edificação que devem ser consideradas.

Os princípios 1.6; 1.7 e 2.3 tratam da seleção de materiais adequada para o tipo de desmontagem e indicam que se deve preferir montagem manual. Infere-se que são princípios relacionados à facilidade de desconstrução quando a desmontagem é manual por necessitar de menos infraestrutura, mas para isso as peças devem ser adequadas no tamanho e no peso. Por isso, decidiu-se analisar a característica da forma de desconstrução, sendo que quanto maiores forem as necessidades de equipamentos de

grande porte, mais difícil será a desconstrução. É uma característica não determinante para a desconstrução, apenas altera a facilidade do processo.

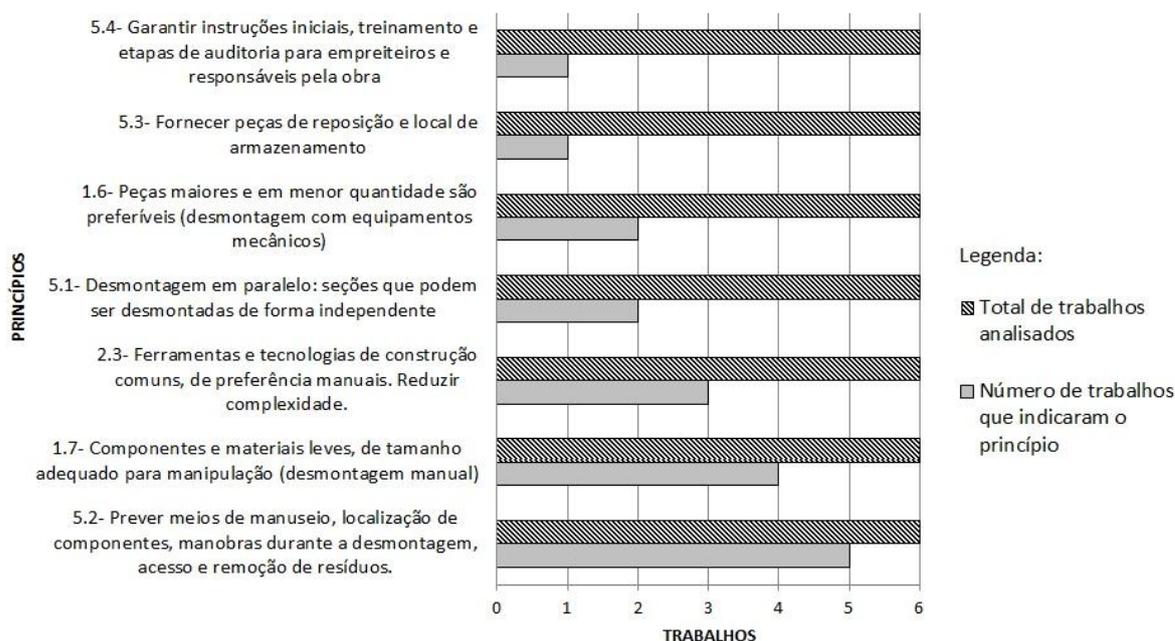


Gráfico 6.5: Princípios da Categoria 5) Desmontagem.

Quadro 6.5. Princípios selecionados da Categoria 5- Desmontagem

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
5.1- Desmontagem em paralelo: seções que podem ser desmontadas de forma independente	33,33%	- Eficiência do tipo de Desmontagem (Desmontagem paralela permite processo mais rápido que desmontagem sequencial)
5.2- Prever meios de manuseio, localização de componentes, manobras durante a desmontagem, acesso e remoção de resíduos.	83,33%	*Disponibilidade de espaço -Espaço para equipamentos e manobras -Espaço para armazenamento de materiais
1.6- Peças maiores e em menor quantidade são preferíveis (desmontagem com equipamentos mecânicos)	33,33%	- Dificuldade pela forma de desmontagem (a desmontagem manual com ferramentas é mais fácil do ponto de vista logístico)
1.7- Componentes e materiais leves, de tamanho adequado para manipulação (desmontagem manual)	66,66%	
2.3- Ferramentas e tecnologias de construção comuns, de preferência manuais. Reduzir complexidade.	50%	

A Categoria 5- “Desmontagem” é composta, conforme ilustrado na figura 6.5, as seguintes características: 5.1- Eficiência do tipo de Desmontagem; 5.2- Dificuldade pela forma de desmontagem; 5.3-Espaço para armazenamento de materiais; 5.4- Espaço para equipamentos e manobras. Os itens 5.3 e 5.4 se referem à disponibilidade de espaço durante a desmontagem.

CATEGORIA 5)- DESMONTAGEM

5.1) EFICIÊNCIA PELO TIPO DE DESMONTAGEM

5.2) DIFICULDADE PELA FORMA DE DESMONTAGEM

5.3) ESPAÇO PARA ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS

5.4) ESPAÇO PARA EQUIPAMENTOS E MANOBRAS

DISPONIBILIDADE DE ESPAÇO

Figura 6.5: Categoria 5) Desmontagem e características.

6.6. Características da categoria 6- Segurança do Trabalho

O único princípio da categoria 6- Segurança do Trabalho- está apresentado no Gráfico 6.6 (vide também Quadro 3.6).

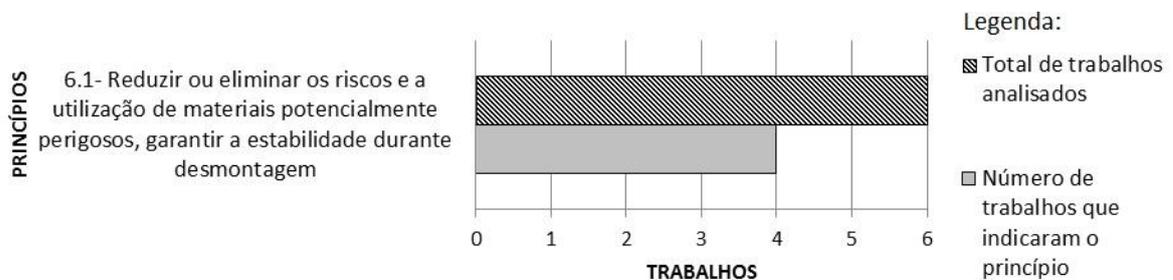


Gráfico 6.6: Princípios da Categoria 6) Segurança do Trabalho.

Apresenta-se no Quadro 6.6 o princípio selecionado, a porcentagem dos autores que o indicaram, bem como a característica equivalente da edificação que deve ser considerada.

Segundo a *British Constructional Steelwork Association* (BCSA, 2006), os acidentes mais graves na montagem de estruturas metálicas são: quedas de altura, a partir de posições de trabalho ou durante o acesso a elas e acidentes devido à

instabilidade estrutural durante o içamento e durante o manuseio e transporte de materiais. Por isso, na Categoria 6- “Segurança do Trabalho”, conforme ilustrado na figura 6.6, serão analisados as seguintes características: 6.1- Risco por Trabalho em Altura²⁷; 6.2- Risco por Instabilidade e 6.3- Outros riscos.

Quadro 6.6. Princípios selecionados da Categoria 6- Segurança do Trabalho

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
6.1- Reduzir ou eliminar os riscos e a utilização de materiais potencialmente perigosos, garantir a estabilidade durante desmontagem	66,66%	-Trabalho em altura -Instabilidade -Outros

CATEGORIA 6)- SEGURANÇA DO TRABALHO

6.1) RISCO POR TRABALHO EM ALTURA

6.2) RISCO POR INSTABILIDADE

6.3) OUTROS RISCOS

Figura 6.6: Categoria 6) Segurança do Trabalho e características.

6.7. Características da categoria 7- Plano de Desconstrução

Os princípios da categoria 7- Plano de Desconstrução- estão apresentados no Gráfico 6.7 (vide também Quadro 3.7).

Apresenta-se, no Quadro 6.7, a relação dos princípios selecionados (que mais de dois autores indicaram), a porcentagem dos autores que indicaram, bem como as equivalentes características da edificação que devem ser consideradas.

O princípio 7.6- Distribuição do Plano de Desconstrução atualizado- foi apresentado por apenas um autor, com porcentagem de 16,66%, e será descartado.

²⁷ Considera-se trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00 m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda (BRASIL, 2014d).

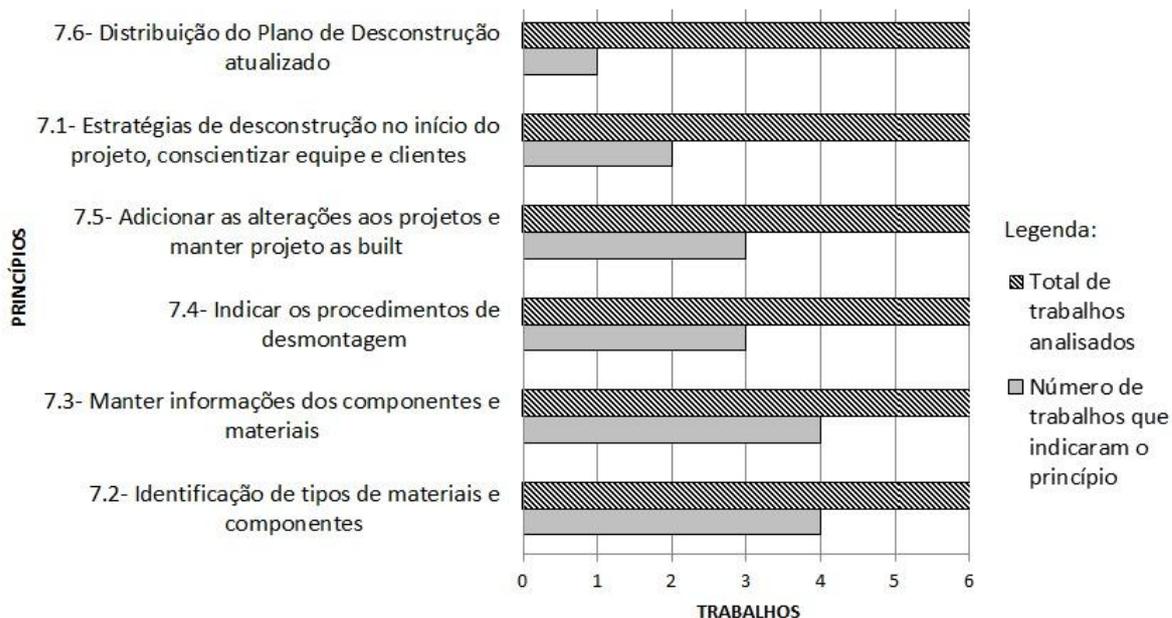


Gráfico 6.7: Princípios da Categoria 7) Plano de Desconstrução.

O princípio 7.1- Estratégias de desconstrução no início do projeto, conscientizar equipe e clientes- engloba todos os princípios de desconstrução que estão na análise e deve ser avaliado para o projeto como um todo. Devido ao fato da prática da desconstrução ainda ser um assunto recente no Brasil, presume-se que dificilmente uma edificação em análise atenderia a esse princípio. Portanto esse princípio não será avaliado como item separado no método.

Quadro 6.7. Princípios selecionados da Categoria 7- Plano de Desconstrução

Princípios selecionados	Porcentagem	Característica a serem avaliadas
7.1- Estratégias de desconstrução no início do projeto, conscientizar equipe e clientes	33,33%	-Estratégias de desconstrução definidas no início do projeto
7.2- Identificação de tipos de materiais e componentes	66,66%	-Sistema de informação identificação dos materiais: Identificação de materiais e componentes e Memorial de materiais
7.3- Manter informações dos componentes e materiais	66,66%	
7.4- Indicar os procedimentos de desmontagem	50%	-Procedimento de desmontagem
7.5- Adicionar as alterações aos projetos e manter projeto as built	50%	-Projeto as built

Na Categoria 7 “Plano de Desconstrução”, conforme ilustrado na figura 6.7, serão analisados as seguintes características: 7.1- Sistema de informação identificação dos materiais; 7.2- Procedimento de desmontagem e 7.3- Projeto “as built”.

CATEGORIA 7)- PLANO DE DESCONSTRUÇÃO

7.1) SISTEMA DE INFORMAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

7.2) PROJETO "AS BUILT"

7.3) PROCEDIMENTO DE DESMONTAGEM

Figura 6.7: Categoria 7) Plano de Desconstrução e características.

No Capítulo 7 serão apresentadas de forma mais detalhada cada uma das características a serem consideradas no método e como devem ser avaliadas.

7. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS A SEREM SELECIONADAS NO SISTEMA DE ANÁLISE

O projeto arquitetônico de um ambiente construído para a desconstrução futura deve considerar os aspectos que facilitarão o processo e propiciarão melhores formas de aproveitamento dos materiais com menor necessidade de reparos.

As nuances envolvidas no processo de desconstrução são multidisciplinares, envolvendo diversos aspectos, como, por exemplo, aspectos físicos, seleção dos materiais de construção duráveis, aspectos organizacionais, e o planejamento do processo de desconstrução em si. Esses parâmetros possuem sinergia entre si, são individuais e específicos, ao mesmo tempo que são coletivos e muitas vezes determinantes para o sucesso da desconstrução.

A avaliação da possibilidade de desconstrução, assim como a aplicação dos princípios PpD em edifícios é um desafio. São muitas as características a serem consideradas, e, além disso, muitas dessas requerem uma apreciação qualitativa e não quantitativa, tornando a análise subjetiva em determinados pontos.

De acordo com o levantamento e a seleção dos princípios de desconstrução no capítulo 6, procurou-se estabelecer quais eram as principais características de projeto e planejamento envolvidas no PpD, apresentando-se uma relação das características que influenciam a desconstrução de edificações após a sua vida útil e que devem ser analisadas nos métodos propostos. Neste capítulo investiga-se de que forma essas características influenciam a desconstrução, abordando mais profundamente algumas especificidades das estruturas em aço e como poderão ser avaliadas.

7.1. Considerações iniciais

Às características avaliadas deu-se o nome de variáveis independentes, respeitando-se as divisões por categorias estabelecidas. Algumas considerações a respeito de cada variável independente são feitas nos itens a seguir. Avalia-se como as variáveis independentes devem ser analisadas, determinam-se os parâmetros para a análise das variáveis em estruturas construtivas em aço e também quais os aspectos das variáveis independentes são considerados determinantes. Os aspectos das variáveis considerados determinantes afetam de forma mais direta o resultado final podendo ser decisivos no resultado final do potencial de desconstrução.

As variáveis independentes não determinantes também afetam a desconstrução, mas não de forma decisiva, pois considera-se que contribuem para a facilitar ou dificultar o processo de desconstrução e reuso dos componentes, mas não são capazes de impossibilitá-lo.

Numa mesma construção pode acontecer de um material apresentar alto potencial de desconstrução e reuso, enquanto outro apresentar um potencial muito baixo a ponto de tornar o processo de desconstrução inviável ou de não trazer benefícios ambientais ou econômicos se for realizada uma análise geral, abrangendo todos os elementos e componentes da edificação de uma só vez. Além disso, características que influenciam a desconstrução (como durabilidade, custo, etc.) vão variar de acordo com as particularidades de cada componente ou elemento, pois são específicas e individuais, e serão os dados de entrada para a análise. Esses fatores tornam impossível a criação de um sistema de avaliação do potencial de desconstrução da edificação como um todo e que considere todas as características selecionadas.

Diante da impossibilidade de avaliação do potencial de desconstrução geral da edificação, os sistemas de avaliação propostos neste trabalho devem ser utilizados na avaliação de categorias de componentes que possuem características específicas, para uma análise mais rigorosa. A fim de simplificar o método de análise da desconstrução, decidiu-se restringi-lo à avaliação da possibilidade de desconstrução de grupos de componentes das estruturas em aço, podendo facilmente adaptá-lo e utilizá-lo para análise de grupos de elementos de fechamentos verticais externos usados em construções metálicas, pois esses são os elementos teoricamente mais duráveis e com maiores chances de reuso. Para análise de outros componentes o método deve ser adaptado.

7.2. Categoria 1- Benefício com recuperação do material

Embora o benefício ambiental da desconstrução seja quase certo, os benefícios financeiros para o PpD são difíceis de quantificar, apesar da tendência dos edifícios projetados para a desconstrução serem mais facilmente construídos. Se as estratégias PpD resultarem em edifícios com mais materiais reutilizáveis no fim de vida, edifícios mais adaptáveis, facilmente renováveis e duráveis, então os benefícios ambientais serão obtidos, mesmo que seja necessário um aumento inicial em materiais e investimentos.

A Categoria 1- Benefício com recuperação do material- é composta de variáveis independentes que têm a função de considerar os aspectos financeiros, econômicos e ambientais na análise. As variáveis independentes dessa categoria são: 1.1) Custo; 1.2) Expectativa de durabilidade; 1.3) Estado de conservação; 1.4) Dano no processo e 1.5) Necessidade de adaptação para novo uso.

7.2.1. Variável independente (1.1)- Custo

Segundo Vasconcelos (2009), cristalizam-se dois conceitos, dentro do pensamento econômico mundial, que serão a base de uma nova equação de custos que agregam passivos e ativos ambientais: 1. A perenidade de um negócio será diretamente proporcional ao seu padrão de sustentabilidade econômica, social e ambiental; 2. Sustentabilidade não é custo, é investimento.

A desconstrução não deve ser necessariamente uma consideração primordial, mas uma alternativa de sustentabilidade da construção civil. Portanto deve-se garantir que o processo seja sustentável em todos os aspectos: econômico, social e ambiental.

A sustentabilidade ambiental do processo de desconstrução em regra é assegurada, exceto se os impactos ambientais do procedimento de desmontagem em si ou os de recuperação do material superarem os benefícios em termos de economia de recursos naturais e recuperação de energia incorporada. Isso porque algumas estratégias empregadas na desconstrução e na recuperação dos materiais podem produzir impactos ambientais maiores do que os decorrentes da fabricação de um mesmo material novo.

Em termos sociais, pode ser que a desconstrução garanta novas fontes de emprego, apesar de ser uma hipótese, visto que pode diminuir a produção de novos materiais e conseqüentemente o emprego de mão-de-obra. No entanto, pode-se afirmar que se o processo de desconstrução tiver como consequência a oferta de materiais de qualidade para o reuso a preços mais acessíveis existe um benefício social certo.

O aspecto econômico da desconstrução deve ser cuidadosamente considerado.

Em se tratando de projeto para a desconstrução, mesmo que sejam adotadas estratégias que facilitam a desconstrução, não há garantias que se concretizará no futuro. Segundo Webster e Costello (2005), a longa vida útil dos edifícios torna difícil prever quais os materiais terão valor residual e quais tecnologias estarão disponíveis para extrair os materiais no final da vida útil do edifício. É difícil pesar os custos adicionais,

referindo-se ao capital inicial necessário à realização de um empreendimento, quando se considera os benefícios financeiros e ambientais futuros que podem ser alcançados ou não, dependendo se os materiais da construção serão reaproveitados no futuro. Portanto, o ideal para se alcançar a viabilidade futura de desconstrução é a adoção de estratégias que diminuam ao máximo os custos de recuperação dos materiais no fim da vida útil da edificação.

Mesmo que seja um pouco subjetivo, deve-se fazer um exercício de estimativa de custos, incluindo os investimentos financeiros nos processos de desconstrução e de recuperação do material, e comparação destes custos com o valor de um material novo, com mesma função e desempenho, considerando, ainda, os possíveis benefícios com a adoção do material novo em termos de durabilidade e necessidade de manutenção.

Dessa forma, a desconstrução deve ser analisada em termos de custo dos investimentos necessários para promover o reuso dos recursos materiais utilizados em uma construção que chegou ao fim da vida útil.

No caso de uso do método para se avaliar um projeto voltado para a desconstrução futura, o custo adicional da adoção de PpD no empreendimento pode ser considerado na determinação do custo total da desconstrução.

Para fins de definição no método de análise será adotado como parâmetro o preço de um mesmo material (mesma função e desempenho). Define-se a partir desse parâmetro que o custo total de desconstrução e reparo dos componentes deve ser menor do que o custo de um mesmo material novo. É aceitável que o custo seja igual quando se sabe que benefícios ambientais estão sendo alcançados, ou seja, não há nada a perder em termos econômicos e existem benefícios ambientais. Quando o custo for maior, a desconstrução só será viável se o aspecto ambiental da sustentabilidade for majorado. Atualmente, é impossível definir se esse aspecto tem maior importância, porque varia de acordo com os princípios de cada concepção arquitetônica.

Portanto, para fins de aplicação nos métodos, se os custos totais são equivalentes a até 80% do valor do material novo a variável será considerada ideal. Se os custos são maiores que 80% e são menores ou iguais ao valor do material novo a variável é aceitável. A variável independente “custo” será considerada determinante quando o custo total da desconstrução for superior ao valor do material novo, pois esse custo extra é indesejado, tornando a desconstrução inviável. Esse parâmetro foi adotado

especificamente no sistema de análise de forma genérica, para todas as edificações. No caso de uma edificação cujo aspecto ambiental seja considerado mais importante que o aspecto econômico o sistema de análise deve ser alterado, tornando essa variável não determinante.

7.2.2. Variável independente (1.2)- Expectativa de durabilidade

A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), que trata do desempenho de edificações habitacionais, define durabilidade como a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas. Ou seja, todo material de construção possui uma durabilidade, uma previsão de duração, que sob condições de uso indicadas e manutenções especificadas pelo fornecedor devem ser garantidas.

Essa norma de desempenho distingue Vida Útil (VU) e Vida Útil de Projeto (VUP). A VUP é o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos na norma, considerando: o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção²⁸. A VUP é uma estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil. O tempo de vida útil pode ou não ser confirmado em função da eficiência e registro das manutenções, de alterações no entorno da obra, fatores climáticos, etc. (ABNT, 2013).

A VU é definida pela norma como o período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados. Interferem na vida útil, além da vida útil projetada, as características dos materiais e a qualidade da construção como um todo, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, mudanças no

²⁸ Documento que reúne apropriadamente todas às informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação.

entorno da obra ao longo do tempo (trânsito de veículos, obras de infraestrutura, expansão urbana), etc.

O valor real de tempo de VU será uma composição do valor teórico de VUP devidamente influenciado pelas ações da manutenção, da utilização, da natureza e da sua vizinhança. As negligências no cumprimento integral dos programas definidos no manual de operação, uso e manutenção da edificação, bem como ações anormais do meio ambiente, irão reduzir o tempo de VU, podendo este ficar menor que o prazo teórico calculado da VUP.

A norma de desempenho de edificações habitacionais também define a VUP mínima de alguns sistemas, considerando a periodicidade e os processos de manutenção, como lustrado na Tabela 7.1.

A VUP mínima instituída pela norma de desempenho estabelece que a estrutura de edificação deve ter duração mínima igual ou superior a 50 anos. Pode-se deduzir, do exposto pela norma brasileira, que as edificações devem durar no mínimo 50 anos. Segundo Durmisevic (2006), edifícios são projetados para durarem de 50 a 75 anos.

Sistema	VUP mínima anos
Estrutura	≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Tabela 7.1: Vida útil mínima de projeto para sistemas.
Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Durmisevic (2006) aborda a questão da durabilidade sob os aspectos do ciclo de vida técnico, que se refere à durabilidade esperada do material, e do ciclo de vida de utilização, que é o tempo de utilização real do material. Segundo a autora, de um modo geral, a duração da fase de utilização de um edifício é mais curta do que o tempo de vida técnico da maioria dos seus componentes. Novas exigências de uso e de

organização espacial envolvem mudanças no edifício. Quando isso ocorre deve ser feita uma avaliação para indicar se o prédio é adequado para as novas exigências e quais são as consequências técnicas e econômicas relacionadas à sua adaptação. Se não há solução técnica adequada para as alterações em função das novas exigências, o edifício chega ao fim do seu ciclo de vida útil antes do final de seu ciclo de vida técnico e quando isso ocorre, geralmente, os componentes são descartados, pois a maioria não tem potencial de desconstrução e reuso.

De modo semelhante, Agopyan e John (2011) expõem:

Além da degradação física, a obsolescência, um fenômeno resultante de mudanças tecnológicas, sociais e urbanas ou até de estratégias de marketing, frequentemente determina a vida útil das construções e de outros produtos: os usuários decretam o fim da vida útil sem que o produto esteja fisicamente degradado. Quanto maior for a vida útil de projeto, maior será o risco de obsolescência. Essa obsolescência poderá ser parcialmente superada por estratégias de projeto específicas, como design adaptável ou flexível e projeto para a desconstrução ou desmontagem, conceitos que têm sido propostos para edifícios, mas que podem ser estendidos a outras construções (AGOPYAN; JOHN, 2011, p. 88).

A degradação dos materiais de construção é inevitável, pois nada é eterno, embora a velocidade com que eles degradam dependa de inúmeros fatores, muitos dos quais podem ser controlados. A vida útil de um material é influenciada pelo projeto, pelas condições de uso, pelo microclima e pela biodiversidade (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Portanto ao se avaliar a viabilidade de uma desconstrução há que se considerar a expectativa de durabilidade do material que se quer recuperar após a vida útil da edificação, ou seja além do potencial de desconstrução o material deve apresentar um ciclo de vida técnico restante aceitável. Por exemplo, se uma estrutura em aço utilizada durante 40 anos em uma edificação tem durabilidade técnica de 100 anos e é recuperada, considerando que as devidas manutenções foram realizadas, pode-se dizer que a expectativa de durabilidade seja de mais 60 anos (dependerá também do estado de conservação, dos danos ocorridos no processo e das necessidades de alteração para novo uso).

Durmisevic (2006) exemplifica com um cenário, mostrado na figura 7.1, que representa diversos componentes de uma edificação e seus respectivos ciclos de vida

técnico e o ciclo de vida de uso de 50 anos. No cenário alguns componentes como paredes externas e internas, pisos, escadas e cobertura têm o ciclo de vida técnico superior ao de uso e poderiam ser reusados, por mais 25 anos, se forem recuperados depois da vida útil da edificação. Outros componentes com ciclo de vida técnico inferior ao ciclo de vida de uso devem ser substituídos ou reformados ao longo da vida útil da edificação.

No método o parâmetro utilizado para avaliação será: expectativa de durabilidade ótima acima de 50 anos e aceitável acima de 30 anos até 50 anos. Alterações no método podem ser realizadas para cada caso, considerando a durabilidade ótima igual ao período de vida útil almejado para o novo uso. Ou seja, se a construção onde o material recuperado será empregado for concebida para durar 30 anos pode-se alterar o valor de durabilidade ótima para 30 anos. A expectativa de durabilidade será considerada baixa se for muito inferior ao período de vida útil determinado para o novo uso.

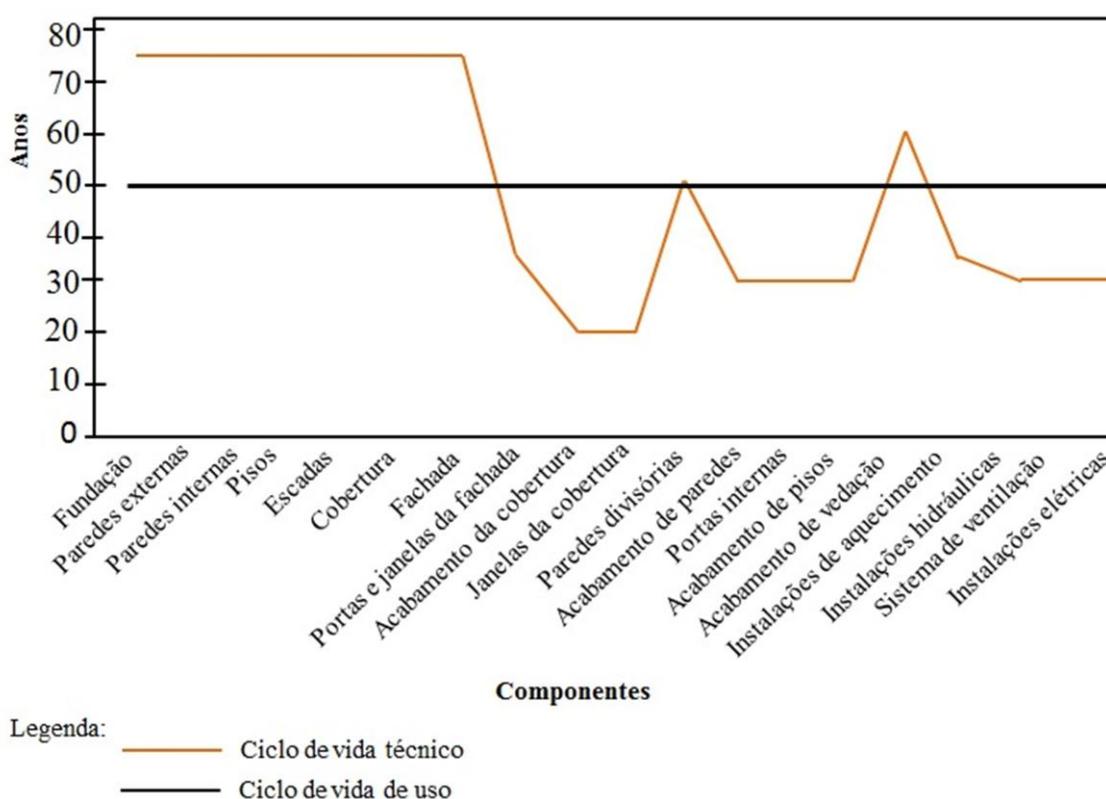


Figura 7.1: Cenário de componentes de uma edificação e seus respectivos ciclos de vida técnico e de uso.

Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2006.

A variável independente “Expectativa de durabilidade” é uma variável determinante quando for menor ou igual a 30 anos, sendo considerada baixa, pois, terá vida útil inferior à vida útil esperada da nova construção e, segundo Agopyan e John (2011), produtos com menores vidas úteis serão mais rapidamente substituídos, multiplicando os impactos ambientais de produção e gerando mais resíduos. Ou seja, o reuso pode originar prejuízo financeiro e ambiental visto que terá de ser substituído antes da vida útil da construção.

As três últimas variáveis da categoria 1 (1.3- Estado de conservação, 1.4- Dano no processo e 1.5- Necessidade de adaptação para novo uso) vão determinar a necessidade de reparo do material para o reuso e por isso devem ser analisadas em conjunto.

7.2.3. Variável independente (1.3)- Estado de conservação

A variável independente “Estado de conservação” de um elemento ou componente diz respeito à sua qualidade e ao seu aspecto antes do início da desconstrução. Alguns materiais podem apresentar deterioração total, quando não é possível o reparo, ou apenas pequenos danos em algumas partes, sendo possível o seu reparo e a reutilização.

O estado de conservação do material está diretamente ligado à sua durabilidade técnica, ao tempo de uso e às condições de uso e manutenções realizadas durante a vida útil da edificação.

É uma variante independente difícil de quantificar, sendo necessária uma avaliação mais subjetiva do estado do material. Para aplicação nos métodos, a análise dos elementos ou componentes deve ser feita de forma geral, sendo considerado como parâmetro o valor de 100% para estado de conservação ótimo, onde nenhum reparo é necessário. De 85% a 99% considera-se ótimo, quando é possível reparar. Para valores entre 65% e 85% considera-se que o estado de conservação é razoável. Para valores de 0 a 65% considera-se a variável determinante, quando o estado de conservação é ruim e não vale a pena reparar o material, até mesmo porque provavelmente o tempo, o custo, os recursos empregados e os impactos ambientais provenientes serão maiores que os empregados na fabricação de um material novo.

A variável “estado de conservação”, quando é considerada razoável, ainda pode ser determinante sobre o potencial de desconstrução, dependendo das outras variáveis (1.4 e 1.5) com que se relaciona para definir a necessidade de reparo total.

Como o objetivo é a criação de um método de aplicação geral para estruturas em aço, consideraram-se esses parâmetros de avaliação subjetivos em termos da porcentagem do material conservado ideal. Deve-se observar, entretanto, se esses parâmetros se aplicam ao caso específico de um outro componente ou elemento a ser analisado. Caso não se aplique, alterações podem ser realizadas para adaptação do método.

7.2.4. Variável independente (1.4)- Dano no processo

A variável independente “Dano no processo” se refere a qualquer tipo de dano que o material possa vir a sofrer durante o processo de desconstrução. Os danos serão menores quanto mais aspectos de desconstrução forem adotados, a fim de facilitar o processo de separação e remoção do material.

Trata-se de uma variável também um pouco subjetiva, já que o dano deve ser estimado e também é difícil de quantificar. Essa estimativa deve ser feita com base nas características da edificação, como tipos de ligações, separação entre níveis de materiais e tipo de desmontagem. Por meio da análise da edificação como um todo é possível estimar se o material deve ser quebrado ou cortado em alguma parte para se separar de outro material, se pode ser facilmente desconectado ou se, por exemplo, ao ser içado pode se chocar com alguma barreira e sofrer algum dano.

Como parâmetro, estabeleceu-se que o dano sofrido deve ser medido em porcentagem de 0 a 100%, sendo 0 quando não sofre nenhum dano durante a desconstrução e 100% quando o material é totalmente danificado no processo. Um dano até 15% pode ser considerado reparável. Danos entre 15 a 35% são considerados significativos, mas que ainda podem ser reparados, sendo considerados parcialmente reparáveis. Neste caso a influência da variável sobre o potencial de desconstrução irá depender de outras variáveis com que se relacionam, ou seja, as que definem a necessidade de reparação total (1.3 e 1.5). Para valores de danos superiores ou iguais a 35%, considera-se que o material é irreparável, quando a variável torna-se determinante

e não é recomendável a desconstrução nesses casos. Os valores adotados para avaliação no método são subjetivos e genéricos e podem ser alterados para um caso específico.

7.2.5. Variável independente (1.5)- Necessidade de adaptação para novo uso

Ao reutilizar um material de construção muitas vezes ele não é empregado em uma construção idêntica. Por exemplo, um pilar de estrutura em aço pode ser cortado e redimensionado para um novo uso, em que não necessite ter essa dimensão ou pode ser emendado, tendo sua altura alterada. A variável independente “Necessidade de adaptação para novo uso” se refere ao tipo de alteração necessária quando o material recuperado não for usado da mesma forma. Em muitos casos de desconstrução de edifícios inteiros as partes são simplesmente desmontadas e remontados em outro lugar. Nesses casos não são necessários reparos pois o material será usado da mesma forma, atendendo às mesmas exigências de uso.

Novamente trata-se de uma variável subjetiva, de complexa quantificação. Como parâmetro para a análise estipulou-se uma quantificação subjetiva para indicar a intensidade de modificação necessário do material para ser reutilizado. A necessidade de adaptação deve ser definida entre valores de 0 a 100%. Para isso, o novo uso do material deve ser avaliado. Se o material puder ser reusado da mesma forma pode-se considerar que a necessidade de adaptação é 0. Se o material tiver de ser totalmente modificado (praticamente refeito) para o novo uso pode-se dizer que a necessidade de adaptação é de 100%, pior situação para a desconstrução. Pequenos reparos como pintura do elemento, mesmo que seja por inteiro, podem ser considerados, mas não equivalem ao valor de 100% porque o que deve ser estimado é a intensidade da modificação necessária, se é muito ou pouco significativa quando comparada com as fases de fabricação de um material novo.

Por isso, considerou-se que a necessidade de adaptação com valores entre 0 e 15% é baixa, sendo viável executar as modificações. Para valores entre 15% e 35% considera-se razoável e sua influência sobre a desconstrução dependerá das outras variáveis com que se relacionam. Para valores iguais ou superiores a 35% a variável é determinante, quando o reparo do material para o novo uso é considerado alto e inviável, pois, geralmente nestes casos, os impactos e os investimentos não compensam.

Novamente destaca-se que esses valores são subjetivos e genéricos e podem ser alterados para um caso específico.

As variáveis 1.3- Estado de conservação, 1.4- Dano no processo e 1.5- Necessidade de adaptação para novo uso- devem ser analisadas em conjunto, da seguinte forma: qualquer combinação que tenha 1.3-Estado de conservação “Ruim” ou 1.4-Dano no processo “Irreparável” ou 1.5-Necessidade de adaptação “Alta”, será determinante e torna o potencial de desconstrução inviável. O potencial de desconstrução também será inviável em qualquer combinação entre: 1.3-Estado de conservação “Razoável” e 1.4-Dano no processo “Parcialmente Reparável” ou 1.5-Necessidade de adaptação “Razoável” e 1.4-Dano no processo “Parcialmente Reparável” ou 1.3-Estado de conservação “Razoável” e 1.5-Necessidade de adaptação “Razoável”.

7.3. Categoria 2- Características Construtivas

A Categoria 2- Características Construtivas- é composta de variáveis de entrada que de forma geral simplificam o processo de desconstrução, mas geralmente não são determinantes. Podem facilitar o processo de desconstrução em si, influenciar na facilidade de organização das peças e materiais durante a desconstrução e favorecer o reuso. As variáveis de entrada dessa categoria são: 2.1) Padronização; 2.2) Modulação; 2.3) Tecnologia e ferramentas.

7.3.1. Variável independente (2.1)- Padronização

O projeto arquitetônico em estruturas metálicas deve ser preciso, pois emprega produtos industrializados que em regra não admitem as improvisações na obra. Os problemas relacionados ao projeto devem ser previstos e resolvidos na prancheta, antes da fabricação da estrutura. A estrutura em aço é um produto industrializado e seus processos de projeto e fabricação envolvem: padronização das peças, previsão do sistema de montagem, alta qualidade de execução, racionalização de operações e equipamentos, resultando em facilidade de organização e redução de canteiros de obras.

Por isso, na maioria das vezes, em edifícios estruturados em aço, os elementos são padronizados, ou seja, são uniformes, pois essa estratégia otimiza custos. Segundo Maringoni (2004), o custo de mão de obra sobre peças industrializadas tem sensível

redução em função da repetitividade. Soluções padronizadas, equalização de vãos e dimensões de peças, detalhes de ligação, trazem, além de economia, facilidade no transporte e na montagem.

Espaçamentos regulares padronizam a fabricação e simplificam a montagem, resultando em redução de custos. Isso vale não só para a estrutura, mas também para os fechamentos verticais utilizados, que, na maioria das vezes, são fornecidos em tamanhos padronizados. Os painéis, quando não são fabricados em medida padrão, por exemplo, os painéis em concreto armado, podem ser padronizados para diminuir o custo do produto, pois acelera o processo de fabricação e economiza nas fôrmas utilizadas para moldá-los.

Em se tratando de desconstrução, a padronização no uso dos elementos permite que, ao serem desmontadas, as partes iguais sejam mais facilmente localizadas e organizadas. Além disso, o conhecimento prático de como desconstruir se repetirá, podendo agilizar o processo, pois os responsáveis pela desconstrução encontrarão tipos de componentes e ligações semelhantes, que exigem as mesmas ferramentas para a desmontagem.

Sob o ponto de vista do reuso, quanto mais peças idênticas forem encontradas, mais fácil será para um projetista reutilizá-las em um projeto. Do contrário o projetista precisará garimpar as peças que possa ter interesse e planejar o seu projeto encaixando tais peças ou tendo de adaptá-las para serem úteis na nova construção, o que pode tornar o trabalho dispendioso. No caso de uma desconstrução e reconstrução do mesmo edifício essa variável só influenciará na questão de organização das peças pós-desconstrução e pré-reconstrução e na velocidade dos processos, que devem ser mais rápidos quanto mais padronizados forem os componentes.

Por isso, a variável independente padronização não será considerada determinante, mas suas características podem influenciar na desconstrução de forma a torna-la mais viável. A quantificação dessa variável é complexa, visto que nesse caso deverá ser feita por componente ou, de forma mais genérica, para o elemento estrutural em aço como um todo. Para avaliação de componentes pode ser usado o critério de análise por tipo de uso, ou seja, os pilares devem ser avaliados em porcentagem de peças iguais entre si, não misturados às vigas, que possuem uso diferente. Mesmo já sendo uma característica comum para construções em aço, adotou-se como parâmetro

para a quantificação uma porcentagem de 0 a 100%. Para valores de 0 a 30% considera-se a padronização insignificante. Valores entre 30 e 85% já garantirão um número maior de peças idênticas, por isso considera-se uma padronização parcial. Para valores iguais ou acima de 85% a padronização pode ser considerada total, influenciando o potencial de desconstrução de forma positiva.

7.3.2. Variável independente (2.2)- Modulação

O módulo é uma medida arbitrária que serve de base para regular as proporções entre as diversas partes de um edifício ou de qualquer peça de arquitetura. É a unidade básica de medida usada para quantificar e medir um espaço. A utilização do módulo padronizado permite a intercambialidade de vários sistemas construtivos.

A norma NBR 15873 (ABNT, 2010) – Norma de Coordenação Modular para edificações, publicada em 2010 substituindo a antiga norma NBR 5731 (ABNT, 1982), define os termos e os princípios da coordenação modular para edificações e define como “Módulo básico” a menor unidade de medida linear da coordenação modular, representada pela letra M, cujo valor é $M=100\text{mm}$, seguindo a especificação da norma internacional.

A coordenação modular é a inter-relação de medidas de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, usada para seu projeto, sua fabricação e sua montagem mediante o emprego do módulo básico ou de um multimódulo (múltiplo inteiro do módulo básico) (ABDI, 2009).

Em outras palavras, a coordenação modular é um instrumento que auxilia no dimensionamento, posicionamento e conectividade dos elementos e componentes, tanto no projeto quanto na execução da construção e também na produção de componentes construtivos. Entre as vantagens da prática da coordenação modular, Parizotto Filho (2004) ressalta: a simplificação e a compatibilização dos projetos e das operações de execução, com maior precisão dimensional e locação da obra, facilitada pelo reticulado modular; a padronização dos materiais e componentes, facilitando a produção em série, e a substituição; a redução dos problemas de interface entre os componentes, elementos e subsistemas; a facilidade na utilização de técnicas pré-definidas; o possível intercâmbio nacional e internacional das tecnologias de construção e inovações nos materiais.

Difundido internacionalmente a partir da década de 1940, a Coordenação Modular tem as primeiras normas da *International Organization for Standardization* (ISO) divulgadas na década de 1970. No Brasil se publicou a primeira norma de Coordenação Modular em 1950 e houve um esforço significativo para a normalização detalhada e para a adoção desse instrumento nas décadas de 1960 e 1970. O Banco Nacional da Habitação (BNH) contratou o Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC) em 1969 para o desenvolvimento de uma estratégia de implantação da Coordenação Modular no Brasil. Contudo, as ações não tiveram sistematicidade e recursos suficientes para uma difusão ampla, sendo interrompidas em 1972 (BALDAUF²⁹, 2004 apud ABDI, 2009).

Com as mudanças dos processos de trabalho na construção civil brasileira ocorridas desde a década de 1980 e mais marcadamente na década de 1990, tornou-se evidente a necessidade de uma retomada da Coordenação Modular, com o objetivo de melhorar a produtividade dos processos construtivos, a versatilidade de componentes construtivos e a comunicação entre os agentes do setor (fabricantes, construtores, projetistas, usuários, poder público) (ABDI, 2009).

Algumas definições e esclarecimentos sobre a coordenação modular, seus componentes e conjuntos são dadas pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2009):

- A Coordenação Modular se baseia no princípio fundamental de que o espaço ocupado por um elemento ou componente construtivo deve ter medidas múltiplas de 100mm nas três dimensões. O espaço ocupado por um elemento ou componente denomina-se **espaço de coordenação**. Este espaço inclui o elemento ou componente propriamente dito e, também, as folgas perimetrais requeridas em razão de suas deformações (mecânicas, térmicas ou por umidade), suas tolerâncias (de fabricação, marcação e montagem), seu processo de instalação e seus materiais de união com componentes ou

²⁹ BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2004.

elementos vizinhos. Essas folgas perimetrais são denominadas ajustes de coordenação.

- Um componente construtivo é um produto formado como uma unidade distinta, de geometria definida e medidas especificadas nas três dimensões, isto é, um produto que, normalmente, é instalado na edificação sem cortes ou ajustes. Para que um componente construtivo possa ser utilizado em edificações coordenadas modularmente, basta que suas medidas de coordenação sejam iguais ao módulo básico de 100mm ou a um multimódulo. O componente é então denominado **componente modular**.
- As medidas nominais de um componente modular dificilmente serão iguais ao módulo básico ou a um multimódulo, uma vez que isso significaria ajustes de coordenação nula, o que, por sua vez, pressupõe a total ausência de deformações, tolerâncias, folgas de montagem e materiais de união.
- Um componente modular pode ter medida não modular em uma dimensão (particularmente, a espessura), desde que ela não interfira diretamente na sua coordenação com os demais elementos e componentes da edificação ou que, unida a outros componentes, integre novamente uma medida modular.
- Um componente modular pode ter quaisquer medidas e disposições geométricas no seu interior, conforme conveniências de consumidores e fabricante, pois as subdivisões internas do componente não interferem na coordenação modular da edificação. Uma esquadria, por exemplo, será modular em razão de suas medidas de coordenação (externas), não importando a paginação das folhas, o perfil utilizado, o tamanho dos vidros, etc.
- Um **conjunto modular** é constituído por componentes construtivos que, individualmente, não são modulares, mas cuja soma ou justaposição resulta numa medida modular. Conjuntos modulares podem ter, internamente, quaisquer medidas e disposições geométricas, desde que, a intervalos regulares, apresentem medidas de coordenação iguais a um multimódulo.

Para Santos (1996), o sistema modular deve ser definido por malhas reticulares tridimensionais com dimensões padronizadas. O objetivo das malhas reticulares é

oferecer ao arquiteto a possibilidade de criar desenhos variados adotando-se, em geral, formatos de figuras geométricas, permitindo uma menor perda de insumos na utilização de materiais e otimizando os custos de fabricação. O controle de perdas por meio do uso de malhas reticulares permite a racionalização da fabricação e contribui para manter seus índices em limites admissíveis, uma vez que estes sempre existirão.

Segundo Mancini (2003), um projeto em aço deve ser concebido, preferencialmente, a partir de um sistema modular definido por meio de malhas reticulares tridimensionais com dimensões básicas de 600mm (Figura 7.2). Este módulo permite um grande número de subdivisões, em função das dimensões padrão dos perfis metálicos, com possibilidades praticamente ilimitadas de variação do desenho arquitetônico.

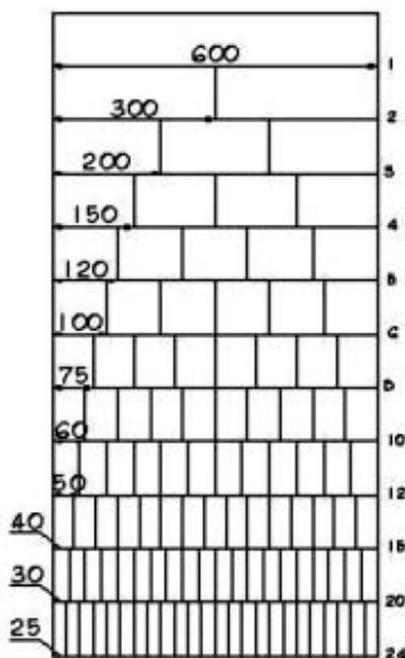


Figura 7.2: Subdivisões do módulo de 600mm.
Fonte: SANTOS, 1996.

O módulo de 600mm é o mais apropriado, pois contém um número exato de vezes os números primos 2, 3 e 5 sendo, portanto, os seus divisores isentos de frações de milímetro (SANTOS, 1996). Neufert³⁰ (1989, apud MANCINI, 2003) apresenta uma

³⁰ NEUFERT, Ernst. **Industrialización de las construcciones**. Manual de la construcción racional com medidas normalizadas. Barcelona, 1989.

tabela com os divisores do número 1 ao 250 afirmando que os números de melhor divisibilidade são os múltiplos de 12. O número 10, por exemplo, só é divisível por 2 e 5, já o número 12 é divisível por 2, 3, 4 e 6.

Dessa forma, conclui-se que a variável independente “modulação” tem a função de racionalizar a construção, minimizando perdas de materiais e padronizando medidas. É, portanto, uma variável não determinante, pois não determina a inviabilização da desconstrução. Embora não seja uma variável determinante a modulação da construção influenciará na organização e categorização das partes a serem desmontadas e nas possibilidades de reuso e compatibilização com outros componentes.

Para análise dessa variável considerou-se a avaliação da modulação aplicada separadamente aos componentes empregados na edificação ou de forma mais geral e subjetiva para a análise de um elemento. Como parâmetro estipulou-se valores de 0 a 100% para quantificar o quanto esses componentes ou elementos estão modulares. Para valores de 0 a 30% considera-se a modulação baixa. Valores entre 30 e 85% indicam uma modulação parcial. Para valores iguais ou superiores a 85% a modulação pode ser considerada total, influenciando o potencial de desconstrução de forma positiva.

7.3.3. Variável independente (2.3)- Tecnologia e ferramentas

A variável independente tecnologia e ferramentas tem a função de avaliar a influência do tipo de tecnologia da construção que se quer desmontar e das ferramentas necessárias para a desconstrução. Para facilitar a desconstrução recomenda-se o uso de ferramentas comuns, de preferencia manuais, e de tecnologia de construção simples na construção. Teoricamente tecnologias especiais dificultam o processo de desmontagem, pois podem ser mais complexas, com pouca mão-de-obra especializada disponível e podem não existir no futuro.

A grande dificuldade é como quantificar essa variável para uso no método. Geralmente as construções em aço são compostas por perfis leves *steel frame*, que podem ser montadas manualmente ou perfis estruturais em aço, em regra mais pesados, que dependem de equipamentos para içamento das peças. Em ambos os casos é necessária a contratação de mão de obra especializada tanto na construção quanto na desconstrução.

Quando se difunde o conhecimento de uma tecnologia nova ela vai aos poucos sendo popularizada e se tornando básica. O Brasil possui uma cultura construtiva, caracterizada pelo uso do concreto armado como sistema estrutural e da alvenaria tradicional como fechamento vertical, sendo essa a tecnologia mais básica atualmente porque o conhecimento da técnica já se popularizou. As construções industrializadas ainda podem ser consideradas como tecnologia especial porque, dependendo da região, não se encontra mão-de-obra com conhecimento necessário para executar esse tipo de construção.

Concluiu-se que talvez a melhor forma de quantificar essa variável seja por meio da avaliação da mão-de-obra disponível e o tipo de conhecimento requerido para a desconstrução, visto que a variável independente (5.2)- Dificuldade pela forma de desmontagem, da Categoria 5- “Desmontagem”, já será responsável por considerar a influência do tipo de montagem/desmontagem, se é manual ou mecânica de pequeno ou grande porte.

Para fins de avaliação no método, valores de 0 a 10 serão adotados para quantificar o nível de complexidade da tecnologia e ferramentas utilizadas. Quanto menor o valor mais básicas e comuns são as tecnologias e ferramentas adotadas e quanto mais próximas de 10 mais complexas. De 0 a 3 considera-se a adoção de tecnologia e ferramentas básicas, comuns, onde a mão-de-obra necessária para o serviço é rapidamente encontrada ou quando pode ser facilmente treinada. Considera-se os valores entre 3 e 7,5 para tecnologias e ferramentas intermediárias, onde encontra-se mão-de-obra especializada com um pouco mais de dificuldade, sendo necessária a contratação de uma empresa especializada com equipamentos específicos. Adota-se valores iguais ou superiores a 7,5 quando a tecnologia é considerada complexa, exigindo importação de mão-de obra e equipamentos ou ferramentas.

A variável independente “tecnologia e ferramentas” não será considerada determinante porque é uma variável que influencia de forma a facilitar a desconstrução, mas não a impossibilita. No caso mais desfavorável, quando a variável é considerada complexa por exigir importação da tecnologia e de mão-de-obra, pode ser que o custo seja muito elevado e interfira de forma determinante na possibilidade de desconstrução pela variável (1.1)- Custo, mas não pela variável (2.3)- Tecnologia e ferramentas.

7.4. Categoria 3- Ligação

Segundo Webster e Costello (2005), muitos materiais de construção não são reutilizáveis e, muitas vezes, mesmo que sejam teoricamente reutilizáveis, os materiais são interligados de forma a torná-los difíceis de separar e reutilizar. Por isso, além da característica de reutilização dos materiais, deve-se pensar em como eles estão interligados. A forma como os componentes e os elementos construtivos se conectam podem determinar a viabilidade da desconstrução.

A Categoria 3- Ligação- é composta de variáveis independentes com a função de avaliar o tipo de ligação adotada entre os elementos avaliados e de que forma influenciará a desconstrução. As variáveis de entrada dessa categoria são: 3.1) Padronização; 3.2) Simplificação; 3.3) Número de ligações; 3.4) Expectativa de durabilidade; 3.5) Dano às ligações; 3.6) Tempo de remoção da ligação; 3.7) Acessibilidade; 3.8) Dano causado às peças conectadas pela remoção das ligações.

7.4.1. Variável independente (3.1)- Padronização

A variável independente padronização da categoria 3-Ligações tem a função de avaliar a influência do nível de padronização das ligações. Para essa variável pode-se tecer as mesmas considerações apresentadas no item 7.3.1, relativo à padronização dos elementos na categoria 2. As ligações são responsáveis por grande parte dos custos de uma construção industrializada e quanto mais padronizadas forem mais fácil será o processo de desconstrução, pois exigirá os mesmos conhecimentos e as mesmas ferramentas para remoção. No processo de desconstrução, quando se tem as ligações com conexões acessórias (por exemplo, os parafusos das ligações de estruturas em aço) padronizadas simplifica-se o processo de identificação e organização das peças desmontadas.

Assim como no item 7.3.1, a variável não será considerada determinante e como parâmetro para o método estipulou-se que uma porcentagem de 0 a 100% será indicada para quantificar as ligações padronizadas. A avaliação deverá ser feita por elemento ou componente. Para valores de 0 a 30% considera-se a padronização insignificante. Valores entre 30 e 85% referem-se a uma padronização parcial. Acima de 85% a padronização pode ser considerada total, influenciando o potencial de desconstrução de forma positiva.

7.4.2. Variável independente (3.2)- Simplificação

A variável independente simplificação tem a função de avaliar a influência do nível de simplificação das ligações. Da mesma forma que no item 7.3.3 da variável (2.3)- tecnologia e ferramentas, essa variável é de difícil quantificação. Teoricamente quanto mais simples são as ligações, mais fácil é seu entendimento e manipulação. Quanto mais populares são as ligações, mais fácil a compreensão de seu funcionamento e a previsão de como as partes podem ser desconectadas.

Para fins de quantificação dessa variável adotou-se que o grau de simplificação das ligações pode ser estimado numa escala de 0 a 10, sendo 0 a condição menos favorável, quando a simplificação é baixa, e 10 a melhor condição, quando o grau de simplificação é alto. Adotar-se-á a mesma análise por meio da mão-de-obra qualificada disponível. Quando a ligação apresenta tecnologia complexa, desconhecida, mais difícil será a desconstrução. Devem-se considerar também as ferramentas a serem utilizadas no processo. Então se convencionou que as ligações que exigem importação de mão-de-obra especializada e de materiais e equipamentos para a desconstrução devem receber valores de 0 a 3. Considera-se valores entre 3 e 7,5 para as ligações que exigem mão-de-obra especializada e equipamentos já disponíveis, quando existe certo conhecimento sobre esse tipo de ligação, mas que ainda não é muito acessível, popular. Valores iguais ou superiores a 7,5 são relativos a um alto grau de simplificação referente a ligações mais populares, que exigem ferramentas e mão-de-obra mais acessíveis.

A variável não é determinante visto que se houve conhecimento técnico para montagem, por mais difícil que seja, também será possível a desmontagem, mesmo que implique dano às partes unidas, o que já será avaliado pela variável específica (3.8)- Dano causado às peças conectadas pela remoção de ligações.

7.4.3. Variável independente (3.3)- Número de ligações

A variável independente “Número de ligações” aborda a influência do número de ligações durante a desmontagem. É evidente que o número de ligações que une duas partes influi no tempo de desconstrução, pois, considerando que todas as ligações são idênticas, em regra quanto menos ligações houver mais rápido será o processo de separação.

Novamente é uma variável de difícil quantificação, pois cada elemento tem uma função e deve resistir a esforços específicos, sendo impossível generalizar um número ideal de ligações entre duas peças mediante a diversidade dos ambientes e situações existentes. Além disso, dependendo do tipo, uma única ligação mais difícil de remover pode substituir várias ligações de remoção mais fácil. Portanto optou-se por uma análise subjetiva, em que cada ligação entre os elementos deve ser analisada por meio de uma avaliação pessoal quanto ao nível de número de ligações. Dessa avaliação será dado um valor na escala de 0 a 10. A classificação de 0 a 3 será considerada para número de ligações mínimo, ou seja, o número de ligações é considerado suficiente, satisfatório, de modo a influenciar positivamente no processo de desconstrução. Valores entre 3 e 7,5 devem ser dados quando o número de ligações ultrapassam um pouco o que foi considerado suficiente, mas que ainda assim o número de ligações não influenciará muito na duração da desconstrução. Quando as ligações forem reconhecidamente excessivas, em quantidade superior ao necessário para garantir o bom funcionamento da construção, devem ser dados valores iguais ou superiores a 7,5.

Em construções em aço, geralmente, o número de ligações é calculado para o mínimo possível, visto que quanto maior o número de ligações mais oneroso é o produto, pois furos específicos nas peças e acessórios externos como parafusos são responsáveis por grande parte dos custos da estrutura.

Considera-se que essa variável não é capaz inviabilizar a desconstrução, entretanto, reconhece-se que ligações em excesso influenciam na sua logística, podendo atrasar todo o processo e conseqüentemente demandar um aumento de mão-de-obra e indiretamente afetar os custos. Além disso, quanto maior o número de ligações com acessórios de conexão externos, maior será a dificuldade de organização das peças durante a desconstrução e o reuso.

7.4.4. Variável independente (3.4)- Expectativa de durabilidade

A variável independente “Expectativa de durabilidade” refere-se à perspectiva de durabilidade das ligações após a desconstrução, no reuso. Para essa variável devem ser tecidas as mesmas considerações do item 7.2.2 que trata da variável independente (1.2)- Expectativa de durabilidade, mas considerando que essa variável é relativa ao

componente ou elemento a ser recuperado como um todo e a variável (3.4) refere-se somente à ligação.

O parâmetro adotado para avaliação dessa variável será o mesmo que o adotado para a variável (1.2), sendo analisados em anos de expectativa de durabilidade. A durabilidade será ótima acima de 50 anos e aceitável acima de 30 até 50 anos. A expectativa de durabilidade será considerada baixa para valores iguais ou inferiores a 30 anos. Alterações no método podem ser realizadas para cada caso, considerando a durabilidade ótima o período de vida útil almejado para o novo uso.

Apesar da semelhança com a variável (1.2) da categoria 1, essa variável não é considerada determinante para a desconstrução porque mesmo que a ligação tenha durabilidade baixa, deve-se avaliar também a possibilidade de ser refeita ou substituída, o que será avaliado pela variável (3.5)- Dano às ligações.

Assim, para avaliação dessa variável cada caso em particular deve ser analisado. Ligações onde há um elemento acessório, por exemplo, as parafusadas, deve-se avaliar a expectativa de durabilidade desse elemento. Para ligações químicas, por exemplo, as soldadas, considera-se que não há durabilidade, pois quando ela se rompe é necessário uma nova ligação química. Ligações de encaixe podem ser consideradas duráveis se puderem ser reutilizadas.

7.4.5. Variável independente (3.5)- Dano às ligações

A variável independente “Dano às ligações” tem como função avaliar o dano que as ligações sofrem durante o processo de desconstrução. Embora haja certa semelhança com a variável (1.4) Dano no processo, especificado no item 7.2.4, essa variável considera o dano apenas da ligação, não do componente ou elemento como um todo. Será avaliado, além do dano, se a ligação pode ser facilmente refeita ou substituída, o que garantirá o reuso sem comprometer a viabilidade da desconstrução.

A avaliação dessa variável será feita de forma semelhante ao especificado para a variável (1.4) Dano no processo. Para mensurar o dano serão dados valores de 0 a 100%, referentes a porcentagem de dano sofrida pela ligação. Valores de 0 são referentes às ligações que não são comprometidas durante a desconstrução e podem ser reusadas. Valores acima de 0 até 15% devem ser dados quando a ligação sofre pequenos danos, sendo facilmente reparáveis e reutilizáveis. Valores acima de 15 até 35% devem

ser dados para ligações parcialmente reparáveis, que devem ser refeitas ou substituídas. As ligações avaliadas com valores acima de 35% não podem ser refeitas ou substituídas, são aquelas que comprometem o reuso do elemento avaliado, sendo, portanto uma variável determinante nesse caso.

7.4.6. Variável independente (3.6)- Tempo de remoção da ligação

A variável independente “Tempo de remoção da ligação” é uma das variáveis responsáveis pela avaliação da facilidade de remoção. O tempo de remoção da ligação para a separação das partes influencia no tempo total despendido na desconstrução. Quanto menor for o período de tempo necessário para a remoção da ligação mais fácil será considerada a sua remoção.

Para fins de quantificação dessa variável definiu-se que o tempo de remoção seria mensurado em minutos. Como parâmetro definiu-se que de 0 a 15 minutos o tempo de remoção da ligação é considerado baixo. Entre 15 e 30 minutos considera-se o tempo gasto moderado. Quando o tempo de remoção é igual ou superior a 30 minutos a variável é considerada alta. Quanto maior for o tempo necessário para remoção da ligação, mais difícil será considerada a remoção da ligação e conseqüentemente maior será a dificuldade do processo de desconstrução, pois podem ocorrer: atrasos no processo, demanda de aumento de mão-de-obra e influência indireta no aumento dos custos.

Dessa forma, considera-se que essa variável não é capaz inviabilizar a desconstrução, entretanto, assim como a variável (3.3)- Número de ligações, pode impactar na sua logística.

7.4.7. Variável independente (3.7)- Acessibilidade à ligação

Se a fixação de um componente está por trás de um obstáculo e não está acessível, então muito mais trabalho será necessário para removê-la. Muitas vezes, simplesmente não há espaço suficiente para os trabalhadores executarem manobras com as ferramentas apropriadas, a fim de remover os elementos de fixação.

Por isso, a variável independente “Acessibilidade” também é uma variável responsável pela avaliação da facilidade de remoção. Isso porque quanto mais fácil for se aproximar do ponto de remoção da ligação, mais fácil será sua remoção. Muitas

vezes os pontos de ligação entre os elementos ou componentes que se quer alcançar são ocultados por obstáculos ou sua localização é de difícil alcance, sendo necessários meios de acesso temporário como escadas ou andaimes para se ter acesso. Em outros casos a dificuldade de acessibilidade pode ser causada pela localização das ligações que podem forçar os trabalhadores a se posicionarem de forma a causar riscos ergonômicos e danos à saúde, como por exemplo, o caso mostrado na figura 7.3.



Figura 7.3: Trabalhadores em posições que causam riscos ergonômicos.

O contratante deve assegurar e fornecer métodos de acesso seguro às posições de trabalho. O tema dificuldade de alcance por trabalho em altura e opções seguras de acesso será abordado mais adiante no item 7.7.1 referente à variável “risco por trabalho em altura”, da categoria 6.

O detalhamento do projeto deve considerar a facilidade de execução das ligações no canteiro de obras (WORKSAFE VICTORIA, 2009). Para se desenvolver um projeto com ligações acessíveis é essencial conhecer as dimensões aproximadas das ferramentas necessárias para realização das ligações em campo. A familiaridade com essas dimensões pode ajudar os projetistas a especificar conexões mais acessíveis e práticas e a evitar riscos ergonômicos e de acidentes durante a etapa de execução e remoção das ligações.

Toole, Hervol e Hallowell (2006) apresentam alguns aspectos de projeto, principalmente relacionados às ligações e aos detalhamentos em construções metálicas,

que podem influenciar na acessibilidade durante a obra de uma construção metálica. Nas figuras 7.4, 7.5, 7.6 e 7.7 estão ilustradas algumas dificuldades de acesso aos pontos de ligações de estruturas metálicas.

Muitos problemas de acesso ocorrem porque as mesas e os enrijecedores da estrutura podem inibir o acesso às ligações. As placas e parafusos podem ser colocados como indicado nas figuras 7.4 e 7.5, para que o projeto tenha mais acessibilidade. Mãos e roupas podem ficar presas durante a execução e remoção de ligações entre elementos em espaços apertados, como ilustrado na figura 7.6.

Outro perigo predominante, demonstrado na figura 7.7, é causado pela exposição de cantos afiados. Nesses casos recomenda-se evitar ou esconder cantos vivos em peças próximas ao local das ligações.

Dessa forma, a variável acessibilidade das ligações deve ser avaliada de forma subjetiva por meio da análise das facilidades e dificuldades de acesso. Como parâmetro definiu-se que a variável pode ser quantificada numa escala de 0 a 10. De 0 a 3 a acessibilidade é considerada mínima. Essa pontuação deve ser dada quando muitas situações com as dificuldades apresentadas nas figuras de 7.4 a 7.7 estão presentes. A acessibilidade é aceitável para valores entre 3 e 7,5, e devem ser dados quando as dificuldades de acesso se restringem à necessidade de meios provisórios para alcance das ligações, ou seja, quando existe dificuldade de alcance relacionados à altura em que se encontram. Para valores iguais ou superiores a 7,5 considera-se que o acesso é máximo, quando não existem grandes dificuldades de aproximação dos pontos de ligação.

Considerando que a desconstrução de uma edificação só será executada após a sua construção provavelmente as dificuldades que restringiriam o acesso às ligações a ponto de inviabilizar o processo já foram solucionadas para assegurar a execução das ligações. Por isso, mesmo que apresente acessibilidade mínima, a variável não será determinante.

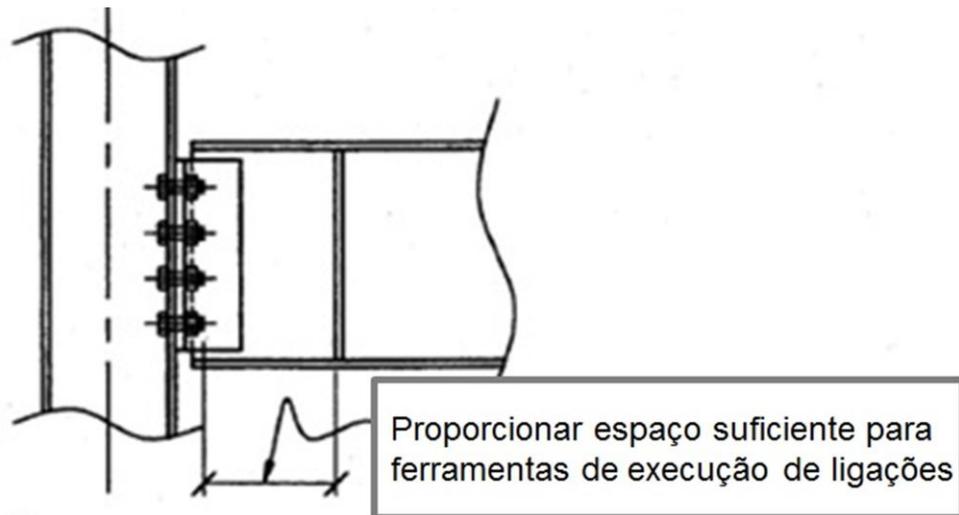


Figura 7.4: Ilustração de problemas de acesso à ligação.
 Fonte: Traduzido de TOOLE; HERVOL; HALLOWELL, 2006.

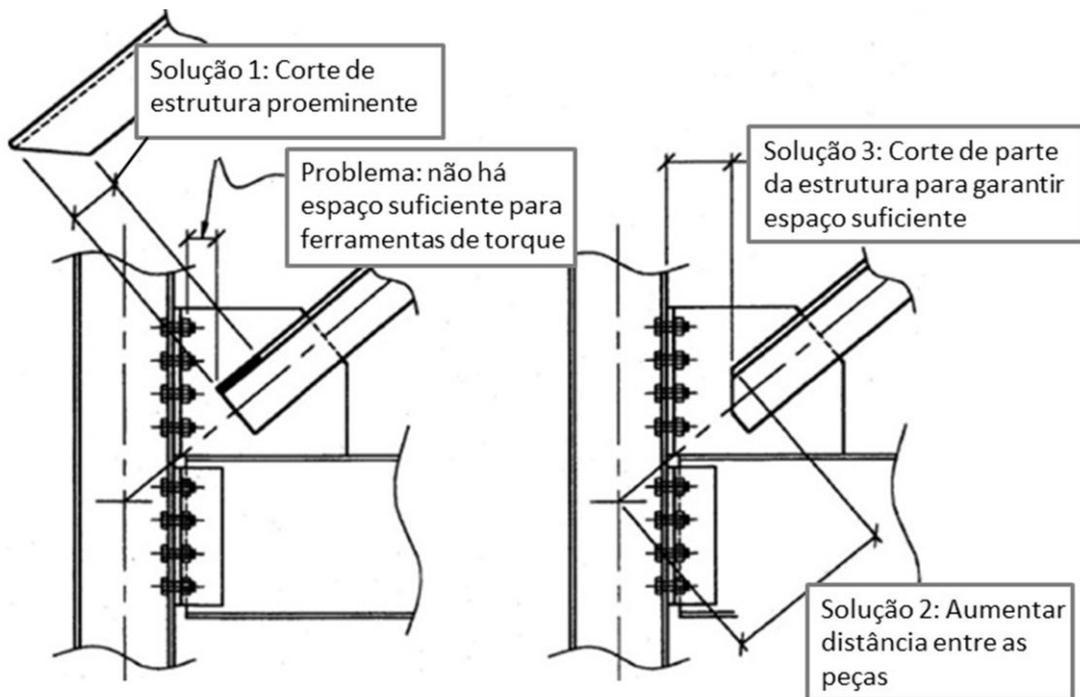


Figura 7.5: Ilustração de problemas de acesso à ligação por falta de espaço suficiente para as ferramentas de torque.
 Fonte: Traduzido de TOOLE; HERVOL; HALLOWELL, 2006.

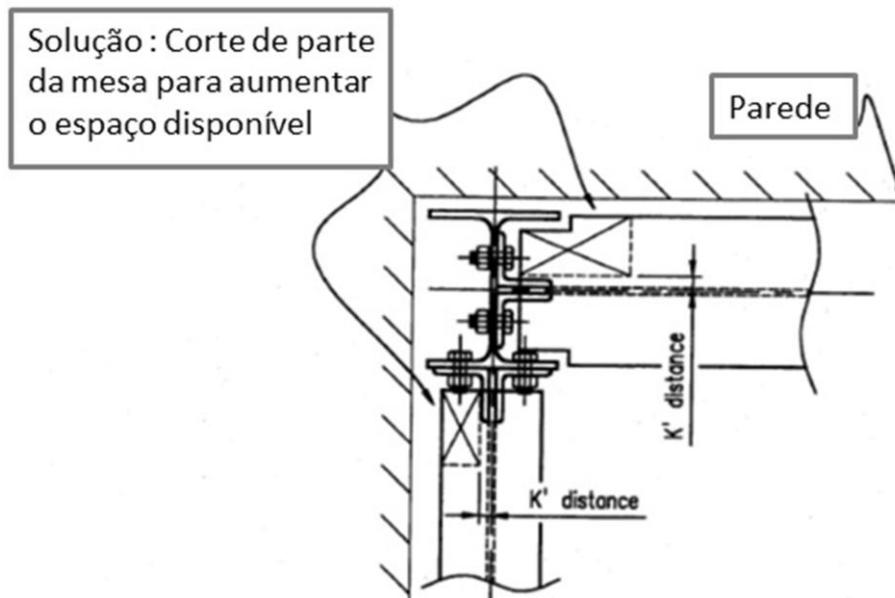


Figura 7.6: Risco de mãos e ferramentas ficarem presas ao tentar acessar as ligações.

Fonte: Traduzido de TOOLE; HERVOL; HALLOWELL, 2006.

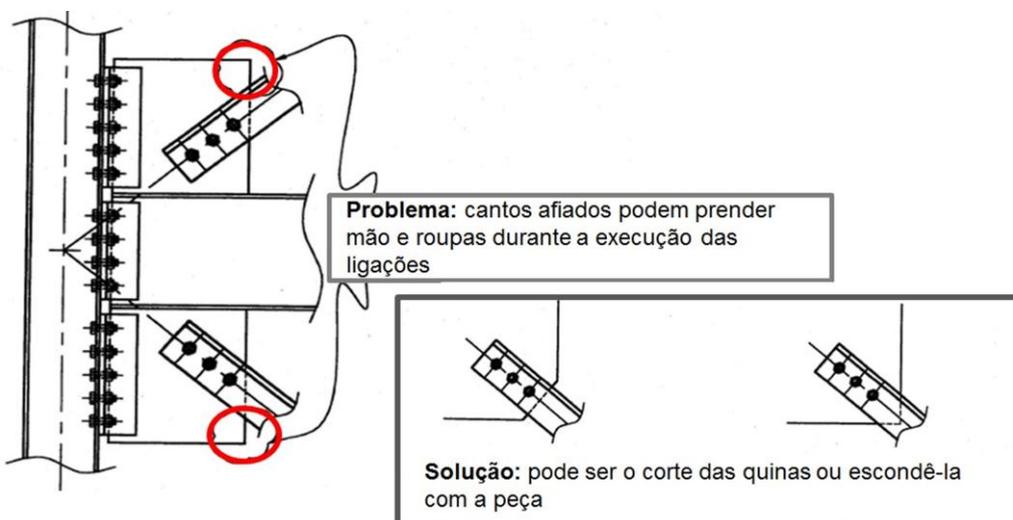


Figura 7.7: Ilustração de problemas de acesso por risco de acidente com pontas afiadas (indicadas pelo círculo).

Fonte: Adaptado de TOOLE; HERVOL; HALLOWELL, 2006.

7.4.8. Variável independente (3.8)- Dano às peças

A variável “Dano às peças” trata dos danos causados às peças durante a desconstrução devido ao tipo de ligação. Sabe-se que a maioria das ligações químicas podem causar danos às peças unidas quando se tenta separá-las. Por isso grande parte dos autores estudados no capítulo 3 recomendaram o uso de conexões mecânicas.

Considera-se que há certa dificuldade em classificar as conexões quanto ao dano às peças que podem causar na desconstrução, pois podem existir casos de ligações mecânicas que danificam mais do que ligações químicas ao serem rompidas. Por isso, a quantificação dessa variável será realizada conforme estimativa de dano causado às peças durante a desconstrução devido ao tipo de ligação usada. A escala de dano será dada da mesma forma que a considerada para a variável (1.4) Dano no processo, da categoria 1.

Como parâmetro estabeleceu-se que o dano sofrido deve ser medido em porcentagem de 0 a 100%, sendo 0 quando não sofre nenhum dano decorrente da ligação durante a desconstrução e 100% quando o material é totalmente danificado no processo. Um dano de até 15% pode ser considerado reparável. Valores entre 15 e 35% são referentes a danos significativos, mas que podem ser reparados parcialmente e reconstituídos. Para valores superiores iguais ou superiores a 35% considera-se que o material é irreparável, sendo, nesses casos, a variável considerada determinante.

7.5. Categoria 4- Hierarquia de montagem

As partes de um edifício desempenham funções distintas e têm diferentes ciclos de vida. Segundo Morgan e Stevenson (2005), grande parte dos resíduos decorrentes da construção não vem de demolição de edifícios completos, mas de processos elementares: renovação, modernização, mudanças organizacionais, desgaste ou intemperismo e componentes que chegam ao fim de sua vida útil.

Estes processos geram resíduos consideráveis e desnecessários porque muitas vezes os componentes não estão realmente desgastados ou porque os edifícios são projetados de modo que não se pode remover um único componente, mas vários componentes ou elementos adjacentes que estão ligados entre si têm de ser removidos.

Brand (1994) oferece uma estrutura conceitual útil para dividir as partes de um edifício nas diferentes vidas úteis dos elementos. Cada *layer* ou camada de material

desempenha uma função diferente e tem expectativa de duração específica antes da substituição. Aqueles com os ciclos de substituição mais rápidos devem estar localizados mais perto da superfície, para que tenham fácil e sejam removidos sem interferir nos componentes mais permanentes ou danificá-los (MORGAN; STEVENSON, 2005).

Essa é a teoria dos *layers*, onde se reconhece que diferentes partes do edifício têm diferentes ciclos de vida e que a construção deve seguir uma hierarquia de montagem de forma que facilite a substituição de *layers* com menores ciclos de vida sem interferência nos demais *layers*, alongando a vida útil do edifício, conforme ilustrado na figura 7.8. Segundo Amoêda (2009), Brand (1994) estabeleceu referências genéricas para o ciclo de vida de cada *layer*. Os *layers* são divididos em: local (*site*); estrutura (*structure*); acabamento (*skin*); serviços (*services*); plano do espaço (*space plan*), e objetos (*stuff*).

Segundo Durmisevic (2006) os *layers* de Brand (1994) e seus ciclos de vida são:

Local: a localização urbana; o lote legalmente definido cujo contexto permanece mais tempo do que edifícios. O local é eterno.

Estrutura: consiste na fundação e nos elementos de suporte de carga, que duram entre 30 e 300 anos, podendo durar até mais.

Acabamento: consiste no acabamento exterior, incluindo telhados e fachadas. Estes são reformados ou alterados aproximadamente a cada 20 anos.

Serviços: consiste nos sistemas de aquecimento, ventilação, condicionador de ar, comunicação e fiação elétrica. Este *layer* se desgasta depois de 7 a 15 anos.

O plano de espaço: consiste no *layout* interior e inclui os fechamentos verticais, portas, teto e pisos. O espaço comercial tende a mudar a cada 3 anos e o residencial a cada 30 anos.

Objetos: consiste no mobiliário, que pode ser modificado diariamente e tem o menor ciclo de vida, sendo o mais modificado.

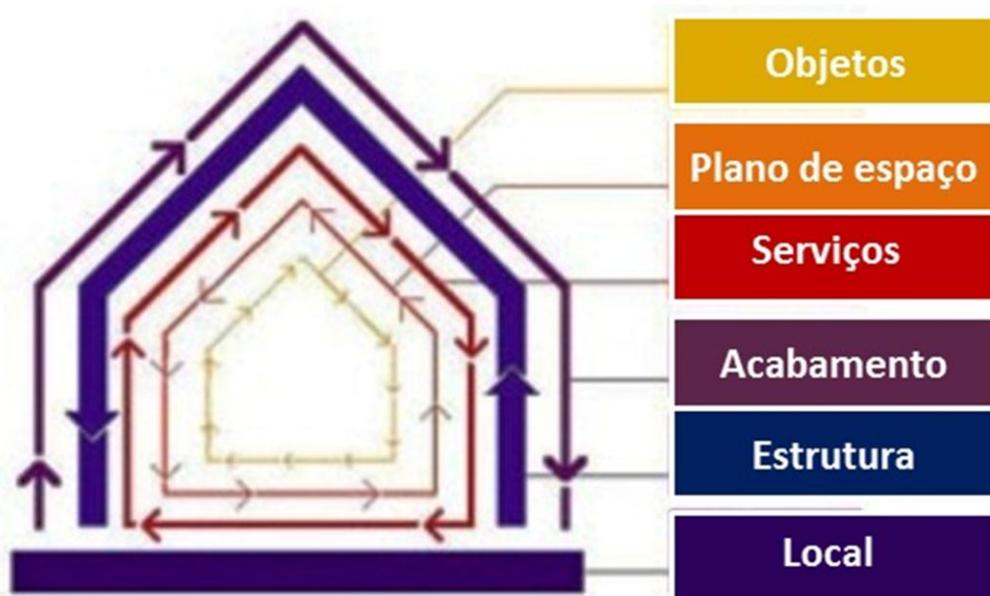


Figura 7.8: Ilustração da teoria dos layers, de Brand.
 Fonte: Traduzido de MORGAN; STEVENSON, 2005.

A importância da teoria de *layers* aplicada ao projeto e construção se reflete principalmente na manutenção da edificação, evitando que partes sejam demolidas sem necessidade. Para a análise em questão do potencial de desconstrução para reuso da estrutura a aplicação da teoria de *layers* não será considerada visto que a aplicação do método supõe que a vida útil da edificação terminou e se avalia o potencial de desconstrução dos elementos e componentes mais duráveis: a estrutura em aço.

Entretanto a necessidade de incorporação dessa categoria no método fez-se necessária porque o acesso aos elementos ou componentes que se quer reaproveitar deve ser analisado, bem como a separação desses dos demais componentes ou *layers*, que será denominado nesse trabalho de níveis de materiais.

A Categoria 4- Hierarquia de montagem- é composta pelas variáveis independentes: 4.1) Acessibilidade e 4.2) Separação de outros níveis de materiais.

7.5.1. Variável independente (4.1)- Acessibilidade

O planejamento e o detalhamento no projeto para a desconstrução devem ser verificados em termos de acesso e garantia de que os elementos e componentes de construção possam ser removidos por inteiro com sucesso.

Para Morgan e Stevenson (2005) a falta de acesso adequado é um dos maiores inibidores individuais do sucesso da desconstrução. O acesso aos elementos para a reparação e a remoção podem ser considerados de três formas.

1. Acesso sequencial: relacionado com a teoria de *layers*. O acesso é estrategicamente mal concebido se um elemento mais permanente é posicionado à frente de outro com maior necessidade de remoção ou manutenção. Esse acesso é importante na avaliação da manutenção da construção, durante a sua vida útil.

2. Acesso físico: significa ser capaz de chegar a um componente e removê-lo completamente com segurança. Geralmente quanto maior é o componente ou elemento de construção, maior espaço é necessário para desconstrução e remoção. Grandes elementos, que são pesados demais para serem removidos pelos trabalhadores e cujo acesso por um guindaste é impossível, tornam-se problemas de acesso físico na desconstrução.

3. Acesso às ligações: trata-se do tipo de acesso que foi tratado o item 7.4.7.

Portanto, assim como a variável (3.7), a variável independente (4.1) “Acessibilidade” também trata da facilidade de aproximação, mas considera-se nessa categoria, o componente ou elemento que se está avaliando. Muitas vezes os elementos ou componentes que se quer alcançar são ocultados por obstáculos ou sua localização é de difícil alcance, sendo necessários meios de acesso temporário para aproximação. Essa variável tem como função avaliar a acessibilidade física ao elemento ou componente.

A variável também será medida numa escala de 0 a 10. Como parâmetro para análise é considerado que de 0 a 3 a acessibilidade é mínima, ocorrendo quando existem problemas relativos a obstáculos físicos para se alcançar o componente ou elemento. Valores entre 3 e 7,5 são dados para acessibilidade aceitável, quando existem dificuldades de alcance relativos a altura. Para valores iguais ou superiores a 7,5 a acessibilidade é máxima, quando não existem grandes dificuldades de acesso.

A variável não é determinante visto que a maioria dos problemas que restringem o acesso durante a desconstrução pode ser resolvida, exceto quando dependem de equipamentos de grande porte e o *layout* da construção ou do próprio espaço urbano não permita aproximação. Esses casos já serão analisados de forma determinante pela variável (5.4) Espaço para equipamentos e manobras.

7.5.2. Variável independente (4.2)- Separação de outros níveis de materiais

A variável “Separação de outros níveis de materiais” tem a função de avaliar o grau de facilidade de separação do elemento ou componente que se quer resgatar dos demais *layers*, ou seja das demais camadas ou níveis de materiais.

Para avaliar essa variável deve-se dar atenção especial aos acabamentos incorporados aos elementos e componentes. Em se tratando das estruturas metálicas, devem ser tecidas considerações especiais sobre os tipos de materiais de revestimento comumente utilizados para conferir proteção contra incêndio.

Excetuando-se o rol de edificações com baixo risco de incêndio estabelecido por consenso e consagrado na norma NBR 14432 (ABNT, 2000), para as quais é dispensada a comprovação de resistência ao fogo das estruturas, as demais edificações não dispensam a comprovação de proteção contra incêndio.

Embora em grande parte das edificações deva ser comprovado a resistência das estruturas ao fogo, o emprego de algumas técnicas torna desnecessário o uso de revestimentos contra fogo que impeçam o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço em situação de incêndio. Os elementos estruturais em aço enclausurados estão livres da ação do incêndio desde que o enclausuramento tenha o tempo requerido de resistência ao fogo³¹ (TRRF) no mínimo igual ao que seria exigido para o elemento encapsulado considerado. São exemplos os pilares e vigas enclausuradas em alvenaria (como mostrado na figura 7.9) e os elementos dentro dos núcleos enclausurados de edifícios (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

O revestimento contra fogo usado em estruturas de aço em edifícios pode até ser eliminado quando, pela cuidadosa integração dos elementos de aço com os elementos adjacentes (por exemplo: elementos estruturais- concreto- ou elementos construtivos - alvenaria, como ilustrado na Figura 7.10), obtiver o aumento da resistência ao fogo, dependendo do cálculo da estrutura em incêndio (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

³¹ TRRF: é o mínimo tempo que um elemento construtivo deve resistir, quando sujeito ao incêndio-padrão. Esse tempo é utilizado apenas para fins de verificação de projeto ou de dimensionamento do material de revestimento contra fogo. Não se trata do tempo real de duração do incêndio ou de desocupação do edifício ou tempo de chegada do socorro (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

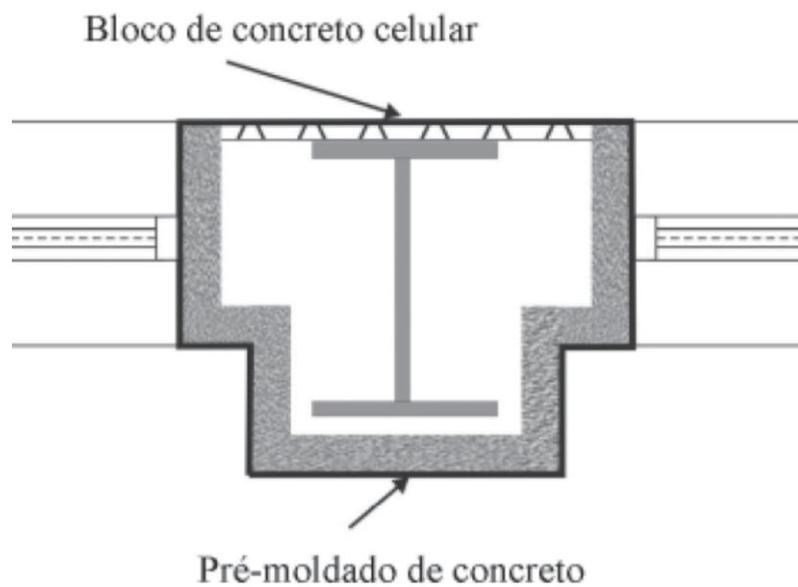


Figura 7.9: Pilar de fachada com elemento pré-moldado.
Fonte: SILVA; VARGAS; ONO, 2010.

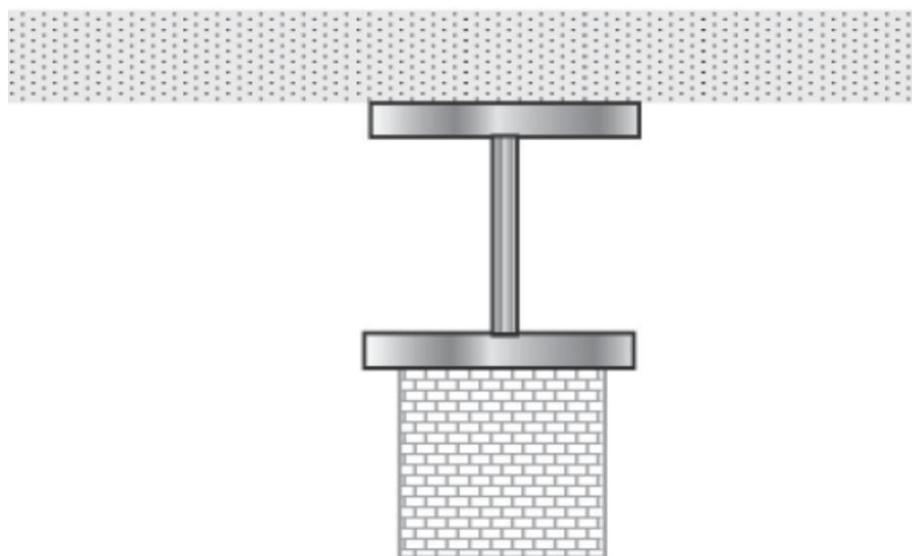


Figura 7.10: Viga de aço com laje de concreto e sobre alvenaria (corte).
Fonte: SILVA; VARGAS; ONO, 2010.

As propriedades naturais de isolamento dos blocos de concreto ou de tijolos cerâmicos restringem o aumento da temperatura do aço, protegendo-o durante o incêndio e permitindo que a parte exposta resista a temperaturas mais altas, de forma

que aumenta a resistência ao fogo de um pilar com parte de seus perfis embutidos na parede de blocos de concreto ou de tijolos cerâmicos, como mostrado na Figura 7.11.

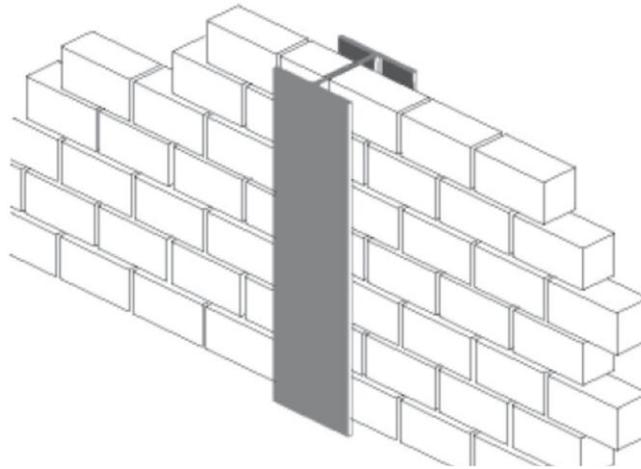


Figura 7.11: Ilustração do pilar em aço embutido em parede de alvenaria.

Fonte: SILVA; VARGAS; ONO, 2010.

Segundo Pannoni (2006), um outro método empregado na proteção do aço é o do enclausuramento do elemento metálico em concreto, como representado na figura 7.12. Esta solução proporciona proteção ao aço frente à corrosão e incêndio ao mesmo tempo. Algum reforço é adicionado ao sistema, na forma de vergalhões, para manter o concreto no local durante o evento do incêndio.

As desvantagens da proteção com concreto são o custo (é uma das mais caras formas de proteção), a velocidade (consome tempo na obra), o peso (a edificação ficará muito mais pesada) e a redução de espaço ao redor das colunas (PANNONI, 2007).

Situações onde há o uso de pilares mistos ou de vigas mistas de aço e concreto (onde os dois materiais são dimensionados para resistir ao carregamento) podem atender as exigências de resistência ao fogo e eliminar a exigência de revestimentos, desde que se respeitem certas dimensões mínimas da seção de concreto e distâncias mínimas entre o perfil de aço e a face externa do concreto.

As situações citadas, embora eliminem a necessidade de revestimentos contra fogo, podem prejudicar e até mesmo inviabilizar a desconstrução e o reaproveitamento dos perfis em aço, visto que o peso de perfis em aço quando concretados podem tornar

inviáveis a sua remoção e muitas vezes a interface entre os perfis e o concreto ou a alvenaria torna a separação entre os componentes mais lenta e trabalhosa.



Figura 7.12: À esquerda pilar em aço enclausurado em concreto, à direita representação esquemática do pilar.
Fonte: PANNONI, 2006.

Outra opção para proteção térmica dos elementos estruturais de aço (proteção passiva) é por meio do uso de materiais projetados, tintas intumescentes, mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica, gesso acartonado e outros.

Os materiais como argamassa projetada, fibra projetada e argamassa projetada à base de vermiculita são aplicados por jateamento e, após sua secagem, trabalham monoliticamente com a estrutura, acompanhando seus movimentos, sem a ocorrência de fissuras ou desprendimento. Sua durabilidade é a mesma da estrutura, dispensando manutenção (PANNONI, 2006).

A argamassa projetada, figura 7.13, possui alto conteúdo de aglomerantes que, quando misturados com água, geram uma massa fluida que pode ser bombeada. Constituídas basicamente de gesso (aproximadamente 80% do peso seco), cimento Portland (em materiais de média e alta densidade), resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido, celulose e preservantes, as argamassas projetadas são apresentadas como produtos de baixa, média ou alta densidade (PANNONI, 2006).

A fibra projetada é um produto de baixa e média densidades, contendo basicamente fibras obtidas a partir de rocha basáltica (ou escória de alto-forno) como principal ingrediente. Estas fibras são misturadas com escória de alto-forno (20 a 30% do peso seco total) para criar uma mistura de baixa densidade. A proteção à base de

fibras utiliza suas propriedades isolantes para proteger o aço. Esta mistura é projetada sobre a estrutura (PANNONI, 2006).



Figura 7.13: Argamassa projetada em vigas metálicas.
Fonte: PANNONI, 2006.

A argamassa projetada à base de vermiculita é um produto de baixa densidade, composto basicamente de vermiculita expandida, cimento Portland e aglomerados minerais. Este material deve ser completamente isento de amianto, e, para melhorar sua aderência ao aço, costuma ser necessária a utilização de telas (PANNONI, 2006).

Webster e Costello (2005) recomendam o uso de alternativas de proteção passiva contra incêndio ao uso de materiais projetados devido às dificuldades que podem causar durante a desconstrução. Segundo os autores, apesar de não conter amianto, os materiais projetados são de difícil remoção em estruturas de aço. Quando não são removidos eles adicionam peso de transporte e volume, podendo ser danificado durante o transporte e é um impedimento para nova fabricação (reciclagem do aço).

Pannoni (2007) divide as demais opções para proteção contra incêndio em materiais rígidos, mantas e tintas intumescentes.

Os materiais rígidos, como Placas de Gesso Acartonado e Placas de Lã de Rocha, propiciam a proteção estrutural do mesmo modo que os materiais projetados, e são fixados a seco ao redor do aço utilizando clip, pino ou sistemas próprios. Os materiais rígidos apresentam, de modo geral, uma boa aparência na forma de caixa, podendo ser aplicados sobre a estrutura de aço não pintada. Outra vantagem dos materiais rígidos advém do fato de sua construção industrializada, garantindo a

padronização e as espessuras. As principais desvantagens são o custo mais elevado do que os apresentados pelos materiais projetados, a dificuldade na aplicação ao redor de detalhes complexos e a baixa velocidade de aplicação. Segundo Silva; Vargas e Ono (2010), elementos pré-fabricados fixados na estrutura por meio de pinos ou perfis leves de aço proporcionam proteção contra incêndio e diversas possibilidades de acabamento.

As Mantas Cerâmicas são produtos formados a partir de fibras silico-aluminosas, presas à estrutura por meio da utilização de pinos de aço soldados na estrutura. Apresentam baixo custo quando comparado aos materiais rígidos e, apesar da fixação a seco, a aparência estética dos elementos estruturais pode ser comprometida.

As tintas intumescentes são tintas especiais que expandem a partir de 200°C, formando uma espuma rígida que isolam eficientemente os gases quentes gerados no incêndio do aço. Têm, como principal vantagem, o apelo estético, permitindo que a estrutura seja exposta em toda sua plenitude, mostrando um acabamento atraente. As principais desvantagens são o custo elevado quando comparado às outras formas de proteção e à aplicação no local, que requer condições atmosféricas favoráveis (além de necessitar várias demãos para atingir a espessura necessária). Outra desvantagem é que o tempo de proteção apresentado pela maior parte destas tintas não vai além de 60 minutos.

Considerando o exposto anteriormente, a variável independente (4.2) Separação de outros níveis de materiais será medida numa escala subjetiva de 0 a 10. Como parâmetro para o método é considerado que de 0 a 3 a separação dos níveis de materiais é necessária para o reuso, mas devido à interface com outros *layers* torna-se impossível ou inviável sem danificar e inutilizar o elemento ou componente que se quer recuperar. Essa pontuação também deve ser dada quando ocorrer aumento do peso no uso de estruturas mistas concretadas na obra de forma a tornar inviável a remoção das partes e for praticamente impossível sua separação. Nesse caso a separação será considerada difícil e a variável será determinante. Valores entre 3 e 7,5 são dados quando a separação dos níveis de materiais é considerada razoável, quando a separação dos elementos ou componentes é trabalhosa, mas não há danos irreparáveis. Para valores iguais ou superiores a 7,5 a separação dos níveis de materiais é considerada fácil, quando não existem grandes dificuldades, ou quando o elemento ou componente está inserido na construção de forma independente de outros níveis de materiais, ou quando

o elemento ou componente pode ser reusado sem a necessidade de separação de outro material.

A variável será considerada determinante quando a relação com outro material ou componentes inviabilizar o seu reuso e for impossível sua separação ou remoção e reuso em conjunto com outro material.

7.6. Categoria 5- Desmontagem

A Categoria 5- Desmontagem- é composta de variáveis independentes com a função de avaliar como a desmontagem pode ser realizada e as características que podem influenciar a desconstrução. As variáveis dessa categoria são: 5.1- Eficiência do tipo de Desmontagem; 5.2- Dificuldade pela forma de desmontagem; 5.3-Espaço para armazenamento de materiais; 5.4- Espaço para equipamentos e manobras.

7.6.1. Variável independente (5.1)- Eficiência do tipo de Desmontagem

Segundo Durmisevic (2006), sequências em montagens podem criar dependências entre os elementos de construção. Duas sequências de montagem são apontadas: montagem em paralelo e montagem sequencial.

Quando a sequência de montagem é em paralelo pode-se acelerar um processo de desconstrução, pois se permite que partes da edificação sejam desmontadas ao mesmo tempo, executando a desconstrução em menos tempo e com menor risco de instabilidade. O tipo de desmontagem em paralelo é possível geralmente quando a construção é definida em seções de construção que podem ser produzidas e montadas de forma independente e os componentes ou elementos podem ser removidos sem afetar outros componentes.

Na montagem sequencial cada elemento é fixado no conjunto por um elemento recém-montado. Desta forma, uma dependência linear é estabelecida (DURMISEVIC, 2006). Por isso, montagens sequenciais criam dependências entre os elementos montados, fazendo a substituição de elementos e componentes mais complicada durante a vida útil da construção e, no fim da vida útil, a desmontagem também deve ser sequencial, o que pode atrasar o processo.

O tipo de montagem e as características estruturais da edificação geralmente definem como o edifício deve ser desmontado para assegurar a estabilidade da construção durante o processo.

A variável independente “Eficiência do tipo de Desmontagem” trata de avaliar como pode ser realizada a desmontagem, se pode ser paralela ou sequencial.

Como parâmetro estabeleceu-se que a variável deve ser medida de acordo com a eficiência de desmontagem, numa escala entre 0 e 10. Desmontagens do tipo sequencial possuem eficiência de desmontagem mais baixa, sendo avaliada de 0 a 3. Valores maiores que 3 e menores ou iguais a 9 devem ser dados quando o tipo de desmontagem é parcialmente sequencial e parcialmente paralelo, sendo que quanto mais paralelo for, maior deve ser o valor da variável. A eficiência é considerada média nesses casos. O valor 10 deve ser dado para desmontagens do tipo paralelo, quando a desmontagem pode ser executada de forma totalmente independente entre as partes.

A variável que trata do tipo de desmontagem não é determinante porque não é capaz de inviabilizar a desconstrução, apenas influi no tempo despendido no processo de desconstrução e nos riscos de instabilidade.

7.6.2. Variável independente (5.2)- Dificuldade pela forma de desmontagem

Quanto mais simples for o processo de desmontagem mais fácil é a desconstrução. Mas o que pode ser considerado simples? Muitos autores acreditam que a simplicidade do processo inclui, entre outras características, a forma manual de desmontagem, pois significa que apenas ferramentas manuais são necessárias e que os elementos e componentes são leves e dimensionados adequadamente para a manipulação.

A variável independente “Dificuldade pela forma de desmontagem” tem a função de avaliar a forma como pode ser realizada a desmontagem e a dificuldade de tal processo, de acordo com equipamentos, ferramentas e maquinários necessários.

Como exemplo da influência dessa variável na desconstrução menciona-se o caso da desconstrução da ponte *Big Dig* de Boston, EUA e do reuso de algumas de suas estruturas em aço e em concreto na *Big Dig house*, figura 7.14. Em 2006, Paul Pedini, um dos responsáveis pela desconstrução da ponte, pediu para reaproveitar algumas partes que seriam descartadas para construir uma casa. Os arquitetos John Hong e

Jinhee Park foram contratados para avaliarem como poderiam reutilizar as partes da ponte e desenvolverem o projeto. Paul foi o responsável pelo projeto estrutural e pela construção da casa. Mesmo com componentes pesados e com a necessidade de equipamentos e maquinários de grande porte para a desconstrução e reconstrução, foi possível o reuso de materiais da ponte (SSDARCHITECTURE, 2014).



Figura 7.14: Imagem da *Big Dig House*, construída com aço da ponte BIG DIG.
Fonte: SSDARCHITECTURE, 2014.

O sistema estrutural da *Big Dig House* reutilizou mais de 600.000 quilos de materiais recuperados, como mostrado na a figura 7.15. Os elementos recuperados foram reaproveitados, planejados e montados como se fossem um sistema de pré-fabricado, sendo capazes de suportar cargas muito mais elevadas do que uma estrutura normal de residência. Em 2 dias a estrutura da casa foi montada, reutilizando estrutura de aço e painéis de concreto. Como podem ser observados na figura 7.16, os elementos estruturais foram deixados à vista e seus tamanhos variam. Para realizar o transporte e a remontagem das peças pesadas foram necessários equipamentos de grande porte, como mostrado na figura 7.17 (SSDARCHITECTURE, 2014).

Os arquitetos responsáveis pela *Big Dig House* também já propuseram e desenvolveram um projeto para a transformação de toneladas de materiais descartados da infraestruturas obsoletas da ponte *Big Dig* de Boston em módulos estruturais de edifício adaptáveis, o *Big Dig Building*.

De fato, quando os equipamentos de desconstrução necessários são apenas mão-de-obra e ferramentas manuais a logística da desconstrução torna-se mais simples. Mas,

como no exemplo da ponte *Big Dig*, a variável não inviabiliza a desconstrução, por isso não é considerada determinante. A forma de desmontagem apenas influi no grau de dificuldade do processo, podendo aumentar custos e talvez influenciar no tempo necessário para o planejamento da desconstrução, treinamento de mão-de-obra e prazo para a conclusão da desconstrução.



Figura 7.15: Materiais recuperados da ponte *Big Dig*, em Boston, EUA.

Fonte: SSDARCHITECTURE, 2014.



Figura 7.16: Estruturas em aço reusadas e mantidas expostas na Big Dig House, em Boston, EUA.

Fonte: SSDARCHITECTURE, 2014.



Figura 7.17: Imagens da construção da *Big Dig House*, com reuso de partes da ponte *Big Dig*.
Fonte: SSDARCHITECTURE, 2014.

Entretanto, quando a desmontagem de elementos e componentes exige máquinas e equipamentos de grande porte, além do aumento nos custos, podem existir dificuldades de acesso e deve-se avaliar se o espaço disponível é suficiente para permitir as manobras necessárias, o que será discutido na variável (5.4) - Espaço para equipamentos e manobras.

A variável (5.2) será medida pelo grau de dificuldade devido à forma de desmontagem, numa escala de 0 a 10. Quando a desmontagem for manual, apenas com a utilização de ferramentas de pequeno porte, o valor da variável deve ser de 0 a 3, sendo considerada baixa a dificuldade. Quando a desmontagem exigir equipamentos e máquinas de pequeno porte, por exemplo, os guindastes de pequeno porte e os equipamentos usados em soldagens, que não é considerada manual, sendo a dificuldade classificada como moderada, com valores maiores que 3 e menores ou iguais a 9. Valores superiores a 9 indicam que são necessários equipamentos e máquinas de grande porte para a desmontagem (como guas e guindastes), provavelmente devido ao peso e tamanho dos componentes. Nesses casos o grau de dificuldade é classificado como alto.

7.6.3. Variável independente (5.3)-Espaço para armazenamento de materiais

A variável “Espaço para armazenamento de materiais” tem como função avaliar como é a disponibilidade de espaço para armazenagem dos materiais desmontados e de que forma isso influencia na desconstrução. O espaço disponível no local onde ocorre a

desconstrução deve ser avaliado, bem como o tamanho dos elementos ou componentes e o seu volume.

Deve-se avaliar se há um local livre no lote da construção ou mesmo espaços que são liberados ao longo do processo que possam ter como destino a armazenagem temporária dos materiais desmontados, até que sejam levados para o local de revenda ou da nova construção. Quanto maior o espaço, mais materiais podem ser acumulados e transportados de uma só vez. Quando não há espaço disponível no local onde está ocorrendo a desconstrução, há que se avaliar se existe algum espaço disponível por perto para armazenagem desses materiais. Quanto mais próximo for a localização do espaço de armazenagem do local onde for executada a desconstrução menor será o impacto ambiental e os custos de transporte. De preferência o local escolhido não deve interferir em áreas urbanas como calçadas e ruas, e deve ser um ambiente seguro, onde não haja risco de roubos. Isso pode acarretar em aumento dos custos de desconstrução, pois pode ser necessário alugar um espaço para armazenagem. Na pior hipótese, não há local para a armazenagem *in loco* e nem nas proximidades, e as partes da construção logo que são desmontadas devem ser encaminhadas para o local de revenda, para nova construção ou para outro local temporário.

Essa variável não é considerada determinante porque pode influenciar nos custos de transporte e de aluguel de espaço, no aumento do tempo gasto no processo e na quantidade de mão-de-obra necessária, mas não inviabiliza diretamente a desconstrução.

Como parâmetro adotou-se uma escala de 0 a 10 para avaliar a disponibilidade de espaço para o armazenamento. Quando maior for a pontuação da variável, maior a influencia favorável ao processo de desconstrução. Valores de 0 a 3 são dados quando a disponibilidade de espaço é inadequada, ou seja, não há espaço próximo ao local de desmontagem para armazenagem temporária dos materiais. Valores maiores que 3 e menores ou iguais a 9 devem ser dados quando há espaço disponível para armazenagem próximo ao local de desmontagem. Quanto mais próximo do local maior deve ser o valor da variável. Nesse caso a disponibilidade de espaço é considerada parcialmente inadequada porque ainda há aumento de custos e de trabalho de transporte. Valores acima de 9 devem ser dados quando há espaço disponível para a armazenagem de materiais no próprio local onde ocorre a desconstrução. A disponibilidade é considerada adequada para esses casos.

7.6.4. Variável independente (5.4)- Espaço para equipamentos e manobras

A variável “Espaço para equipamentos e manobras” é o último aspecto da categoria 5 e também determina a disponibilidade de espaço durante a desmontagem, pois avalia a disponibilidade de espaço para os equipamentos, maquinários e para as manobras necessárias durante o processo de desconstrução.

Segundo Toole; Hervol e Hallowell (2006), componentes pré-fabricados são normalmente içados durante a construção por guindastes, por isso os projetistas devem considerar as necessidades de espaço horizontal e vertical na tomada de decisões e no *layout* do canteiro de obras. No processo de desconstrução os mesmos cuidados devem ser tomados, visto que a desmontagem geralmente requer os mesmos equipamentos e maquinários.

Embora a segurança de um guindaste e de outros maquinários de grande porte seja de responsabilidade do operador, os profissionais de projeto podem facilitar e tornar as operações mais seguras, considerando que o *layout* do local define as obstruções verticais e horizontais que podem existir e limitar a proximidade máxima da construção, o tamanho dos equipamentos e conseqüentemente a sua capacidade de carga.

Geralmente se há acesso aos equipamentos, maquinários e manobras durante a construção pode-se prever que também haverá o mesmo acesso no futuro, na etapa de desconstrução, considerando que é o processo inverso. Entretanto deve-se controlar o ambiente construído quando se quer reutilizar os materiais por meio da desconstrução de forma a assegurar todos os acessos necessários. Por isso quando há expansão da área construída tanto dentro do lote³², quanto no entorno, pode-se comprometer a desconstrução.

Para avaliação dessa variável devem ser analisados: o espaço disponível no local onde ocorre a desconstrução, o *layout* do canteiro de obras e a forma da edificação, bem como o tamanho e a projeção dos equipamentos e maquinários necessários no processo de desconstrução. Os elementos ou componentes e o seu volume devem ser considerados ao se avaliar as manobras necessárias para a sua remoção.

³² Definindo lote como a porção de um terreno que foi loteado, e que constitui unidade independente, onde está inserida a construção.

A variável é considerada determinante porque se o espaço não permitir o acesso das ferramentas, equipamentos e maquinários necessários para a desconstrução ou se não comportar as manobras necessárias a desconstrução pode ser inviável, ao menos em parte.

Como parâmetro adotou-se uma escala de 0 a 10 para avaliar a disponibilidade de espaço. Quando maior for a pontuação da variável, maior a influencia favorável ao processo de desconstrução. Valores de 0 a 3 são dados quando a disponibilidade de espaço é inadequada, ou seja, não há espaço suficiente para comportar a logística da desconstrução, sendo a variável considerada determinante nesse ponto. Valores maiores que 3 e menores ou iguais a 9 devem ser dados quando há apenas alguns pontos sem acesso aos elementos e componentes, mas de forma geral há possibilidade de realizar as manobras necessárias com os equipamentos e maquinários definidos. Nesses pontos sem acesso considera-se que há como remover com certa dificuldade os elementos ou componentes. Nesse caso a disponibilidade de espaço é considerada parcialmente inadequada. Valores acima de 9 devem ser dados quando há espaço disponível suficiente para a execução de todos os processo de desconstrução. A disponibilidade é considerada adequada para esses casos.

7.7. Categoria 6- Segurança do Trabalho

De acordo com a *British Constructional Steelwork Association* (BCSA, 2006), os acidentes mais graves que ocorrem durante a montagem de estruturas são geralmente causados por quedas de altura, a partir de posições de trabalho ou durante o acesso a elas. Outros acidentes graves ocorrem devido à instabilidade estrutural durante o içamento e durante o manuseio e transporte de materiais. Com relação à segurança durante os trabalhos de montagem de estruturas metálicas, os principais objetivos devem estar relacionados: à estabilidade da parte estrutural erguida; ao içamento e instalação de componentes de aço de forma segura e ao acesso seguro às posições de trabalho (BCSA, 2006).

Para que a construção e a desconstrução ocorram de forma segura, além das medidas para eliminar ou mitigar os riscos, segundo a Norma Regulamentadora NR09 Programa de Prevenção de Riscos Ambientais- devem ser adotadas medidas de proteção coletiva, medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho e utilização

de equipamento de proteção individual – EPI (BRASIL, 2014b), seguindo essa hierarquia (BRASIL, 2014c).

Em se tratando de construções metálicas, alguns países já adotam o conceito “*design for construction safety*” (DfCS) – projeto para construção segura – que consiste em incorporar aspectos de segurança e saúde do trabalho (SST) ainda nas etapas de projeto, a fim de viabilizar ou facilitar o emprego de medidas de segurança no canteiro de obras. Toole; Hervol e Hallowell (2006) introduzem o conceito DfCS, destacando que a indústria da construção em aço pode estar entrando em uma nova era em que a SST é adicionada como um dos principais critérios do projeto. Os conceitos de DfCS, quando incorporados ao projeto antes da construção, podem também tornar mais seguro o processo de desconstrução, pois, da mesma forma, também facilitam a adoção de medidas de proteção.

Segundo Machado; Tibiriçá e Sensato (2012), de uma aprofundada análise das práticas de SST incorporadas no projeto de estruturas metálicas destacam-se as seguintes: 1) marcação dos pontos de içamento nas peças para a aplicação da técnica de içamento ideal em peças assimétricas; 2) desenvolvimento do plano de montagem e do plano de *rigging*; 3) previsão de métodos de acesso seguro às posições de trabalho; 4) previsão de métodos para instalação de sistema de proteção contra quedas; 5) redução dos trabalhos de união de peças em altura; 6) preferência por ligações soldadas de fábrica ou aparafusadas em campo; 7) detalhamento de peças garantindo maior acessibilidade e menores riscos durante o transporte das peças e a execução das ligações.

Mesmo com o advento da norma regulamentadora nacional que trata da segurança na construção civil: NR18- Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção- em 1992 (BRASIL, 2013), e suas constantes alterações e atualizações, os canteiros de obra frequentemente carecem de ações e medidas preventivas relacionadas à saúde e segurança do trabalho. Quando se trata de edificações em estrutura metálica, a norma NR18 (BRASIL, 2013) assinala que toda a logística da fase de montagem da estrutura metálica em edificações é diferenciada, embora inclua apenas algumas exigências específicas, sem considerações suficientes para garantir a segurança e a saúde do trabalhador no ambiente de trabalho. A norma apresenta lacunas, principalmente em relação à necessidade de previsão das medidas de

segurança, ainda na etapa de projeto, pois o nível de precisão da montagem é milimétrico e o material, por sua própria constituição e dureza, não admite improvisos (MACHADO; TIBIRIÇÁ; SENSATO, 2012).

Em relação à desconstrução a norma NR 18 (BRASIL, 2013) não apresenta considerações específicas, embora apresente um item relativo à demolição, que deve ser programada e dirigida por profissional legalmente habilitado. A norma destaca, dentre outras exigências as seguintes: antes dos trabalhos de demolição, as linhas de fornecimento de energia elétrica, água, inflamáveis líquidos e gasosos liquefeitos, substâncias tóxicas, canalizações de esgoto e de escoamento de água devem ser desligadas, retiradas, protegidas ou isoladas; devem ser removidos elementos frágeis como vidros; as escadas devem ser mantidas livres para a circulação e demolidas na medida em que forem sendo retirados os materiais dos pavimentos superiores; objetos pesados ou volumosos devem ser removidos mediante o emprego de dispositivos mecânicos, sendo proibido o lançamento em queda livre; a remoção dos entulhos por gravidade deve ser feita em calhas fechadas de material resistente, com inclinação máxima de 45° e dispositivo de fechamento no ponto de descarga; devem ser instaladas plataformas de retenção de entulhos em todo o perímetro da obra; antes de se iniciar a demolição de um pavimento, devem ser fechadas todas as aberturas existentes no piso, salvo as utilizadas para escoamento de materiais; é proibida a permanência de pessoas nos pavimentos que possam ter sua estabilidade comprometida; as construções vizinhas devem ser examinadas e preservadas; os elementos da construção em demolição não devem ser abandonados em posição que torne possível o seu desabamento e os materiais das edificações devem ser previamente umedecidos durante a demolição.

Para fins de avaliação da influência da SST na desconstrução, serão abordados, em forma de variáveis, apenas os dois riscos mais comuns em construções metálicas: trabalho em altura e instabilidade da estrutura. Além disso, os riscos específicos da construção em análise serão avaliados de forma genérica pela variável: outros riscos, pois toda construção caracteriza-se por ser executada num setor industrial que cria produtos únicos, podendo apresentar riscos especiais, dependendo do contexto.

Por isso, a Categoria 6 -Segurança do Trabalho- é composta de variáveis de independentes com a função de avaliar os principais riscos presentes durante a

desconstrução de edificações em estruturas metálicas. As variáveis dessa categoria são: 6.1- Risco por Trabalho em Altura; 6.2- Risco por Instabilidade e 6.3- Outros riscos.

7.7.1. Variável independente (6.1)- Risco por Trabalho em Altura

A queda durante a realização de trabalho em altura³³ é um dos riscos mais críticos da construção em estruturas metálicas. Para diminuição desse risco durante a desconstrução deve-se: reduzir os trabalhos em altura, sempre que existir meio alternativo de execução; prever métodos de acesso seguro às posições de trabalho; prever medidas que eliminem o risco de queda dos trabalhadores; prever métodos para instalação de sistema de proteção contra quedas e adotar medidas que minimizem as consequências da queda, quando o risco de queda não puder ser eliminado.

Antes da abordagem dessa variável faz-se necessária a explanação, no Apêndice D, de alguns dos meios de segurança do trabalho em altura possíveis de utilização nas construções em estruturas metálicas.

A partir das análises feitas sobre a segurança no trabalho em altura (Apêndice D) pode-se desenvolver meios para avaliação e mensuração da variável responsável por considerar a influência do risco por trabalho em altura no processo de desconstrução. Adotou-se como parâmetro uma escala de 0 a 10 para caracterizar o grau de risco da variável (6.1)- Risco por Trabalho em Altura.

Considerou-se que todo o trabalho em altura apresenta certo risco, mesmo com a adoção das medidas de segurança apresentadas anteriormente. Portanto, o valor 0 deve ser adotado para a melhor situação possível, quando não há trabalho em altura. Para os valores superiores a 0 até 2, considera-se o risco baixo, quando existem poucos pontos de trabalho em altura e são adotadas formas de prevenção que garantam a segurança do trabalho. Valores maiores que 2 e menores ou iguais a 6 devem ser dados quando existe trabalho em altura e este é realizado com adoção das medidas de segurança. Nesse caso o risco é considerado médio, pois apesar de existir está controlado. Valores superiores a 6 indicam que existe trabalho em altura e este é executado sem as devidas medidas de

³³ Considera-se trabalho em altura toda atividade executada acima de dois metros do nível inferior, onde haja risco de queda (BRASIL, 2014d).

segurança. O grau de risco nesse caso é considerado alto, sendo a variável determinante, pois compromete a vida dos operários que executam os trabalhos.

7.7.2. Variável independente (6.2)- Risco por Instabilidade

Cuidados especiais devem ser tomados no projeto e durante a construção para proteção contra o colapso progressivo. O colapso progressivo significa uma sequência contínua de falhas iniciada pela falha local de uma parte da estrutura e pode ser prevenido por meio de: resistência estrutural adequada, continuidade da estrutura e suas partes ou contraventamento e escoramento temporário, solução de caminhos alternativos para que as forças aplicadas pelas cargas sejam transmitidas de forma segura por meio da estrutura (WORKSAFE VICTORIA, 2009).

Durante a desconstrução não é diferente. Precauções devem ser tomadas para assegurar a estabilidade local e geral da parte edificada da construção, garantindo a segurança dos trabalhos e o reuso dos elementos e componentes. Considerações para garantia de estabilidade da estrutura durante a construção também valem para a desconstrução, por isso algumas medidas importantes para assegurar a estabilidade da estrutura são abordadas para posterior definição dos parâmetros de análise da variável (6.2)- Risco por Instabilidade.

A desmontagem não pode ser executada de qualquer forma. Assim como a sequência de montagem deve seguir certas premissas a fim de evitar erros de montagem e assegurar estabilidade da estrutura, durante a desconstrução uma sequência de desmontagem deve ser estabelecida.

Segundo Pinho (2005), para garantir a estabilidade do conjunto durante a construção, deve-se preceder a elaboração e execução do plano de montagem e do plano de *rigging*. Na desconstrução deve-se proceder de forma semelhante, sendo necessária a elaboração de um plano de desmontagem e de um plano de *rigging*, documentos que serão tratados no item 7.8.2) relativo à variável (7.2)- procedimento de desmontagem.

A jornada de montagem de estruturas metálicas deve ser concluída com todas as colunas estabilizadas, não deixando colunas totalmente livres de um dia para o outro ou durante o intervalo para refeição. Antes de se montar o segmento superior das colunas, todas as vigas de interligação ao segmento inferior deverão estar montadas (PINHO, 2005). Durante a desconstrução as jornadas de trabalho também devem ser concluídas

de forma segura, com colunas estabilizadas, e ao se desmontar um segmento superior de colunas deve-se manter as vigas do segmento inferior montadas.

Durante a montagem, a estrutura de aço deve ser inspecionada diariamente para a garantia da estabilidade e os resultados devem ser documentados. Para evitar o colapso, o supervisor da operação deve verificar a estabilidade da estrutura, em conformidade com as especificações do engenheiro responsável pela montagem, nas seguintes situações: no final de cada dia de trabalho; quando fechamentos estão incompletos; durante ventos fortes e quando estes estão previstos. Deve-se certificar também que todas as vigas estão seguras antes da liberação das cintas de amarração dos equipamentos de içamento e que todas as ligações aparafusadas são eficazes para assegurar a estabilidade da estrutura de aço (WORKSAFE VICTORIA, 2009). Do exposto pode-se presumir que, durante a desconstrução, a estrutura de aço também deve ser inspecionada diariamente tendo seus resultados documentados. Deve ser verificada a estabilidade nas mesmas situações citadas anteriormente. Deve-se também certificar que todas as vigas estão seguramente amarradas às cintas dos equipamentos de içamento antes da remoção das ligações.

Todo içamento deve ser o mais estável possível, evitando-se choques e movimentos bruscos, tanto laterais quanto verticalmente, que poderiam comprometer a estabilidade da construção, além de causar outros acidentes. Todo o peso da peça atua como se estivesse concentrado no centro de gravidade (CG), ponto de equilíbrio do sólido. Por isso, a determinação do CG é de suma importância para o sucesso do levantamento e remoção de cargas. Para evitar o cálculo do CG no canteiro, as peças não simétricas podem ser fabricadas com uma marcação que indique o ponto ideal para o içamento, de acordo com o equipamento e a quantidade de cabos a serem utilizados na operação. Recomenda-se indicar pontos de içamento nas próprias peças e marcar pesos e/ou centros de gravidade em peças grandes ou de forma irregular e (CORUS, 2006; WORKSAFE VICTORIA, 2009). Se as peças forem fabricadas e montadas dessa forma, facilitaria também a remoção das mesmas de forma mais estável, após a vida útil da edificação.

Situações potencialmente perigosas, como ventos fortes ou tempestades elétricas também podem comprometer a segurança durante a remoção das partes e a estabilidade da estrutura. Embora na norma NR18 (BRASIL, 2013) só contenha proibição de

trabalho sob intempéries ou outras condições desfavoráveis que exponham os trabalhadores a risco durante o uso de guas (item 18.14.24.6 dessa norma), geralmente deve-se proibir qualquer içamento sob intempéries. As condições meteorológicas devem ser monitoradas continuamente (WORKSAFE VICTORIA, 2009).

Durante a montagem recomenda-se o estabelecimento de zona de exclusão nas áreas de risco, onde a única atividade permitida seja a movimentação e transporte vertical de materiais, como a de içamento das estruturas de aço (BCSA, 2006). O item 18.14.5 da norma NR18 (BRASIL, 2013) também estabelece que no transporte e descarga de materiais, perfis, vigas e elementos estruturais é proibida a circulação ou permanência de pessoas sob a área de movimentação da carga e devem ser adotadas medidas preventivas quanto à sinalização e isolamento da área. Essa medida visa obter maior controle da atividade executada, diminuindo os riscos de acidente e, no caso de ocorrência, diminuição das consequências. A zona de exclusão deve ser estabelecida também durante a desconstrução para evitar que os operários sejam atingidos por materiais e, no caso de instabilidade, os riscos de acidentes fatais sejam diminuídos. Como tais restrições têm um grande impacto na sequência de montagem/desmontagem, no número e no posicionamento de guindastes ou guas e na definição de rotas de acesso e outros trabalhos, é importante que estas questões sejam resolvidas o mais cedo possível - de preferência durante o desenvolvimento do “plano de desconstrução”, a ser tratado na categoria 7.

Juntamente com o estabelecimento das zonas de exclusão pode-se estabelecer um plano de recuo, cujo procedimento baseia-se em definir áreas de segurança, as quais não exponham os funcionários a riscos de quedas de materiais. Para sua definição devem ser escolhidas pelo menos duas áreas de segurança com capacidade para comportar a quantidade de pessoas não necessárias na operação de risco. As áreas devem ser delimitadas por guarda-corpo de proteção e estrategicamente escolhidas cada uma em um limite extremo do terreno, com a premissa da garantia da inexistência de riscos de projeção de materiais. Também é necessário dotar o canteiro de obras de uma sinalização de alerta sonoro e luminoso, que seja localizada de forma a ser visível por todos. Quando houver atividades que exponham os trabalhadores a riscos, como as de içamento, o alerta sonoro deve soar por alguns segundos e o alerta luminoso deve acender, indicando que os trabalhadores não envolvidos diretamente na atividade devem

recuar para as áreas de segurança. Se o canteiro tiver uma dimensão que permita que em determinadas áreas possa continuar ocorrendo atividades sem risco aos trabalhadores, o alerta visual deve indicar a área específica a ser recuada. Neste caso, essas áreas devem ser previamente estabelecidas. Ao fim da atividade, o alerta luminoso é apagado, sinalizando o retorno aos postos de trabalho normais.

A partir das considerações sobre os riscos de instabilidade e as medidas de segurança recomendadas pode-se avaliar a variável responsável por considerar a influência desse risco no processo de desconstrução. Adotou-se como parâmetro uma escala de 0 a 10 para caracterizar o grau de risco da variável (6.2).

Considerou-se que todo o trabalho que envolva desmontagem sequencial da parte estrutural apresenta certo risco, mesmo com a adoção das medidas de segurança apresentadas anteriormente. Valores de 0 a 2 devem ser dados quando a desmontagem em paralelo é possível e o risco de instabilidade é pequeno, sendo adotadas as medidas de segurança pertinentes. Nesses casos o grau de risco é baixo. O grau de risco é considerado médio para os valores maiores que 2 e menores ou iguais a 6, quando considera-se que podem existir situações de risco de instabilidade, mas o trabalho é realizado com a adoção das medidas de segurança que controlam efetivamente esse risco. Valores superiores a 6 indicam que existe risco de instabilidade e as devidas precauções de segurança não foram adotadas. Essa circunstância confere um grau de risco alto para a variável, que se torna determinante, pois compromete a vida dos operários que executam os trabalhos.

7.7.3. Variável independente (6.3)- Outros riscos

Como cada construção é única, admite-se que podem ocorrer outros riscos além dos dois mais comuns tratados nas variáveis (6.1) e (6.2). Características singulares podem ser presentes em cada construção, mesmo que estejam restritas a um mesmo conjunto de construções em aço.

Dentre os riscos comuns, durante a construção e a desconstrução, que não foram tratados nas variáveis anteriores dessa categoria destacam-se os riscos listados por Sampaio (1998): queda de materiais; queda de cargas suspensas; golpes em pessoas provocados por objetos pesados; golpes ou cortes nas mãos braços, pé e pernas, provocados por objetos ou ferramentas; queimaduras; radiações não-ionizantes

provocadas por soldas; projeção de partículas nos olhos; exposição a corrente elétrica; explosões; incêndios e intoxicações.

Os riscos citados podem ser controlados pela adoção das medidas exigidas nas Normas Regulamentadoras publicadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego que tratam da Segurança e Saúde do Trabalho. A eliminação e/ou controle dos riscos pode ser realizada por meio da adoção de: medidas de segurança coletiva, medidas de caráter administrativo ou de organização do trabalho e utilização de equipamentos de proteção individual.

No caso de trabalhos na construção civil os riscos devem ser reconhecidos, avaliados, controlados, monitorados e divulgados pelo Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) ou, no caso de estabelecimentos com vinte trabalhadores ou mais, pelo Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (PCMAT), que deve conter as mesmas exigências do PPRA, além dos seguintes documentos e especificações (BRASIL, 2014c, 2013):

- memorial sobre condições e meio ambiente de trabalho nas atividades e operações, levando-se em consideração riscos de acidentes e de doenças do trabalho e suas respectivas medidas preventivas;
- projeto de execução das proteções coletivas em conformidade com as etapas de execução da obra;
- especificação técnica das proteções coletivas e individuais a serem utilizadas;
- cronograma de implantação das medidas preventivas definidas no PCMAT em conformidade com as etapas de execução da obra;
- layout inicial e atualizado do canteiro de obras e/ou frente de trabalho, contemplando, inclusive, previsão de dimensionamento das áreas de vivência e
- programa educativo contemplando a temática de prevenção de acidentes e doenças do trabalho, com sua carga horária.

Dessa forma, admitindo que é impossível incluir na análise todos os possíveis riscos existentes, pois cada construção é única e apresenta riscos específicos, que os riscos não abrangidos pelas variáveis anteriores da categoria 6 podem estar presentes durante as atividades de desconstrução e que existem medidas de controle para esses

riscos, propõe-se avaliar a variável (6.3) a partir da classificação dos riscos presentes na desconstrução por meio do uso de uma matriz qualitativa de análise de risco.

Dentre as ferramentas e técnicas que podem ser usadas na avaliação e classificação de riscos, a norma ISO/IEC 31010 (ISO, 2009) apresenta a técnica da matriz qualitativa de análise de risco (*Consequence/probability matrix*), presente também na norma AS/NZS 4360 (AS/NZS, 2004).

A técnica consiste no uso de escalas de palavras ou termos descritivos para classificar a magnitude das consequências potenciais e a probabilidade de ocorrência dos eventos (Quadros 7.1 e 7.2). Essas escalas podem ser adaptadas ou ajustadas segundo as circunstâncias e o atendimento das necessidades de uma organização. Diferentes descrições podem ser usadas para diferentes riscos segundo a norma AS/NZS 4360 (AS/NZS, 2004). Para a classificação dos demais riscos possíveis numa desconstrução usam-se as seguintes terminologias: danos pequenos, DP; danos leves, DL; danos moderados, DM; danos severos, DS; danos irreparáveis, DI; sem lesões, SL; lesões leves, LL; lesões moderadas, LM; lesões graves, LG; morte remota, MR; morte, M; risco extremo, RE; risco alto, RA; risco moderado, RM; risco baixo, RB.

No quadro 7.3 representa-se a matriz de categorias dos riscos. Nessa matriz combinam-se as probabilidades e as consequências dos riscos, o que permite classificá-los segundo níveis de prioridades: quanto maior a probabilidade e o impacto de um risco, maior será o seu nível. No estudo a classificação serve para determinar a gravidade do risco, sendo os riscos RB e RM considerados menos graves e os riscos RA e RE mais graves.

Quadro 7.1- Classes qualitativas de consequências ou impactos

Nível	Classificação	Descrição	Lesões e danos
1	Insignificante	Sem lesões, pequena perda financeira.	SL; DP
2	Menor	Tratamento com primeiros socorros, vazamento interno imediatamente contido, média perda financeira.	LL; DL
3	Moderada	Tratamento médico necessário, vazamento interno contido com auxílio externo, alta perda financeira.	LM; MR; DM
4	Maior	Lesões graves, perda da capacidade de produção, vazamento externo sem efeitos danosos, grande perda financeira.	LG; DS
5	Catastrófica	Morte, vazamento tóxico com efeito danoso, enorme perda financeira.	M; DI

Fonte: Traduzido da norma AS/NZS 4360 (AS/NZS, 2004).

Quadro 7.2- Classes qualitativas de probabilidades

Nível	Classificação	Descrição
A	Quase certo	Esperado ocorrer na maioria das circunstâncias.
B	Provável	Provavelmente ocorrerá na maioria das vezes.
C	Possível	Deverá ocorrer em alguma ocasião.
D	Improvável	Poderá ocorrer em alguma ocasião.
E	Raro	Poderá ocorrer somente em circunstâncias excepcionais.

Fonte: Traduzido da norma AS/NZS 4360 (AS/NZS, 2004).

Quadro 7.3- Matriz de categorias dos riscos

Probabilidade	Consequências				
	1- Insignificante	2- Menor	3- Moderada	4- Maior	5- Catastrófica
A (quase certo)	RA	RA	RE	RE	RE
B (provável)	RM	RA	RA	RE	RE
C (possível)	RB	RM	RA	RE	RE
D (improvável)	RB	RB	RM	RA	RE
E (raro)	RB	RB	RM	RA	RA

Fonte: Traduzido da norma AS/NZS 4360 (AS/NZS, 2004)..

Adota-se como parâmetro para análise da variável (6.3) uma escala de 0 a 10 correspondente ao grau dos demais riscos possíveis na desconstrução. A partir da classificação de todos os demais riscos, por meio do uso da matriz qualitativa de análise de risco, deve-se atribuir valores à variável da seguinte forma: o valor 0 deve ser adotado para a melhor situação possível, quando não há outros riscos; valores de 0 a 2 devem ser dados quando existem outros riscos classificados como baixo (RB) e/ou moderado (RM) e estão controlados por medidas de segurança pertinentes. Nestes casos o grau de risco é baixo. O grau de risco da variável é considerado médio para os valores maiores que 2 e menores ou iguais a 6, quando existem riscos classificados como risco extremo (RE) e/ou risco alto (RA), mas o trabalho é realizado com a adoção das medidas de segurança que controlam efetivamente esses riscos. Valores superiores a 6 indicam que demais riscos existem e as devidas precauções de segurança não são adotadas. Quanto maior a gravidade do risco maior deve ser o valor atribuído à variável. Essa circunstância confere um grau de risco alto para a variável, que se torna determinante, pois as consequências dos riscos são mais graves e a ausência de medidas de segurança pode comprometer a vida dos operários.

7.8. Categoria 7- Plano de Desconstrução

A Categoria 7-Plano de Desconstrução- é composta de variáveis independentes com a função de avaliar se constam todos os documentos e as informações importantes para a realização da desconstrução; se estes documentos estão completos e atualizados e de que forma influenciam na desconstrução. As variáveis dessa categoria são: 7.1- Sistema de informação e identificação dos materiais; 7.2- Procedimento de desmontagem e 7.3- Projeto *as built*.

7.8.1. Variável independente (7.1)- Sistema de informação e identificação dos materiais

A variável “Sistema de informação e identificação dos materiais” aborda duas questões vertentes: 1- Formas de identificação das partes desmontadas (elementos e componentes) e 2- Informações disponíveis sobre os materiais empregados.

A identificação das partes desmontadas é importante na organização das peças durante a desconstrução, pois auxilia na identificação e quantificação de peças por tipo, tamanho, peso e função e ainda torna mais fácil a separação e disponibilização para o reuso. Quando a desconstrução ocorre para restauração dos componentes e remontagem ou para reconstrução da mesma edificação em outro local, a identificação das partes facilita o processo de remontagem, pois se pode encontra-las mais facilmente e remonta-las na mesma disposição.

Para a identificação das partes pode-se utilizar qualquer meio eficiente de identificação, seja por etiquetagem ou outra forma mais definitiva, sendo quase desnecessária se as peças forem totalmente padronizadas. Um sistema de marcação e identificação definitiva nas estruturas pode ajudar no processo de construção e desconstrução. O ideal é que o fabricante marque todas as peças e conjuntos de forma idêntica à convencional nos desenhos de montagem e fabricação. Quando os componentes são fabricados com a identificação de forma definitiva e a representação dessas partes faz referência à sua identificação no projeto da construção se reconhece mais facilmente o seu posicionamento no projeto, aumentando a velocidade de içamento e montagem de forma a facilitar a construção. No fim da vida útil da edificação as marcações permanecem e auxiliam na identificação e organização das peças desmontadas caso seja realizada a desconstrução.

Em estruturas metálicas as marcações podem ser feitas à tinta ou por punção e devem ser aplicadas às faces externas de cantoneiras, perfis e vigas, próximas de uma das extremidades, em um local facilmente visível, como mostra o exemplo apresentado na figura 7.18.



Figura 7.18: Sistema de identificação de estruturas de aço.
Fonte: VERÍSSIMO, 2014.

Na Figura 7.19 mostra-se um exemplo de um possível sistema de marcação sugerido por Toole; Hervol e Hallowell (2006), no qual estão marcados: o número do projeto de representação; a letra de identificação da peça; a posição da peça no projeto e a sequência de montagem. No exemplo, a marcação 31B2-6 significa que: o número do projeto de representação é 31; a letra de identificação da peça, no caso uma viga é B; a peça é a segunda viga no projeto e é a sexta peça na sequência de montagem.

Um sistema de Informações disponíveis sobre os materiais empregados deve ser mantido desde a fase de seleção de materiais e fornecedores. Pode-se organizar um documento como um memorial dos materiais, com a listagem dos elementos e componentes utilizados, suas especificações e todas as informações básicas que podem ser úteis no processo de desconstrução como: ciclo de vida, potencial de reutilização, data de fabricação, resistência do material, instruções especiais de manuseio, meios de preservação e manutenção, garantias, detalhes de fabricantes, etc.

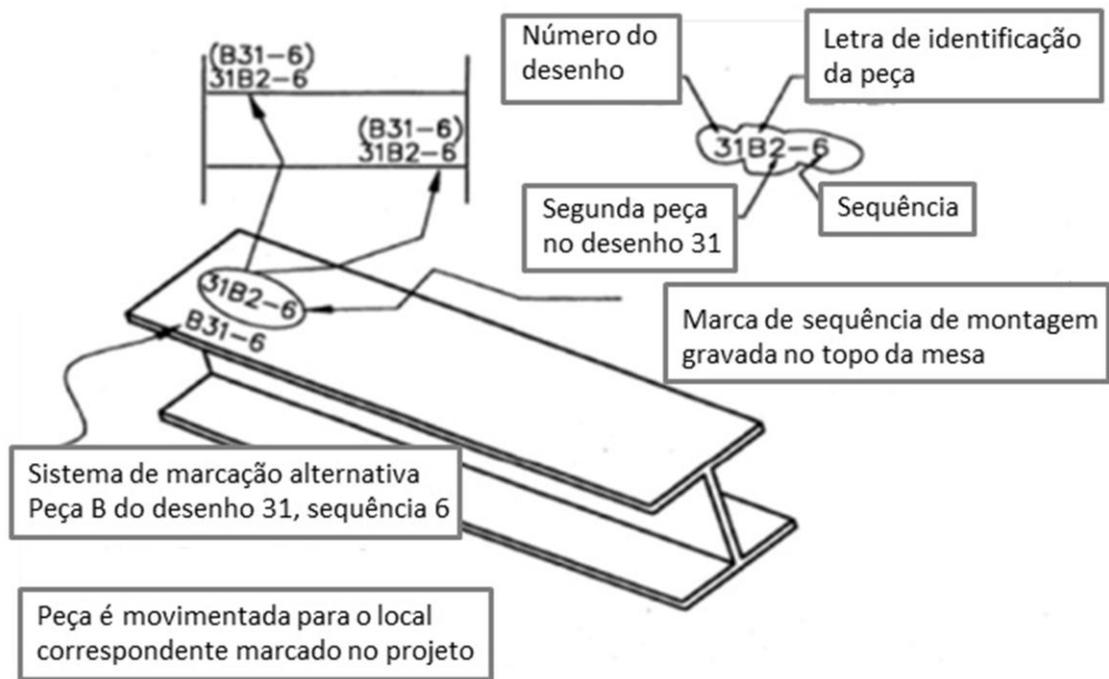


Figura 7.19: Sistema de identificação de estruturas.
 Fonte: Traduzido de TOOLE; HERVOL; HALLOWELL, 2006.

Como exemplo da influência dessa variável na desconstrução cita-se o caso dos templos em madeira do arquipélago de Chiloé, no Chile. No século XVII, um conjunto de templos de madeira foi erguido por índios e jesuítas e resistem à passagem do tempo desde então, sendo que dezesseis desses templos já foram reconhecidos pela UNESCO como um Patrimônio da Humanidade, o que confirma a grande importância histórica dessas edificações. Quando os jesuítas chegaram lá, em 1608, os índios que viviam no arquipélago de Chiloé ainda não dominavam os metais. O pouco ferro que havia era o das espadas e capacetes dos conquistadores espanhóis. Algumas peças tiveram que ser fundidas para a fabricação de pequenos machados. Por isso, os templos foram construídos apenas com uma técnica de encaixe de madeira. As pontas de uma viga com um orifício eram encaixadas em outras e estabilizadas com um tarugo, como mostram as figuras 7.20 e 7.21. Devido à exposição a riscos que comprometem a conservação dos templos, como incêndios, umidade, insetos e os causados pelo próprio terreno de praia onde essas construções históricas foram erguidas (que podem ceder e abalar a estrutura), estão sendo feitos trabalhos de restauração das construções. O processo de

restauro é complexo, peça por peça é retirada, numerada e tratada, como um quebra-cabeça que depois precisa ser remontado. No caso desses templos o restauro pode durar até dois anos.



Figura 7.20: Sistema de encaixe dos templos em Chiloé: ponta de uma viga com um orifício.
Fonte: IGREJAS..., 2014.



Figura 7.21: Sistema de encaixe dos templos em Chiloé: encaixe de tarugo em viga.
Fonte: IGREJAS..., 2014.

O exemplo retrata uma desconstrução para o restauro e preservação de construções históricas, onde não havia qualquer previsão da importância de identificação das peças e de informações sobre os materiais. Isso foi feito posteriormente, durante a desconstrução. Por isso, para a avaliação dessa variável foi necessário levar em consideração que a grande maioria das edificações não foi projetada para a desconstrução e não utilizou técnicas de identificação de peças e memorial dos

materiais empregados. Entretanto, como se evidencia no exemplo dos templos, mesmo que a construção não tenha sido pensada adotando um sistema de identificação e informação dos materiais, trata-se de uma ação de extrema importância durante a desconstrução.

Portanto, a variável (7.1) não pode ser determinante, visto que trata de medidas que facilitam o processo de organização das partes e de reutilização dos materiais.

Adota-se como parâmetro para análise da variável uma escala de 0 a 10. Os valores devem ser dados a partir da presença ou não de meios de identificação das peças e de um memorial com informações dos materiais. A situação que melhor influencia a desconstrução corresponde ao valor 10 e ocorre quando preexistem memorial dos materiais e meios de identificação das peças durante a montagem ou as peças são totalmente padronizadas, dispensando a identificação. Valores entre 6 e 10 são dados quando há meios de identificação das peças (ou são totalmente padronizadas) e há memorial dos materiais, ambos podendo ser desenvolvidos durante o planejamento e a execução da desconstrução, sendo os valores maiores dados quanto mais eficientes os meios de identificação e mais completos são os memoriais. Nesses casos o sistema de informação e de identificação é considerado completo. Valores maiores ou iguais a 2 e menores ou iguais a 6 indicam que o sistema de informação e de identificação é incompleto e só uma das questões da variável é adotada: ou meios de identificação das peças ou memorial dos materiais. Valores inferiores a 2 indicam que nenhum sistema de informação e identificação é adotado.

7.8.2. Variável independente (7.2)- Procedimento de desmontagem

A variável “Procedimento de desmontagem” trata dos documentos relativos ao processo de desconstrução em si.

A montagem de estruturas de aço possui diferentes graus de complexidade. Entretanto, por mais simples e rotineira que seja a montagem de determinada estrutura, todas as operações de içamento de peças representam algum risco, seja para o pessoal envolvido, seja para os equipamentos. Os riscos devem ser minimizados ao extremo, adotando-se procedimentos técnicos e métodos adequados que garantam a segurança durante as operações de campo. Para as operações de montagem menos complexas deve ser elaborado um Plano de Montagem simplificado. Para a montagem de estruturas mais

complexas deve ser elaborado um Plano de Montagem detalhado com Plano de *Rigging*³⁴ dos Içamentos Críticos (ABCCEM, 2010).

Segundo Pinho (2005), um Plano de Montagem deve conter os seguintes pontos: núcleo de contraventamento a ser montado primeiro (caso não seja possível, criar estruturas provisórias de contraventamento na primeira parte da estrutura a ser montada); sequência de montagem a partir do núcleo inicial, com as colunas, vigas e contraventamentos em ordem estrita; dimensionamento, posicionamento e tipo das estruturas provisórias de estabilização (se existirem) e Plano de *Rigging*.

Segundo a Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCCEM, 2010), o Plano de Montagem é uma documentação técnica mais ampla, que deve ser constituída de: Desenhos, Descritivos³⁵, Planos de *Rigging* (para estruturas mais complexas), Folhas de Dados³⁶, Planta de Situação³⁷ e Diagramas³⁸ elaborados para descrever todas as operações e requisitos necessários para a montagem de uma estrutura, ilustrando a sua sequência de montagem, o dimensionamento do equipamento principal e equipamentos auxiliares, aparelhos de montagem, a instalação de suportes e travamentos temporários e demais exigências para uma montagem segura das peças da estrutura. Além disso, os seguintes aspectos sobre a montagem deverão ser abordados: Canteiro de Obras; Processo de Montagem; Execução das Ligações; Equipamentos;

³⁴ *Rigging*: termo em inglês que significa técnicas de içamento ou movimentação de cargas e peças de estruturas (ABCCEM, 2010).

³⁵ Descritivo – Texto elaborado com o objetivo de descrever o processo de montagem em suas sucessivas fases, apresentar orientações técnicas e recomendar cuidados gerais sobre a segurança da operação (ABCCEM, 2010).

³⁶ Folha de Dados – Formulário a ser preenchido com as informações básicas de cada içamento ou Plano de *Rigging* como a carga bruta, acessórios de içamento suas dimensões, peso dos acessórios de içamento, arranjo de cabos e de olhais e croquis básico do içamento (ABCCEM, 2010).

³⁷ Planta de Situação – Planta geral da obra onde são mostrados em escala rigorosa o plano geral das estruturas de aço, a área de estocagem de peças, os caminhos de serviço e os locais de patolamento e locação dos equipamentos principais de montagem (ABCCEM, 2010).

³⁸ Diagramas de montagem: Desenhos preparados pelo fabricante que identificam cada peça da Estrutura, mostram a localização, o seu posicionamento e o sistema de ligação (ABCCEM, 2010).

Mão-de-Obra; Ferramentas e Consumíveis; Estruturas Auxiliares e Plano de Segurança³⁹.

Um içamento poderá ser classificado como crítico pelo contratante ou pela montadora sempre que requeira maior cuidado e planejamento detalhado ou quando ocorrer qualquer uma das seguintes condições: a carga excede a 10 toneladas; a carga excede a 85 por cento da capacidade do equipamento; a operação de içamento exige dois ou mais guindastes; a carga suspensa passará sobre instalações ocupadas ou nas proximidades de cabos de eletricidade energizados (ABCCEM, 2010). Nesses casos o Plano de Montagem deve conter o Plano de *Rigging*.

Segundo Pinho (2005), o Plano de *Rigging* é elaborado na forma de procedimentos e representações gráficas com o intuito de garantir a segurança da operação por meio do detalhamento da movimentação vertical das peças, desde o local da armazenagem até a sua posição final na estrutura.

O Plano de *Rigging* é definido pela ABCCEM (2010) como o conjunto de documentos mais amplos, composto por: Diagramas Vertical⁴⁰ e Horizontal⁴¹ e Folha de Dados. No Plano de *Rigging* devem-se apresentar os içamentos críticos com a especificação, dimensionamento e detalhamento dos acessórios de içamento; o cálculo do peso das peças e de seu centro de gravidade; o plano de instalação e retirada dos acessórios de içamento; além da lista de verificação e das Folhas de Dados para cada içamento crítico.

A norma NR18 (BRASIL, 2013) não faz referências ao Plano de Montagem, nem ao Plano de *Rigging*, prevendo somente um documento denominado “Plano de

³⁹ O Plano de segurança deve apresentar: especificação de equipamentos de proteção individual, dimensionamento de proteções contra quedas e acidentes, montagem e desmontagem de plataformas de trabalho e meios de acesso do pessoal às Frentes de Montagem (ABCCEM, 2010).

⁴⁰ O Diagrama Vertical deve conter o desenho esquemático em elevação representando o equipamento principal, suas dimensões principais, o raio de operação, carga, comprimento de lança, as extensões das lanças auxiliares, ângulos de lanças, altura de içamento, acessórios de içamento, o posicionamento inicial da peça sobre o solo e sua posição final na Estrutura (ABCCEM, 2010).

⁴¹ O Diagrama Horizontal consiste no desenho esquemático que indica em planta a posição do equipamento principal (gruas, guindastes, etc), seus quadrantes de operação, as condições de movimentação do Equipamento, a posição relativa à estrutura, o local de armazenagem da peça no canteiro, o trajeto a ser cumprido pela peça durante o içamento e sua posição final na Estrutura (ABCCEM, 2010).

Cargas” no Anexo III- “plano de cargas para guas”. Trata-se de um documento semelhante ao Plano de *Rigging*, porém, pela nomenclatura adotada, sua leitura gera dúvidas por dar indícios de que é específico para guas e não há recomendações quanto ao uso de guindastes para içamento vertical.

Considerando que a desconstrução de edificações estruturadas em aço envolve os mesmos riscos da construção, pode-se supor que seja necessário um planejamento semelhante, contendo um Plano de Desmontagem similar ao Plano de Montagem e um Plano de *Rigging*, quando se tratar de estruturas mais complexas.

Dessa forma propõe-se avaliar nessa variável a presença de documentos contendo as considerações e recomendações sobre o procedimento da desconstrução, destacando-se: ordem de desmontagem; técnica ideal de remoção de componentes e elementos; lista de equipamentos, ferramentas e maquinários necessários; plano de segurança, além de outras particularidades. No caso da avaliação de desconstrução de estruturas de aço e componentes pesados que precisam ser içados essas informações devem estar contidas no Plano de Desmontagem similar ao Plano de Montagem e no Plano de *Rigging*, quando houver movimentação de peças e componentes com içamentos classificados como críticos.

Portanto adota-se como parâmetro para análise da variável uma escala de 0 a 10. Os valores devem ser dados a partir da presença ou não de documentos contendo as considerações e recomendações comentadas. Consideram-se informações imprescindíveis as considerações sobre: 1) Ordem de desmontagem e 2) Técnica ideal de remoção de componentes e elementos. Consideram-se informações relevantes as considerações sobre: 3) Lista de equipamentos, ferramentas e maquinários necessários e 4) Plano de segurança.

O documento será considerado completo quando contiver as informações imprescindíveis e relevantes e as demais informações contidas no Plano de Desmontagem completo (conforme definição do Plano de Montagem pela ABCEM) e de Plano de *Rigging*, se existirem içamentos críticos. Neste caso a variável (7.2) corresponde ao valor 10. O documento será considerado ainda completo quando não estiverem presentes todas as informações do Plano de Desmontagem, mas pelo menos as quatro informações imprescindíveis e relevantes estão documentadas. O valor da variável neste caso deve ser maior do que 6, sendo que quanto mais informações tiver

maior será a pontuação. A documentação será considerada incompleta quando não estiverem presentes as informações relevantes, mas estiverem presentes ao menos as consideradas imprescindíveis: 1) Ordem de desmontagem; 2) Técnica ideal de remoção de componentes e elementos e outras informações pontuais. O valor da variável com documentação incompleta deve ser maior ou igual a 2 e menor ou igual a 6. A documentação será considerada insuficiente quando estiverem presentes somente informações pontuais ou relevantes, mas não constarem as informações imprescindíveis. A documentação será considerada não existente para esses casos. A pontuação, nessas situações, varia entre 0 e 2, sendo que o valor zero é dado quando não constar nenhum documento sobre o procedimento de desmontagem.

A variável (7.2) será determinante quando a documentação for insuficiente ou inexistente, pois considera-se que deve existir um planejamento mínimo do processo para viabilizar a desconstrução.

7.8.3. Variável independente (7.3)- Projeto *as built*

A variável “Projeto *as built*” refere-se ao levantamento da situação atual da edificação, da documentação e representação gráfica de como a construção foi realizada e de todas as alterações construtivas posteriores. Não se trata do projeto da construção, pois muitas vezes as mudanças ocorrem durante a obra ou durante a vida útil da edificação e não são atualizadas no projeto original. A atualização e manutenção das informações completas sobre todo o edifício reforça o valor potencial de reuso, pois, durante a desconstrução, o projeto *as built* pode auxiliar na identificação das partes e no desenvolvimento dos procedimentos de desmontagem de forma mais segura, principalmente com relação à ordem de desmontagem.

Adota-se uma escala de 0 a 10 como parâmetro para análise dessa variável. Os valores devem ser dados a partir da presença ou não do projeto *as built* atualizado. O projeto *as built* será considerado atualizado quando estiverem representadas de forma gráfica todas as alterações no projeto original ocorridas durante a construção e as reformas ou reparos executados durante a vida útil da edificação. Para essa situação a pontuação é máxima, com valor 10. Quando o projeto *as built* não estiver totalmente atualizado, mas poucas alterações ocorreram e essas são facilmente identificáveis e atualizáveis considera-se o valor da variável maior que 6, sendo a variável considerada

completa. Os valores maiores ou iguais a 2 e menores ou iguais a 6 devem ser dados quando o projeto *as built* não estiver totalmente atualizado ou existir apenas a documentação do projeto original. Quanto maiores forem as diferenças entre a construção e o projeto existente (projeto *as built* ou original) menor deve ser a pontuação. A variável deve receber valores inferiores a 2 quando não existir o projeto original da construção e nem o projeto *as built* ou esses forem insuficientes para desenvolvimento dos procedimentos de desconstrução. Nesse caso a variável é considerada não existente. Pode ser o caso de uma construção executada sem projeto ou quando esse projeto for perdido.

A variável será considerada determinante porque mesmo sem a presença dos projetos *as built* ou pelo menos dos originais da construção deve-se desenvolver um levantamento mínimo imprescindível dos elementos que se quer reusar para o desenvolvimento dos procedimentos de desmontagem. Dessa forma considera-se que, se o projeto *as built* for inexistente ou insuficientemente atualizado, um levantamento mínimo contendo as informações necessárias para o eficiente planejamento dos procedimentos imprescindíveis para a desmontagem deve ser desenvolvido.

7.9. Potencial de desconstrução

O potencial de desconstrução será avaliado qualitativamente da seguinte forma nos sistemas de análise: “Indicado”: quando o processo de desconstrução com certeza traz vantagens econômicas e ambientais; “Viável”: quando podem existir benefícios, mas não há desvantagem econômica e ambiental e “Inviável”: quando o processo de desconstrução apresenta desvantagens maiores que vantagens, em termos econômicos ou em termos ambientais.

Adotou-se como parâmetro uma escala de 0 a 1 para quantificar o potencial de desconstrução. O valor 0 é considerado para a pior situação, quando a desconstrução é considerada inviável e o valor 1 corresponde à situação mais favorável, quando a desconstrução é indicada. Para valores de 0 a 0,25 a desconstrução é considerada inviável. Para valores maiores que 0,25 e menores que 0,65 a desconstrução é considerada viável. Para valores superiores a 0,65 a desconstrução é considerada indicada.

8. SISTEMAS DE ANÁLISE DA DESCONSTRUÇÃO

Conforme se estabeleceu no capítulo cinco, propõem-se dois sistemas distintos para avaliação do potencial de desconstrução e reuso das estruturas metálicas: 1) um sistema simplificado de pontuação baseado no atendimento ou não das variáveis selecionadas, que pode funcionar também como um *checklist* e 2) um sistema baseado em modelos de conjuntos difusos aplicados no programa MatLab[®]. Ambos os sistemas de avaliação propostos neste trabalho devem ser utilizados na avaliação de componentes que possuem características específicas.

Conforme concluído no capítulo quatro, para uma desconstrução de edificações em aço ser viável deve-se partir do princípio que os materiais que se quer recuperar são: reutilizáveis (recicláveis, reaproveitáveis ou reusáveis) e não são tóxicos ou perigosos; pois qualquer disposição contrária já inviabilizaria a desconstrução desses materiais. Portanto os pré-requisitos de ambos os sistemas que devem ser atendidos são: 1- Materiais atóxicos e não perigosos e 2- Materiais reutilizáveis.

Nesse capítulo são apresentados os dois sistemas de análise baseados nos dados de entrada, conforme as características da edificação, para cada variável independente selecionada no capítulo quatro, que devem ser analisadas conforme explanado no capítulo sete.

8.1. Sistema de análise simplificado de pontuação

O objetivo desse sistema de avaliação é proporcionar uma ferramenta de consulta fácil que auxilie profissionais no planejamento da desconstrução e atendimento aos critérios de projeto que otimizem o processo.

A maioria dos sistemas de avaliação ambiental relaciona o desempenho da edificação ao atendimento a pré-requisitos e a critérios de desempenho estabelecidos em seu desenvolvimento. O atendimento aos critérios confere as pontuações equivalentes. É comum que o atendimento a determinados critérios considerados mais importantes atribua pontuações mais altas. Assim, é comum estabelecer pesos diferenciados aos critérios de acordo com a hierarquia de importância de atendimento, conforme os objetivos da avaliação. No entanto, para o desenvolvimento desse sistema não se convencionou adotar pontuações diferenciadas por atendimento às variáveis independentes estabelecidas, mas sim pontuações mínimas a serem atendidas quando se

tratar de variáveis independentes determinantes. Os aspectos das variáveis considerados determinantes devem afetar de forma direta o resultado final do potencial de desconstrução, por isso foram estabelecidas pontuações mínimas aceitáveis para cada variável determinante.

Dessa forma, estabeleceu-se que nesse sistema de avaliação devem ser realizadas análises separadas por variáveis independentes, exceto as variáveis (1.3), (1.4) e (1.5), que devem ser analisadas em conjunto. Cada variável oferece uma pontuação de 0 a 2, sendo que quanto maior a pontuação maior é o potencial de desconstrução. As variáveis independentes que possuem aspectos determinantes apresentam pontuações mínimas aceitáveis equivalentes a 1 ponto que devem ser alcançadas para não inviabilizar a desconstrução. Variáveis não determinantes não possuem pontuação mínima aceitável.

As variáveis (1.3), (1.4) e (1.5) devem ser analisadas em conjunto, pois vão determinar a necessidade de reparo dos componentes ou elementos, que não pode ser muito alta porque inviabiliza o reuso. Portanto, a pontuação das três variáveis analisadas em conjunto deve atender ao mínimo aceitável equivalente a 5 pontos, pior situação, quando duas variáveis apresentam pontuação máxima de 2 pontos e uma variável apresenta pontuação intermediária. Qualquer das variáveis que apresentar pontuação equivalente a 0 já inviabiliza todo o processo, pois a necessidade de reparação é alta.

A pontuação total corresponde à soma das pontuações equivalentes a cada variável. Ao todo são oferecidos 56 pontos que equivalem ao atendimento às variáveis de forma que mais favorece a desconstrução. Se todas as pontuações mínimas aceitáveis forem atendidas a pontuação alcançada é 16, dessa forma o potencial de desconstrução é aceitável. Pontuações abaixo de 16 ou acima, mas que não atendem as pontuações mínimas aceitáveis das variáveis determinantes equivalem a um potencial de desconstrução baixo, tornando o processo inviável. Para pontuações superiores a 16 e que atendem a todas as pontuações mínimas aceitáveis a desconstrução é considerada viável e quanto maior a pontuação, maior é o potencial de desconstrução. Nos quadros 8.1 e 8.2 apresentam-se as variáveis independentes e seus domínios; os dados de entrada possíveis; as respectivas classificações e pontuações equivalentes e as pontuações mínimas, mínimas aceitáveis (das variáveis determinantes) e máximas de cada variável.

Quadro 8.1. Sistema de análise de pontuação- Variáveis independentes de 1.1 a 3.6

Variáveis independentes e domínios	Dados de entrada	Classificação	Pontos	Pontuação mínima e máxima
1.1) CUSTO Domínio- 0-200% do custo do material novo	0 a 80%	Ideal	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 1 pontuação máxima 2
	>80 e ≤100%	Aceitável	1	
	>100%	Indesejado	0	
1.2) EXPECTATIVA DE DURABILIDADE Domínio- 0-100 anos	>50	Alta	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 1 pontuação máxima 2
	>30 e ≤ 50	Aceitável	1	
	0 a 30	Baixa	0	
1.3) ESTADO DE CONSERVAÇÃO Domínio- 0-100 % de conservação	≥85%	Ótimo	2	As três variáveis devem ser analisadas em conjunto: pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 5 pontuação máxima 6
	>65 e <85%	Razoável	1	
	0 a ≤ 65%	Ruim	0	
1.4) DANO NO PROCESSO Domínio- 0-100 % de dano	0 a 15%	Reparável	2	
	>15 e <35%	Parcialmente reparável	1	
	≥35%	Irreparável	0	
1.5) NECESSIDADE DE ADAPTAÇÃO PARA NOVO USO Domínio- 0-100 % adaptação	0 a 15%	Baixa	2	
	>15 e <35%	Razoável	1	
	≥35%	Alta	0	
2.1) PADRONIZAÇÃO Domínio- 0-100 % de padronização	≥ 85%	Total	2	
	>30 e < 85%	Parcial	1	
	0 a 30%	Insignificante	0	
2.2) MODULAÇÃO Domínio- 0-100 % de modulação	≥ 85%	Elevada	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	>30 e < 85%	Parcial	1	
	0 a 30%	Baixa	0	
2.3) TECNOLOGIA E FERRAMENTAS Domínio- 0-10 nível de complexidade	≥ 7,5	Complexas	0	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	> 3,0 e < 7,5	Intermediária	1	
	0 a 3,0	Básica	2	
3.1) PADRONIZAÇÃO DA LIGAÇÃO Domínio- 0-100 % de padronização	≥ 85%	Total	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	>30 e < 85%	Parcial	1	
	0 a 30%	Insignificante	0	
3.2) SIMPLIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO Domínio- 0-10 grau de simplificação	≥ 7,5	Alta	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	> 3,0 e < 7,5	Intermediária	1	
	0 a 3,0	Baixa	0	
3.3) NÚMERO DE LIGAÇÕES Domínio- 0-10	≥ 7,5	Excessiva	0	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	> 3,0 e < 7,5	Aceitável	1	
	0 a 3,0	Mínima	2	
3.4) EXPECTATIVA DE DURABILIDADE DA LIGAÇÃO Domínio- 0-100 anos	>50	Alta	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	>30 e ≤ 50	Aceitável	1	
	0 a 30	Baixa	0	
3.5) DANO ÀS LIGAÇÕES Domínio- 0-100 % de dano	>35%	Irreparável	0	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 1 pontuação máxima 2
	>15 e ≤35%	Parcialmente reparável	1	
	0 a 15%	Reparável	2	
3.6) TEMPO DE REMOÇÃO DA LIGAÇÃO Domínio- 0-100 minutos por ligação	0 a 15	Baixo	2	pontuação mínima 0 pontuação mínima aceitável 0 pontuação máxima 2
	>15 e <30	Moderado	1	
	≥30	Alto	0	

Quadro 8.2. Sistema de análise de pontuação- Variáveis independentes de 3.7 a 7.3

Variáveis independentes e domínios	Dados de entrada	Classificação	Pontos	Pontuação mínima e máxima
3.7) ACESSIBILIDADE À LIGAÇÃO Domínio- 0-10	≥ 7,5	Máxima	2	pontuação mínima 0
	>3,0 e <7,5	Aceitável	1	pontuação mínima aceitável 0
	0 a 3,0	Mínima	0	pontuação máxima 2
3.8) DANO CAUSADO ÀS PEÇAS PELAS LIGAÇÕES Domínio- 0-100 % de dano	≥35%	Irreparável	0	pontuação mínima 0
	>15 e <35%	Parcialmente reparável	1	pontuação mínima aceitável 1
	0 a 15%	Reparável	2	pontuação máxima 2
4.1) ACESSIBILIDADE Domínio- 0-10	≥ 7,5	Máxima	2	pontuação mínima 0
	>3,0 e <7,5	Aceitável	1	pontuação mínima aceitável 0
	0 a 3,0	Mínima	0	pontuação máxima 2
4.2) SEPARAÇÃO DE OUTROS NÍVEIS DE MATERIAIS Domínio- 0-10	≥ 7,5	Fácil	2	pontuação mínima 0
	>3,0 e <7,5	Razoável	1	pontuação mínima aceitável 1
	0 a 3,0	Diffcil	0	pontuação máxima 2
5.1) EFICIÊNCIA PELO TIPO DE DESMONTAGEM Domínio- 0-10 grau de eficiência	>9,0	Alta	2	pontuação mínima 0
	>3,0 e ≤9,0	Média	1	pontuação mínima aceitável 0
	0 a 3,0	Baixa	0	pontuação máxima 2
5.2) DIFICULDADE PELA FORMA DE DESMONTAGEM Domínio- 0-10 grau de dificuldade	>9,0	Alta	0	pontuação mínima 0
	>3,0 e ≤9,0	Moderada	1	pontuação mínima aceitável 0
	0 a 3,0	Baixa	2	pontuação máxima 2
5.3) ESPAÇO PARA ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS Domínio- 0-10 disponibilidade de espaço	>9,0	Adequado	2	pontuação mínima 0
	>3,0 e ≤9,0	Parcialmente inadequado	1	pontuação mínima aceitável 0
	0 a 3,0	Inadequado	0	pontuação máxima 2
5.4) ESPAÇO PARA EQUIPAMENTOS E MANOBRAS Domínio- 0-10 disponibilidade de espaço	>9,0	Adequado	2	pontuação mínima 0
	>3,0 e ≤9,0	Parcialmente inadequado	1	pontuação mínima aceitável 1
	0 a 3,0	Inadequado	0	pontuação máxima 2
6.1) RISCO POR TRABALHO EM ALTURA Domínio- 0-10 grau de risco	>6,0	Alto	0	pontuação mínima 0
	> 2,0 e ≤6,0	Médio	1	pontuação mínima aceitável 1
	0,0 a 2,0	Baixo	2	pontuação máxima 2
6.2) RISCO POR INSTABILIDADE Domínio- 0-10 grau de risco	>6,0	Alto	0	pontuação mínima 0
	> 2,0 e ≤6,0	Médio	1	pontuação mínima aceitável 1
	0,0 a 2,0	Baixo	2	pontuação máxima 2
6.3) OUTROS RISCOS Domínio- 0-10 grau de risco	>6,0	Alto	0	pontuação mínima 0
	> 2,0 e ≤6,0	Médio	1	pontuação mínima aceitável 1
	0,0 a 2,0	Baixo	2	pontuação máxima 2
7.1) SISTEMA DE INFORMAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS Domínio- 0-10	>6,0	Completo	2	pontuação mínima 0
	≥ 2,0 e ≤6,0	Incompleto	1	pontuação mínima aceitável 0
	0,0 a < 2,0	Não existe	0	pontuação máxima 2
7.2) PROCEDIMENTO DE DESMONTAGEM Domínio- 0-10	>6,0	Completo	2	pontuação mínima 0
	≥ 2,0 e ≤6,0	Incompleto	1	pontuação mínima aceitável 1
	0,0 a < 2,0	Não existe	0	pontuação máxima 2
7.3) PROJETO "AS BUILT" Domínio- 0-10	>6,0	Atualizado	2	pontuação mínima 0
	≥ 2,0 e ≤6,0	Desatualizado	1	pontuação mínima aceitável 1
	0,0 a < 2,0	Não existe	0	pontuação máxima 2

8.2. Introdução ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos

O resultado da análise das variáveis que influenciam a desconstrução orientará o processo de decisão humana quanto a executar uma desconstrução ou não. Contudo, a avaliação do potencial de desconstrução de uma edificação encontra dificuldades semelhantes às encontradas para a avaliação da sustentabilidade de edificações, mesmo restringindo esse trabalho à análise dos componentes das estruturas de construções em aço. O projeto de uma construção é um processo de conhecimento altamente intensivo e integrado. Seus aspectos e variáveis são complexos e mal definidos para uma análise do potencial de desconstrução utilizando sistemas de pontuação clássicos, pois são sistemas mais exatos e que geralmente não permitem que as variáveis se relacionem.

O processo real de cognição e consciência, que ocasiona uma tomada de decisão humana e uma correspondente ação, é extremamente complexo (BRAGA et al, 2014). Assim sendo, como então modelar completamente esse sistema para se determinar a possibilidade de desconstrução de uma edificação? Segundo o princípio da Incompatibilidade de Zadeh (SIMÕES; SHAW⁴², 2007 apud BRAGA et al., 2014), com o aumento da complexidade de um sistema, a habilidade de se fazer afirmações precisas e ainda significantes a respeito do comportamento do sistema diminui até um limiar ser alcançado, a partir do qual a PRECISÃO e a SIGNIFICÂNCIA (ou relevância) tornam-se características mutuamente exclusivas. Assim tem-se uma resposta natural e extremamente simples: não há como, e talvez nunca haja!

Segundo Braga et al. (2014), uma alternativa para simular a tomada de decisão humana, que a princípio pode parecer extremamente simplista, está na adoção de alguma ferramenta de Inteligência Computacional (IC). Entre as ferramentas de IC disponíveis, o emprego da Lógica *Fuzzy* se destaca por sua capacidade de incorporar diversas variáveis qualitativas e quantitativas em um processo decisório, pela possibilidade de contextualizar numericamente um dito conhecimento especialista (ALMEIDA; EVSUKOFF⁴³, 2003 apud BRAGA et al., 2014).

⁴² SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

⁴³ ALMEIDA, P. E. M.; EVSUKOFF, A. G. Sistemas Fuzzy. In: REZENDE, S. O. (Coord.). **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri: Manole, 2003. cap. 7.

A Lógica *Fuzzy* nada mais é que uma ferramenta determinística de gerenciamento de incertezas, que podem ser oriundas de grandezas mensuráveis ou puramente qualitativas (BRAGA et al, 2014). Assim, a Lógica *Fuzzy* aparece como sendo promissora para pesquisas e modelagem de tomadas de decisão humanas envolvendo aspectos projetuais, mesmo quando baseada em parâmetros qualitativos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar modelagens para avaliação do potencial de desconstrução e recuperação de materiais baseada em paradigmas ainda pouco trabalhados para tal, os princípios de desconstrução e a Lógica *Fuzzy*. Os modelos foram efetivamente implementados com o auxílio do programa computacional MatLab® (versão 7.8.0.347, R2009a), utilizando-se do seu *Toolkit Fuzzy* já instalado e de suas ferramentas gráficas.

Os modelos propostos para avaliação do potencial de desconstrução baseados em conjuntos difusos permitem que as variáveis se relacionem por meio das regras *fuzzy* e que se dê maior ou menor grau de importância a determinadas variáveis quando analisadas em conjunto.

Esse sistema de análise possibilita realizar estudos sobre os princípios de desconstrução adotados, auxiliando na otimização do projeto arquitetônico e no planejamento do processo de desconstrução.

No Apêndice E inicialmente são apresentados os conceitos fundamentais de conjuntos difusos e de Lógica *Fuzzy*, bem como algumas definições e operações que permitem abordar os mecanismos de inferência que servem de base para o que se convencionou chamar raciocínio aproximado. De modo a entender a transposição de operadores para o âmbito da Lógica *Fuzzy*, uma pequena recapitulação da lógica clássica também é apresentada.

A seguir explica-se o sistema desenvolvido, apresentando-se os modelos e suas interações para o resultado final.

8.3. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos

Para que o sistema de análise fosse desenvolvido, foi necessária a seleção das variáveis consideradas prioritárias no contexto específico a ser estudado. Essas variáveis foram, então, por meio de regras ou algoritmos computacionais, relacionadas dinamicamente entre si para gerar um único resultado de saída, que no caso é relativo ao

potencial de desconstrução que poderá ser classificado em: indicado (melhor situação), viável ou inviável (pior situação, quando a desconstrução não é recomendada).

A fim de incorporar as características de desconstrução ao sistema de avaliação, os atributos relevantes foram identificados e sua influência foi classificada e quantificada no capítulo sete, que serviu de orientação para desenvolvimento das funções de pertinência de cada classificação das variáveis e para as regras *fuzzy* de cada modelagem.

A ferramenta de avaliação foi estruturada com modelos de conhecimento que incorporam os aspectos de projeto que influenciam a desconstrução por meio da avaliação sistemática de suas interdependências. Os indicadores de desempenho foram desenvolvidos a partir das relações críticas dos atributos relevantes que são enviados para o modelo de conhecimento como variáveis de entrada, que, por meio de modelagens sequenciais, levam a um único valor de saída, expressando numericamente o potencial de desconstrução. As características e desenvolvimento destes modelos são discutidos.

Por apresentar um total de 28 variáveis independentes que devem se relacionar para resultarem em uma única saída, optou-se por estabelecer uma divisão das variáveis independentes em um sistema de classificação composto pelas variáveis independentes, denominadas variáveis de entrada, e por variáveis dependentes, primeiramente subdivididas em sete categorias (de acordo com a classificação do capítulo quatro) e três grupos (Composição, Permutabilidade e Logística).

As variáveis de entrada são os dados coletados e são considerados independentes porque correspondem às características dos componentes da edificação ou do projeto que se quer avaliar. As variáveis dependentes têm seus valores determinados pelas variáveis de entrada com que se relacionam, por isso são denominadas dependentes. O conjunto de variáveis de entrada com aspectos relacionados formam as categorias. As categorias com características relacionadas determinam os grupos. Esses, por sua vez, relacionam-se para determinar a saída do potencial de desconstrução. O fluxograma esquematizado na figura 8.1 representa a relação inicial entre os níveis de variáveis independentes e dependentes.

Os níveis de categorias, grupos e variáveis de entrada e suas relações foram ordenados e agrupados dessa forma para fins de organização do sistema e simplificação de análise e resultados.

O número de regras possíveis para cada variável de saída é função direta do número de conjuntos *fuzzy* considerados para cada antecedente, ou seja, depende do número de variáveis de entrada e do número de funções de pertinência de cada variável de entrada. Uma base de regras muito grande pode acarretar em maior dificuldade operacional no Matlab[®], além de fornecer uma quantidade excessiva de informação ao usuário, podendo dificultar a compreensão do processo e seu futuro aperfeiçoamento ou personalização. De acordo com o que foi definido no capítulo sete, estabeleceu-se que cada variável independente pode ser classificada de três formas diferentes, gerando um total de três funções de pertinência por variável. Por isso, as variáveis foram separadas por modelagens de forma a limitar o número de variáveis de entrada a três. Sendo assim, se cada variável possui três funções de pertinência, o limite de combinação entre três variáveis gera o número máximo de vinte e sete regras.

Dessa forma, para respeitar esse limite máximo de regras, foi necessário analisar algumas variáveis de entrada separadamente, gerando subcategorias, que também são variáveis dependentes. Essas subcategorias podem combinar-se entre si ou com outras variáveis independentes para determinarem como resultados de saída as categorias, conforme indica o fluxograma mostrado na figura 8.2.

Com base no estabelecido para o número máximo de regras, as variáveis independentes e dependentes foram combinadas totalizando 17 modelagens *fuzzy* no Matlab. Os resultados de saída de modelagens iniciais servem como dados de entrada para modelagens posteriores, criando um efeito cascata no método. Dessa forma as 17 modelagens devem ser desenvolvidas na ordem crescente indicada na figura 8.3, onde está representada a sequência de modelagem pelas iniciais de M1 a M17. As variáveis dependentes foram renomeadas de acordo com a ordem de modelagem.



Figura 8.1: Estrutura inicial do sistema de análise baseado em lógica fuzzy.

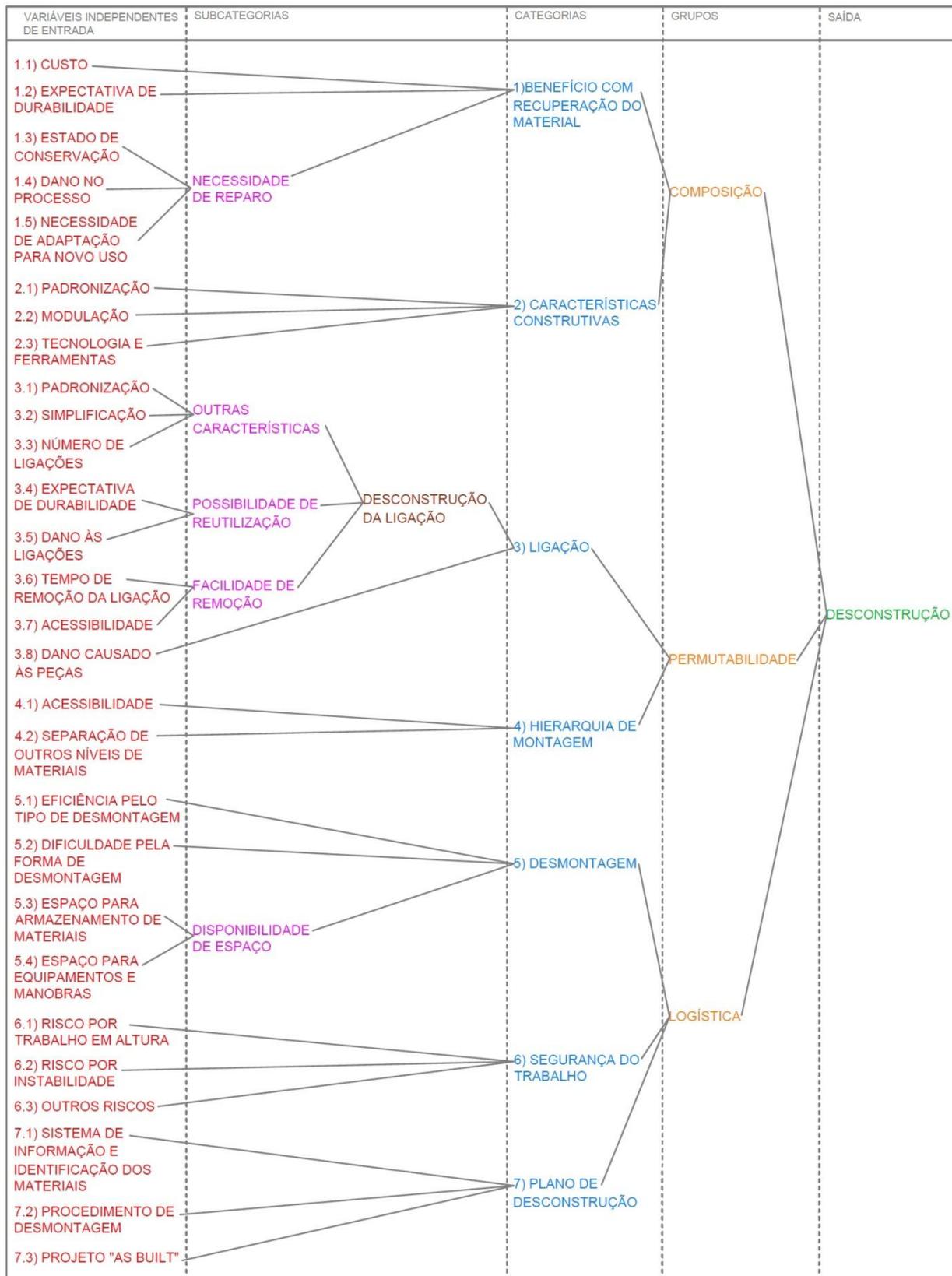


Figura 8.2: Divisões do sistema *fuzzy* em variáveis de entrada, subcategorias, categorias, grupos e saída.

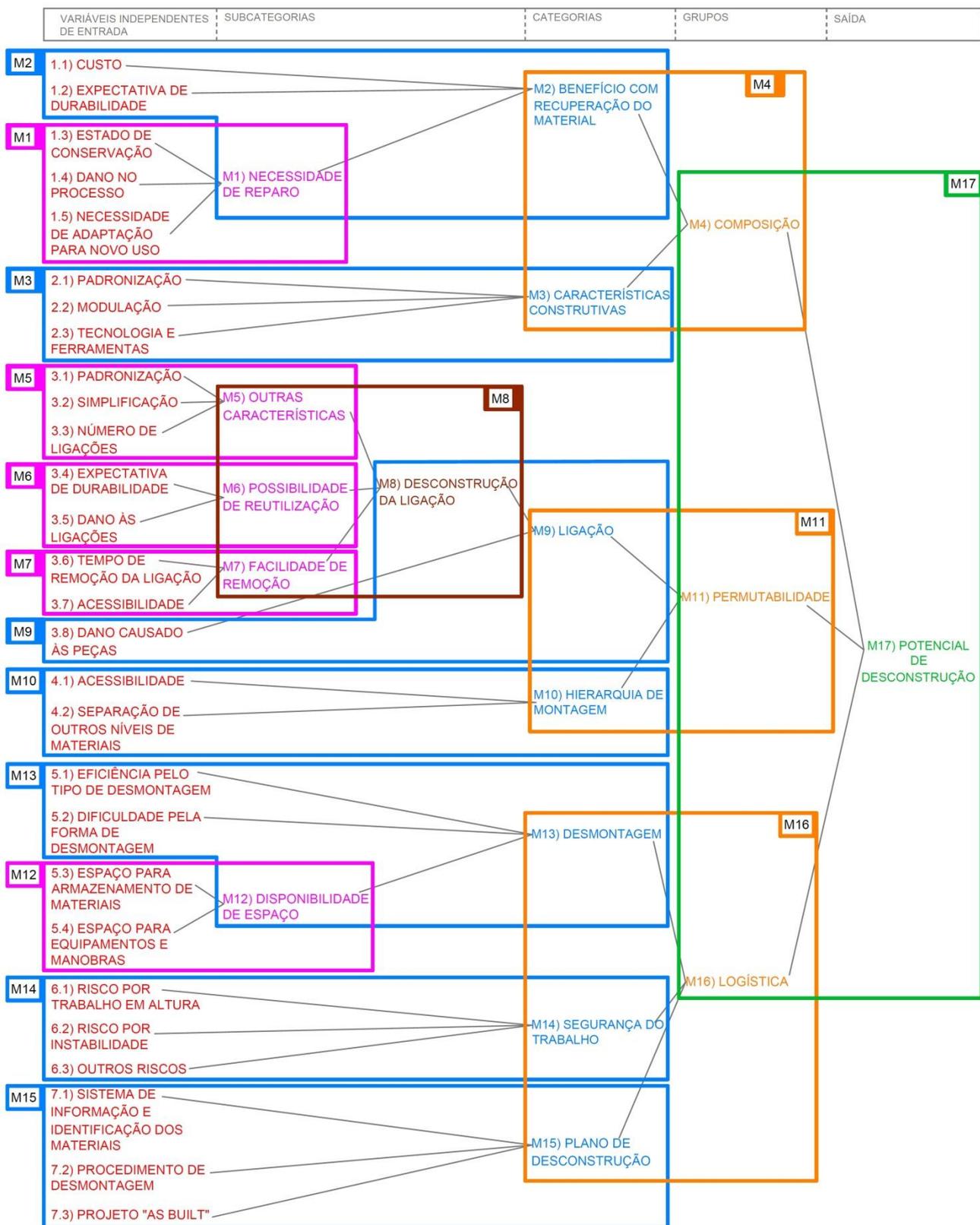


Figura 8.3: Esquema indicando a ordem de desenvolvimento dos modelos representada em ordem crescente pelas iniciais de M1 a M17.

8.4. Modelos *fuzzy*

Os modelos de conhecimento desenvolvidos neste sistema de avaliação podem servir para analisar as possibilidades de desconstrução de estruturas de edificações em aço existentes, bem como uma ferramenta de projeto para o desenvolvimento de novos edifícios com a finalidade de desconstrução futura, por meio da adoção de critérios de projeto como uma estratégia de otimização da desconstrução.

Os próximos subitens apresentarão os modelos *fuzzy* desenvolvidos para o sistema de análise. Para todos os modelos definiu-se no Matlab® um sistema Mamdani com as seguintes características: *And method- min*; *Or method- max*; *Implication- min*; *Aggregation- max*; *Defuzzification- centroid* e *mom*, realizados separadamente para comparação dos resultados dos estudos de caso.

As funções de pertinência e as regras *fuzzy* dos modelos foram estabelecidas conforme as considerações feitas no capítulo 7. Foram utilizados universos de discurso (domínios) específicos para cada variável e funções de pertinência trapezoidal (*trapmf*), triangular (*Trimf*). Como as variáveis independentes determinantes têm maior influência sobre o resultado final do potencial de desconstrução, as regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que os aspectos determinantes das variáveis independentes determinantes influenciassem nas subcategorias e categorias, criando também nelas aspectos determinantes que, por sua vez, tornam alguns aspectos das variáveis dependentes dos grupos também determinantes. Consequentemente os aspectos determinantes dos grupos vão resultar em um potencial de desconstrução inviável, dependendo das combinações entre as variáveis.

Nos Quadros 8.3 a 8.19 apresenta-se cada um dos 17 modelos. Neles são apresentados os modelos com suas variáveis de entrada e de saída e suas respectivas características: domínio; sentido de influência positiva para a desconstrução, se é crescente (↑) ou decrescente (↓); classificações e funções de pertinência; se a variável é determinante e em que ponto; gráficos das funções de pertinências e conjunto de regras *fuzzy* estabelecido.

8.4.1. Modelo 1: variável de saída: “M1-Necessidade de reparos”

O Modelo 1 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente de saída: “M1-Necessidade de reparos”, uma subcategoria do método como um todo. As

variáveis de entrada são: 1.3-Estado de conservação; 1.4-Dano no processo e 1.5-Necessidade de adaptação. Para essas variáveis atribuiu-se termos linguísticos e a cada um deles uma função de pertinência do tipo triangular ou trapezoidal. No quadro 8.3 são apresentadas as informações do Modelo 1.

A base de regras para a determinação da variável de saída foi estabelecida no Matlab de acordo com as considerações apresentadas no capítulo 7 e os casos em que as variáveis são determinantes. As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha 1.3-Estado de conservação “Ruim” ou 1.4-Dano no processo “Irreparável” ou 1.5-Necessidade de adaptação “Alta”, a saída M1-Necessidade de reparo será “Grande”. A saída M1-Necessidade de reparo- também será “Grande” em qualquer combinação entre: 1.3-Estado de conservação “Razoável” e 1.4-Dano no processo “Parcialmente Reparável” ou 1.5-Necessidade de adaptação “Razoável” e 1.4-Dano no processo “Parcialmente Reparável” ou 1.3-Estado de conservação “Razoável” e 1.5-Necessidade de adaptação “Razoável”. Quando a saída M1-Necessidade de reparo for “Grande” será determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

Cada uma das regras apresentadas nos quadros 8.3 a 8.19 tem a forma do exemplo a seguir da regra 1 mostrada no Quadro 8.3:

If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE).

que significa:

Se o Estado de conservação é RUIM e o Dano no processo é REPARÁVEL e a Necessidade de adaptação é BAIXA então a Necessidade de reparo é GRANDE.

8.4.2. Modelo 2: variável de saída: “M2-Benefício com recuperação do material”

O modelo 2 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente de saída: “M2-Benefício com recuperação do material”, a categoria 1 do método como um todo. As variáveis de entrada são: 1.1-Custo; 1.2- Expectativa de durabilidade e M1-Necessidade de reparo. No Quadro 8.4 são apresentadas as informações do Modelo 2.

As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha 1.1-Custo “Indesejado” ou 1.2-Expectativa de durabilidade “Baixa” ou M1-Necessidade de reparos “Grande”, a saída M2-Benefício com recuperação do material

será “Baixo”. A saída da categoria 1- Benefício com recuperação do material - será “Alto” quando a variável 1.2-Expectativa de durabilidade for “Alta”; a variável 1.1-Custo for diferente de “Indesejado” e a variável M1- Necessidade de reparos for diferente de “Grande”. Quando a 1.2-Expectativa de durabilidade for “Aceitável”; e a variável 1.1-Custo for diferente de “Indesejado” e a variável M1- Necessidade de reparos for diferente de “Grande”, a saída será “Moderado”. Quando a saída da M2- Benefício com recuperação do material for “Baixo” a variável será determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

8.4.3. Modelo 3: variável de saída: “M3- Características Construtivas”

O modelo 3 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente: “M3- Características Construtivas”. As variáveis de entrada são: 2.1- Padronização; 2.2- Modulação; 2.3- Tecnologias e ferramentas. No Quadro 8.5 são apresentadas as informações do Modelo 3. Para a determinação da variável dependente de saída nenhuma variável de entrada foi considerada determinante.

8.4.4. Modelo 4: variável de saída: “M4- Composição”

O modelo 4 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente: “M4- Composição”, classificada como um dos grupos do sistema de análise. As variáveis de entrada são as duas categorias de variáveis de saída dos Modelos 2 e 3: M2- Benefício com recuperação do materiais e M3- Características Construtivas. No Quadro 8.6 são apresentadas as informações do Modelo 4.

Para a determinação da variável dependente “M4- Composição” foi considerada a variável de entrada determinante: M2- Benefício de recuperação do material “baixo”. Para toda a regra contendo a classificação M2- Benefício de recuperação do material “baixo” a variável M4- Composição foi considerada “inadequada”, sendo essa classificação determinante para o resultado final. Para as combinações da variável M2- Benefício de recuperação do material “alto” e M3- Características Construtivas “razoáveis” ou “ótimas”, a variável M4- Composição foi considerada “adequada”. Para as demais regras a variável M4- Composição foi considerada “aceitável”.

8.4.5. Modelo 5: variável de saída: “M5-Outras Características”

O modelo 5 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente: “M5-Outras Características”. As variáveis de entrada são: 3.1-Padronização; 3.2-Simplificação e 3.3-Número de ligações. No Quadro 8.7 são apresentadas as informações do Modelo 5.

Para a determinação da variável de saída nenhuma variável de entrada foi considerada determinante. As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha 3.1-Padronização “Insignificante” ou 3.2-Simplificação “Baixa”, a variável de saída é M5-Outras Características “Ruins”.

8.4.6. Modelo 6: variável de saída: “M6-Possibilidade de Reutilização”

O modelo 6 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M6-Possibilidade de Reutilização”. As variáveis de entrada são duas variáveis independentes: 3.4- Expectativa de durabilidade e 3.5- Dano às ligações. No Quadro 8.8 são apresentadas as informações do Modelo 6.

Para a determinação da variável dependente “M6-Possibilidade de Reutilização” foi considerada a variável de entrada determinante: 3.5- Dano às ligações “Irreparável”. Para toda a regra contendo a classificação Dano às ligações “Irreparável” a saída Possibilidade de Reutilização foi considerada “Ruim”, sendo essa classificação determinante para o resultado final. Para as regras que combinam a variável 3.5- Dano às ligações “Reparável” ou “Parcialmente Reparável” e a variável 3.4-Expectativa de durabilidade “Alta”, a saída M6-Possibilidade de Recuperação foi considerada “Ótima”. Para as demais regras a Possibilidade de Recuperação foi considerada “Razoável”.

8.4.7. Modelo 7: variável de saída: “M7-Facilidade de remoção”

O modelo 7 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a Variável dependente “M7-Facilidade de remoção”. As variáveis de entrada são duas variáveis independentes: 3.6- Tempo de remoção da ligação e 3.7- Acessibilidade. No Quadro 8.9 são apresentadas as informações do Modelo 7.

Para a determinação dessa variável de saída nenhuma variável de entrada foi considerada determinante. As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha 3.6-Tempo de remoção “Alto” a saída M7-Facilidade de

remoção seja “Difícil”. Para as demais regras a Facilidade de remoção foi considerada “Razoável” ou “Fácil”, dependendo da combinação entre a classificação das variáveis.

8.4.8. Modelo 8: variável de saída: “M8- Desconstrução da Ligação”

O modelo 8 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente: “M8- Desconstrução da Ligação”. As variáveis de entrada são as variáveis de saída dos modelos 5, 6 e 7: M5-Outras Características; M6-Possibilidade de Reutilização e M7-Facilidade de remoção. No Quadro 8.10 são apresentadas as informações do Modelo 8.

As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha M6-Possibilidade de Reutilização “Ruim”, a saída M8-Desconstrução da Ligação será “Ruim”, sendo determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

8.4.9. Modelo 9: variável de saída: “M9- Ligação”

O modelo 9 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M9- Ligação”. As variáveis de entrada são: M8- Desconstrução da Ligação (variável de saída do modelo 8) e 3.8-Dano causado às peças (variável independente). No Quadro 8.11 são apresentadas as informações do Modelo 9.

As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha M8- Desconstrução da Ligação “Ruim” ou 3.8-Dano causado às peças “Irreparável”, a variável de saída M9-Ligação- será “Inadequada”, sendo determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

8.4.10. Modelo 10: variável de saída: “M10-Hierarquia de Montagem”

O modelo 10 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M10-Hierarquia de Montagem”. As variáveis de entrada são duas variáveis independentes: 4.1- Acessibilidade e 4.2- Separação de outros níveis de materiais. No Quadro 8.12 são apresentadas as informações do Modelo 10.

Para a determinação da variável de saída “M10-Hierarquia de Montagem” foi considerada a variável de entrada determinante: 4.2- Separação de outros níveis de materiais “Difícil”. Para toda a regra contendo a classificação 4.2- Separação de outros níveis de materiais “Difícil” a saída M10- Hierarquia de Montagem foi considerada “Inadequada”, sendo essa classificação determinante para o resultado final.

8.4.11. Modelo 11: variável de saída: “M11-Permutabilidade”

O modelo 11 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M11-Permutabilidade”, classificada como um Grupo do sistema de análise. As variáveis de entrada são duas variáveis dependentes, resultantes das saídas dos Modelos 9 e 10: M9-Ligação e M10-Hierarquia de montagem. No Quadro 8.13 são apresentadas as informações do Modelo 11.

Para a determinação da variável dependente “M11-Permutabilidade” foram consideradas as variáveis de entrada determinantes: M9-Ligação “Inadequada” e M10-Hierarquia de Montagem “Inadequada”. Para toda a regra contendo a classificação ligação “Inadequada” ou Hierarquia de montagem “Inadequada”, a saída M11-Permutabilidade foi considerada “Ruim”, sendo essa classificação determinante para o resultado final.

8.4.12. Modelo 12: variável de saída: “M12-Disponibilidade de espaço”

O modelo 12 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M12-Disponibilidade de espaço”. As variáveis de entrada são duas variáveis independentes: 5.3- Espaço para armazenamento de materiais e 5.4-Espaço para equipamentos e manobras. No Quadro 8.14 são apresentadas as informações do Modelo 12.

Para a determinação da variável dependente “M12- Disponibilidade de espaço” foi considerada a variável de entrada determinante: 5.4-Espaço para equipamentos e manobras “Inadequado”. Para toda a regra contendo a classificação Espaço para equipamentos e manobras “Inadequado” a saída M12-Disponibilidade de espaço foi considerada “Ruim”, sendo essa classificação determinante para o resultado final.

8.4.13. Modelo 13: variável de saída: “M13-Desmontagem”

O modelo 13 foi desenvolvido com o objetivo de prever a variável dependente: “M13-Desmontagem”. As variáveis de entrada são: 5.1- Eficiência pelo tipo de desmontagem; 5.2- Dificuldade pela forma de desmontagem e M12- Disponibilidade de espaço. No Quadro 8.15 são apresentadas as informações do Modelo 13.

As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha a variável determinante M12- Disponibilidade de espaço “Ruim” a saída da categoria 5-

Desmontagem será “Difícil”, tornando-se uma variável determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

8.4.14. Modelo 14: variável de saída: “M14-Segurança do Trabalho”

O modelo 14 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente: “M14-Segurança do Trabalho”. As variáveis de entrada são: 6.1- Risco por Trabalho em Altura; 6.2- Risco por Instabilidade e 6.3- Outros Riscos. No Quadro 8.16 são apresentadas as informações do Modelo 14.

As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha a variável determinante 6.1- Risco por Trabalho em Altura “Alto” ou 6.2- Risco por Instabilidade “Alto” ou 6.3- Outros Riscos “Alto”, a saída da categoria 6-Segurança do Trabalho será “Inadequada”, tornando-se uma variável determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

8.4.15. Modelo 15: variável de saída: “M15-Plano de Desconstrução”

O modelo 15 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente: “M15-Plano de Desconstrução”. As variáveis de entrada são: 7.1- Sistema de informação e identificação dos materiais; 7.2- Procedimento de desmontagem e 7.3- Projeto *as built*. No Quadro 8.17 são apresentadas as informações do Modelo 15.

As regras *fuzzy* foram elaboradas de forma que qualquer combinação que tenha a variável determinante 7.2- Procedimento de desmontagem “Não existe” ou 7.3- Projeto *as built* “Não existe”, a saída da categoria 7-Plano de desconstrução será “Ruim”, tornando-se uma variável determinante para o resultado final da desconstrução como inviável.

8.4.16. Modelo 16: variável de saída: “M16-Logística”

O modelo 16 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M16-Logística”, classificada como um Grupo do sistema de análise. As variáveis de entrada são três variáveis dependentes resultantes das saídas dos Modelos 13, 14 e 15: M13-Desmontagem; M14-Segurança do trabalho e M15-Plano de Desconstrução. No Quadro 8.18 são apresentadas as informações do Modelo 16.

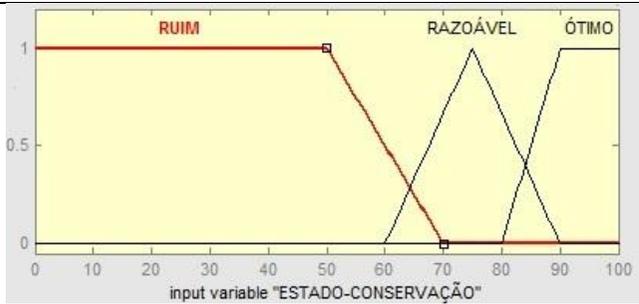
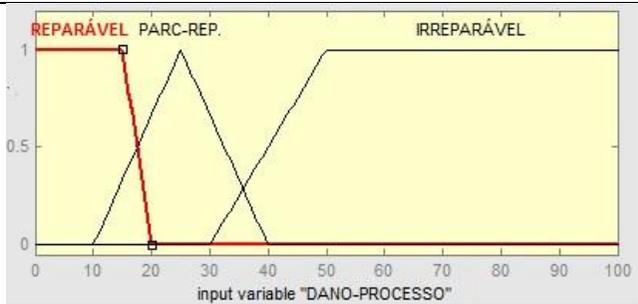
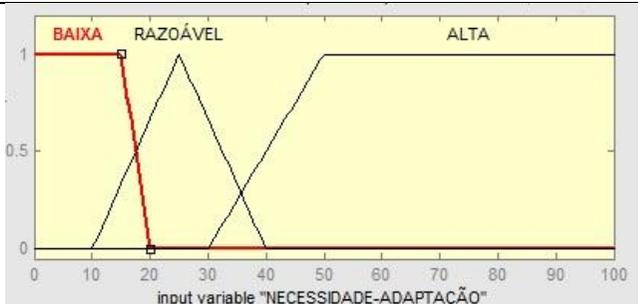
Para a determinação da variável de saída “M16-Logística” foram consideradas as variáveis de entrada determinantes: M13-Desmontagem “Difícil”; M14-Segurança do trabalho “Inadequada” e M15-Plano de Desconstrução “Ruim”. Para toda a regra contendo a classificação M13-Desmontagem “Difícil” ou M14-Segurança do trabalho “Inadequada” ou M15-Plano de Desconstrução “Ruim”, a saída M16-Logística foi considerada “Complexa”, sendo essa classificação determinante para o resultado final.

8.4.17. Modelo 17: variável de saída: “M17-Desconstrução”

O modelo 17 foi desenvolvido com o objetivo de gerar a variável dependente “M17-Desconstrução”, a variável de saída final do sistema de análise. As variáveis de entrada são três variáveis dependentes, são os grupos resultantes das saídas dos Modelos 4, 11 e 16: M4-Composição; M11-Permutabilidade e M16-logística. No Quadro 8.19 são apresentadas as informações do Modelo 17.

Para a determinação da variável dependente final “M17-Desconstrução” foram consideradas as variáveis de entrada determinantes: M4-Composição “Inadequada”; M11-Permutabilidade “Ruim” e M16-logística “Complexa”. Para toda a regra contendo a classificação M4-Composição “Inadequada” ou M11-Permutabilidade “Ruim” ou M16-logística “Complexa”, a saída Desconstrução foi considerada “Inviável”, sendo esse o pior cenário para realização da desconstrução do elemento ou componente analisado.

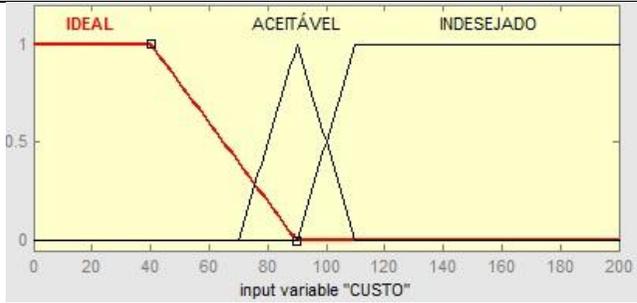
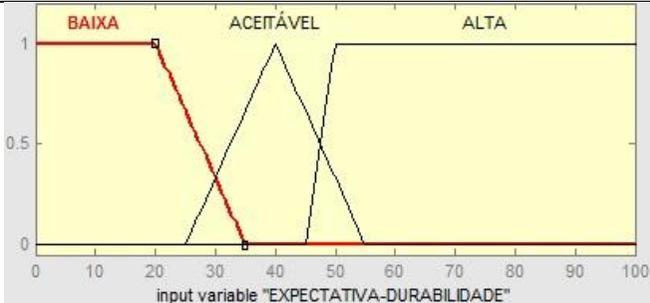
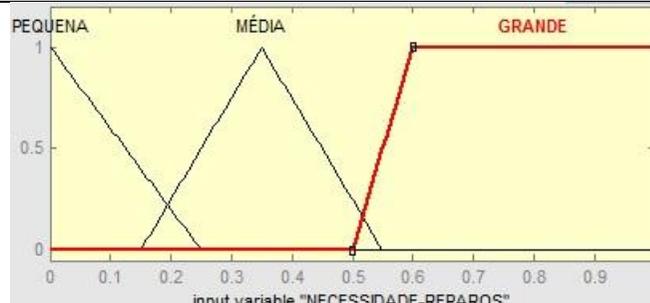
Quadro 8.3. M1- Modelo 1: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

Variáveis de Entrada de M1					
Variável independente 1.3- Estado de Conservação		Variável independente 1.4- Dano no Processo		Variável independente 1.5- Necessidade de Adaptação	
Domínio: 0 a 100% de conservação		Domínio: 0 a 100% de dano		Domínio: 0 a 100% de adaptação	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Ruim	Trapmf [-20 -10 50 70]	Reparável	Trapmf [-20 -10 15 20]	Baixa	Trapmf [-20 -10 15 20]
Razoável	Trimf [60 75 90]	Parcialmente Reparável (PARC-REP.)	Trimf[10 25 40]	Razoável	Trimf[10 25 40]
Ótimo	Trapmf [80 90 150 200]	Irreparável	Trapmf [30 50 150 200]	Alta	Trapmf [30 50 150 200]
Determinante: Estado de conservação RUIM ou RAZOÁVEL (em alguns casos)		Determinante: Dano no Processo IRREPARÁVEL ou PARCIALMENTE REPARÁVEL (em alguns casos)		Determinante: Necessidade de Adaptação ALTA ou CONSIDERÁVEL (em alguns casos)	
					

Quadro 8.3. M1- Modelo 1: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy* (conclusão)

Regras <i>fuzzy</i> :		<ol style="list-style-type: none"> 1. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 2. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 3. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 4. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 5. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 6. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 7. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 8. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 9. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RUIM) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 10. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is MÉDIA) (1) 11. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 12. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 13. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 14. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 15. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 16. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 17. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 18. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is RAZOÁVEL) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 19. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is PEQUENA) (1) 20. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is MÉDIA) (1) 21. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is REPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 22. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is MÉDIA) (1) 23. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 24. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is PARC-REP.) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 25. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is BAIXA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 26. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is RAZOÁVEL) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1) 27. If (ESTADO-CONSERVAÇÃO is ÓTIMO) and (DANO-PROCESSO is IRREPARÁVEL) and (NECESSIDADE-ADAPTAÇÃO is ALTA) then (NECESSIDADE-REPARO is GRANDE) (1)
Variável de saída M1		
Variável dependente subcategoria:M1-Necessidade de reparo		
Domínio: 0 a 1,0 de grau de necessidade		
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		
Classificação		Função de pertinência
Pequena		Trimf [-0.4 0 0.25]
Média		Trimf [0.15 0.35 0.55]
Grande		Trapmf [0.5 0.6 1 1.5]
Determinante: Necessidade de reparo GRANDE		

Quadro 8.4. M2- Modelo 2: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

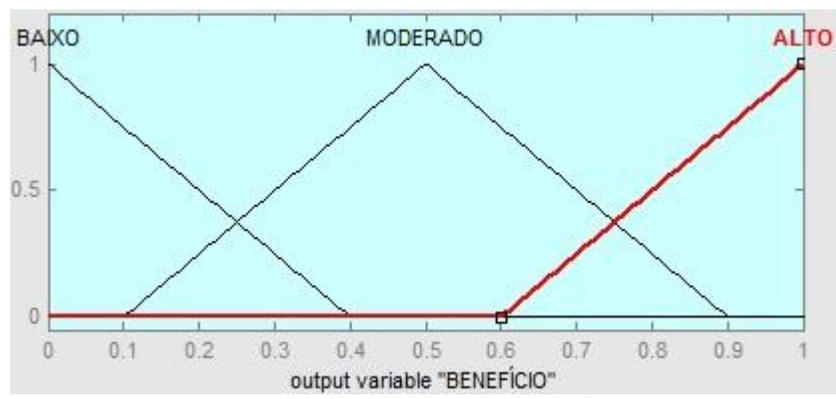
Variáveis de Entrada					
Variável independente 1.1- Custo		Variável independente 1.2- Expectativa de durabilidade		Subcategoria: M1-Necessidade de reparo	
Domínio: 0 a 200% de custo do material novo		Domínio: 0 a 100 anos		Domínio: 0 a 1,0 de grau de necessidade de reparo	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Ideal	Trapmf [-20 -10 40 90]	Baixa	Trapmf [-20 -10 20 35]	Pequena	Trimf [-0.4 0 0.25]
Aceitável	Trimf [70 90 110]	Aceitável	Trimf [25 40 55]	Média	Trimf [0.15 0.35 0.55]
Indesejado	Trapmf [90 110 200 250]	Alta	Trapmf [45 50 150 200].	Grande	Trapmf [0.5 0.6 1 1.5]
Determinante: Custo INDESEJÁVEL		Determinante: Expectativa de durabilidade BAIXA		Determinante: Necessidade de reparo GRANDE	
 <p>input variable "CUSTO"</p>		 <p>input variable "EXPECTATIVA-DURABILIDADE"</p>		 <p>input variable "NECESSIDADE-REPAROS"</p>	

Quadro 8.4. M2- Modelo 2: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy* (conclusão)

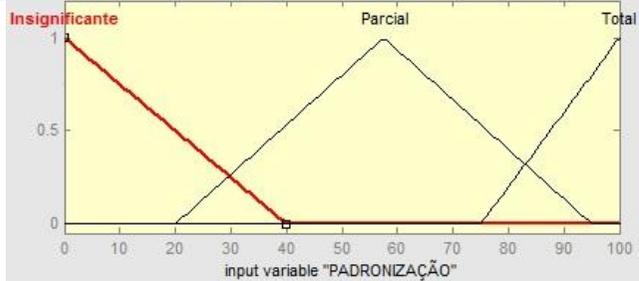
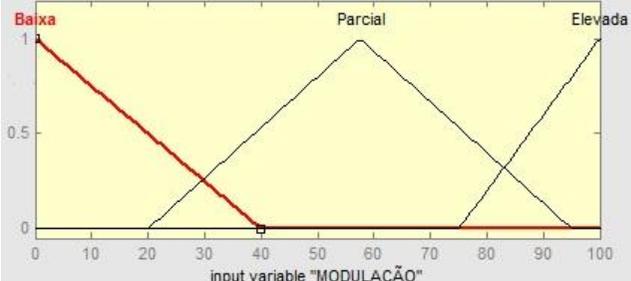
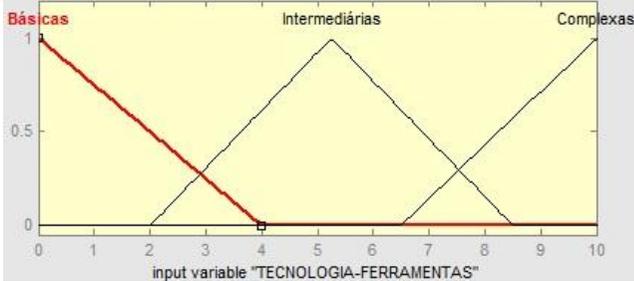
Regras <i>fuzzy</i> :	<ol style="list-style-type: none"> 1. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 2. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is MODERADO) (1) 3. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is ALTO) (1) 4. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 5. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is MODERADO) (1) 6. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is ALTO) (1) 7. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 8. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 9. If (NECESSIDADE-REPAROS is PEQUENA) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 10. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 11. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is MODERADO) (1) 12. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is ALTO) (1) 13. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 14. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is MODERADO) (1) 15. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is ALTO) (1) 16. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 17. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 18. If (NECESSIDADE-REPAROS is MÉDIA) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 19. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 20. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 21. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is IDEAL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 22. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 23. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 24. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is ACEITÁVEL) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 25. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is BAIXA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 26. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ACEITÁVEL) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1) 27. If (NECESSIDADE-REPAROS is GRANDE) and (CUSTO is INDESEJADO) and (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is ALTA) then (BENEFÍCIO is BAIXO) (1)
-----------------------	--

Variável de saída M2

Variável dependente Categoria: M2-Benefício com recuperação do material	
Domínio: 0 a 1,0 de grau de benefício	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência
Baixo	Trimf [-0.4 0 0.4]
Moderado	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Alto	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Benefício com recuperação do material BAIXO	



Quadro 8.5. M3- Modelo 3: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

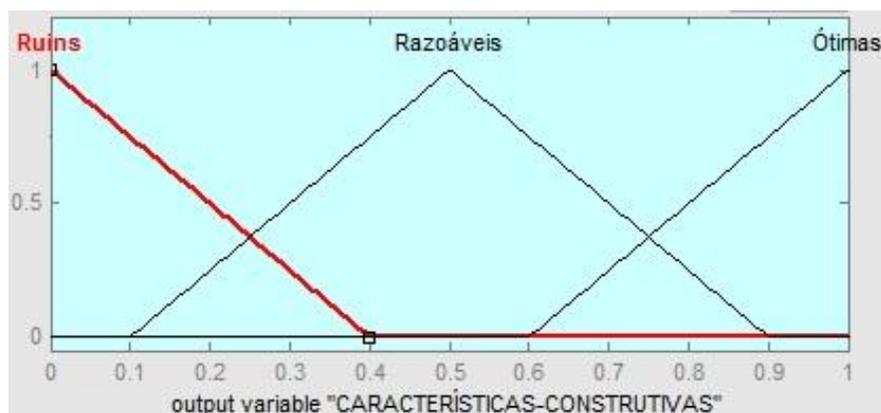
Variáveis de Entrada					
Variável independente 2.1-Padronização		Variável independente 2.2- Modulação		Variável independente 2.3- Tecnologias e ferramentas	
Domínio: 0 a 100% de padronização		Domínio: 0 a 100% de modulação		Domínio: 0 a 10 de nível de complexidade •	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Insignificante	Trimf [-40 0 40]	Baixa	Trimf [-40 0 40]	Básicas	Trimf [-4 0 4];
Parcial	Trimf [20 57.5 95]	Parcial	Trimf [20 57.5 95]	Intermediárias	Trimf [2 5.25 8.5]
Total	Trimf [75 100 140]	Elevada	Trimf [75 100 140]	Complexas	Trimf [6.5 10 12]
Determinante: Não existe		Determinante: Não existe		Determinante: Não existe	
					

Quadro 8.5. M3- Modelo 3: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy* (conclusão)

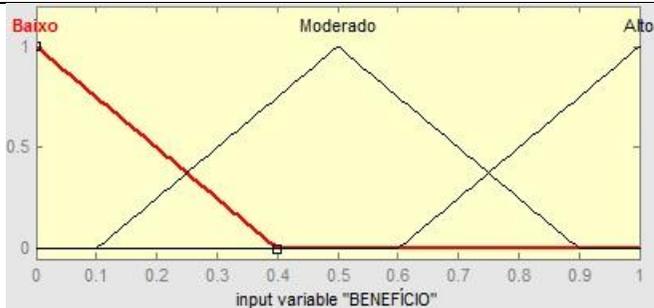
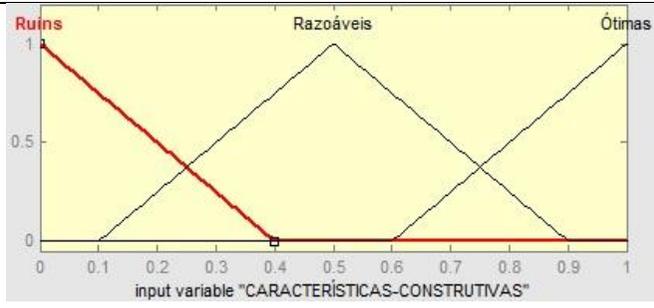
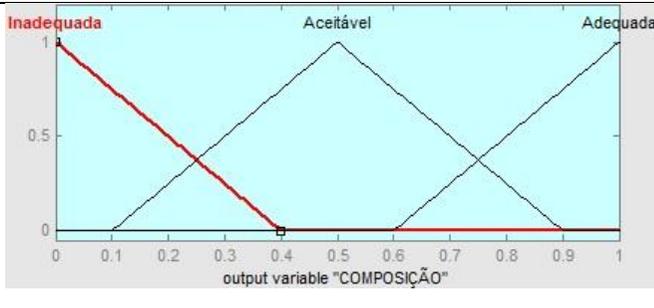
Regras <i>fuzzy</i> :	<ol style="list-style-type: none"> 1. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 2. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 3. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 4. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 5. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 6. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 7. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 8. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 9. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 10. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 11. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 12. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 13. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 14. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 15. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 16. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 17. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 18. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 19. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 20. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1) 21. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Baixa) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) (1) 22. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 23. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 24. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Parcial) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 25. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Básicas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 26. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Intermediárias) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) (1) 27. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (MODULAÇÃO is Elevada) and (TECNOLOGIA-FERRAMENTAS is Complexas) then (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) (1)
-----------------------	--

Variável de saída M3

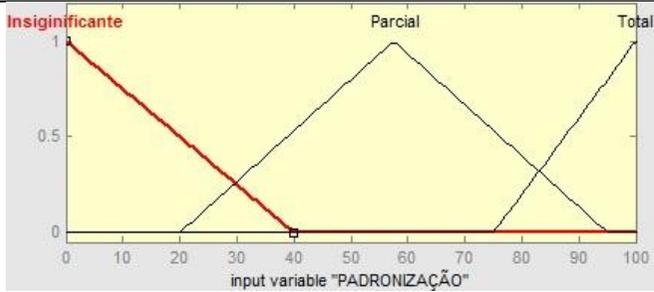
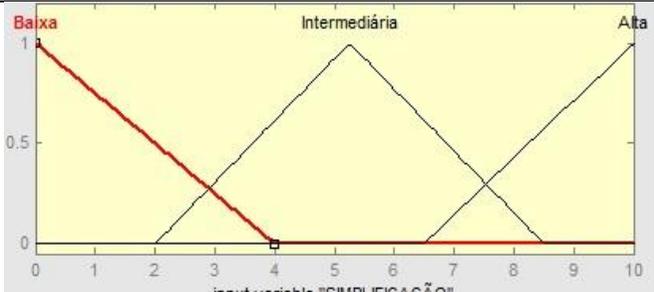
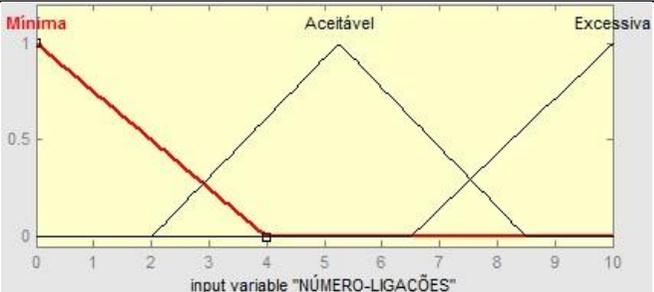
Variável dependente	Categoria: M3- Características construtivas
Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência
Ruins	Gaussmf [0.1699 0].
Razoáveis	Gaussmf [0.1699 0.5]
Ótimas	Gaussmf [0.1699 1]
Determinante: Não existe	



Quadro 8.6. M4- Modelo 4: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy*

Variáveis de Entrada				Variável de saída M4	
Variável dependente Categoria: M2-Benefício com recuperação do material		Variável dependente Categoria: M3-Características construtivas		Variável dependente Grupo: M4-Composição	
Domínio: 0 a 1,0 de grau de benefício		Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Baixo	Trimf [-0.4 0 0.4]	Ruins	Trimf [-0.4 0 0.4]	Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]
Moderado	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Razoáveis	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Alto	Trimf [0.6 1 1.4]	Ótimas	Trimf [0.6 1 1.4]	Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Benefício com recuperação do material BAIXO		Determinante: Não existe		Determinante: Composição INADEQUADA	
					
Regras <i>fuzzy</i> :		<ol style="list-style-type: none"> 1. If (BENEFÍCIO is Baixo) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) then (COMPOSIÇÃO is Inadequada) (1) 2. If (BENEFÍCIO is Baixo) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) then (COMPOSIÇÃO is Inadequada) (1) 3. If (BENEFÍCIO is Baixo) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) then (COMPOSIÇÃO is Inadequada) (1) 4. If (BENEFÍCIO is Moderado) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) then (COMPOSIÇÃO is Aceitável) (1) 5. If (BENEFÍCIO is Moderado) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) then (COMPOSIÇÃO is Aceitável) (1) 6. If (BENEFÍCIO is Moderado) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) then (COMPOSIÇÃO is Aceitável) (1) 7. If (BENEFÍCIO is Alto) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ruins) then (COMPOSIÇÃO is Aceitável) (1) 8. If (BENEFÍCIO is Alto) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Razoáveis) then (COMPOSIÇÃO is Adequada) (1) 9. If (BENEFÍCIO is Alto) and (CARACTERÍSTICAS-CONSTRUTIVAS is Ótimas) then (COMPOSIÇÃO is Adequada) (1) 			

Quadro 8.7. M5- Modelo 5: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy* (continua)

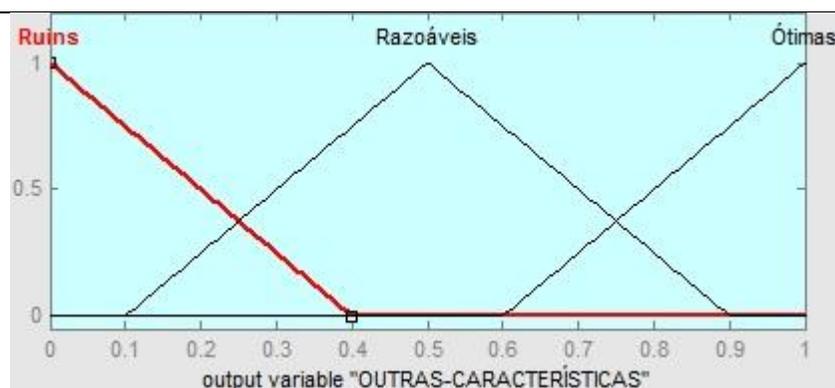
Variáveis de Entrada					
Variável independente 3.1-Padronização		Variável independente 3.2-Simplificação		Variável independente 3.3-Número de ligações	
Domínio: 0 a 100% de padronização		Domínio: 0 a 10 de nível de simplificação		Domínio: 0 a 1,0 de nível de número de ligações	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Insignificante	Trimf [-40 0 40]	Baixa	Trimf [-4 0 4]	Mínima	Trimf [-4 0 4]
Parcial	Trimf [20 57.5 95]	Intermediária	Trimf [2 5.25 8.5]	Aceitável	Trimf [2 5.25 8.5]
Total	Trimf [75 100 140]	Alta	Trimf [6.5 10 12]	Excessiva	Trimf [6.5 10 12]
Determinante: não existe		Determinante: não existe		Determinante: não existe	
					

Quadro 8.7. M5- Modelo 5: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (conclusão)

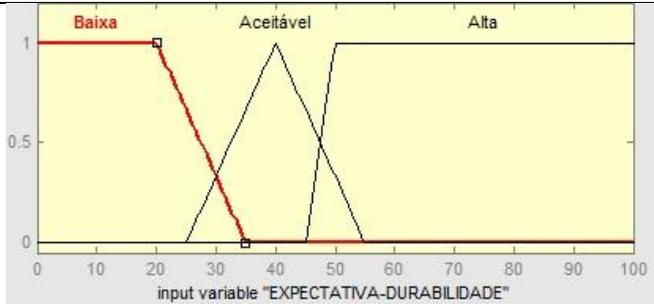
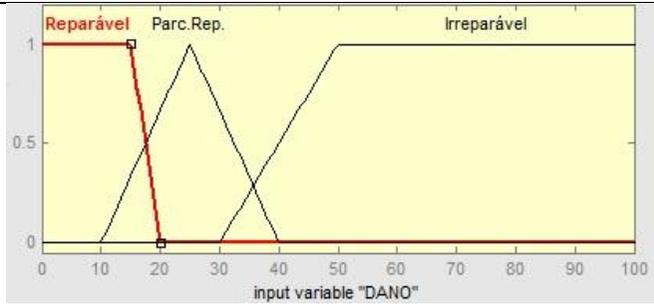
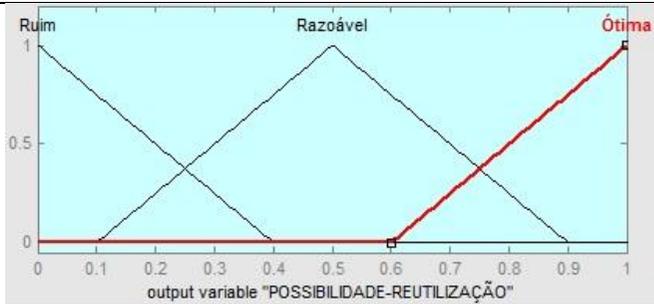
Regras <i>fuzzy</i> :	<ol style="list-style-type: none"> 1. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 2. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 3. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 4. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 5. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 6. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 7. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 8. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 9. If (PADRONIZAÇÃO is Insignificante) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 10. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 11. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 12. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 13. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Razoáveis) (1) 14. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Razoáveis) (1) 15. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Razoáveis) (1) 16. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ótimas) (1) 17. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ótimas) (1) 18. If (PADRONIZAÇÃO is Parcial) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Razoáveis) (1) 19. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 20. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 21. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Baixa) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ruins) (1) 22. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ótimas) (1) 23. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ótimas) (1) 24. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Intermediária) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Razoáveis) (1) 25. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Mínima) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ótimas) (1) 26. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Aceitável) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Ótimas) (1) 27. If (PADRONIZAÇÃO is Total) and (SIMPLIFICAÇÃO is Alta) and (NÚMERO-LIGAÇÕES is Excessiva) then (OUTRAS-CARACTERÍSTICAS is Razoáveis) (1)
-----------------------	---

Variável de saída M5

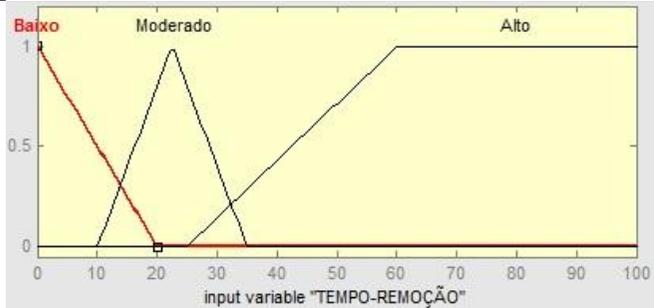
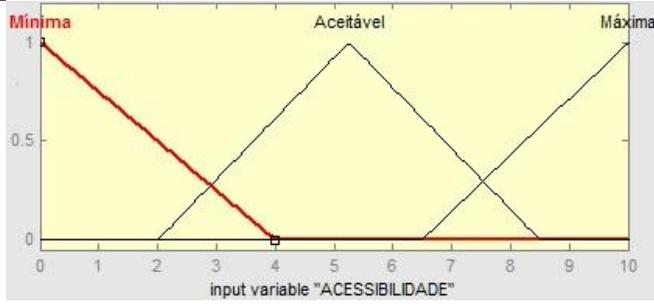
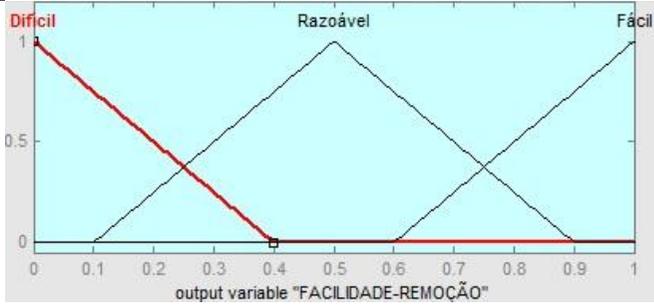
Variável dependente Subcategoria: M5- Outras Características	
Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência
Ruins	Trimf [-0.4 0 0.4]
Razoáveis	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Ótimas	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: não existe	



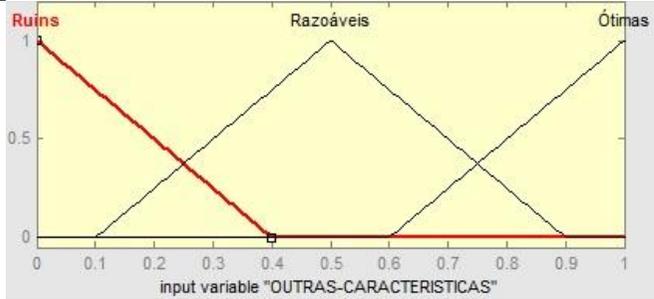
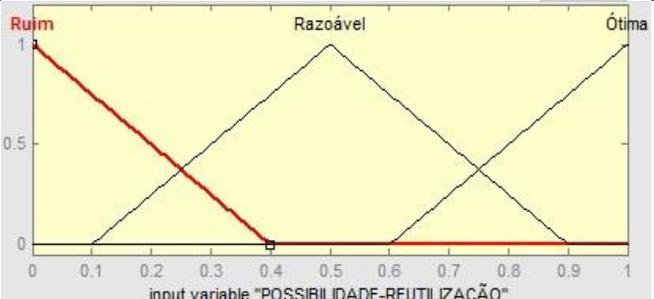
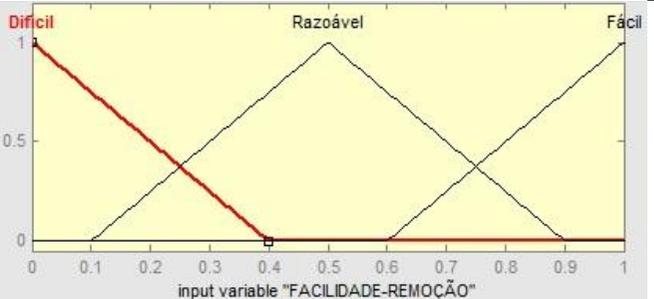
Quadro 8.8. M6- Modelao 6: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy

Variáveis de Entrada				Variável de saída M6	
Variável independente: 3.4- Expectativa de durabilidade		Variável independente: 3.5- Dano às ligações		Variável dependente Subcategoria: M6- Possibilidade de Reutilização	
Domínio: 0 a 100 anos		Domínio: 0 a 100% de dano		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Baixa	Trapmf [-20 -10 20 35]	Reparável	Trapmf [-20 -10 15 20]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]
Aceitável	Trimf [25 40 55]	Parcialmente Reparável (Parc.Rep)	Trimf [10 25 40]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Alta	Trapmf [45 50 150 200].	Irreparável	Trapmf [30 50 150 200]	Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Não existe		Determinante: Dano às ligações IRREPARÁVEL		Determinante: Possibilidade de Reutilização RUIM	
					
Regras fuzzy:		<ol style="list-style-type: none"> 1. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Baixa) and (DANO is Reparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) (1) 2. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Baixa) and (DANO is Parcialmente-Reparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) (1) 3. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Baixa) and (DANO is Irreparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) (1) 4. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Aceitável) and (DANO is Reparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) (1) 5. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Aceitável) and (DANO is Parcialmente-Reparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) (1) 6. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Aceitável) and (DANO is Irreparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) (1) 7. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Alta) and (DANO is Reparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) (1) 8. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Alta) and (DANO is Parcialmente-Reparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) (1) 9. If (EXPECTATIVA-DURABILIDADE is Alta) and (DANO is Irreparável) then (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) (1) 			

Quadro 8.9. M7- Modelo 7: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy*

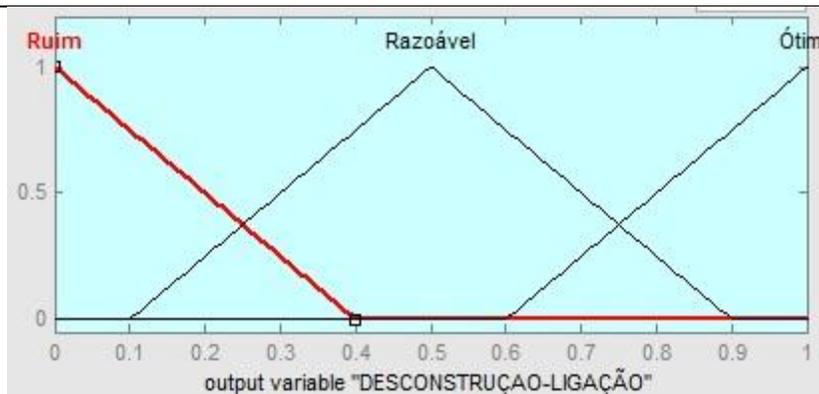
Variáveis de Entrada				Variável de saída M7	
Variável independente: 3.6- Tempo de remoção da ligação		Variável independente: 3.7- Acessibilidade		Variável dependente Subcategoria: M7-Facilidade de remoção	
Domínio: 0 a 100 minutos por ligação		Domínio: 0 a 10		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Baixo	Trimf [-20 0 20]	Mínima	Trimf [-4 0 4]	Difícil	Trimf [-0.4 0 0.4]
Moderado	Trimf [10 22.5 35]	Aceitável	Trimf [2 5.25 8.5]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Alto	Trapmf [25 60 200 250]	Máxima	Trimf [6.5 10 12]	Fácil	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Não existe		Determinante: Não existe		Determinante: Não existe	
					
Regras <i>fuzzy</i>: <ol style="list-style-type: none"> 1. If (TEMPO-REMOÇÃO is Baixo) and (ACESSIBILIDADE is Mínima) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) (1) 2. If (TEMPO-REMOÇÃO is Baixo) and (ACESSIBILIDADE is Aceitável) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) (1) 3. If (TEMPO-REMOÇÃO is Baixo) and (ACESSIBILIDADE is Máxima) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) (1) 4. If (TEMPO-REMOÇÃO is Moderado) and (ACESSIBILIDADE is Mínima) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) (1) 5. If (TEMPO-REMOÇÃO is Moderado) and (ACESSIBILIDADE is Aceitável) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) (1) 6. If (TEMPO-REMOÇÃO is Moderado) and (ACESSIBILIDADE is Máxima) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) (1) 7. If (TEMPO-REMOÇÃO is Alto) and (ACESSIBILIDADE is Mínima) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) (1) 8. If (TEMPO-REMOÇÃO is Alto) and (ACESSIBILIDADE is Aceitável) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) (1) 9. If (TEMPO-REMOÇÃO is Alto) and (ACESSIBILIDADE is Máxima) then (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) (1) 					

Quadro 8.10. M8- Modelo 8: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy* (continua)

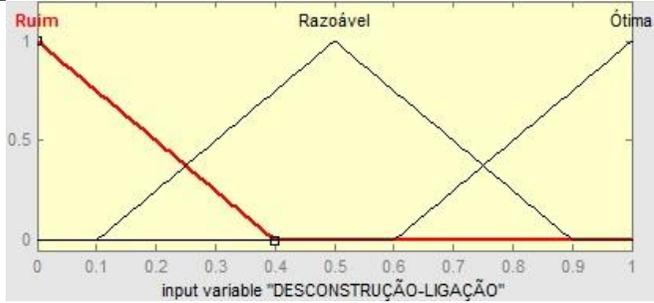
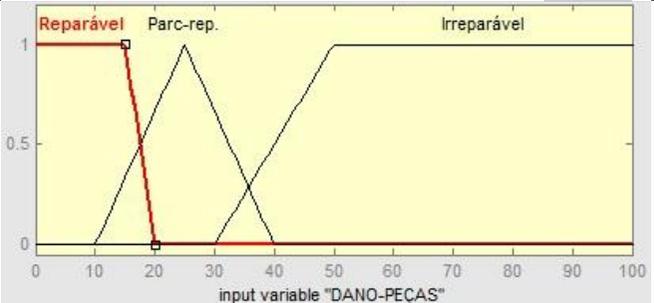
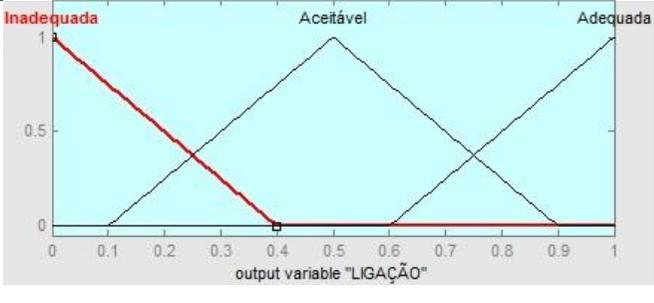
Variáveis de Entrada					
Variável dependente Subcategoria: M5- Outras Características		Variável dependente Subcategoria: M6-Possibilidade de Reutilização		Variável dependente Subcategoria: M7-Facilidade de remoção	
Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Função de pertinência	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Ruins	Trimf [-0.4 0 0.4]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]	Difícil	Trimf [-0.4 0 0.4]
Razoáveis	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Ótimas	Trimf [0.6 1 1.4]	Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]	Fácil	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: não existe		Determinante: Possibilidade de Reutilização RUIM		Determinante: Não existe	
					

Quadro 8.10. M8- Modelo 8: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base *fuzzy* (conclusão)

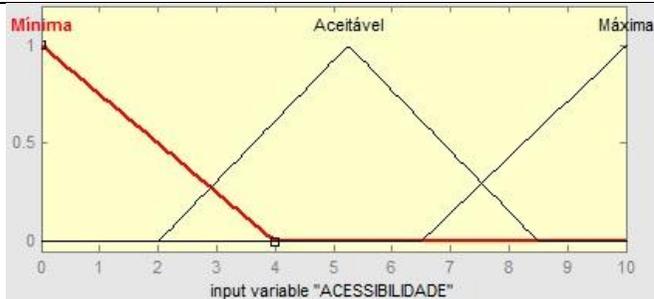
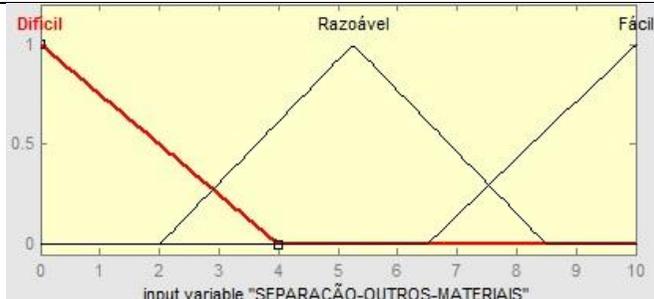
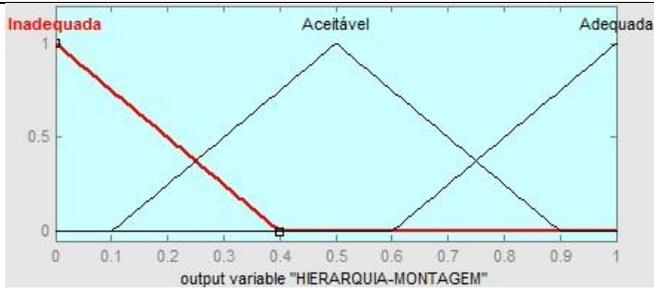
<p>Regras <i>fuzzy</i>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 2. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 3. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 4. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 5. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 6. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 7. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 8. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 9. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ruins) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 10. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 11. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 12. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 13. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 14. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 15. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 16. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 17. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 18. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Razoáveis) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) (1) 19. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 20. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 21. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ruim) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) (1) 22. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 23. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 24. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Razoável) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) (1) 25. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Difícil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) (1) 26. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Razoável) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) (1) 27. If (OUTRAS-CARACTERISTICAS is Ótimas) and (POSSIBILIDADE-REUTILIZAÇÃO is Ótima) and (FACILIDADE-REMOÇÃO is Fácil) then (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) (1) 	
<p>Variável de saída M8</p>	
<p>Variável dependente Subcategoria: M8-Desconstrução da Ligação</p>	
<p>Domínio: 0 a 1,0</p>	
<p>Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑</p>	
<p>Classificação</p>	<p>Função de pertinência</p>
<p>Ruim</p>	<p>Trimf [-0.4 0 0.4]</p>
<p>Razoável</p>	<p>Trimf [0.1 0.5 0.9]</p>
<p>Ótima</p>	<p>Trimf [0.6 1 1.4]</p>
<p>Determinante: Desconstrução da Ligação RUIM</p>	



Quadro 8.11. M9- Modelo 9: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy

Variáveis de Entrada				Variável de saída M9	
Variável dependente Subcategoria: M8-Desconstrução da Ligação		Variável independente: 3.8-Dano causado às peças		Variável dependente Categoria: M9-Ligação	
Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 100% de dano		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]	Reparável	Trapmf [-20 -10 15 20]	Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]
Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Parcialmente reparável (Parc.rep.)	Trimf [10 25 40]	Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]	Irreparável	Trapmf [30 50 150 200]	Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Desconstrução da Ligação RUIM		Determinante: Dano causado às peças IRREPARÁVEL		Determinante: Ligação INADEQUADA	
					
Regras fuzzy:		<ol style="list-style-type: none"> 1. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) and (DANO-PEÇAS is Reparável) then (LIGAÇÃO is Inadequada) (1) 2. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) and (DANO-PEÇAS is Parcialmente-reparável) then (LIGAÇÃO is Inadequada) (1) 3. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ruim) and (DANO-PEÇAS is Irreparável) then (LIGAÇÃO is Inadequada) (1) 4. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) and (DANO-PEÇAS is Reparável) then (LIGAÇÃO is Aceitável) (1) 5. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) and (DANO-PEÇAS is Parcialmente-reparável) then (LIGAÇÃO is Aceitável) (1) 6. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Razoável) and (DANO-PEÇAS is Irreparável) then (LIGAÇÃO is Inadequada) (1) 7. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) and (DANO-PEÇAS is Reparável) then (LIGAÇÃO is Adequada) (1) 8. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) and (DANO-PEÇAS is Parcialmente-reparável) then (LIGAÇÃO is Aceitável) (1) 9. If (DESCONSTRUÇÃO-LIGAÇÃO is Ótima) and (DANO-PEÇAS is Irreparável) then (LIGAÇÃO is Inadequada) (1) 			

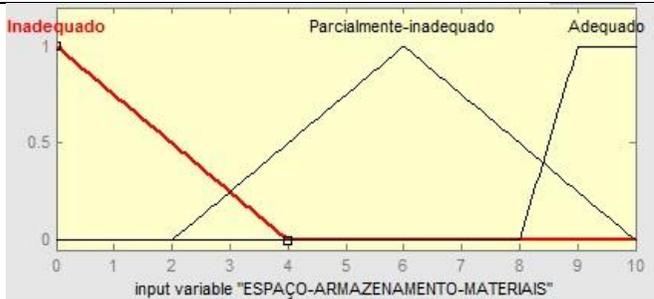
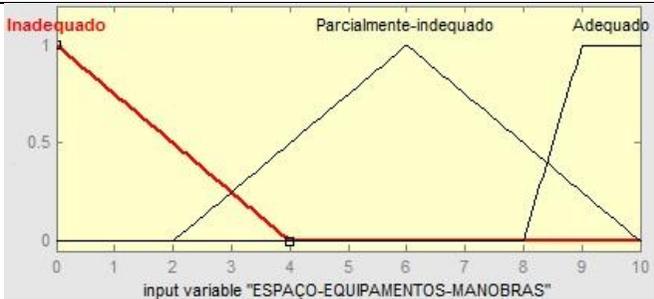
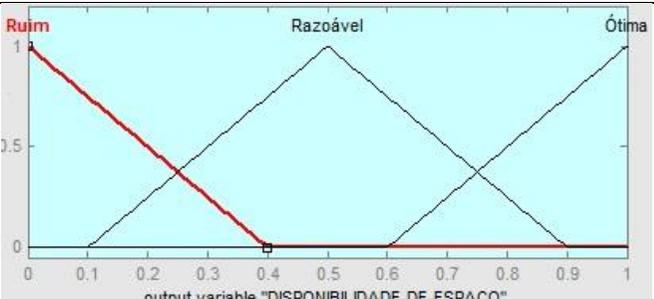
Quadro 8.12. M10- Modelo 10: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy

Variáveis de Entrada				Variável de saída M10	
Variável independente: 4.1- Acessibilidade		Variável independente: 4.2- Separação de outros níveis de materiais		Variável dependente Categoria: M10-Hierarquia de montagem	
Domínio: 0 a 10		Domínio: 0 a 10		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Mínima	Trimf [-4 0 4]	Difícil	Trimf [-4 0 4]	Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]
Aceitável	Trimf [2 5.25 8.5]	Razoável	Trimf [2 5.25 8.5]	Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Máxima	Trimf [6.5 10 12]	Fácil	Trimf [6.5 10 12]	Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Não existe		Determinante: Separação de outros níveis de materiais DIFÍCIL		Determinante: Hierarquia de montagem INADEQUADA	
					
Regras fuzzy:		<ol style="list-style-type: none"> 1. If (ACESSIBILIDADE is Mínima) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Difícil) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Inadequada) (1) 2. If (ACESSIBILIDADE is Mínima) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Razoável) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Aceitável) (1) 3. If (ACESSIBILIDADE is Mínima) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Fácil) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Aceitável) (1) 4. If (ACESSIBILIDADE is Aceitável) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Difícil) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Inadequada) (1) 5. If (ACESSIBILIDADE is Aceitável) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Razoável) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Aceitável) (1) 6. If (ACESSIBILIDADE is Aceitável) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Fácil) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Adequada) (1) 7. If (ACESSIBILIDADE is Máxima) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Difícil) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Inadequada) (1) 8. If (ACESSIBILIDADE is Máxima) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Razoável) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Aceitável) (1) 9. If (ACESSIBILIDADE is Máxima) and (SEPARAÇÃO-OUTROS-MATERIAIS is Fácil) then (HIERARQUIA-MONTAGEM is Adequada) (1) 			

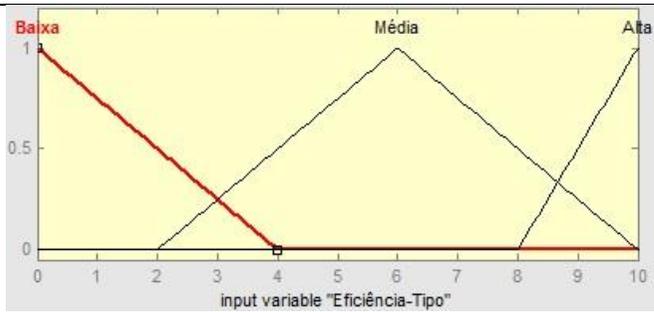
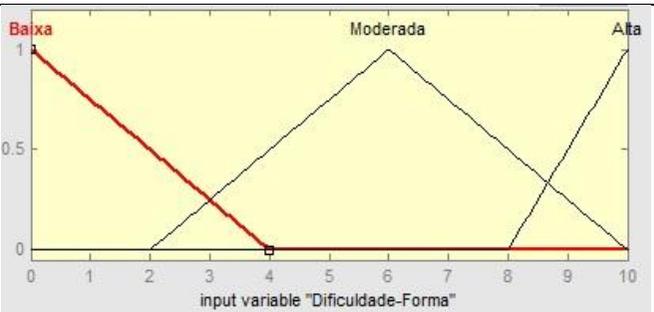
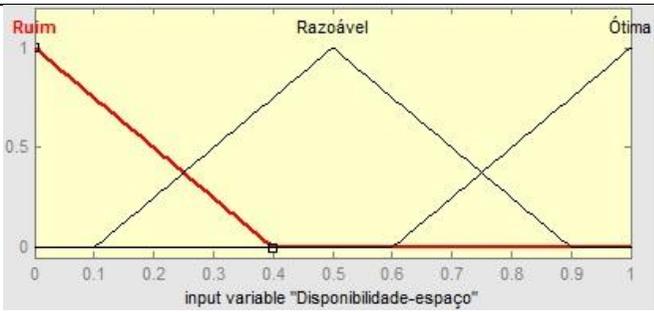
Quadro 8.13. M11- Modelo 11: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy

Variáveis de Entrada				Variável de saída M11	
Variável dependente Categoria: M9-Ligação		Variável dependente Categoria: M10-Hierarquia de montagem		Variável dependente Grupo: M11-Permutabilidade	
Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]	Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]
Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]	Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]	Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Ligação INADEQUADA		Determinante: Hierarquia de montagem INADEQUADA		Determinante: Permutabilidade RUIM	
Regras fuzzy: <ol style="list-style-type: none"> 1. If (LIGAÇÃO is Inadequada) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Inadequada) then (PERMUTABILIDADE is Ruim) (1) 2. If (LIGAÇÃO is Inadequada) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Aceitável) then (PERMUTABILIDADE is Ruim) (1) 3. If (LIGAÇÃO is Inadequada) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Adequada) then (PERMUTABILIDADE is Ruim) (1) 4. If (LIGAÇÃO is Aceitável) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Inadequada) then (PERMUTABILIDADE is Ruim) (1) 5. If (LIGAÇÃO is Aceitável) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Aceitável) then (PERMUTABILIDADE is Razoável) (1) 6. If (LIGAÇÃO is Aceitável) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Adequada) then (PERMUTABILIDADE is Razoável) (1) 7. If (LIGAÇÃO is Adequada) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Inadequada) then (PERMUTABILIDADE is Ruim) (1) 8. If (LIGAÇÃO is Adequada) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Aceitável) then (PERMUTABILIDADE is Razoável) (1) 9. If (LIGAÇÃO is Adequada) and (HIERARQUIA-DE-MONTAGEM is Adequada) then (PERMUTABILIDADE is Ótima) (1) 					

Quadro 8.14. M12- Modelo 12: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy

Variáveis de Entrada				Variável de saída M12	
Variável independente: 5.3- Espaço para armazenamento de materiais		Variável independente: 5.4-Espaço para equipamentos e manobras		Variável dependente Subcategoria: M12-Disponibilidade de espaço	
Domínio: 0 a 10 de disponibilidade de espaço		Domínio: 0 a 10 de disponibilidade de espaço		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Inadequado	Trimf [-4 0 4]	Inadequado	Trimf [-4 0 4]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]
Parcialmente inadequado	Trimf [2 6 10]	Parcialmente inadequado	Trimf [2 6 10]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Adequado	Trapmf [8 9 11 12]	Adequado	Trapmf [8 9 11 12]	Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Não existe		Determinante: Espaço para equipamentos e manobras INADEQUADO		Determinante: Disponibilidade de espaço RUIM	
					
Regras fuzzy: <ol style="list-style-type: none"> 1. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Inadequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Inadequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Ruim) (1) 2. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Inadequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Parcialmente-inadequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Razoável) (1) 3. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Inadequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Adequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Razoável) (1) 4. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Parcialmente-inadequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Inadequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Ruim) (1) 5. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Parcialmente-inadequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Parcialmente-inadequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Razoável) (1) 6. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Parcialmente-inadequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Adequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Ótima) (1) 7. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Adequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Inadequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Ruim) (1) 8. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Adequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Parcialmente-inadequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Razoável) (1) 9. If (ESPAÇO-ARMAZENAMENTO-MATERIAIS is Adequado) and (ESPAÇO-EQUIPAMENTOS-MANOBRAS is Adequado) then (DISPONIBILIDADE-DE-ESPAÇO is Ótima) (1) 					

Quadro 8.15. M13- Modelo 13: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

Variáveis de Entrada					
Variável independente 5.1- Eficiência pelo tipo de desmontagem		Variável independente 5.2- Dificuldade pela forma de desmontagem		Subcategoria: M12-Disponibilidade de espaço	
Domínio: 0 a 10 de grau de eficiência		Domínio: 0 a 10 de grau de dificuldade		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Baixa	Trimf [-4 0 4]	Baixa	Trimf [-4 0 4]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]
Média	Trimf [2 6 10]	Moderada	Trimf [2 6 10]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Alta	Trimf [8 10 12]	Alta	Trimf [8 10 12]	Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Não existe		Determinante: Não existe		Determinante: Disponibilidade de espaço RUIM	
 <p>input variable "Eficiência-Tipo"</p>		 <p>input variable "Dificuldade-Forma"</p>		 <p>input variable "Disponibilidade-espaço"</p>	

Quadro 8.15. M13- Modelo 13: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (conclusão)

<p>Regras fuzzy:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 2. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 3. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 4. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 5. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 6. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 7. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 8. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 9. If (Eficiência-Tipo is Baixa) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 10. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 11. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 12. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Fácil) (1) 13. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 14. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 15. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Fácil) (1) 16. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 17. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 18. If (Eficiência-Tipo is Média) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 19. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 20. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Fácil) (1) 21. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Baixa) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Fácil) (1) 22. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 23. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 24. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Moderada) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Fácil) (1) 25. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Ruim) then (DESMONTAGEM is Difícil) (1) 26. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Razoável) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 27. If (Eficiência-Tipo is Alta) and (Dificuldade-Forma is Alta) and (Disponibilidade-espaço is Ótima) then (DESMONTAGEM is Moderada) (1) 	
<p>Variável de saída M13</p>	
<p>Variável dependente Categoria: M13-Desmontagem</p>	
<p>Domínio: 0 a 1,0</p>	
<p>Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑</p>	
Classificação	Função de pertinência
Difícil	Trimf [-0.4 0 0.4]
Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Fácil	Trimf [0.6 1 1.4]
<p>Determinante: Desmontagem DIFÍCIL</p>	

Quadro 8.16. M14- Modelo 14: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

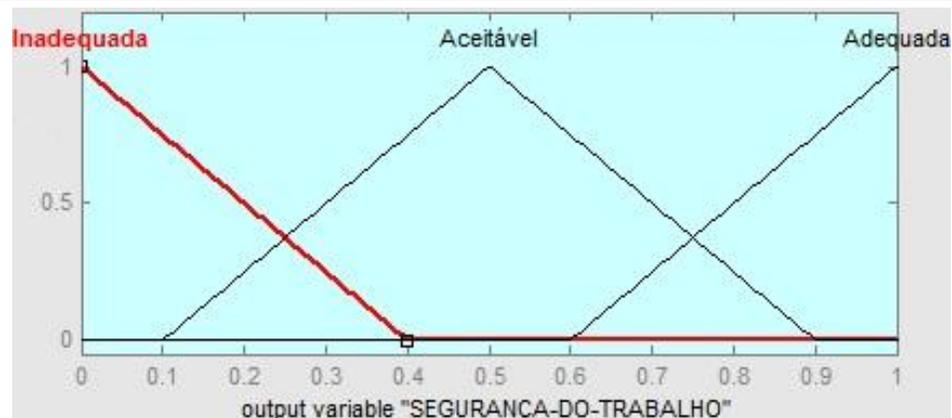
Variáveis de Entrada					
Variável independente 6.1- Risco por Trabalho em Altura		Variável independente 6.2- Risco por Instabilidade		Variável independente 6.3- Outros Riscos	
Domínio: 0 a 10 de grau de risco		Domínio: 0 a 10 de grau de risco		Domínio: 0 a 10 de grau de risco	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Baixo	Trimf [-3 0 3]	Baixo	Trimf [-3 0 3]	Baixo	Trimf [-3 0 3]
Médio	Trimf [1 4 7]	Médio	Trimf [1 4 7]	Médio	Trimf [1 4 7]
Alto	Trapmf [5 8 10 12]	Alto	Trapmf [5 8 10 12]	Alto	Trapmf [5 8 10 12]
Determinante: Risco por Trabalho em Altura ALTO		Determinante: Risco por Instabilidade ALTO		Determinante: Outros Riscos ALTO	

Quadro 8.16. M14- Modelo 14: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (conclusão)

Regras fuzzy:	<ol style="list-style-type: none"> 1. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) (1) 2. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) (1) 3. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 4. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) (1) 5. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) (1) 6. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 7. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 8. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 9. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Baixo) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 10. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) (1) 11. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) (1) 12. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 13. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) (1) 14. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) (1) 15. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 16. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 17. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 18. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Médio) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 19. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 20. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 21. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Baixo) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 22. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 23. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 24. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Médio) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 25. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Baixo) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 26. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Médio) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1) 27. If (RISCO-TRABALHO-ALTURA is Alto) and (RISCO-INSTABILIDADE is Alto) and (OUTROS-RISCOS is Alto) then (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) (1)
---------------	--

Variável de saída M14

Variável dependente Categoria: M14-Segurança do trabalho	
Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência
Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]
Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Segurança do trabalho INADEQUADA	



Quadro 8.17. M15- Modelo 15: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

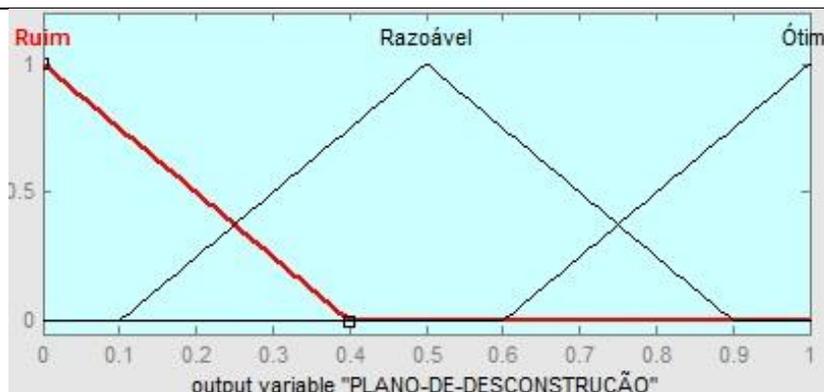
Variáveis de Entrada					
Variável independente 7.1- Sistema de informação e identificação dos materiais		Variável independente 7.2- Procedimento de desmontagem		Variável independente 7.3- Projeto <i>as built</i>	
Domínio: 0 a 10 de grau de risco		Domínio: 0 a 10 de grau de risco		Domínio: 0 a 10 de grau de risco	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↓	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Não existe	Trimf [-3 0 3]	Não existe	Trimf [-3 0 3]	Não existe	Trimf [-3 0 3]
Incompleto	Trimf [1 4 7]	Incompleto	Trimf [1 4 7]	Desatualizado	Trimf [1 4 7]
Completo	Trapmf [5 8 10 12]	Completo	Trapmf [5 8 10 12]	Atualizado	Trapmf [5 8 10 12]
Determinante: Não existe		Determinante: Procedimento de desmontagem NÃO EXISTE		Determinante: Projeto <i>as built</i> NÃO EXISTE	

Quadro 8.17. M15- Modelo 15: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (conclusão)

Regras fuzzy:	<ol style="list-style-type: none"> 1. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 2. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 3. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 4. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 5. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 6. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 7. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 8. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 9. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Não-existe) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 10. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 11. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 12. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 13. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 14. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 15. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 16. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 17. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 18. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Incompleto) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) (1) 19. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 20. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 21. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is não-existe) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 22. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 23. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) (1) 24. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is Desatualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) (1) 25. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Não-existe) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) (1) 26. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Incompleto) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) (1) 27. If (INFORMAÇÃO-IDENTIFICAÇÃO-MATERIAIS is Completo) and (PROJETO-AS-BUILT is Atualizado) and (PROCEDIMENTO-DESMONTAGEM is Completo) then (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) (1)
---------------	---

Variável de saída M15

Variável dependente Categoria: M15- Plano de Desconstrução	
Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência
Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]
Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Ótimo	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Plano de Desconstrução RUIM	

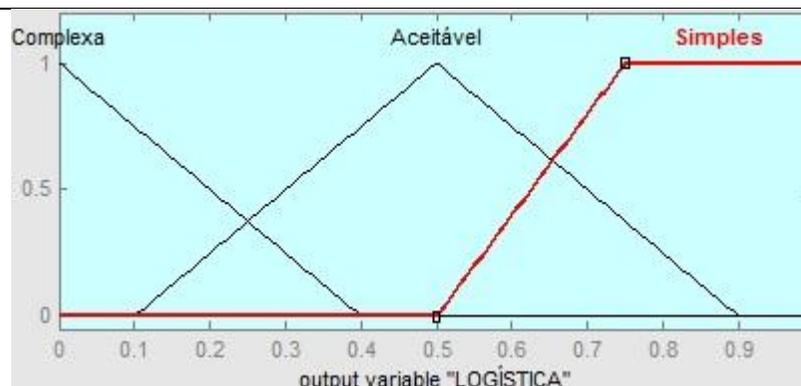


Quadro 8.18. M16- Modelo 16: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

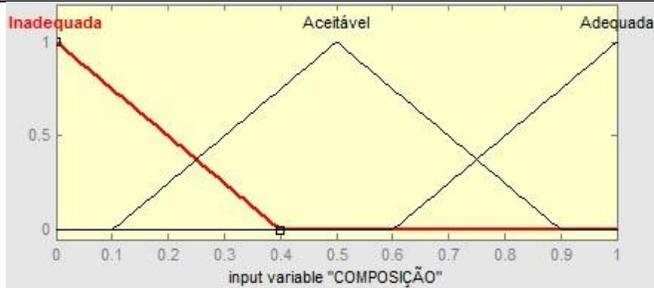
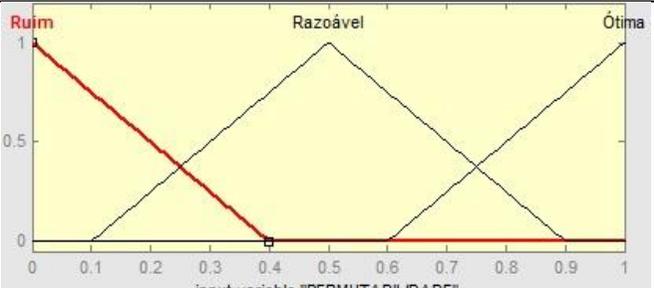
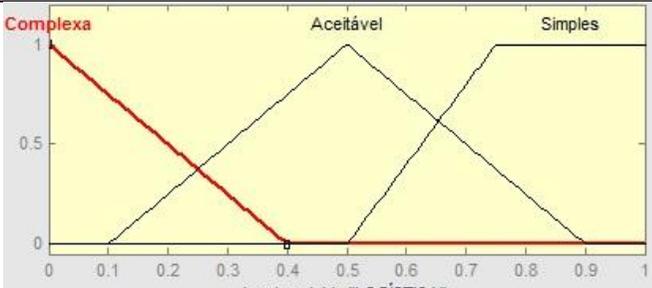
Variáveis de Entrada					
Variável dependente Categoria: M13-Desmontagem		Variável dependente Categoria: M14-Segurança do trabalho		Variável dependente Categoria: M15-Plano de Desconstrução	
Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Difícil	Trimf [-0.4 0 0.4]	Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]
Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Fácil	Trimf [0.6 1 1.4]	Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]	Ótimo	Trimf [0.6 1 1.4]
Determinante: Desmontagem DIFÍCIL		Determinante: Segurança do trabalho INADEQUADA		Determinante: Plano de Desconstrução RUIM	

Quadro 8.18. M16- Modelo 16: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (conclusão)

<p>Regras fuzzy:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 2. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 3. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 4. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 5. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 6. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 7. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 8. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 9. If (DESMONTAGEM is Difícil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 10. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 11. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 12. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 13. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 14. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Aceitável) (1) 15. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Aceitável) (1) 16. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 17. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Aceitável) (1) 18. If (DESMONTAGEM is Moderada) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Simples) (1) 19. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 20. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 21. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Inadequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 22. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 23. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Simples) (1) 24. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Aceitável) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Simples) (1) 25. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ruim) then (LOGÍSTICA is Complexa) (1) 26. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Razoável) then (LOGÍSTICA is Simples) (1) 27. If (DESMONTAGEM is Fácil) and (SEGURANÇA-DO-TRABALHO is Adequada) and (PLANO-DE-DESCONSTRUÇÃO is Ótimo) then (LOGÍSTICA is Simples) (1) 	
<p>Variável de saída M16</p>	
<p>Variável dependente Grupo: M16- Logística</p>	
<p>Domínio: 0 a 1,0</p>	
<p>Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑</p>	
Classificação	Função de pertinência
Complexa	Trimf [-0.4 0 0.4]
Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Simples	Trapmf [0.5 0.75 1 1.5]
<p>Determinante: Logística COMPLEXA</p>	



Quadro 8.19. M17- Modelo 17: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (continua)

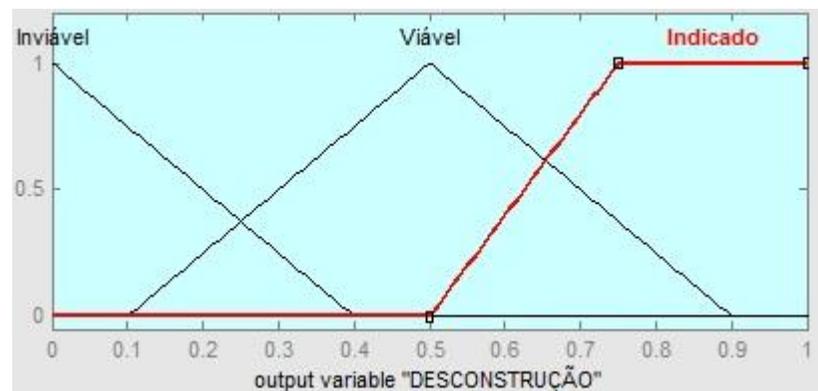
Variáveis de Entrada					
Variável dependente Grupo: M4-Composição		Variável dependente Grupo: M11-Permutabilidade		Variável dependente Grupo: M16-Logística	
Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0		Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑		Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência	Classificação	Função de pertinência
Inadequada	Trimf [-0.4 0 0.4]	Ruim	Trimf [-0.4 0 0.4]	Complexa	Trimf [-0.4 0 0.4]
Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Razoável	Trimf [0.1 0.5 0.9]	Aceitável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Adequada	Trimf [0.6 1 1.4]	Ótima	Trimf [0.6 1 1.4]	Simples	Trapmf [0.5 0.75 1 1.5]
Determinante: Composição INADEQUADA		Determinante: Permutabilidade RUIM		Determinante: Logística COMPLEXA	
					

Quadro 8.19. M17- Modelo 17: variáveis de entrada e de saída e suas características e regras de base fuzzy (conclusão)

Regras fuzzy:	<ol style="list-style-type: none"> 1. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 2. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 3. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 4. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 5. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 6. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 7. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 8. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 9. If (COMPOSIÇÃO is Inadequada) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 10. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 11. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 12. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 13. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 14. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Viável) (1) 15. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Viável) (1) 16. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 17. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Viável) (1) 18. If (COMPOSIÇÃO is Aceitável) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Indicado) (1) 19. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 20. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 21. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Ruim) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 22. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 23. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Viável) (1) 24. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Razoável) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Indicado) (1) 25. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Complexa) then (DESCONSTRUÇÃO is Inviável) (1) 26. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Aceitável) then (DESCONSTRUÇÃO is Indicado) (1) 27. If (COMPOSIÇÃO is Adequada) and (PERMUTABILIDADE is Ótima) and (LOGÍSTICA is Simples) then (DESCONSTRUÇÃO is Indicado) (1)
---------------	---

Variável de saída M17

Variável dependente de Saída: M17-Desconstrução	
Domínio: 0 a 1,0	
Sentido de influência positiva para a desconstrução: ↑	
Classificação	Função de pertinência
Inviável	Trimf [-0.4 0 0.4]
Viável	Trimf [0.1 0.5 0.9]
Indicado	Trapmf [0.5 0.75 1 1.5]
Determinante: Desconstrução INVIÁVEL	



9. ESTUDOS DE CASO APLICADOS NOS SISTEMAS DE ANÁLISE

Para validação dos sistemas de análise foram realizadas simulações a partir de um estudo de caso com os dados de entrada fornecidos por um engenheiro que acompanhou o processo de desconstrução de um ginásio poliesportivo construído com estrutura metálica e por meio de análise de registros fotográficos. Foram realizadas simulações com o sistema de análise simplificado de pontuação e com o sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos com *defuzzificação* centróide e com *defuzzificação* média dos máximos. Os resultados de saída do potencial de desconstrução obtidos com as simulações foram comparados com o resultado ponderado pelo engenheiro sobre o potencial de desconstrução do ginásio após acompanhamento e avaliação do processo de desconstrução real da edificação.

Posteriormente fizeram-se novas simulações com valores de entrada fictícios simulando outros cenários de desconstrução a fim de avaliar os sistemas de análise.

9.1. Estudo de caso: desconstrução do Ginásio Poliesportivo de Mariana

O estudo de caso para aplicação dos sistemas de análise trata do Ginásio Poliesportivo do município de Mariana, localizado na região central de Minas Gerais a 107 km de Belo Horizonte, denominado Ginásio Osni Geraldo Gonçalves. A edificação, erguida em estrutura metálica, foi inaugurada em 01 de maio de 1988, figura 9.1.

Mesmo antes da inauguração, muitos habitantes do município criticavam a construção argumentando que a arquitetura moderna e o tamanho desproporcional do Ginásio Poliesportivo agredia a paisagem colonial da Cidade Histórica de Mariana. Segundo Iannini (2014), a Imprensa, os Órgãos Oficiais de Preservação Histórica e Artística, a Justiça, intelectuais e a população mais esclarecida protestaram e lutaram contra a construção do ginásio, que foi erguido com extrema rapidez, para ser considerado como um fato consumado. Além disso, as críticas recaíam sobre a localização do Ginásio, em terreno nobre e central da cidade, situado em frente à Prefeitura. Segundo Ribeiro (2014), a cidade cresceu em torno do ginásio tornando o centro um lugar com poucas vagas de estacionamento, pois grande parte do terreno era ocupada pela edificação do Ginásio.



Figura 9.1: Ginásio Poliesportivo Osni Geraldo Gonçalves, localizado no município de Mariana, na data de sua inauguração, em 01 de maio de 1988.
Fonte: IANNINI, 2014.

9.1.1. Requalificação Urbanística e Arquitetônica de Mariana

Em 2005 o escritório Gustavo Penna Arquiteto e Associados foi contratado pela Prefeitura Municipal de Mariana para desenvolver um projeto de Requalificação Urbanística e Arquitetônica do município.

A área total projetada de requalificação do município abrange 15.000 m², compreendendo: a reforma da rodoviária; o edifício da Prefeitura; o Centro de Artesanato; a Praça Juscelino Kubitschek; o Centro de Convenções; o tratamento urbanístico e paisagístico de toda a Rua Antônio Pacheco, desde o novo trevo com a Rodovia dos Inconfidentes até a Igreja de São Pedro dos Clérigos e o novo ginásio Poliesportivo- Arena Mariana (GPA&A, 2014).

Em janeiro de 2008, por ordem do Instituto do Patrimônio Artístico Nacional (IPHAN), o ginásio localizado no centro da cidade precisou ser demolido (GONÇALVES, 2013). Com o projeto de requalificação urbanística do município e a partir de uma decisão política da prefeitura decidiu-se que o Centro de Convenções seria construído no terreno nobre onde se localizava o Ginásio (figura 9.2) e que esse seria adaptado, reprojetoado e reconstruído em um novo terreno, localizado numa área mais

aos fundos da cidade, fora do centro, no Bairro Vila Aparecida, Rodovia Mariana/Samarco (em frente à Policlínica Municipal).

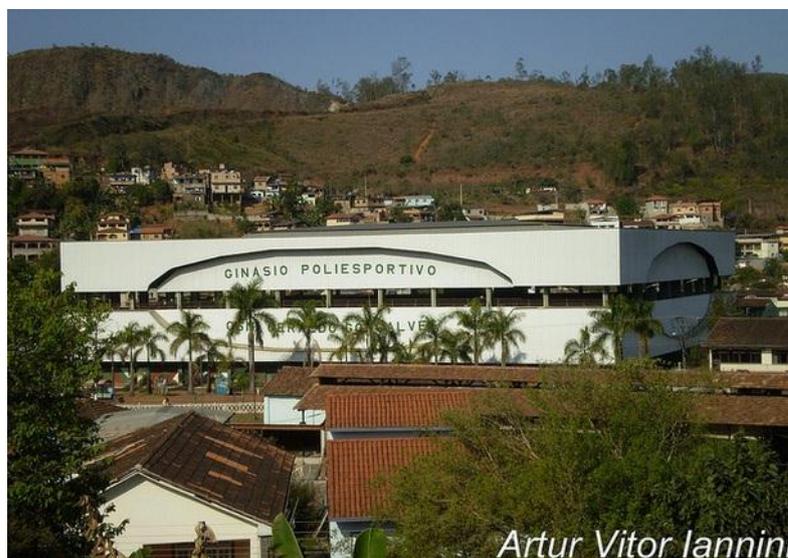


Figura 9.2: Ginásio Poliesportivo Osni Geraldo Gonçalves, em 22 de setembro de 2007, antes da desconstrução.
Fonte: IANNINI, 2014.

Com o novo empreendimento no centro da cidade, de volume reduzido, conseguiu-se criar um Centro de Convenções com Pavilhões de Feiras, Teatro e Setor de Convenções, além de estacionamento para público com capacidade para 86 veículos (GPA&A, 2014).

No terreno disponível para a instalação do novo Ginásio (figura 9.3) decidiu-se que seria construído um Centro Olímpico para agrupar várias modalidades de esportes, com a construção de: um ginásio no bairro Cabanas, quadras poliesportivas, ginásio para ginástica artística, piscinas olímpicas e pista de skate (GONÇALVES, 2013).

A partir de janeiro de 2008 o antigo Ginásio começou a ser desconstruído para reuso dos componentes de estrutura metálica na edificação do novo Ginásio. Além da estrutura metálica foram aproveitadas na construção da nova edificação algumas partes da arquibancada em concreto e a cobertura.

Por ser uma obra pública e por diversos motivos políticos, o novo Ginásio só foi inaugurado no dia 20 de agosto de 2013, apesar das obras de instalação da nova construção já se apresentarem avançadas ainda no ano de 2008.

A estrutura do Novo Ginásio Poliesportivo- denominado Arena Mariana (figura 9.4), é a mesma do Ginásio Poliesportivo, tendo reduzida a sua altura total em 25%,

portanto de 20 para 15 metros. Entretanto, foram acrescentados espaços novos para melhor capacitá-lo para usos culturais além dos esportivos (GPA&A, 2014).



Figura 9.3: Projeto em 3 dimensões do novo Ginásio.
Fonte: GPA&A, 2014.

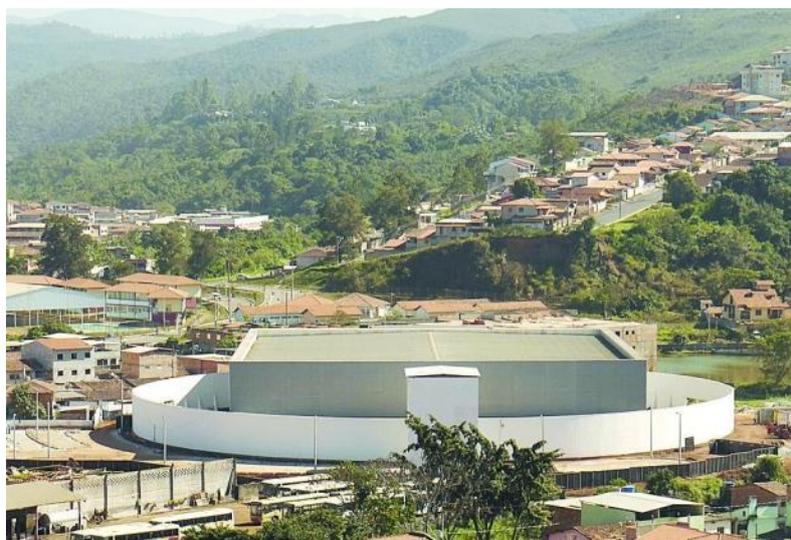


Figura 9.4: Ginásio Arena Mariana, antes da inauguração.
Fonte: MARIANA..., 2013.

9.1.2. Entrevista

Para análise do processo de desconstrução do Ginásio fez-se uma entrevista no dia 15 de julho de 2014 com o engenheiro civil e professor⁴⁴, Luiz Fernando Loureiro Ribeiro (RIBEIRO, 2014), que acompanhou as etapas de desmontagem do antigo Ginásio e parte da obra de construção da Arena Mariana. O questionário utilizado para a entrevista encontra-se disponível no Apêndice F.

9.1.3. Elemento de análise: componentes metálicos da estrutura

O foco principal da entrevista foi a desconstrução e o reuso dos componentes da estrutura metálica do antigo Ginásio e a análise das características que influenciaram seu potencial de desconstrução. Embora o processo de desconstrução e reuso também tenha abrangido parte da arquibancada de concreto, esse tema foi apenas citado como parte do processo de desconstrução da edificação, pois não é objeto de análise.

São apresentadas, no Apêndice G, figuras do processo de desconstrução bem como as informações coletadas na entrevista sobre a obra, os materiais reaproveitados, o processo de desconstrução e sua logística, os benefícios da desconstrução do Ginásio e orientações para PpD de projetos futuros, segundo Ribeiro (2014).

9.1.4. Classificação do potencial de desconstrução do Ginásio

Durante a entrevista solicitou-se que o entrevistado classificasse o potencial de desconstrução do ginásio qualitativamente entre: “Indicado”, quando o processo de desconstrução com certeza traz vantagens econômicas e ambientais; “Viável”, quando podem existir benefícios, mas não há desvantagem econômica e ambiental, e “Inviável”, quando o processo de desconstrução apresenta desvantagens maiores que vantagens, em termos econômicos ou em termos ambientais. Segundo Ribeiro (2014) a classificação deveria estar entre “Viável”, por questão do baixo grau de industrialização da construção que foi desmontada, e “Indicado”, mas, por ter apresentado vantagens econômicas e ambientais, a classificação estaria mais para “Indicado”.

44 Professor do Departamento de Engenharia Civil (DECIV) da Escola de Minas (EM) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Durante a entrevista também foi solicitado que Ribeiro (2014) classificasse o processo de desconstrução em termos quantitativos de 0 a 1, sendo 0 para a pior situação, quando a desconstrução é considerada inviável e 1 para a situação mais favorável, quando a desconstrução é indicada. Ribeiro (2014) considerou que o processo foi realizado de forma razoavelmente boa. Considerando as possibilidades disponíveis o resultado foi dentro do esperado, mas poderia ter sido melhor. Numa avaliação do processo de desconstrução como um todo, considerou-se que 0,75 seria uma classificação adequada. Esse valor corresponde à classificação da variável final de Desconstrução como indicado (de 0,65 a 1).

O objetivo dessa classificação qualitativa e quantitativa do resultado final da desconstrução serviu de base para a comparação com os resultados obtidos nos métodos de análise de acordo com os dados de entrada para cada variável fornecida pelo entrevistado. Essa comparação comprovou a eficiência de utilização do método para análise do potencial de desconstrução de uma edificação ao final de sua vida útil.

9.2. Dados de entrada

Ao final da entrevista, Ribeiro (2014) foi instado a relacionar valores qualitativos (classificação linguística) e quantitativos sobre cada variável de entrada analisada nos métodos propostos. A avaliação da desconstrução foi realizada de forma genérica para todos os componentes da estrutura metálica. Os valores e classificações obtidas são apresentados nos próximos subitens.

9.2.1. Variável (1.1)- Custo

A variável (1.1)-Custo foi considerada um pouco mais que aceitável, não foi totalmente ideal por conta dos problemas do estado de conservação das peças. Como dado de entrada considerou-se que o custo da desconstrução e da recuperação da estrutura foi equivalente a 75% do custo dos elementos estruturais novos.

9.2.2. Variável (1.2)- Expectativa de durabilidade

A variável (1.2)- Expectativa de durabilidade da estrutura metálica recuperada foi considerada alta, bem acima de 40 anos. O dado de entrada para a expectativa de durabilidade dos elementos recuperados é de 80 anos.

9.2.3. Variável (1.3)- Estado de conservação

A maioria das peças, mesmo sem manutenção adequada, não sofreram nenhum dano, sendo o estado de conservação considerado ótimo de forma geral. Entretanto algumas peças foram danificadas e corroídas, principalmente as bases dos pilares, que foram as áreas mais prejudicadas por falta de manutenção. Segundo Ribeiro (2014), a falta de industrialização e padronização da construção original e a falta de manutenção contribuíram para que o estado de conservação de algumas peças estruturais em aço não se encontrasse em um ótimo estado na época de desconstrução. Esses danos não foram tão significativos porque o novo projeto requeria que as colunas fossem cortadas em suas bases, diminuindo o gabarito da nova edificação e descartando as áreas mais danificadas dos componentes. Por isso, considerou-se que o dado de entrada da variável (1.3)-Estado de conservação deveria estar entre razoável e ótimo, com 85% de conservação.

9.2.4. Variável (1.4)- Dano no processo

A variável (1.4)-Dano no Processo foi considerada reparável porque houve poucos danos nas peças estruturais durante o processo de desconstrução. Considera-se dessa forma o valor do dado de entrada em 5% de dano para essa variável.

9.2.5. Variável (1.5)- Necessidade de adaptação

A variável (1.5)-Necessidade de adaptação foi considerada baixa porque o projeto foi pensado de forma a aproveitar o máximo das peças sem a necessidade de muitos reparos. Considerando que as áreas mais danificadas eram as bases dos pilares, foi previsto no projeto da nova construção o corte dos pilares de forma que essas partes fossem retiradas sem a necessidade de recuperação. Além disso, os pilares receberam uma nova placa de base e chumbadores. Os demais reparos consistiram em pintura e substituição de poucos parafusos que devido à corrosão foram danificados durante a desconstrução. Portanto a necessidade de adaptação para o novo uso foi considerada baixa, com o dado de entrada em 10% de adaptação das peças.

9.2.6. Variável (2.1)- Padronização

Embora todos os pilares, vigas e demais elementos estruturais fossem constituídos do mesmo material, o aço, considerou-se que a padronização dos componentes era parcial, sendo adotado como dado de entrada o valor 75% para a variável Padronização.

9.2.7. Variável (2.2)- Modulação

A variável (2.2)-Modulação foi considerada elevada, visto que o ginásio foi concebido com modulação estrutural. Portanto adotou-se como dado de entrada o valor 90% para a variável Modulação.

9.2.8. Variável (2.3)- Tecnologia e ferramentas

A variável (2.3)-Tecnologia e ferramentas foi considerada intermediária, pois embora a tecnologia de construções estruturadas em aço não seja nova e esteja em fase de expansão no país, ainda não pode ser considerada uma tecnologia popular, pois o número de empresas especializadas em construções deste tipo ainda é considerado baixo, não estando disponível em todas as cidades. Por isso o dado de entrada para essa variável foi 4.

9.2.9. Variável (3.1)- Padronização das ligações

A maioria das ligações na construção era aparafusada. Algumas ligações soldadas foram usadas para suporte dos fechamentos. Por isso a padronização foi considerada entre total e parcial com valor de entrada de 85%.

9.2.10. Variável (3.2)- Simplificação das ligações

O grau de simplificação das ligações foi considerado alto, pois como a maioria das ligações são aparafusadas considera-se que essa tecnologia de ligação já é conhecida, embora todo o trabalho em estrutura metálica exija mão-de-obra especializada. Por isso o dado de entrada para essa variável foi 8,5.

9.2.11. Variável (3.3)- Número de ligações

O numero de ligações das estruturas metálicas foi considerado de forma geral aceitável, com valor de entrada de 4.

9.2.12. Variável (3.4)- Expectativa de durabilidade das ligações

A Variável (3.4)- Expectativa de durabilidade das ligações foi considerada alta. Por isso o dado de entrada é igual ao de expectativa de durabilidade dos elementos recuperados, de 80 anos.

9.2.13. Variável (3.5)- Dano às ligações

Como a grande maioria das ligações era aparafusada o dano às ligações foi considerado reparável, e a grande maioria das ligações pôde ser reusada. Em alguns casos houve dificuldade em desfazer as ligações porque haviam parafusos corroídos que tiveram de ser serrados. Nesses casos o parafuso foi perdido, mas a substituição provavelmente não foi necessária porque o projeto da nova construção era diferente, com um pavimento a menos. Por isso o dado de entrada dessa variável foi de 10%.

9.2.14. Variável (3.6)- Tempo de remoção das ligações

O tempo de remoção das ligações foi considerado moderado porque algumas ligações foram difíceis de remover e acabaram sendo serradas. Além disso, as ligações da estrutura da cobertura eram de difícil acesso. Por isso o tempo médio de remoção por ligação foi considerado de 20 minutos.

9.2.15. Variável (3.7)- Acessibilidade às ligações

A acessibilidade das ligações foi considerada aceitável porque as ligações da estrutura de cobertura exigiam trabalho em altura e por isso o acesso era mais difícil. Além disso, pelo menos duas ligações apresentaram problemas de acesso e não foi possível a remoção de forma correta. Esse número de ligações que apresentaram dificuldades de acesso de forma a inviabilizar a remoção correta pode ser considerado irrelevante frente ao número de ligações totais da construção. Por isso, o dado de entrada para essa variável foi considerado 7.

9.2.16. Variável (3.8)- Dano causado às peças pelas ligações

Os poucos danos causados às peças estruturais pelas ligações foram considerados reparáveis, com dado de entrada de 7%.

9.2.17. Variável (4.1)- Acessibilidade às peças da estrutura

A acessibilidade às peças da estrutura foi considerada aceitável porque existiam dificuldades de alcance relativas à altura de localização das peças, sendo o dado de entrada para essa variável igual a 6.

9.2.18. Variável (4.2)- Separação de outros níveis de materiais

A separação de outros níveis de materiais foi considerada razoável. Segundo Ribeiro (2014), em alguns casos tendeu a ser difícil, mas não foi a maioria. Algumas peças tinham interface com lajes moldadas *in loco* e fechamentos em alvenaria e precisaram ser separadas do concreto com britadeiras. Portanto a separação de outros níveis de materiais foi trabalhosa, mas não houve danos às peças que se pretendia reusar, sendo o dado de entrada para essa variável igual a 6.

9.2.19. Variável (5.1)- Eficiência pelo tipo de desmontagem

A desmontagem foi em parte sequencial e em parte paralela, sendo considerado médio o grau de eficiência dessa variável. O dado de entrada para a variável é 7,0 de grau de eficiência.

9.2.20. Variável (5.2)- Dificuldade pela forma de desmontagem

A dificuldade pela forma de desmontagem foi considerada moderada, pois foram utilizados equipamentos e máquinas de pequeno porte, como guinchos e guindastes de pequeno porte, além de andaimes para acesso ao trabalho em altura, britadeiras para a separação das lajes e fechamentos da estrutura e ferramentas para auxiliar na remoção da ligação parafusada. O dado de entrada para a variável é 5,0 de grau de dificuldade.

9.2.21. Variável (5.3)- Espaço para armazenamento de materiais

O espaço para armazenamento de materiais foi considerado adequado, pois as peças foram armazenadas no próprio local de desmontagem até serem transportadas

para o novo local de construção, sendo o dado de entrada para essa variável o valor máximo de 10.

9.2.22. Variável (5.4)- Espaço para equipamentos e manobras

O espaço para equipamentos e manobras foi considerado adequado porque havia muito espaço disponível para execução das manobras com os equipamentos e os maquinários usados, sendo o dado de entrada para essa variável o valor máximo de 10.

9.2.23. Variável (6.1)- Risco por trabalho em altura

O risco por trabalho em altura foi considerado médio, pois houve trabalho em altura para a desmontagem das peças estruturais, principalmente as de cobertura, mas todo o trabalho foi realizado com a adoção de medidas de segurança, como pode ser visto na figura 9.5, e não ocorreu nenhum acidente por conta desse risco. Por isso, adotou-se como dado de entrada para essa variável 5,0 como grau de risco.



Figura 9.5: Trabalho em altura realizado com adoção de medidas de segurança. Data: 31 de março de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

9.2.24. Variável (6.2)- Risco por instabilidade

O risco por instabilidade foi considerado médio. Havia risco de instabilidade, mas as medidas de segurança foram adotadas de forma adequada. Existiu todo um cuidado

com a sequência de desmontagem para garantir a estabilidade da construção durante a desmontagem. A parte mais crítica foi a de estrutura da cobertura, onde, segundo Ribeiro (2014) houve um planejamento de etapas de desmontagem sistemático, muito bem realizado, porque era uma treliça espacial e a retirada de um trecho necessitava de escoramento de uma parte para assegurar a estabilidade. O trabalho foi feito em etapas de forma que a estrutura fosse sustentada pelos andaimes e por escoras para que o processo fosse realizado numa dada sequência e provavelmente foi planejado com o auxílio de um programa computacional. Na retirada de vigas transversais e longitudinais que formavam pórticos estáveis nos seus planos foram mantidos os contraventamentos das fachadas por um tempo até a retirada das peças para evitar um tombamento, mais ou menos da mesma forma como se fez no processo de montagem. Portanto, embora o risco de instabilidade tenha existido, foi realizado um trabalho com adoção das medidas de segurança de forma a evitar instabilidade da estrutura durante o processo. Não ocorreram acidentes devido à instabilidade durante a desmontagem da estrutura. Adotou-se como dado de entrada para essa variável 3,0 como grau de risco.

9.2.25. Variável (6.3)- Outros Riscos

Existiram outros riscos presentes durante a desmontagem, como por exemplo, o risco por uso de soldas e equipamentos de cortes de parafusos e peças. Entretanto foi perceptível que os trabalhos de desmontagem foram realizados com segurança e uso de equipamentos de proteção. Segundo Ribeiro (2014) foi realizado um bom trabalho de segurança pela empresa responsável pela desmontagem e não se teve conhecimento de nenhum acidente grave. Pode-se afirmar que os demais riscos que existiram durante o processo de desconstrução, mas como não foi feito um estudo na época, não foi possível a classificação dos riscos pela matriz de qualitativa de análise de riscos. Por isso foi considerado que existiram riscos com todas as classificações da matriz (baixo (RB), moderado (RM), alto (RA) ou extremo (RE)) e que foi realizado um bom trabalho de segurança no canteiro de obras, já que não se teve notícia de nenhum acidente. Portanto o grau de risco da variável (6.3) foi considerado médio, adotando-se 3,0 como dado de entrada.

9.2.26. Variável (7.1)- Sistema de informação e identificação dos materiais

O sistema de informação e identificação dos materiais foi considerado incompleto porque só houve um trabalho de identificação das peças e etiquetagem de acordo com as referências de projeto, mas não houve um trabalho mais sistemático em forma de ficha ou memorial contendo informações das peças. Essa parte de informação sobre o estado das peças consistiu num processo mais visual, de ver a peça desmontada e analisar se precisava ser reparada ou não. Por isso adotou-se 4,0 como dado de entrada para essa variável.

9.2.27. Variável (7.2)- Procedimento de desmontagem

Segundo Ribeiro (2014), houve uma preocupação com a sequência de montagem das peças, mas pode-se considerar que o procedimento de desmontagem estava incompleto porque não havia um alto nível de detalhe e de especificação desse procedimento e muitas decisões foram tomadas na hora quando as situações não ocorriam conforme o planejado. Por isso adotou-se 4,0 como dado de entrada para essa variável.

9.2.28. Variável (7.3)- Projeto “*as built*”

A evidência de numeração das peças desmontadas da construção e referência ao projeto da nova construção indica que houve levantamento arquitetônico do ginásio antigo, com marcação das peças. Entretanto Ribeiro (2014) considerou que a variável relativa ao projeto *as built* deve ser considerada desatualizada porque a cultura de construção brasileira ainda não assimilou a consciência de um projeto *as built* completo e atualizado. Por isso adotou-se 4,0 como dado de entrada para essa variável.

9.3. Estudo de caso aplicado aos Sistemas de análise

Os dados de entrada fornecidos foram aplicados aos sistemas de análise, primeiramente ao sistema de pontos e posteriormente ao sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos com *defuzzificação* centróide e com *defuzzificação* média dos máximos.

9.3.1. Sistema de análise simplificado de pontuação

Para a aplicação do estudo de caso no sistema de análise de pontuação foi necessário computar as pontuações equivalentes aos dados de entrada de cada variável independente referente ao Ginásio e verificar o atendimento às pontuações mínimas aceitáveis estabelecidas para as variáveis determinantes. Essa análise e o resultado da avaliação estão apresentados no quadro 9.1.

Quadro 9.1. Aplicação do estudo de caso no sistema de análise de pontuação

DADOS DE ENTRADA	PONTUAÇÃO CORRESPONDENTE	PONTUAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL	PONTUAÇÃO MÁXIMA
1.1) = 75	1	1	2
1.2) = 80	2	1	2
1.3) = 85	2	As três variáveis devem ser analisadas em conjunto, sendo a pontuação total mínima aceitável igual a 5 pontos	2
1.4) = 5	2		2
1.5) = 10	2		2
2.1) = 75	1	0	2
2.2) = 90	2	0	2
2.3) = 4	1	0	2
3.1) = 85	2	0	2
3.2) = 8.5	2	0	2
3.3) = 4	1	0	2
3.4) = 80	2	0	2
3.5) = 10	2	1	2
3.6) = 20	1	0	2
3.7) = 7	1	0	2
3.8) = 7	2	1	2
4.1) = 6	1	0	2
4.2) = 6	1	1	2
5.1) = 7	1	0	2
5.2) = 5	1	0	2
5.3) = 10	2	0	2
5.4) = 10	2	1	2
6.1) = 5	1	1	2
6.2) = 3	1	1	2
6.3) = 3	1	1	2
7.1) = 4	1	0	2
7.2) = 4	1	1	2
7.3) = 4	1	1	2
TOTAL	40	16	56

Pôde-se observar no quadro 9.1 que todas as pontuações mínimas aceitáveis foram alcançadas e a pontuação total obtida com a aplicação dos dados do estudo de caso no sistema de pontuação foi de 40 pontos, maior que 16, o que classifica a desconstrução no mínimo como viável. Comparando esse resultado com o resultado máximo possível do sistema (56 pontos), tem-se um alcance de aproximadamente 71,43% do total de pontos oferecidos. Esse resultado foi muito próximo do resultado de 0,75 considerado por Ribeiro (2014) como resultado adequado e desconstrução indicada.

9.3.2. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos

Na primeira simulação do estudo de caso realizada com o sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos utilizou-se o método de *defuzzificação* do centro de gravidade, correspondente ao centróide no Matlab. Cada um dos 17 modelos do sistema de análise foi simulado com as variáveis de entrada correspondentes gerando os valores de saída que podem ser visualizados separadamente no Apêndice H.

Apresentam-se na figura 9.6 os resultados de cada saída e o resultado da saída final do potencial de desconstrução.

Na segunda simulação do estudo de caso no sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos utilizou-se como método de *defuzzificação* a média dos máximos, correspondente ao “*mom*” no Matlab. Cada um dos 17 modelos do sistema de análise foi simulado com as variáveis de entrada correspondentes gerando os valores de saída que podem ser visualizados separadamente no Apêndice H. Apresentam-se na figura 9.7 os resultados de cada saída e o resultado da saída final do potencial de desconstrução.

Observa-se pelos resultados apresentados na figura 9.6 que o valor da variável dependente final que caracteriza o potencial de desconstrução da edificação foi de 0,533. Comparando-se o resultado de saída final com o resultado ponderado pelo engenheiro de 0,75 (RIBEIRO, 2014) tem-se uma diferença de aproximadamente 0,22. O valor obtido com essa simulação corresponde à classificação qualitativa da desconstrução como viável. Um resultado curioso dessa análise correspondeu à saída do Modelo 12: 0.87, porque as duas variáveis de entrada do modelo receberam valores

máximos, favoráveis à desconstrução, mas, devido ao método de *defuzzificação* centróide, a saída correspondente não foi o valor mais favorável à desconstrução.

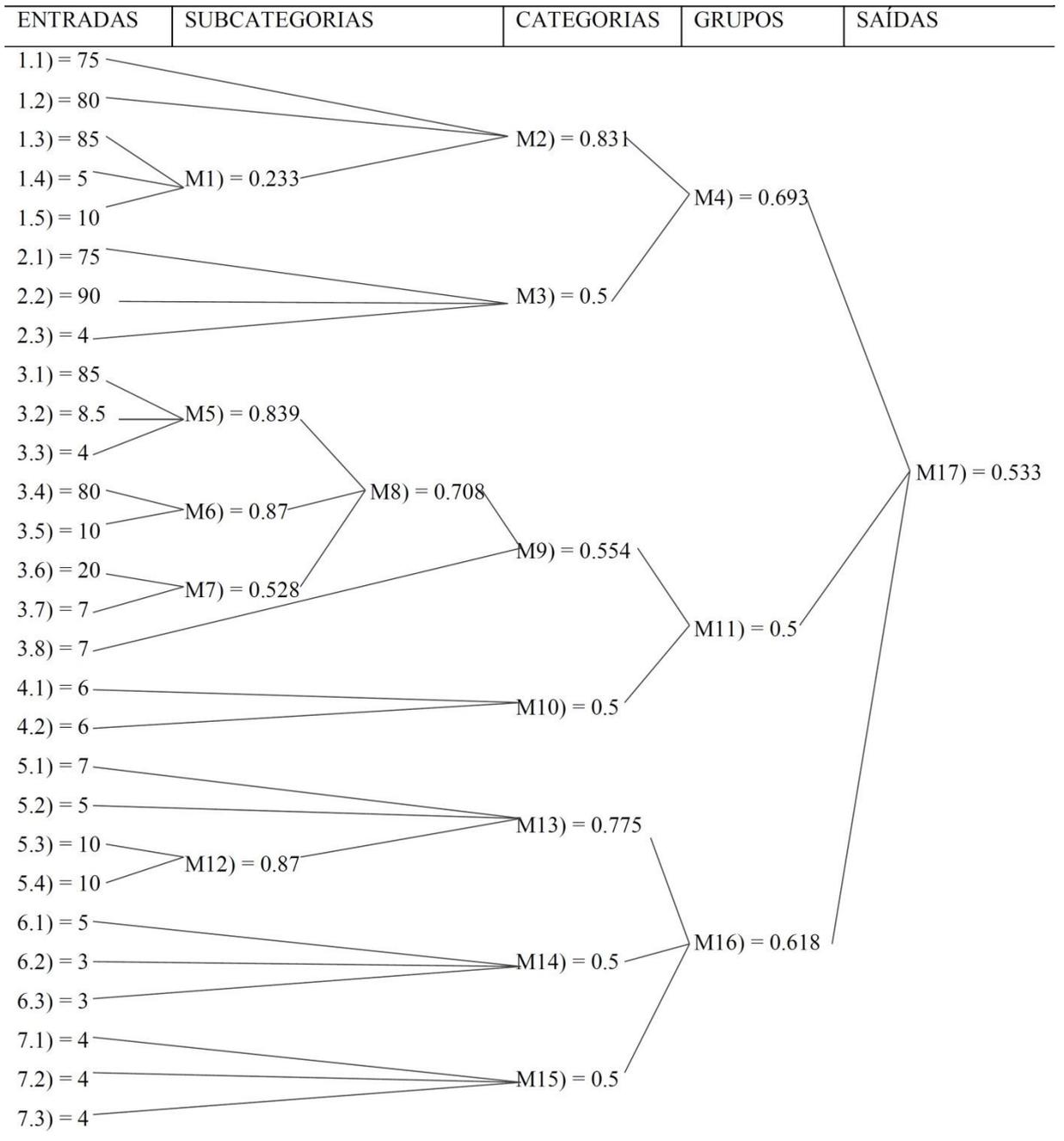


Figura 9.6: Resultados do estudo de caso aplicado ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e *defuzzificação* centróide.

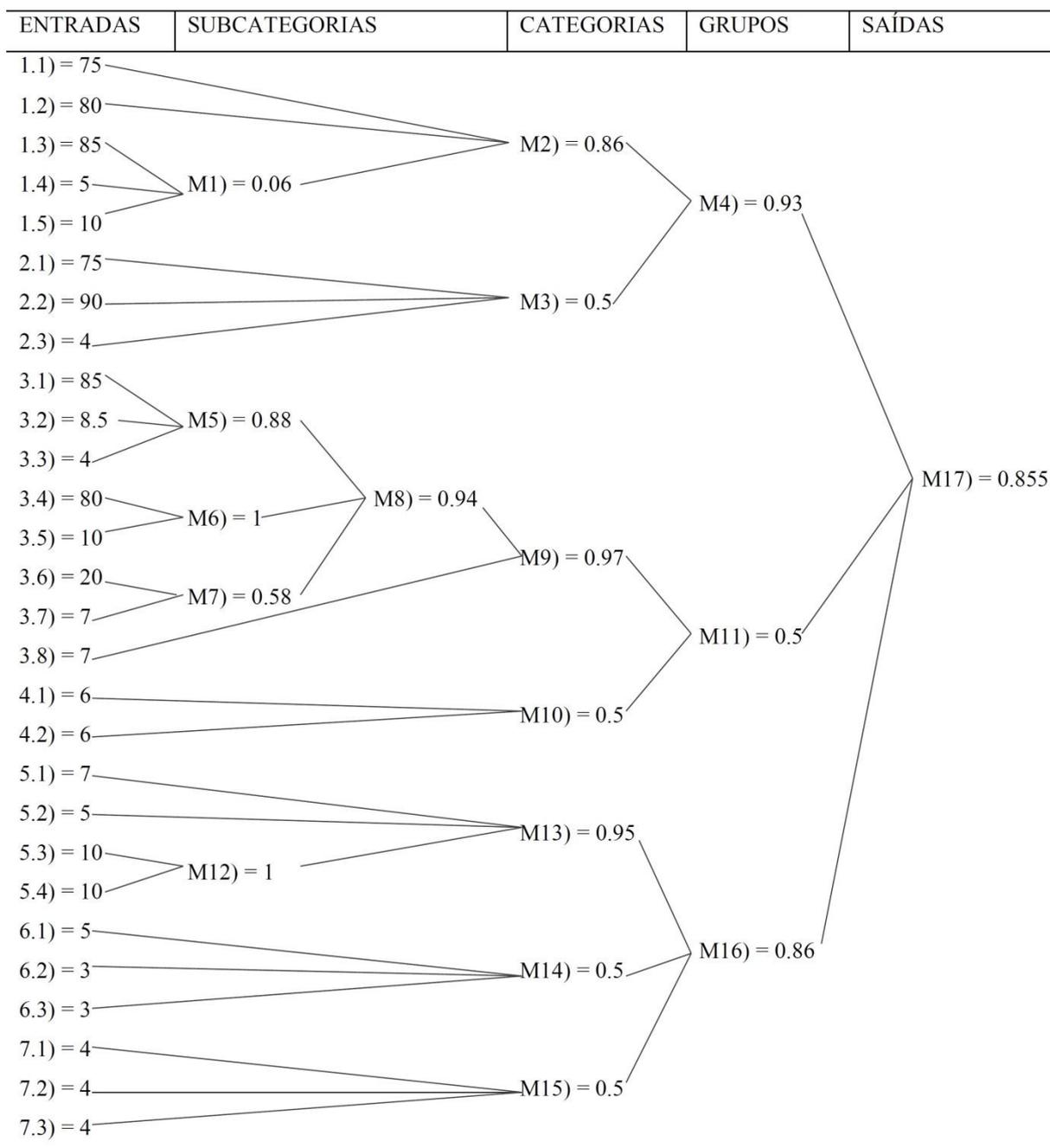


Figura 9.7: Resultados do estudo de caso aplicado ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e *defuzzificação* média dos máximos.

Observa-se pelos resultados apresentados na figura 9.7 que o valor da variável dependente final foi de 0,855, valor superior ao resultado considerado por Ribeiro (2014), com diferença de aproximadamente 0,10. O valor obtido corresponde à classificação qualitativa da desconstrução como indicado. Esse resultado foi mais próximo do resultado real considerado.

9.3.3. Comparação dos resultados de aplicação do estudo de caso nos Sistemas

Apresenta-se no Quadro 9.2 uma comparação entre os resultados obtidos pela aplicação dos dados de entrada do estudo de caso simulados nos sistemas de análise desenvolvidos.

Quadro 9.2. Comparação dos resultados de potencial de desconstrução do estudo de caso

SISTEMA DE ANÁLISE	ANÁLISE QUALITATIVA	ANÁLISE QUANTITATIVA	DIFERENÇA QUANTITATIVA DE RIBEIRO (2014)
RIBEIRO (2014)	Indicado	0,75	-
Sistema de simplificado de pontuação	Indicado	0,7143	- 0,0357
Sistema de modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> centróide	Viável	0,533	- 0,217
Sistema de modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> mom.	Indicado	0,855	+ 0,105

9.4. Simulações com valores de entrada mínimos aceitáveis

Posteriormente fizeram-se novas simulações com valores de entrada fictícios simulando outros cenários de desconstrução a fim de avaliar os sistemas de análise. Primeiramente estipularam-se dados de entrada com valores aproximados dos limites aceitáveis para as variáveis determinantes e valores considerados desfavoráveis para as demais variáveis não determinantes. Com os valores dos dados de entrada próximo dos limites mínimos aceitáveis esperava-se que os valores de saída finais fossem muito próximos de 0,25, porém superiores, de forma que na análise qualitativa a desconstrução fosse considerada viável.

9.4.1. Sistema de análise simplificado de pontuação

Os valores de entrada e o resultado para a simulação com valores de entrada mínimos aceitáveis aplicados ao sistema de pontos estão apresentados no Quadro 9.3.

Na simulação todas as pontuações mínimas aceitáveis foram alcançadas e a pontuação total obtida com a aplicação dos valores de entrada no sistema de pontuação foi de 16 pontos, o que classifica a desconstrução no mínimo como viável. Comparando

esse resultado com o resultado máximo possível do sistema (56 pontos), tem-se um alcance de aproximadamente 28,57% do total de pontos oferecidos.

Quadro 9.3. Aplicação de um cenário fictício com valores de entrada próximo dos aceitáveis no sistema de análise de pontuação

DADOS DE ENTRADA	PONTUAÇÃO CORRESPONDENTE	PONTUAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL	PONTUAÇÃO MÁXIMA
1.1) = 90	1	1	2
1.2) = 35	1	1	2
1.3) = 90	2	As três variáveis devem ser analisadas em conjunto, sendo a pontuação total mínima aceitável igual a 5 pontos	2
1.4) = 10	2		2
1.5) = 25	1		2
2.1) = 10	0	0	2
2.2) = 10	0	0	2
2.3) = 8.5	0	0	2
3.1) = 10	0	0	2
3.2) = 2	0	0	2
3.3) = 9	0	0	2
3.4) = 10	0	0	2
3.5) = 30	1	1	2
3.6) = 40	0	0	2
3.7) = 2	0	0	2
3.8) = 30	1	1	2
4.1) = 2	0	0	2
4.2) = 4	1	1	2
5.1) = 2	0	0	2
5.2) = 10	0	0	2
5.3) = 2	0	0	2
5.4) = 4	1	1	2
6.1) = 5	1	1	2
6.2) = 5	1	1	2
6.3) = 5	1	1	2
7.1) = 1	0	0	2
7.2) = 3	1	1	2
7.3) = 3	1	1	2
TOTAL	16	16	56

Esse resultado foi muito próximo do limite entre a avaliação qualitativa da desconstrução como inviável (de 0 a 0,25) e viável (>0,25 e < 0,65). Considera-se o resultado satisfatório muito próximo do valor esperado.

9.4.2. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos

Os valores de entrada, o resultado de saída de cada modelo e o resultado da saída final do potencial de desconstrução para a simulação com valores de entrada mínimos aplicados ao sistema de modelos de conjuntos difusos nos métodos de *defuzzificação* centro de gravidade e *mom* estão apresentados nas figuras 9.8 e 9.9, respectivamente.

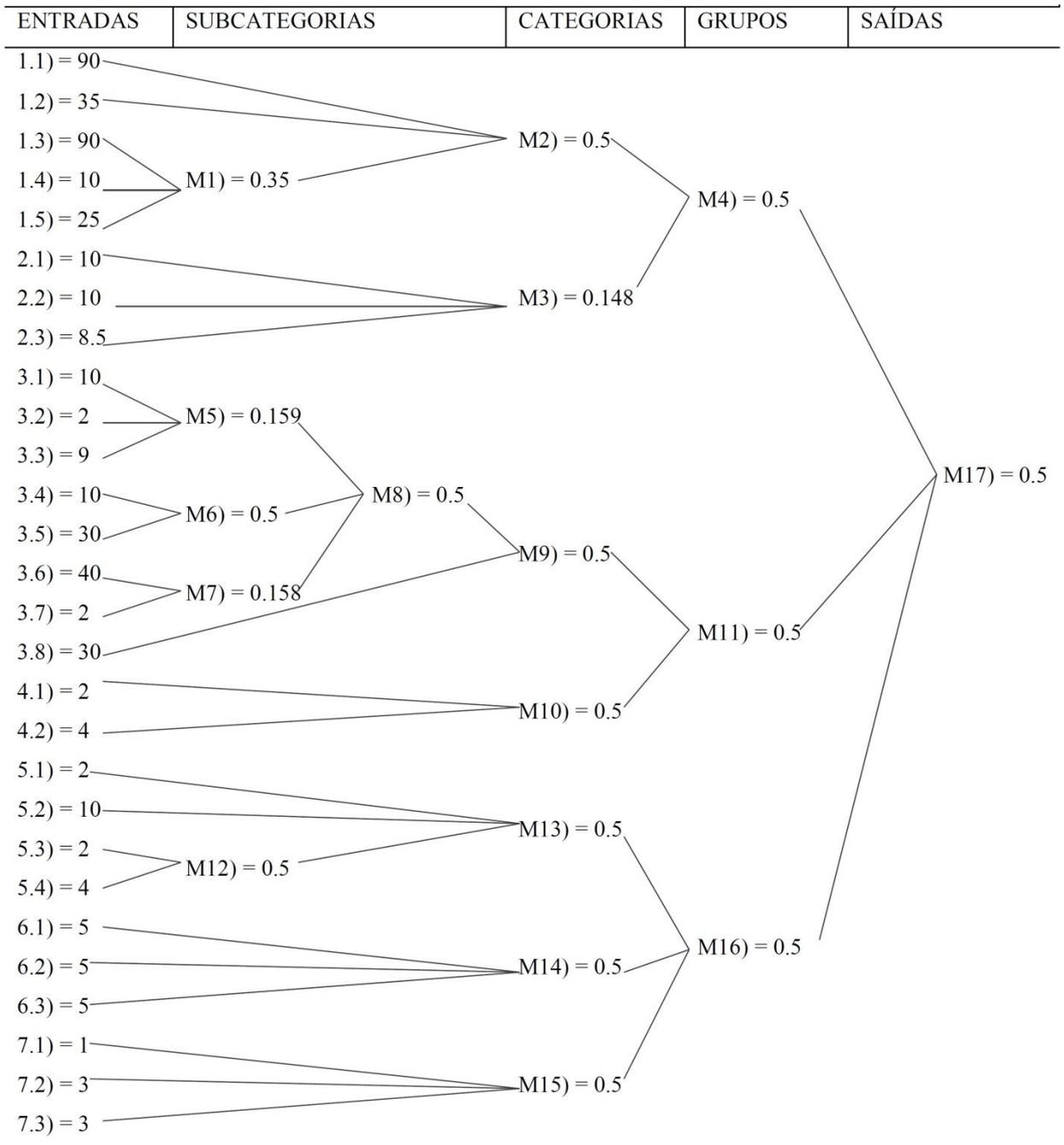


Figura 9.8: Resultados com valores de entrada próximo dos aceitáveis aplicados ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e *defuzzificação* centróide.

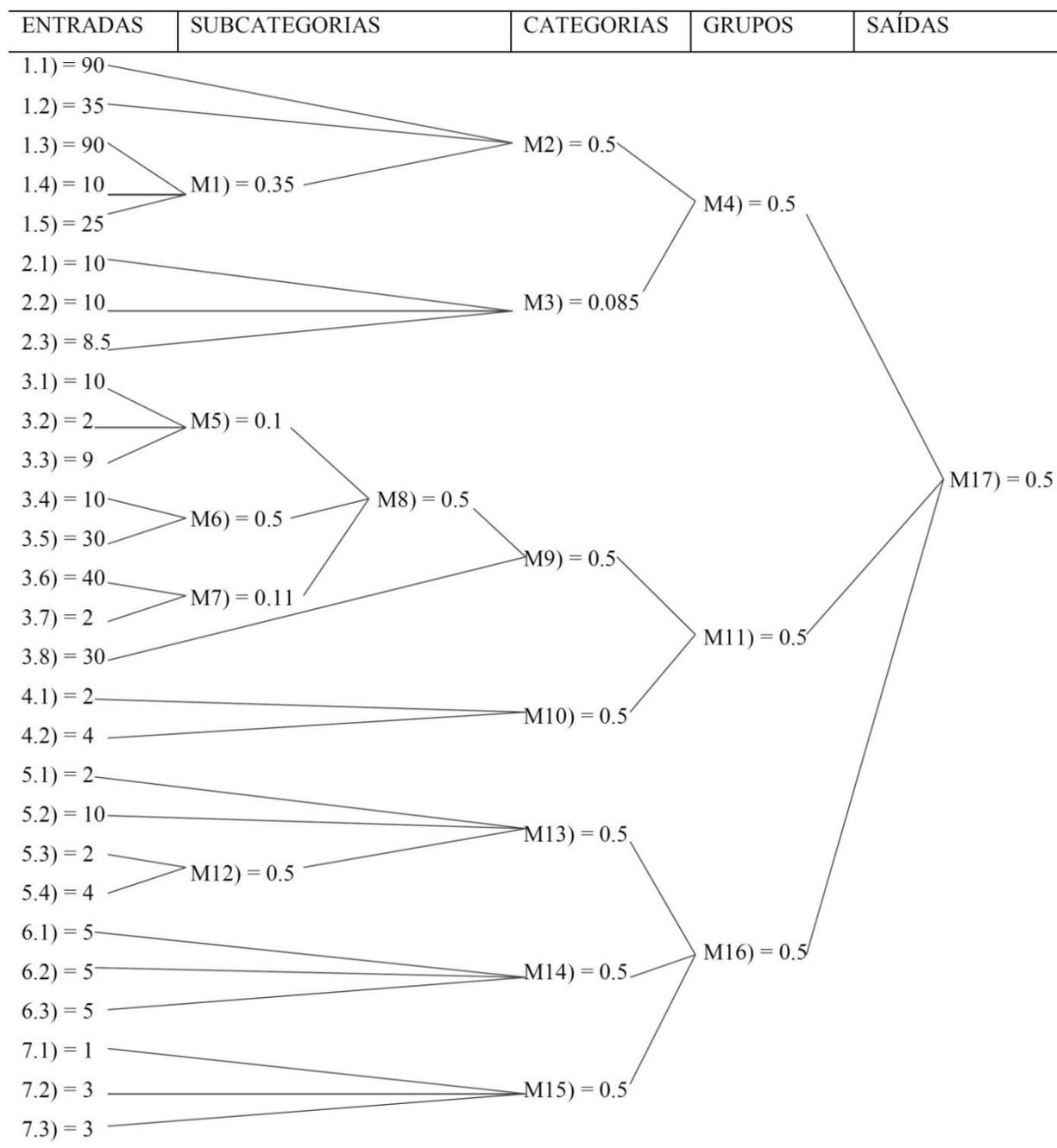


Figura 9.9: Resultados com valores de entrada próximo dos aceitáveis aplicados ao sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e *defuzzificação* média dos máximos.

Observa-se pelos resultados apresentados nas figuras 9.8 e 9.9 que o valor da variável do potencial de desconstrução da edificação foi de 0,5, valor bem acima do esperado, porém na análise qualitativa a desconstrução ainda é considerada viável.

Esses resultados podem indicar que há necessidade de um refinamento maior das regras *fuzzy*. Existe também a possibilidade de ter ocorrido resultados idênticos devido ao efeito cascata do método e aos métodos de *defuzzificação* escolhidos.

9.4.3. Comparação dos resultados de aplicação de valores próximos dos aceitáveis nos Sistemas

Apresenta-se no Quadro 9.4 uma comparação entre os resultados obtidos pela aplicação dos dados de entrada mínimos aceitáveis simulados nos sistemas de análise desenvolvidos.

Quadro 9.4. Comparação dos resultados de potencial de desconstrução com valores de entrada próximos dos aceitáveis

SISTEMA DE ANÁLISE	ANÁLISE QUALITATIVA	ANÁLISE QUANTITATIVA	DIFERENÇA QUANTITATIVA DO VALOR ESPERADO
Valor esperado	Viável	Acima e próximo a 0,25	-
Sistema de simplificado de pontuação	Viável	0,2857	+ 0,0357
Sistema de modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> centróide	Viável	0,5	+ 0,25
Sistema de modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> mom.	Viável	0,5	+ 0,25

9.5. Simulações com valor de entrada não aceitável para uma variável determinante

As últimas simulações envolveram valores de entrada fictícios considerados desfavoráveis para as variáveis não determinantes e valores aproximados dos limites aceitáveis para as variáveis determinantes, exceto para a variável determinante (1.1) Custo, que recebeu valor de entrada de 120%, valor acima do aceitável. Com esses valores como dados de entrada esperava-se que os valores de saída fossem menores ou iguais a 0,25, de forma que na análise qualitativa a desconstrução fosse considerada inviável.

9.5.1. Sistema de análise simplificado de pontuação

Os valores de entrada e o resultado da simulação no sistema de pontos estão apresentados no Quadro 9.5.

Quadro 9.5. Aplicação de um cenário fictício com um valor de entrada acima do aceitável no sistema de análise de pontuação

DADOS DE ENTRADA	PONTUAÇÃO CORRESPONDENTE	PONTUAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL	PONTUAÇÃO MÁXIMA
1.1) = 120	0	1	2
1.2) = 35	1	1	2
1.3) = 90	2	As três variáveis devem ser analisadas em conjunto, sendo a pontuação total mínima aceitável igual a 5 pontos	2
1.4) = 10	2		2
1.5) = 25	1		2
2.1) = 10	0	0	2
2.2) = 10	0	0	2
2.3) = 8.5	0	0	2
3.1) = 10	0	0	2
3.2) = 2	0	0	2
3.3) = 9	0	0	2
3.4) = 10	0	0	2
3.5) = 30	1	1	2
3.6) = 40	0	0	2
3.7) = 2	0	0	2
3.8) = 30	1	1	2
4.1) = 2	0	0	2
4.2) = 4	1	1	2
5.1) = 2	0	0	2
5.2) = 10	0	0	2
5.3) = 2	0	0	2
5.4) = 4	1	1	2
6.1) = 5	1	1	2
6.2) = 5	1	1	2
6.3) = 5	1	1	2
7.1) = 1	0	0	2
7.2) = 3	1	1	2
7.3) = 3	1	1	2
TOTAL	15	16	56

Na simulação todas as pontuações mínimas aceitáveis foram alcançadas, exceto a pontuação referente à variável (1.1)- Custo. A pontuação total obtida com a aplicação dos valores de entrada no sistema foi de 15 pontos, o que classifica a desconstrução no mínimo como inviável, pois está abaixo de 16 e não atende a todas as pontuações

mínimas. Comparando esse resultado com o resultado máximo possível do sistema (56 pontos), tem-se um alcance de aproximadamente 26,78% do total de pontos oferecidos.

Esse resultado foi muito próximo do limite entre a avaliação qualitativa da desconstrução como inviável (de 0 a 0,25) e viável ($>0,25$ e $< 0,65$). Considera-se o resultado satisfatório, embora esteja acima de 0,25. Pelas regras do sistema de análise por pontos a desconstrução seria considerada inviável ainda que o valor fosse mais alto, pois não atende à pontuação mínima aceitável.

9.5.2. Sistema de análise baseado em modelos de conjuntos difusos

Os valores de entrada, o resultado de saída de cada modelo e o resultado da saída final do potencial de desconstrução para a simulação com valores de entrada próximos aos aceitáveis e um valor acima do aceitável para a variável determinante 1.1) Custo aplicados ao sistema de modelos de conjuntos difusos e método de *defuzzificação* do centro de gravidade estão apresentados na figura 9.10.

Observa-se pelos resultados apresentados na figura 9.10 que o valor da variável do potencial de desconstrução da edificação foi de 0,413, valor bem acima do esperado. Na análise qualitativa a desconstrução seria considerada viável.

Os mesmos valores de entrada foram aplicados ao sistema de modelos de conjuntos difusos e método de *defuzzificação* média dos máximos. O resultado de saída de cada modelo e o resultado da saída final do potencial de desconstrução estão apresentados na figura 9.11.

Observa-se pelos resultados apresentados na figura 9.11 que o valor da variável do potencial de desconstrução da edificação foi de 0,01, valor muito baixo, mas satisfatório. Na análise qualitativa a desconstrução é considerada inviável.

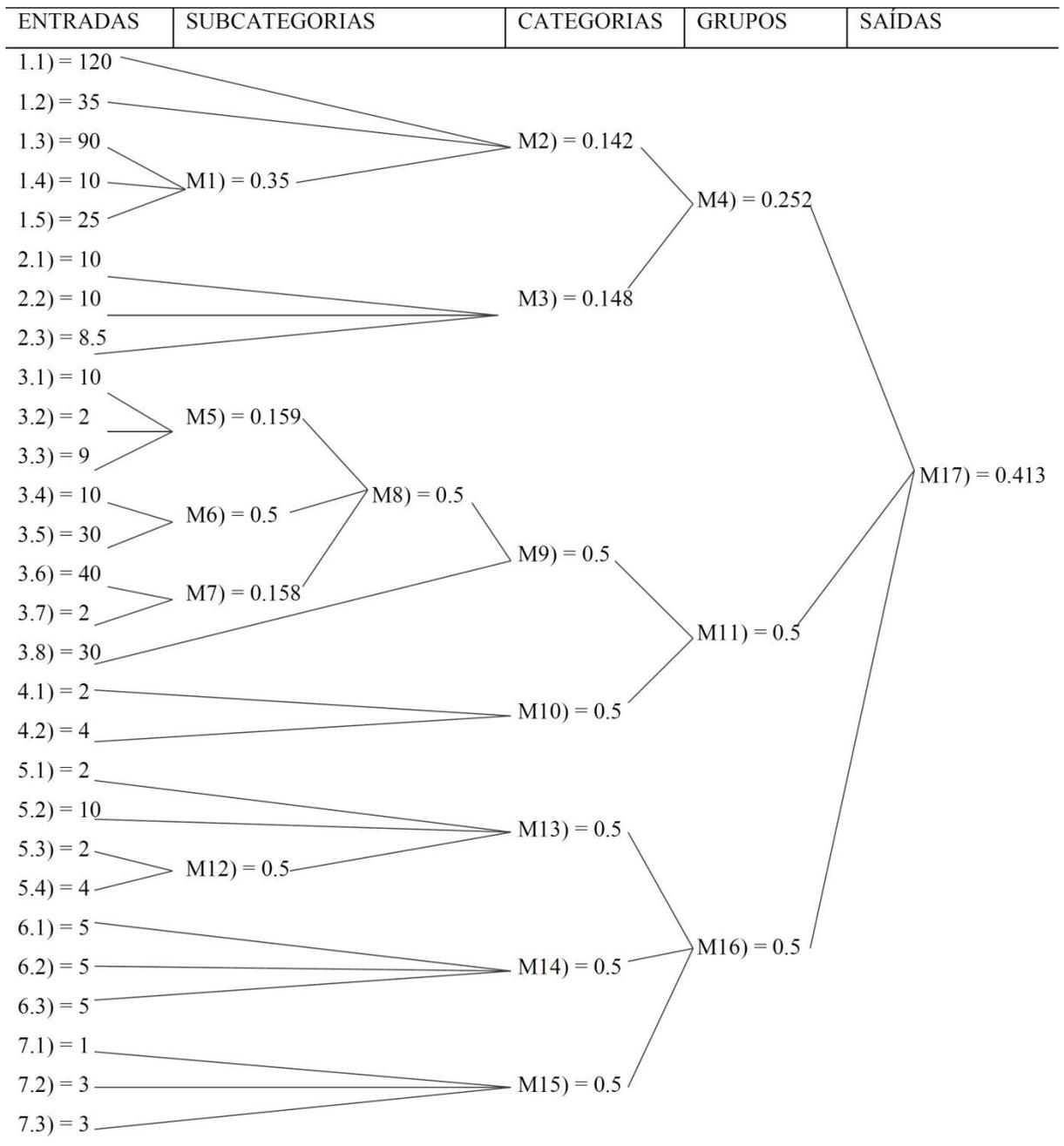


Figura 9.10: Resultados do sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e defuzzificação centróide para o valor de entrada acima do aceitável na variável determinante (1.1)- Custo.

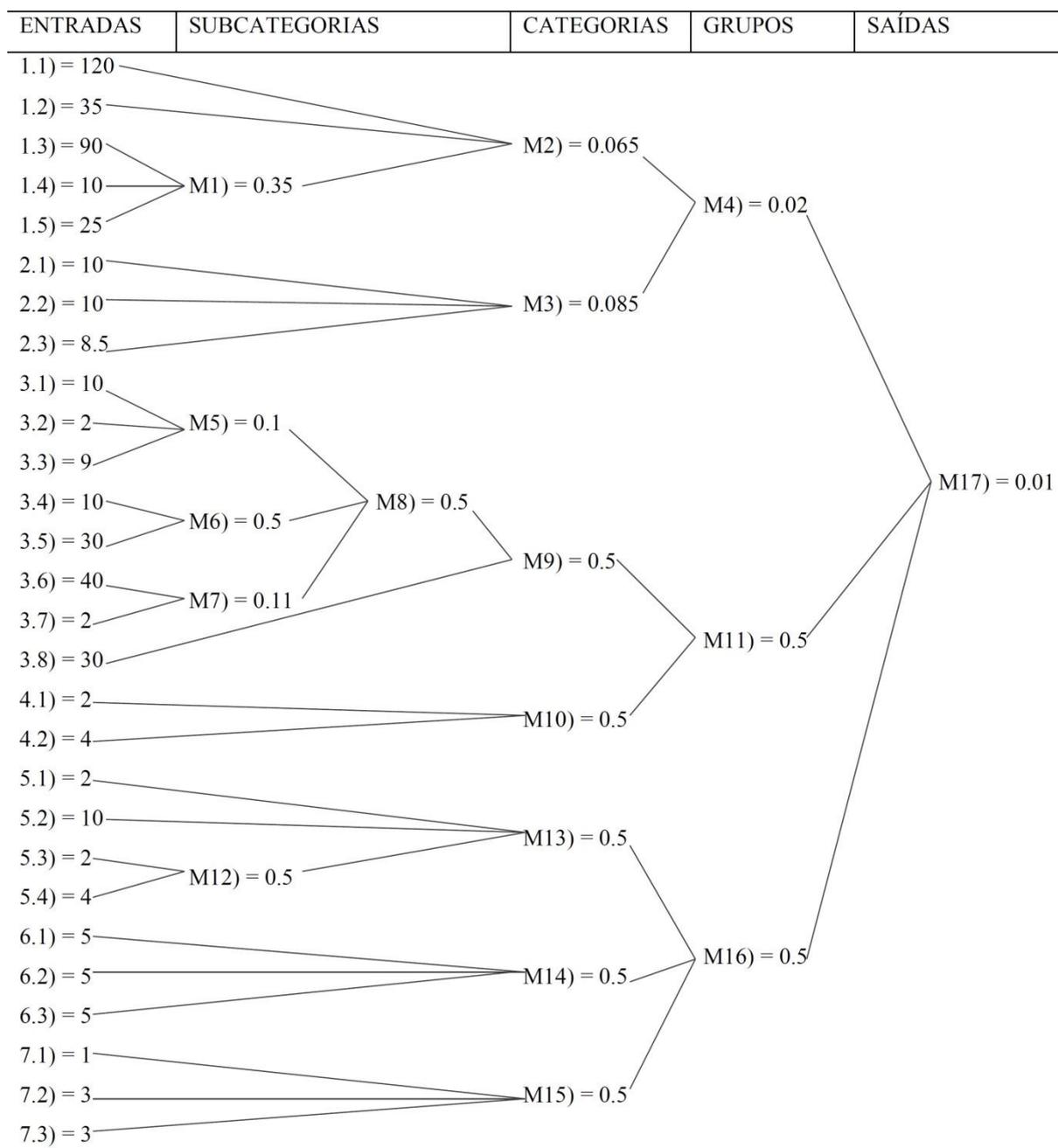


Figura 9.11: Resultados do sistema de análise com modelos de conjuntos difusos e *defuzzificação* média dos máximos para o valor de entrada acima do aceitável na variável determinante (1.1)-Custo.

9.5.3. Comparação dos resultados nos Sistemas de análise para um valor acima do aceitável de uma variável determinante

Apresenta-se no Quadro 9.6 uma comparação entre os resultados obtidos pela aplicação nos sistemas de análise desenvolvidos de dados de entrada mínimos aceitáveis e um valor acima do aceitável para a variável determinante (1.1)- Custo.

Quadro 9.6. Comparação dos resultados de potencial de desconstrução com valores mínimos aceitáveis e um valor acima do aceitável para a variável (1.1) Custo

SISTEMA DE ANÁLISE	ANÁLISE QUALITATIVA	ANÁLISE QUANTITATIVA	DIFERENÇA QUANTITATIVA DO VALOR ESPERADO
Valor esperado	Inviável	Abaixo de 0,25	-
Sistema de simplificado de pontuação	Inviável	0,2678	+ 0,0179
Sistema de modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> centróide	Viável	0,413	+ 0,164
Sistema de modelos de conjuntos difusos e <i>defuzzificação</i> mom.	Inviável	0,01	- 0,24

9.6. Considerações sobre os resultados

Comparando-se os resultados esperados com os resultados das simulações nos sistemas de análise pôde-se perceber que o Sistema simplificado de pontuação apresentou resultados bem próximos do esperado para as análises qualitativas e quantitativas.

Nas análises utilizando sistemas de modelos de conjuntos difusos os resultados não foram satisfatórios com *defuzzificação* centróide, apresentando avaliações qualitativas e quantitativas distantes dos resultados esperados. Isso ocorreu devido à combinação de dois fatores: 1) utilização do método de *defuzzificação* centróide, que utiliza a média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy* após a aplicação das regras de inferência e 2) efeito cascata do método, em que o resultado de um modelo serve de entrada para outro modelo, potencializando os resultados distintos em cada sequência de modelo utilizado.

As análises utilizando sistemas de modelos de conjuntos difusos com *defuzzificação* média dos máximos apresentaram resultados mais satisfatórios, embora ainda necessite de mais estudos para gerar valores mais próximos do esperado.

10. CONCLUSÕES

O sistema de análise baseado em pontuações mostrou-se um sistema simplificado e eficiente. Seus resultados foram compatíveis com o esperado. A Lógica *Fuzzy* mostrou ser uma ferramenta de inteligência computacional factível de ser utilizada nesse contexto e capaz de simular, em certo grau, a classificação da desconstrução próxima de uma classificação a partir de decisão humana, mesmo utilizando parâmetros quantitativos e qualitativos. O sistema baseado em conjuntos difusos mostrou melhores resultados para avaliação com *defuzzificação* média dos máximos. Os resultados do sistema baseado em conjuntos difusos com *defuzzificação* centróide foram diferentes do almejado. Portanto, para utilização do sistema baseado em conjuntos difusos recomenda-se utilização da *defuzzificação* média dos máximos.

Um refinamento das regras *fuzzy* ainda se faz necessário para que o sistema de análise com modelos de conjuntos difusos gere valores mais próximos do esperado. Poderiam ser realizados testes com modelos que utilizam outros métodos de *defuzzificação* ou ainda utilizando métodos mistos de *defuzzificação* numa mesma análise. Esse refinamento seria mais eficiente se existissem mais estudos de caso detalhados e disponíveis para a comparação de resultados e modificação das regras *fuzzy* com base no conhecimento de especialistas.

Considerando o objetivo principal deste trabalho, avalia-se que o desenvolvimento do sistema de análise de conjuntos difusos foi satisfatório para uma pesquisa inicial sobre o potencial de desconstrução e os resultados com a *defuzzificação* média dos máximos apresentou-se compatível com os resultados obtidos na entrevista.

O Sistema simplificado de pontuação pode ser utilizado como ferramenta de avaliação mais fácil e rápida, como um *checklist*, e para a verificação dos modelos de conjuntos difusos por especialistas.

Concluiu-se que ambos os métodos podem ser usados como ferramenta na fase de projeto, onde quantidade de material a ser utilizada é aproximada e as principais decisões de projeto ainda estão sendo feitas. Dessa forma, as decisões que afetam a desconstrução podem ser otimizadas de forma a aumentar o potencial de desconstrução dos componentes em aço. Com relação à simulação do potencial de desconstrução de edificações já existentes os sistemas de análise também podem contribuir para avaliar o

planejamento e a logística do processo e orientar na tomada de decisões quanto à viabilidade de desconstrução.

10.1. Sugestões para trabalhos futuros

Apesar dos resultados positivos obtidos nas simulações com os sistemas de análise desenvolvidos, são diversos os desafios futuros necessários para seu aprimoramento. Para aprimoramento do sistema de análise com conjuntos difusos sugerem-se:

- refinamento das regras *fuzzy*, baseadas em outros estudos de caso e opiniões de mais especialistas;
- alteração do modelo cascata apresentado neste trabalho;
- simulação dos resultados com outros métodos de *defuzzificação*, utilizando inclusive *defuzzificações* mistas para uma mesma análise (seleção de métodos de *defuzzificação* apropriados para cada um dos 17 modelos e verificação de resultados).

Esses testes seriam mais eficientes com a simulação de outros estudos de caso reais e comparação com a opinião de especialistas.

Por se tratar de uma área de conhecimento ainda em desenvolvimento e por apresentar muitas variáveis de entrada com padrões subjetivos e dinâmicos, acredita-se que os sistemas de análise desenvolvidos precisam ser aprimorados conforme apareçam novos estudos acadêmicos e oportunidades de estudos de caso com desconstruções reais. À medida que a desconstrução tornar-se mais popular, especialistas na área de desconstrução vão surgir, podendo contribuir para solidificar o conhecimento sobre as características consideradas importantes no processo e os princípios de PpD.

A partir de uma análise crítica dos resultados de novos estudos de caso podem-se propor alterações nos sistemas de análises, acrescentando ou retirando variáveis de entrada. Com base em futuras pesquisas e novas simulações podem-se propor modificações nos limites de pontuação, no caso do uso do sistema de pontos equivalentes, ou alterações e aperfeiçoamento das funções de pertinência das variáveis de entrada no uso do sistema de análise com lógica *fuzzy*.

Sugere-se para pesquisas que desejam continuar este trabalho a utilização de dados de entrada de novos estudos de caso de desconstruções a serem realizadas para

validação dos sistemas. Nesse caso, se possível, os processos de desconstrução devem ser acompanhados e os dados de entrada devem ser quantificados de forma mais precisa. A partir da obtenção dos dados de entrada podem-se testar os sistemas de análise comparando os resultados obtidos com os resultados reais da desconstrução, como foi realizado nesta tese.

Quando os processos de desconstrução tornarem-se mais frequentes e suas etapas forem acompanhadas, obtendo-se dados quantitativos mais precisos, podem surgir novos caminhos para uma análise mais eficiente. Uma nova base de conhecimento pode ser criada baseada na opinião de especialistas na área de desconstrução. A partir da aplicação de questionários e da determinação da frequência de opinião dos especialistas as funções de pertinência podem ser desenvolvidas transformando-se variáveis linguísticas e qualitativas em dados numéricos. Para isso, seguindo-se a metodologia sugerida por Cunha (2007), bastam de 15 a 20 opiniões de especialistas.

A partir dos estudos de novos estudos de caso podem ser revelados conhecimentos intrínsecos que podem recalibrar as regras do sistema *fuzzy* e contribuir para o desenvolvimento de sistemas híbridos com a combinação das técnicas de redes neurais e lógica *fuzzy*.

Também pode ser desenvolvida uma catalogação dos tipos de fechamentos verticais externos e dos fechamentos horizontais e de suas possibilidades de interface com a estrutura em aço. Por meio de estudos de caso de desconstrução pode-se conseguir estimar os valores de entrada para as variáveis relativas aos danos no processo e separação de outros níveis de materiais entre a estrutura e os fechamentos com que têm interface. As variáveis relativas às ligações também podem ser estimadas e catalogadas por meio de estudos de caso.

As opções de materiais a serem utilizados em projetos para desconstrução devem ser exploradas extensivamente, principalmente em se tratando de estruturas e fechamentos externos de edificações. Estudos de caso com diversas opções de materiais podem ser desenvolvidos adaptando-se os sistemas de análise propostos.

Além dessas opções de trabalhos futuros, duas ferramentas podem ser exploradas a fim de apoiar os processos de decisão e planejamento da desconstrução: a ferramenta BIM (*Building Information Modeling*) e o *software* Visual PROMETHEE.

A ferramenta BIM pode ser utilizada em conjunto com ferramentas tridimensionais (*Scia Engineer, Allplan, Revit, Bentley Architecture, Archicad, VectorWorks, Tekla Structures, Cype, TecnoMETAL*, entre outras) para quantificar melhor os dados de entrada, mensurar custos e economia de recursos e até mesmo para mensurar o impacto ambiental das edificações. Com a tecnologia BIM, um modelo preciso do edifício é construído digitalmente. Quando concluído, o modelo gerado contém a geometria e os dados relevantes necessários para apoiar as atividades de fabricação, construção e aquisição necessárias para realizar a construção. A partir do momento em que se desenha uma peça arquitetônica, como por exemplo, um pequeno edifício, toda a informação necessária para a sua validação e execução pode ser automaticamente associada a cada um dos elementos construtivos. A ferramenta BIM pode ser utilizada para demonstrar todo o ciclo de vida da construção, incluindo os processos construtivos, fases de instalação e até mesmo o processo de desmontagem ao fim do ciclo de vida útil. Como a ferramenta permite simular virtualmente a construção de uma edificação e, com isso, torna-se possível a previsão de conflitos e problemas, pode-se também simular a sua desconstrução.

O *software* Visual PROMETHEE (2013) é uma ferramenta de apoio à decisão multicritério, podendo ser utilizado para: avaliar várias decisões possíveis ou itens de acordo com vários critérios, muitas vezes conflitantes; identificar a melhor decisão possível; visualizar as melhores decisões do melhor para o pior; justificar ou invalidar decisões com base em elementos objetivos, etc. Esse software pode auxiliar no processo de decisão projetual, principalmente na seleção dos materiais ideais do ponto de vista da desconstrução, pois permite a comparação das características relevantes de cada material. Essa comparação se baseia no conjunto de informações fornecidas e na especificação de critérios considerados importantes na avaliação, podendo ser dados pesos diferentes a critérios mais importantes.

10.2. Considerações finais

A recuperação de produtos obsoletos é um aspecto crucial para a minimização de resíduos. A crescente consciência ambiental e o desenvolvimento de novas estratégias de fabricação e de minimização de resíduos contribuíram para o desenvolvimento de produtos que permitem a desmontagem no seu fim de vida.

No entanto, geralmente os produtos não são concebidos para terem seus materiais e componentes recuperados. Para modificar esse cenário é necessária uma mudança no processo de projeto e concepção dos produtos.

Exemplos de implementação dessa mudança vêm das indústrias eletrônica e automobilística, que passaram a incorporar princípios para a desmontagem futura dos produtos a fim de permitir que os materiais e componentes sejam recuperados e reutilizados. Tal abordagem agrega valores econômicos e ambientais nos produtos recuperados.

Na construção civil princípios para a viabilidade de desconstrução futura raramente são aplicados como uma estratégia de sustentabilidade. Os edifícios, produtos da construção civil, geralmente são concebidos e construídos levando-se em consideração aspectos como o tempo e a redução de custos, sem preocupações com o reaproveitamento e a destinação de materiais e componentes no fim da vida útil.

Todavia, atualmente, a grande quantidade de resíduos gerados pela demolição de edificações vem sendo objeto de preocupação por aumentar os impactos ambientais do setor da construção civil. As obras que implicam demolições de edifícios ou partes de edifícios serão cada vez mais frequentes, em virtude da necessidade de adaptação e melhoramento do ambiente construído, tendo em conta os novos padrões de exigência de qualidade e conforto. Como alternativa mais sustentável, os processos de demolição tradicionais estão sendo substituídos gradualmente pelo dismantelamento parcial ou pelas atividades de desconstrução.

A viabilidade econômica e ambiental da desconstrução depende, dentre outros fatores, de uma mudança na maneira como os edifícios são concebidos, construídos e conservados. Para facilitar e viabilizar a desconstrução alguns princípios de PpD devem ser incorporados durante o processo de projeto e a fase de construção. A inclusão dos princípios de desconstrução durante as fases de planejamento e de construção de edifícios exige esforços de todos os envolvidos no processo, principalmente de arquitetos e engenheiros, que devem conceber o edifício como um sistema flexível. Por isso, vários países já iniciaram discussões sobre como projetar de modo a facilitar a desconstrução futura de edificações.

Os resultados esperados para os próximos anos são uma aceleração no ritmo de reutilização de componentes na construção civil e uma mudança de concepção do

projeto para a desmontagem, consequências do novo paradigma da sustentabilidade incorporado na construção civil. Portanto considera-se imprescindível o início de discussões sobre o tema no Brasil.

Modelos de cálculos do potencial de reciclagem de edificações já foram elaborados e podem ser utilizados para previsão de quantitativos de energia incorporada e emissões de CO₂ salvas com o reuso de materiais. Apesar de não existir uma base nacional de dados confiáveis relativos à energia incorporada de materiais de construção comuns no país, a aplicação desses modelos torna-se uma forte ferramenta para justificar a desconstrução.

Para o Brasil, onde as discussões sobre desconstrução ainda são incipientes, ponderou-se ser mais útil o desenvolvimento de um sistema de avaliação do potencial de desconstrução que também sirva para orientar os profissionais durante a concepção projetual, possibilitando a otimização da desconstrução de acordo com o atendimento a parâmetros considerados mais relevantes no processo.

Em razão do aumento dos índices de construções em aço no país e dessas construções poderem apresentar alto potencial de reutilização no futuro pela facilidade de incorporação dos princípios de PpD, propôs-se o desenvolvimento de um sistema de análise para avaliar o potencial de desconstrução de sistemas estruturais em aço de edificações.

A partir da análise dos princípios de PpD, estabeleceram-se as características a serem avaliadas nos sistemas de análise e quais aspectos de PpD foram considerados capazes de inviabilizar a desconstrução caso não fossem atendidos. Com base no estudo de pesquisas de avaliação de edificações selecionaram-se dois sistemas de análise: um sistema simplificado baseado em pontuações por atendimento às variáveis estabelecidas e um sistema baseado em conjuntos difusos com *defuzzificação* centróide e média dos máximos.

Espera-se que este trabalho e os sistemas de análise da desconstrução desenvolvidos estimulem discussões sobre o tema e aumentem a conscientização sobre os benefícios da adoção do PpD.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL- ABDI. **Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil**. 2009. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasi_21.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2014.
- AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.
- AGUIAR, Hime; JÚNIOR, Oliveira (Coords.) **Inteligência Computacional aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab®**. São Paulo: Thomson, 2007.
- AMENDOLA, Mariângela; SOUZA, Anderson Luiz de; BARROS, Laécio Carvalho. **Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5**. São Paulo: FEAGRI & IMECC/ UNICAMP, 2005. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual_fuzzy_matlab.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2014.
- AMOÊDA, Rogério Paulo da Costa. **Design for Deconstruction: Emergy Approach to Evaluate Deconstruction Effectiveness**. 2009. 304 f. Tese (Doutorado em Arquitectura) - Escola de Arquitectura. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2009.
- AMOÊDA, Rogério Paulo da Costa. Modelo de avaliação do potencial de desconstrução efectivo de um edifício na fase de concepção. In: 9th Conferência Nacional do Ambiente, 2007, Aveiro. **Anais...** Aveiro: Universidade de Aveiro, Portugal, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA- ABCEM. **Execução de Estruturas de Aço Práticas recomendadas**. 2010. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/publicacoes-execucao-de-estruturas-de-aco.php>>. Acesso em: 08 jun. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação Modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5682**: Contratação, execução e supervisão de demolições - procedimentos. Rio de Janeiro, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5731**: Coordenação modular da construção: terminologia. Rio de Janeiro, 1982.
- AUSTRALIAN STANDARD /NEW ZEALAND STANDARD. **AS/NZS 4360: 2004** – Risk Management. Sidney, 2004.
- BARROS, Laécio Carvalho de; BASSANEZI, Rodney Carlos. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: UNICAMP /IMECC, 2010.
- BEAMCLAMP. **An Engineered Steel Clamping System**. Disponível em: <<http://www.beamclamp.com/>>. Acesso em: 9 jan. 2014.

BOAKE, Terri Meyer. **The 3 rs of steel design: reduce, reuse, recycle**. ADVANTAGE Steel special Issue: Sustainability And steel A compilation of articles from our archives. 2008 published by the Canadian Institute of Steel Construction (CISC). Disponível em: <www.cisc-icca.ca>. Acesso em: 12 jan. 2010.

BOULANGER Sylvie; MACKINNON David. **Recovery strategies to bypass the grave**. ADVANTAGE Steel special Issue: Sustainability And steel A compilation of articles from our archives. 2008 published by the Canadian Institute of Steel Construction (CISC). Disponível em: <www.cisc-icca.ca>. Acesso em: 12 jan. 2010.

BRAGA, Henrique Costa; MOITA, Gray Farias; CAMARGO, Fausto; ALMEIDA, Paulo Eduardo Maciel de. Simulação da movimentação de pessoas em situações de emergência: aspectos ergonômicos e computacionais com autômatos *Fuzzy* e sua aplicação ao projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 61-77, abr./jun. 2014.

BRAND, Stewart. **How Buildings Learn**. London: Phoenix Illustrated, 1994.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº. 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, de 30 de Agosto de 2002, seção I, p. 17.241.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº. 348**, de 16 de Agosto de 2004. Diário Oficial da União, de 17 de Agosto de 2004, seção I, nº. 158.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego - SIT – DSST. Anexo "Acesso por Corda" da NR-35 (COMENTADO)-Manual de Auxílio na Interpretação e Aplicação do Anexo "Acesso por Corda" da Norma Regulamentadora n.º 35. Brasília – DF. 2014^a. Disponível em:< <http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-35.htm>> Acesso em: 02 jun. 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. **NR 6 – Equipamento de Proteção Individual – EPI**. 2014b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. **NR 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. 2014c.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. **NR35 - Trabalho em Altura**. 2014d.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. **NR18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. 2013.

BRITISH CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION- BCSA. **Code of practice for erection of multi-storey buildings**. No 42/06. Londres: BCSA Publication 2006.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our Common future**: The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press. 398 p. 1987.

CIB World Building Congress. Publication 252 -Task Group 39: Overview of Deconstruction in Selected Countries, 2000, Watford, Inglaterra. **Proceedings...** Watford: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2000.

CIB World Building Congress. Publication 266 -Task Group 39: Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy, 2001, Wellington, New Zealand. **Proceedings...** Wellington: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2001.

CIB World Building Congress. Publication 272 -Task Group 39: Design for Deconstruction and Materials Reuse, 2002, Karlsruhe, Germany. **Proceedings...** Karlsruhe: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2002.

CIB World Building Congress. Publication 287 -Task Group 39: Deconstruction and Materials Reuse, 2003, Gainesville, Flórida. **Proceedings...** Gainesville: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2003.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS - CREA/MG. **Sustentabilidade e Eficiência Energética no Ambiente Construído**. Belo Horizonte, 2009.

CONXTECH. **ConX System**. Disponível em: <<http://www.conxtech.com/>>. Acesso em: 9 jan. 2014.

COOPER, Dan. **Novel joining techniques to promote deconstruction of buildings**. WellMet2050: Low Carbon and Materials Processing, 2010. Department of Engineering. University of Cambridge. 2010. Disponível em: <<http://www.lcmp.eng.cam.ac.uk/wp-content/uploads/W7-Novel-joining-techniques.pdf>> Acesso em: 19 fev. 2013.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos- conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

Corus Construction & Industrial. **Sustainable steel construction-** The design and construction of sustainable buildings. UK 05/2006. Disponível em: <www.corusconstruction.com>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CORUS. **Steel the safe solution**. Tata Steel Group, 2004. Disponível em: <http://www.tatasteelconstruction.com/en/reference/publications/health_and_safety/> Acesso em: 15 fev. 2011.

COUTO, Armanda Bastos; COUTO, João Pedro; TEIXEIRA, José Cardoso. Desconstrução – uma ferramenta para sustentabilidade da construção. In: NUTAU 2006: Inovações tecnológicas e Sustentabilidade, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2006. (CDROM).

CROWTHER, Philip. **Design for Disassembly - Themes and Principles**. BDP Environment Design Guide 2005.

CUNHA, Rodrigo de Magalhães. Avaliação de Riscos na Emissão de Propostas Comerciais Usando Lógica Fuzzy. In: AGUIAR, Hime; JÚNIOR, Oliveira (Coords.). **Inteligência Computacional aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab®**. São Paulo: Thomson, 2007. p. 265-280.

DEGANI, Clarisse Menezes; CARDOSO, Francisco Ferreira. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. In: NUTAU Sustentabilidade, Arquitetura, Desenho Urbano, 2002. **Anais...** São Paulo: NUTAU, 2002.

DORSTHORST, B. J. H.; KOWALCZYK, T. Re-use of apartment buildings: a case study. In CIB Publication 266. **Proceedings...** Wellington, New Zealand: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2001.

DOWLING P. J. et al. **Constructional Steel Design**: World developments. Acapulco, Mexico, December 1992.

DURMISEVIC, Elma. **Green design and assembly of buildings**. Disponível em: <http://www.bot.yildiz.edu.tr/ids09/_data/_presentations/Elma%20Durmisevic%20-%20Green%20design%20and%20assembly%20of%20buildings.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2014a.

DURMISEVIC, Elma. **MASTER TRACK ABCDE. GREEN DESIGN**. Disponível em: <http://www.utwente.nl/ide/education/architectural_building_components/2013_ABCDE.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2014b.

DURMISEVIC, Elma. **Transformable building structures, Design for Disassembly as a way to introduce sustainable engineering to a building design and construction.** Delft, Holanda: Cedris M&CC, 2006. 305 f. Thesis. Technische Universiteit Delft, Delft, 2006. ISBN-10: 909020341-9

DURMISEVIC, Elma; NOORT, Nico. Reuse potential of steel in building construction. In: CIB Publication 287. **Proceedings...** Gainesville, Florida: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2003.

EDMONDS, Jordan; GORGOLEWSKI, Mark. **Steel Component Design for Deconstruction.** Steel-Reuse Information Paper No.2. Department of Architectural Science, Ryerson University. 2006. Disponível em: <www.reuse-steel.org>. Acesso em: 12 jan. 2010.

FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2008.

FREITAS, Marcelo Luiz Gonçalves de; CARVALHO FILHO, Arnaldo Cardim de; BRAYNER, Fátima Maria Miranda. A desconstrução como fator de sustentabilidade na indústria da construção civil. In: III ENCONTRO LATINO AMERICANO E V ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS - ELECS e ENECS, 3., 5., 2009, Recife. **Anais...** Recife, 2009.

GLYNN, Ruairi. **Fun Palace – Cedric Price.** 2005. Disponível em: <<http://www.interactivearchitecture.org/fun-palace-cedric-price.html>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

GONÇALVES, Camila et al. Centro Olímpico é projeto em cidade histórica. **#tecer. reportagem e entrevista | UFOP**, Ouro Preto, 21 nov. 2013. Disponível em: <<http://www.jornalismo.ufop.br/tecer/?p=3324>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

GORGOLEWSKI, Mark. et al. **Facilitating greater reuse and recycling of structural steel in the construction and demolition process.** Final Report. Canada Institute of Steel Construction and Department of architectural science, Faculty of Engineering and applied science, Ryerson University, 2006.

GPA&A. Gustavo Penna Arquiteto e Associados: **Requalificação urbanística e arquitetônica de Mariana.** Disponível em: <http://www.gustavopenna.com.br/projetos/exibir/requalificacao_urbanistica_e_arquitetonica_d_e_mariana/20>. Acesso em: 08 jun. 2014.

GUY, Bradley; OHLSEN, Michael. Creating business opportunities through the use of a deconstruction feasibility tool. CIB Publication 287. **Proceedings...** Gainesville, Florida: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2003.

HOEKMAN, R.W.J.; BLOK, R.; HERWIJNEN, F. van. A Neurofuzzy Knowledge Model for the Quantification of Structural Flexibility. In: CONFERENCE ON LIFECYCLE DESIGN OF BUILDINGS, SYSTEMS AND MATERIALS, CIB W115 construction materials stewardship. Enschede, The Netherlands. **Proceedings...**p. 66-71. Enschede, the Netherlands: CIB2009.

HURLEY, James et al. Design for Deconstruction- Tools and Practices. In: CIB Publication 272. **Proceedings...** Karlsruhe, Germany: International Council for Research and Innovation in Building Construction, p. 2002.

IANNINI, Artur Vítor. **Mariana: o "elefante verde"! - the "green elephant"!**. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/arturiannini/sets>>. Acesso em: 08 jun. 2014.

IGREJAS DE madeira construídas há séculos resistem ao tempo no Chile. **Globo Repórter**, São Paulo, 06 jun. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/globo-reporter/noticia/2014/06/igrejas-de-madeira-construidas-ha-seculos-resistem-ao-tempo-no-chile.html>>. Acesso em: 07 jun. 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL – IAB. **Ligações em estruturas metálicas**. Volume 1 / Instituto Aço Brasil, Alexandre Luiz Vasconcellos (rev.). - Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil /CBCA, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA- IBS. **Ligações em estruturas metálicas**. Manual da série "Manual de Construção em Aço". 3. Ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

ISO/IEC - INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION/ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **ISO/ IEC 31010:2009** - Risk management - Risk assessment techniques. London: 2009.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (livre docência em Engenharia Civil)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, Vanderley Moacyr; PRADO, Racine Tadeu Araújo. **Selo casa azul - Boas práticas para habitação mais sustentável**. 1. ed. São Paulo: Paginas & Letras, 2010.

JOHN, Vanderley Moacyr; OLIVEIRA, Daniel Pinho de; LIMA, José Antônio Ribeiro de. **Levantamento do estado da arte**: Seleção de materiais. 2007. Projeto Finep Tecnologias para a Construção Habitacional mais Sustentável. Disponível em: <<http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 29 jan. 2010.

JOHN, Vanderley Moacyr; SILVA, Vanessa Gomes da; AGOPYAN, Vahan. Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2001, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2001.

KIBERT, Charles J. Deconstruction: the start of a sustainable materials strategy for the built environment. **UNEP Industry and Environment**, 26, p. 84-88, 2003.

KIBERT, Charles J. Deconstruction's role in an ecology of construction. In: CIB Publication 272. **Proceedings...** Karlsruhe, Germany: International Council for Research and Innovation in Building Construction, p. 2002.

KIBERT, Charles J; CHINI Abdol R. Introduction: deconstruction as an essential component of sustainable construction. In: CIB Publication 252. **Proceedings...** Flórida, EIA: International Council for Research and Innovation in Building Construction, p. 2000.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito? **Proposta**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 71, p. 1-5, 1997.

LINDAPTER. **Type GC Girder Clamp**. Disponível em: <http://www.lindapter.com/Products/Steelwork_Fixings/1/Type_GC_Girder_Clamp>. Acesso em: 9 jan. 2014.

MACHADO, Roberta Carvalho; TIBIRIÇÁ, Antônio Cleber Gonçalves; SENSATO, Guilherme. Considerações no projeto de estruturas metálicas para construção segura. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CONSTRUÇÕES METÁLICAS-CONSTRUMETAL, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2012.

MANCINI, Luciana Cotta. **Pré-dimensionamento de estruturas metálicas em fase de concepção arquitetônica**. 2003. 240f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

MARGARIDO, Aluizio Fontana. **O uso do aço na arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

MARIANA está pronta para o clássico. **O tempo Online**, Belo Horizonte, 27 set. 2013. Disponível em: <<http://www.otempo.com.br/mariana-est%C3%A1-pronta-para-o-cl%C3%A1ssico-1.719827>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

MARINGONI, Heloisa Martins. **Princípios de arquitetura em aço**: Coletânea do Uso do Aço - Gerdau Açominas, v.4, 2 Ed., 2004.

MARQUES, Flávia Miranda; SALGADO, Mônica. **Padrões de sustentabilidade aplicados ao processo de projeto**. 2007. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. 2007. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-16.pdf>>. Acessado em: 17 jul. 2008.

MARTINS, Tathiane Agra de Lemos. **O Referencial HQE® e o Projeto de Arquitetura**: Diretrizes para sustentabilidade ambiental no contexto do semi-árido alagoano. Reflexões sobre a cidade de Pão de Açúcar – AL. 2010. 194f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MÉLO FILHO, Esdras C.; RABBANI, Emilia Rahnemay Kohlman; BARKOKÉBAS JUNIOR, Béda. Proposta de medidas de proteção coletiva para construção de edificações em estruturas metálicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ENTAC, 2008.

MONTES, Maria Andréa Triana. **Diretrizes para Incorporar Conceitos de Sustentabilidade no Planejamento e Projeto de Arquitetura Residencial Multifamiliar e Comercial em Florianópolis**. 2005. 187f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2005.

MOREIRA, Thiago Drummond Ribeiro Gonçalves. Sistemas Tutores Inteligentes. In: AGUIAR, Hime; JÚNIOR, Oliveira (Coords.). **Inteligência Computacional aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab®**. São Paulo: Thomson, 2007. p. 265-280.

MORGAN, Chris; STEVENSON, Fionn. **Design for Deconstruction - SEDA Guidelines for Scotland**. nº 1. Edinburgh: Scottish Ecological Design Association, 2005. Disponível em: <<http://www.seda.uk.net/assets/files/guides/dfd.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting – Emergy and Environmental Decision Making**. New York: John Wiley & Sons, 1996.

ODUM, H. T. **Handbook of Emergy Evaluation – Folio 2 – Emergy of Global Processes**. Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) (2003). **Environmentally Sustainable Buildings – Challenges and Policies**. Paris: OECD.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**: Coletânea do Uso do Aço - Gerdau Açominas - 4 Ed. 2007.

PANNONI, Fábio Domingos. **Proteção de estruturas metálicas frente ao fogo**. 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Protecao_de_estruturas_metalicas_frente_ao_fogo.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2014.

PARIZOTTO FILHO, Sérgio. **Análise arquitetônica e construtiva de tipos habitacionais edificados com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2004.

PIANO, Renzo. **Renzo Piano Building Workshop- Centre Georges Pompidou**. Disponível em: <<http://www.rpbw.com/>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

PINHO, Mauro Ottoboni. **Transporte e montagem**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2005.

PINTO, Tarcísio de Paula. A nova legislação para resíduos da construção. **TÉCHNE**, São Paulo, n.82, p. 62-64, 2004.

PULASKI, Michael et al. Design for Deconstruction. **Modern steel construction**, June 2004.

RIBEIRO, Luiz Fernando Loureiro. **Acervo fotográfico pessoal da desconstrução do Ginásio Osni Geraldo Gonçalves**. Mariana, 2008. CD-ROM.

RIBEIRO, Luiz Fernando Loureiro. **Desconstrução do Ginásio Osni Geraldo Gonçalves** [jul. 2014]. Entrevistadora: R. C. Machado. Ouro Preto: 2014. Entrevista concedida para coleta de dados da obra.

ROAF, Susan. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Tradução Alexandre Salvaterra. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RODRIGUEZ, Marco Antonio Arancibia; HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann. A Construtibilidade no Processo de Projeto de Edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2003.

SAGHAFLI, Mohammad Djavad; TESHNIZI, Zahra Sadat Hosseini. Recycling value of building materials in building assessment systems. **Energy and Buildings**, v. 43, Issue 11, p. 3181–3188, 2011.

SAMPAIO, José Carlos de Arruda. **Manual de aplicação da NR-18**. Pini: Sinduscon-SP, São Paulo, 1998.

SANTOS, Pedrovaldo Caram. Arquitetura em aço, uma abordagem para elaboração de projetos. Cad. **Revista Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, n.4, p. 191-216, maio 1996.

SEEMANN, A.; SCHULTMANN, F.; RENTZ, O. Cost -effective deconstruction by a combination of dismantling, sorting and recycling processes. In: CIB Publication 272. **Proceedings...** Karlsruhe, Germany: International Council for Research and Innovation in Building Construction, p. 2002.

SERRADOR, Marcos Eduardo. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. 2008. 267f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SILVA, Valdir Pignatta; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Prevenção contra incêndio no Projeto de Arquitetura**. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica**. 2003. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVERSTEIN, Scott A. **Applying Design for Disassembly to connection design in steel structures**. 2009. 30f. Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering – Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2009.

- SSDARCHITECTURE. **Big Dig House**. Disponível em: <<http://www.ssdarchitecture.com/works/residential/big-dig-house/>>. Acesso em: 08 jun. 2014.
- TANSCHIEIT, Ricardo. Sistemas Fuzzy. In: AGUIAR, Hime; JÚNIOR, Oliveira (Coords.). **Inteligência Computacional aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab®**. São Paulo: Thomson, 2007. p. 229-264.
- THORMARK, Catarina. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**, 37, p. 429 – 435, 2002.
- THORMARK, Catarina. Assessing the recycling potential in buildings. In: CIB Publication 266. **Proceedings...** Amsterdam: International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2001b. p. 78-86.
- THORMARK, Catarina. **Recycling Potential and Design for Disassembly in Buildings**. Lund, Suécia: KFS AB, 2001.104 f. Thesis. Lund Institute of Technology, Lund University, Lund, Suécia, 2001a.
- THORMARK, Catarina. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, 41, p. 1019–1026, 2006.
- TINGLEY, Danielle Densley; DAVISON, Buick. Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction. **Building and Environment**, 57, p. 387–395, 2012.
- TOOLE, Michael. **Safety by design**. Apresentação powerpoint. Disponível em: www.designforconstructionsafety.org. Acesso em: setembro, 2011.
- TOOLE, Michael; HERVOL, Nicole; HALLOWELL, Matthew. **Designing Steel for Construction Safety**. North American Steel Construction conference, San Antonio, TX, February, 2006.
- VAN DIJK, K.; BOEDIANTO, P.; KOWALCZYK, A. State of the art deconstruction in The Netherlands. In CIB Publication 252. **Proceedings...** Watford, Inglaterra. International Council for Research and Innovation in Building Construction, 2000.
- VASCONCELOS, Ricardo L. O Custo da Sustentabilidade. **Revista buildings**, São Paulo, ano 2, Ed. 5, 1º trimestre 2009. Disponível em: <<http://www.buildings.com.br/revista/pdf/revista-buildings-o-custo-da-sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2014.
- VERÍSSIMO, Gustavo. **Acervo fotográfico pessoal**. Formato JPEG. Viçosa, 2014.
- VISCOMI, B. Vincent; MICHALERYA, William D.; LU, Le-Wu. Automated construction in the atlss integrated building systems. **Automation in Construction**, Houston, Texas, USA Volume 3, Issue 1, May 1994. Pages 35–43. Disponível em: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/Automated_construction_in_the_ATLSS_integrated_building_systems.PDF>. Acesso em: 07 jan. 2014.
- VISUAL PROMETHEE. **Visual PROMETHEE Manual 1.4**. 2013. Disponível em: <<http://www.promethee-gaia.net/software.html>>. Acesso em: 03 jun. 2014.
- WADEL, Gerardo. **La sostenibilidad en la construcción industrializada la construcción modular ligera aplicada a la vivienda**. 2009, 331f. Thesis. Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Espanha, 2009.
- WEBSTER, Mark D.; COSTELLO, Daniel T. Designing Structural Systems for Deconstruction: How to Extend a New Building's Useful Life and Prevent it from Going to Waste When the End Finally Comes. **Proceedings...** Atlanta: Greenbuild Conference, 2005.

WORKSAFE VICTORIA. **Industry Standard, Safe erection of structural steel for buildings.** Edition No. 1. May 2009. Disponível em: <<http://www.worksafe.vic.gov.au> > Acesso em: 15 fev. 2011.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. **A Avaliação do desempenho ambiental da edificação:** Um instrumento de gestão ambiental - Estudo de caso em indústria farmacêutica. 2004. 22f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. **Integração dos Princípios da Sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura.** 2008. 380f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

APÊNDICE A- PRINCÍPIOS DE PPD

A.1. Princípios de Thormark (2001a)

Segundo Thormark (2001a), orientações relativas à desmontagem e reciclagem podem ser estruturadas em três grupos: A) escolha do material, B) estrutura do elemento de construção e C) escolha de articulações e ligações. Essas orientações são apresentadas de acordo com cada grupo da seguinte forma:

A) Escolha do material

- 1) Escolha de materiais reciclados;
- 2) Escolha de materiais recicláveis;
- 3) Remoção fácil de peças que contenham materiais perigosos;
- 4) Minimização do número de diferentes materiais se restringirem o processo de reciclagem;
- 5) Faça partes inseparáveis do mesmo material ou de material que não restrinja o processo de reciclagem;
- 6) Codifique e marque todos os materiais;

B) Estrutura do elemento de construção

- 7) Reduza o número de peças;
- 8) Projete de forma modular para facilitar o reuso;
- 9) Garanta a estabilidade durante a desmontagem;
- 10) Projete para a manutenção;

C) Escolha de articulações e ligações

- 11) Se duas peças não podem ser reutilizadas em conjunto, torne fácil a separação;
- 12) Projete para permitir a utilização de ferramentas manuais comuns para a desmontagem;
- 13) Evite adesivos a menos que sejam compatíveis com ambas as partes unidas entre si;
- 14) Minimize o número de parafusos e articulações;
- 15) Ligações e articulações devem ser de fácil localização, acesso e remoção;

- 16) Use articulações e fixadores de material compatível com as partes conectadas;
- 17) Atenção extra para as consequências de juntas e parafusos, pois influenciam no reuso;
- 18) Projetos modulares facilitam o reuso;
- 19) Atenção à estabilidade durante a desmontagem

A.2. Princípios de Pulaski et al.(2004)

Pulaski et al.(2004) destacam que para melhorar a eficiência e os benefícios econômicos da desconstrução, devem ser incorporados no projeto elementos que simplificam o esforço de desmontagem e reduzem as horas de trabalho necessárias no processo. Alguns obstáculos são: a segurança e saúde do trabalhador e os riscos envolvidos; local de armazenamento para materiais recuperados e falta de padrões para certos materiais recuperados. O projeto para a desconstrução também deve considerar a remoção rápida de um edifício, o acesso simplificado a componentes e materiais, a recuperação de materiais com alta eficiência de reutilização e reciclagem e a eliminação de materiais de construção tóxicos. Dez princípios relativos à incorporação da construtibilidade em construções são citados e comentados por Pulaski et al. (2004):

- 1) Projetar considerando a pré-montagem, pré-fabricação e construção modular.** Unidades pré-fabricadas facilmente empilháveis, tais como vigas de aço, podem reduzir os custos de transporte e ser benéficas durante a desconstrução se os componentes podem ser desmontados da estrutura em grandes seções, reduzindo o tempo necessário para a desconstrução.
- 2) Simplificar e padronizar os detalhes da ligação.** A simplificação e a padronização das ligações podem facilitar o processo de desconstrução. Por exemplo, as ligações modulares permitem que as estruturas de aço sejam facilmente desmontadas e reutilizadas. Conexões complexas e peculiares aumentam o tempo de instalação e complicam a desconstrução. Menos conexões e consolidação dos tipos e tamanhos de conectores reduzem a necessidade de várias ferramentas durante a desconstrução.
- 3) Simplificar e separar sistemas de construção.** O entrelaçamento de sistemas mecânico, elétrico e hidráulico dentro de paredes, pisos e tetos pode

impedir a separação de componentes construtivos durante a desconstrução. A separação dos sistemas de distribuição (dutos, fios, cabos de comunicação, etc) em paredes não estruturais pode permitir a demolição seletiva destes componentes de baixo valor. Por exemplo, a consolidação de pontos de serviço de encanamento reduz os pontos de entrelaçamento e o comprimento de trechos de tubulação.

4) Considerar a segurança do trabalhador. Reduzir ou eliminar os riscos de segurança e a utilização de materiais potencialmente perigosos e, por meio de estratégias específicas, eliminar ou alterar os elementos de projeto que requerem métodos de construção/desconstrução potencialmente perigosos.

5) Minimizar componentes de construção e materiais e equipamentos necessários. Deve-se projetar para a utilização de uma quantidade mínima de materiais de construção e de equipamentos necessários. Estratégias específicas incluem: redução de paredes divisórias interiores e utilização de elementos estruturais como materiais acabados, como, por exemplo, a exposição do aço estrutural. A redução do número e do tamanho dos componentes de construção reduz os custos, minimiza o consumo de recursos e acelera o processo de desconstrução futuro ou *retrofit*.

6) Selecionar acessórios, fixadores, adesivos e selantes que permitem a rápida desmontagem e facilitem a remoção de materiais reutilizáveis. A reutilização de materiais acabados e componentes de construção depende de suas ligações com outros componentes. Materiais fixados por selantes e adesivos químicos requerem uma atenção especial durante a desconstrução, aumentando o tempo de desmontagem e o custo. Fixadores mecânicos permitem a recuperação de materiais de maneira rápida e limpa, aumentam a reutilização e reduzem a toxicidade e os custos de construção inicial.

7) Projetar para acomodar a logística da desconstrução. O acesso ao local e a remoção dos resíduos são direcionadores de custos durante a desconstrução. Alterações pequenas na concepção do projeto podem melhorar a eficiência na remoção dos resíduos.

8) Reduzir a complexidade do edifício. Edifícios com complexos elementos estruturais são mais difíceis de desconstruir. A redução de sua complexidade

diminui os custos iniciais e aumenta a construtibilidade, também simplificando o processo de desconstrução.

9) Projeto com materiais reutilizáveis. Devem-se selecionar materiais que irão resistir ao tempo e são adaptáveis para usos futuros. Materiais como o piso de madeira, os perfis de aço e tijolos podem ser facilmente reutilizados, reconicionados ou reciclados. Por exemplo, pode-se citar a adaptação de um projeto estrutural para permitir que as estruturas em aço possam ser reutilizadas ou recicladas várias vezes. A produção do aço reciclado requer 75% menos de energia do que a produção do aço virgem.

10) Projetar para a flexibilidade e adaptabilidade. O projeto que permite renovações futuras prolonga a vida útil dos edifícios. O uso de espaços abertos com sistemas modulares de painéis verticais aumenta a flexibilidade e adaptabilidade para a reconfiguração da edificação.

Pulaski et al. (2004) também desenvolveram uma pesquisa com doze profissionais do setor sobre: 1) o momento das decisões de projeto para inclusão de cada princípio de desconstrução estabelecido; 2) quais membros da equipe tinham informações valiosas para a inclusão dos aspectos de desconstrução no projeto. Os resultados da pesquisa estão representados nas matrizes mostradas nas figuras A.1 e A.2, levando às seguintes conclusões: a etapa mais adequada para incorporação de princípios de desconstrução em uma edificação é durante o projeto esquemático; entre os intervenientes do processo de concepção e construção de uma edificação, os arquitetos são os que têm maior capacidade de influenciar o potencial de desconstrução, seguidos pelos engenheiros.

Princípios de Projeto							
	Desenvolvimento do programa	Projeto esquemático	35% do projeto desenvolvido	70% do projeto desenvolvido	100% do projeto desenvolvido	Documentos do projeto desenvolvido	Construção
1- Projeto considerando a pré-montagem, pré-fabricação e construção modular		Alta relevância					
2- Simplifique e padronize os detalhes da ligação			Alta relevância				
3- Simplifique e separe sistemas de construção		Alta relevância					
4- Considere a segurança do trabalhador							Alta relevância
5- Minimize componentes de construção e materiais	Alta relevância	Alta relevância					
6- Selecione acessórios, fixadores, adesivos e selantes que permitem a rápida desmontagem e facilitem a remoção de materiais reutilizáveis.							
7- Projeto para acomodar logística desconstrução							
8- Reduzir a complexidade do edifício	Alta relevância	Alta relevância					
9- Projeto com materiais reutilizáveis			Alta relevância				
10- Projeto para a flexibilidade e adaptabilidade	Alta relevância	Alta relevância					
LEGENDA		Alta relevância		Média relevância			

Figura A.1: Matriz de identificação do momento apropriado para incorporação de cada princípio durante as etapas de projeto e construção.
 Fonte: Traduzido de PULASKI et al., 2004.

Princípios de Projeto							
	Proprietários	Arquitetos	Engenheiros	Empreiteiro Geral	Especialidade/ Subcontra.	Fabricantes	Fornecedores
1- Projeto considerando a pré-montagem, pré-fabricação e construção modular		Alta relevância	Alta relevância		Alta relevância	Alta relevância	
2- Simplifique e padronize os detalhes da ligação		Média relevância	Alta relevância		Alta relevância	Alta relevância	
3- Simplifique e separe sistemas de construção		Alta relevância	Alta relevância				
4- Considere a segurança do trabalhador				Alta relevância			
5- Minimize componentes de construção e materiais		Alta relevância					
6- Selecione acessórios, fixadores, adesivos e selantes que permitem a rápida desmontagem e facilitem a remoção de materiais reutilizáveis.		Média relevância	Alta relevância		Alta relevância	Alta relevância	Alta relevância
7- Projeto para acomodar logística desconstrução		Alta relevância	Alta relevância				
8- Reduzir a complexidade do edifício	Média relevância	Alta relevância					
9- Projeto com materiais reutilizáveis		Alta relevância					
10- Projeto para a flexibilidade e adaptabilidade	Alta relevância	Alta relevância					
LEGENDA		Alta relevância		Média relevância			

Figura A.2: Matriz de identificação dos envolvidos no projeto que têm habilidades para influenciar cada princípio.
 Fonte: Traduzido de PULASKI et al., 2004.

A.3. Princípios de Crowther (2005)

Crowther (2005) cita e explica algumas recomendações e princípios do DfD ou PpD a serem considerados na fase de concepção:

- 1) **Utilizar materiais reciclados e recicláveis.** O aumento da utilização de materiais reciclados incentiva a indústria e o governo a desenvolver novas tecnologias para reciclagem e estimula a criação de grandes redes de apoio e mercados para o futuro da reciclagem.
- 2) **Minimizar o número de diferentes tipos de materiais.** Essa medida simplifica o processo de triagem durante a desmontagem e reduz o transporte para locais de reciclagem diferentes, resultando em maiores quantidades de cada material.
- 3) **Evitar materiais tóxicos e perigosos** a fim de reduzir o potencial de contaminação de materiais que estão sendo classificados para reciclagem e reduzir o potencial de riscos à saúde que poderiam desencorajar a desmontagem.
- 4) **Evitar materiais compostos e utilizar subconjuntos inseparáveis a partir do mesmo material.** Desta forma, grandes quantidades de um material não serão contaminadas por uma pequena quantidade de um material estranho que não pode ser facilmente separado.
- 5) **Evitar acabamentos secundários para materiais.** Alguns revestimentos podem contaminar o material de base e dificultar reciclagem. Onde possível, deve-se utilizar materiais que já possuem acabamento adequado ou acabamentos mecanicamente separáveis. Apesar de alguns acabamentos prolongarem a vida útil do componente, podem causar problemas de desmontagem ou reciclagem.
- 6) **Fornecer identificação uniforme e permanente de tipos de materiais.** Muitos materiais não são facilmente identificáveis, por isso deve ser fornecido com uma marca de identificação não removível para permitir uma classificação futura. Essa identificação prévia poderia fornecer informações sobre: tipo de material, lugar e época de produção ou origem, capacidade estrutural, conteúdo tóxico, etc.
- 7) **Minimizar o número de diferentes tipos de componentes.** Essa medida simplifica o processo de triagem, reduz o número de diferentes procedimentos

para a desmontagem e torna o componente mais atraente para a reutilização pela disponibilidade de um maior número do mesmo componente.

8) **Usar conexões mecânicas em vez das químicas.** Conexões mecânicas geralmente permitem a fácil separação de componentes e materiais, reduzindo a contaminação dos materiais e os danos aos componentes.

9) **Usar um sistema de construção aberta, onde as partes do edifício são mais livremente intercambiáveis e menos rígidas quanto ao uso.** Essa medida permite alterações no *layout* do edifício por meio de mudança do componente, sem modificações significativas.

10) **Usar sistema de modulação.** Essa medida facilita o uso de componentes e materiais que sejam compatíveis com outros sistemas, tanto dimensional quanto funcionalmente. A coordenação modular não apresenta vantagens apenas na montagem, mas também durante a desmontagem, como: padronização do procedimento de desmontagem e um mercado mais amplo para os componentes reutilizados.

11) **Usar ferramentas comuns e tecnologias de construção que são compatíveis com a prática de construção padrão, simples e *low-tech*.** O uso de tecnologias especiais dificultará a realização da desmontagem e será uma opção menos atraente para o usuário. Tecnologias especializadas, materiais e sistemas que têm aplicação limitada hoje, podem não estar prontamente disponíveis no futuro, quando o edifício será desmontado.

12) **Separar a estrutura do revestimento, das paredes internas e dos serviços** para permitir a desmontagem em paralelo, de forma que algumas partes ou sistemas do edifício possam ser removidos sem afetar outras partes.

13) **Proporcionar o acesso a todas as partes do edifício e a todos os componentes.** A facilidade de acesso irá permitir a facilidade de desmontagem. Se possível, o acesso para a desmontagem de dentro do edifício deve ser garantido.

14) **Selecionar componentes e materiais de um tamanho que se adapte aos meios pretendidos de manipulação** para facilitar o manuseio durante a montagem, desmontagem, transporte, transformação e remontagem.

- 15) **Fornecer um meio de manuseio e localização de componentes durante o procedimento de montagem e desmontagem.** A movimentação do material ou componente durante a desmontagem pode exigir pontos para a instalação de equipamentos de elevação, bem como pontos de apoio temporário. A previsão de meios para manusear os componentes muitas vezes não é considerada porque a atual abordagem da indústria da construção é que um componente irá ser montado somente uma vez na construção e não será desmontado.
- 16) **Fornecer tolerâncias realistas para permitir a manobra durante a desmontagem.** O processo de desmontagem repetida pode exigir maior tolerância do que o processo de fabricação e montagem única.
- 17) **Utilizar um número mínimo de ligações** para permitir facilidade e rapidez na desmontagem, de modo que o procedimento não seja complexo ou difícil de compreender. Tal princípio irá ajudar na reparação do componente ou no seu reuso, embora não seja tão relevante para a reciclagem do material.
- 18) **Minimizar a variação dos tipos de elementos de fixação ou conectores** a fim de permitir um processo mais padronizado de montagem e desmontagem sem a necessidade de ferramentas e de operações diferenciadas.
- 19) **Projetar articulações e conectores para suportar o uso repetido** a fim de minimizar o dano irreparável ou distorções em componentes e materiais durante a montagem repetida e os procedimentos de desmontagem.
- 20) **Permitir a desmontagem em paralelo ao invés da desmontagem sequencial**, para que os componentes ou materiais possam ser removidos sem afetar outros componentes ou materiais. Onde não for possível, deixar as peças reutilizáveis ou mais "valiosas" do edifício mais acessíveis, para permitir a recuperação máxima de componentes e materiais que são mais susceptíveis de serem reutilizados.
- 21) **Fornecer a identificação permanente de tipo de componente.** Deve ser fornecido de uma forma coordenada com informações dos materiais e do sistema total da construção, de preferência eletronicamente legível para os padrões internacionais.
- 22) **Utilizar uma grade estrutural.** A dimensão e a orientação da grade devem estar relacionadas com os materiais utilizados de tal forma que vãos estruturais

sejam projetados para tornar mais eficiente o uso do material e permitir a realocação de componentes como revestimento. Também irá resultar em mais componentes do mesmo padrão/tamanho.

23) **Usar componentes pré-fabricados e pré-montados e sistemas de produção em massa** para reduzir o trabalho local e permitir maior controle sobre a qualidade dos componentes e da conformidade. A pré-fabricação destes componentes reduz a quantidade de trabalho necessário no canteiro e, assim, facilita o processo de montagem, e mais tarde, de desmontagem do edifício.

24) **Usar componentes e materiais leves.** Essa medida facilita o manuseio, tornando-o mais fácil e mais rápido e faz da desmontagem e da reutilização uma opção mais atraente. Isso também irá permitir a desmontagem para manutenção regular e substituição de peças.

25) **Identificar permanentemente os pontos de desmontagem** com o objetivo de não confundir com outros elementos projetados e manter o conhecimento sobre os sistemas de componentes do edifício. Assim como indicar os pontos de desmontagem, pode ser necessário **indicar os procedimentos de desmontagem**, por meio de instruções.

26) **Fornecer peças de reposição e local de armazenamento para elas**, especialmente para peças projetadas personalizadas, com o objetivo de substituir eventuais componentes quebrados ou danificados e, quando necessário, realizar pequenas alterações no projeto do edifício. O armazenamento para os componentes de reposição é uma parte integrante da concepção do edifício.

27) **Guardar todas as informações sobre os sistemas de construção do edifício e os procedimentos de montagem e desmontagem.** Devem ser feitos esforços para manter e atualizar informações e projetos de como a edificação foi construída (**projeto as built**), incluindo dados sobre os potenciais de reutilização e reciclagem. A retenção de informações completas sobre todo o edifício reforça o valor potencial de reuso, reaproveitamento ou reciclagem.

A.4. Princípios de Morgan e Stevenson (2005)

Morgan e Stevenson (2005) apresentam uma lista de orientações para o PpD considerando os princípios-chave durante a abordagem do projeto e dando ênfase à importância do desenvolvimento de um Plano de desconstrução detalhado e atualizado.

Os princípios-chave na abordagem do projeto são:

- 1) Prefira estratégias de reuso dos materiais às estratégias de reciclagem;
- 2) Projete para a máxima flexibilidade de configuração espacial em uma estrutura, preservando a construção como um todo;
- 3) Desenvolva um Plano de desconstrução abrangente o quanto antes - caso contrário, os elementos de construção reutilizáveis podem ser destruídos desnecessariamente;
- 4) Garanta tempo extra desde o início do projeto para garantir que estratégias de PpD sejam totalmente incorporadas;
- 5) Conscientize toda equipe do projeto e todo o cliente da ideia de PpD, desde o início do projeto;
- 6) Garanta que instruções iniciais, treinamento para PpD e etapas de auditoria ocorram com empreiteiros e responsáveis pela obra;
- 7) Adicione cuidadosamente todas as alterações aos projetos e especificações de modo que haja um conjunto integrado de desenhos *as built* para fins de manutenção e desconstrução.

Os princípios-chave no plano de desconstrução são:

- 8) Declare as estratégias para PpD, especifique como o edifício foi projetado para a desconstrução. Devem-se demonstrar as estratégias utilizadas associadas aos elementos reutilizáveis projetados e descrever as melhores práticas para garantir que eles serão tratados de uma forma que preservará a reutilização máxima;
- 9) Liste todos os elementos do edifício. Deve-se fornecer um inventário de todos os materiais e componentes utilizados no projeto, juntamente com as especificações completas e as garantias, incluindo detalhes de fabricantes;
- 10) Descreva o ciclo de vida de projeto e/ou o ciclo de vida de serviço dos materiais e componentes;

- 11) Identifique as melhores opções de reutilização, recuperação, reciclagem ou transformação de resíduos em energia para todos os elementos da construção;
- 12) Forneça instruções sobre como desconstruir elementos. Forneça planos atualizados para identificar informações sobre como desconstruir o edifício;
- 13) Adicione informações no conjunto do projeto *as built* para demonstrar a técnica ideal para a remoção de elementos específicos, caso necessário;
- 14) Descreva equipamentos necessários para desmontar o edifício, os processos sequenciais envolvidos e as implicações para a saúde e segurança do trabalho;
- 15) Identifique os melhores meios de categorizar, registrar e armazenar os elementos desmontados no plano, para orientar a desconstrução no futuro;
- 16) Distribua o Plano de PpD atualizado. Revise o plano quando necessário e reenviar para todos os responsáveis na fase de entrega, incluindo o proprietário do edifício, os arquitetos e construtores, para que haja a consciência máxima dos requisitos PpD para o futuro. Devem-se adicionar cópias do Plano de Desconstrução revisado aos atos legais da construção, aos arquivos de Saúde e Segurança e aos arquivos de manutenção.

Os princípios-chave para detalhamento da desconstrução são:

- 17) Projete construções adaptáveis a diferentes padrões de ocupação;
- 18) Idealize os edifícios em camadas (*layers*), de acordo com as expectativas de vida dos materiais e elementos. Separar também os *layers* de isolamento, acabamento e serviços;
- 19) Garanta que todos os componentes possam ser facilmente acessados e removidos para reparo ou substituição. Os elementos devem ser mantidos pequenos o suficiente para a substituição manual fácil, sempre que possível, e a desconstrução. Desgastes em grandes elementos podem criar desperdício excessivo, pois o elemento inteiro tem que ser substituído.
- 20) Adote sistemas de fixação que permitam que todos os componentes possam ser removidos e/ou substituídos com facilidade e segurança. Utilize de meios de fixação simples. Os meios de ligação/conexão devem permitir que os componentes sejam independentes e substituíveis. A geometria das bordas dos componentes e a relação de tipo conexão vão ditar se os componentes podem ou não ser desmontados. As melhores fixações são aquelas duráveis e que ajudam

a preservar a integridade estrutural e o acabamento dos elementos de construção unidos, mesmo durante o processo de desconstrução;

- 21) Utilize apenas componentes duráveis que possam ser reutilizados. Evitar o uso de adesivos, resinas e revestimentos que comprometam a possibilidade de reutilização e reciclagem;
- 22) Permita que as áreas submetidas às intempéries sejam facilmente mantidas ou substituídas;
- 23) Planos e linhas de serviço devem ser facilmente identificáveis e adaptáveis ou mantidos, conforme necessário, sem interrupção de outras partes do edifício;
- 24) A estrutura da edificação deve facilitar a desmontagem. Seções estruturais de grande porte precisam de equipamentos complexos para o desmantelamento no local, mas oferecem a vantagem de maximizar as possibilidades de reuso, especialmente quando padronizadas. Em edifícios residenciais, pode ser preferível ter um número de elementos estruturais menores e padronizados a fim de permitir a fácil desmontagem;
- 25) Considere a segurança durante os trabalhos de desconstrução. O projeto para a desconstrução visa minimizar os riscos envolvidos no desmantelamento dos edifícios. Empreiteiros de demolição preferem desmontar edifícios mecanicamente utilizando equipamentos automatizados que operam remotamente, minimizando os riscos da operação. Sistemas de juntas a seco podem evitar riscos. Para assegurar a segurança da operação, o pré-planejamento é essencial. A adição e manutenção de informações sobre a edificação ao longo da sua vida útil, como reformas, substituições e alterações executadas, é potencialmente uma ferramenta inestimável para fins de desconstrução, podendo minimizar os riscos da desconstrução por meio do esclarecimento da natureza exata de qualquer montagem ou produto em um determinado momento.

A.5. Princípios de Webster e Costello (2005)

Webster e Costello (2005) revisaram conceitos gerais de DfD e posteriormente aplicaram esses conceitos para os materiais e sistemas estruturais mais comuns, incluindo aço, concreto, madeira e estruturas de alvenaria. Os autores, um engenheiro

de estruturas e um profissional desmontador de edifícios, apresentaram uma lista de estratégias gerais que podem ser aplicadas nos projetos de construções para melhorar o potencial de desmontagem.

Um dos autores deste artigo é um experiente desmontador de construções. Em sua prática, ele descobriu que certos tipos de construções, montagens e materiais podem facilitar as operações de reutilização de materiais e desmontagem, pois certas características de construção simplificam o trabalho do desmontador, reduzindo o tempo e o custo de reutilizar os materiais de construção. As características gerais apresentadas que facilitam a desconstrução são:

- 1) **Transparência**, os sistemas de construção devem ser visíveis e fáceis de identificar;
- 2) **Regularidade**, os sistemas construtivos e materiais devem ser semelhantes em todo o edifício e dispostos em padrões regulares, repetidos. Use um *layout* simples, regular, com tamanhos semelhantes. O desmontador vai encontrar tipos de elementos estruturais e conexões semelhantes de uma extremidade à outra do edifício. O edifício vai render muitos elementos idênticos (mesma secção e comprimento), o que será mais fácil de classificar, vender e reutilizar;
- 3) **Simplicidade**. Devem-se criar sistemas e interconexões simples de entender, formas e conexões padrão de uso comum, com um número limitado de diferentes tipos de materiais e tamanhos;
- 4) **Número limitado de componentes**, pois é mais fácil desmontar as estruturas que são compostas por um menor número de elementos maiores do que um número maior de elementos menores. Elementos maiores tendem a resistir a danos mais facilmente durante o processo de desconstrução e podem ser removidos mais rapidamente a partir da estrutura, nos casos de uso de equipamentos de grande porte. Nos casos em que a desconstrução provavelmente será desenvolvida utilizando principalmente mão-de-obra, em vez de máquinas de grande porte, pode ser apropriado projetar elementos menores, mais leves;
- 5) **Materiais facilmente separáveis**. Os materiais devem ser facilmente separáveis em componentes reutilizáveis. Fixadores mecânicos removíveis são preferíveis aos adesivos. Os materiais compostos são uma dificuldade, a menos

que o conjunto composto tenha valor como um conjunto reutilizável. Os melhores tipos de ligações são as ligações por contato, tais como grampos, pois não necessitam de furos ou ranhuras para serem conectados em outros elementos. É também mais fácil determinar a estabilidade da conexão durante a desmontagem com conectores mecânicos em comparação com conexões químicas. Por exemplo, na separação de duas peças de aço que são aparafusadas, geralmente é visível quando a conexão se torna instável, por outro lado, ao separar peças soldadas, o ponto de instabilidade pode vir de forma repentina;

- 6) **Evite grades de materiais misturados.** Materiais que parecem semelhantes, mas têm propriedades diferentes têm menos valor. Por exemplo, uma construção moldada usando múltiplas espécies de madeira gera um conjunto potencialmente confuso de materiais que não podem ser reutilizados de forma tão eficaz como os materiais de um edifício construído com um único tipo de material. A identificação de materiais sem rótulo é especialmente problemática. É melhor ter um grande lote de materiais similares do que muitos lotes menores, a fim de simplificar a classificação e os esforços de identificação e aumentar o valor de revenda;
- 7) **Evite utilizar múltiplos sistemas estruturais em edifícios;**
- 8) **Projeto utilizando materiais não tóxicos, não perigosos e que sejam duráveis.** Deve-se evitar os riscos ambientais presentes em materiais perigosos, como o amianto e o chumbo, que requerem tratamento especial e proteção dos trabalhadores;
- 9) **Use materiais recuperados,** se disponíveis. Se eles foram resgatados uma vez, eles provavelmente podem ser reutilizados novamente. Selecione os materiais com potencial de reutilização baseado na prática corrente. Mais opções de reutilização podem estar disponíveis no futuro, mas o leque de opções futuras provavelmente vai incluir aqueles materiais que são reutilizáveis hoje;
- 10) **Evite sistemas compostos,** a menos que o sistema combinado possa ser reutilizado. Por exemplo, os painéis de isolamento estrutural, apesar de serem um composto de isolamento rígido e revestidos de madeira, podem ser

removidos de uma estrutura existente (se utilizou conexões removíveis) e reutilizados em outras posições;

- 11) **Sistemas construtivos em layers.** Quando os sistemas mecânicos e os componentes de revestimento são compostos com a estrutura torna-se difícil substituir esses sistemas durante as etapas de manutenção do prédio e também dificulta a remoção dos elementos estruturais no final da vida útil do edifício. Por exemplo, na construção de habitações de estrutura de madeira *wood-frame* convencional, a fiação e o encanamento são colocados em meio às estruturas de madeira, danificando o enquadramento e exigindo mais trabalho para separar os componentes no fim de vida;
- 12) **Considere a manipulação e a segurança.** Pense em como a estrutura será desmontada. Forneça pontos de elevação e equipamento de proteção individual contra queda conectado a uma ancoragem com segurança para auxiliar a desmontagem sempre que possível. Forneça áreas onde os trabalhadores da desconstrução possam ficar e trabalhar em segurança;
- 13) **Etiquetagem/rotulagem de materiais.** Os materiais e componentes devem ser etiquetados com informações que irão simplificar a reutilização. Por exemplo, a etiqueta pode incluir a data, a classe do material, a resistência do material e instruções especiais de manuseio;
- 14) **Mantenha os projetos e desenhos originais.** Forneça um local de armazenamento específico para o projeto *as built*.

A.6. Princípios de Durmisevic (2006)

Durmisevic (2006) lista orientações para o PpD, utilizando para isso um vocabulário específico da desconstrução, como: a decomposição do edifício em sistemas, conjuntos, subconjuntos, componentes, elementos e materiais; a definição de níveis de materiais (*layers*) de acordo com suas funções e seu ciclo de vida; definição de hierarquia estrutural aberta e sistema aberto; elemento base intermediário, etc. As recomendações de projeto para a desconstrução de Durmisevic (2006) se diferem das demais principalmente porque é recomendada a separação de elementos e partes do edifício de acordo com características como o ciclo de vida e a função. As orientações são:

- 1) Defina as estratégias para o edifício;
- 2) Defina partes fixas e modificáveis do edifício;
- 3) Desenvolva uma matriz coordenada do ciclo de vida a fim de definir os pontos de desmontagem;
- 4) Projete estruturas que podem mudar de função no curso do tempo;
- 5) Projete um elemento base como intermediário entre sistemas, componentes e elementos;
- 6) Projete elemento base para cada sistema e componente;
- 7) Otimize a grade estrutural para materiais a fim de tornar mais eficiente o uso de suas propriedades e com isso utilizar menos materiais;
- 8) Providencie informações suficientes sobre o edifício, a configuração de sistemas e suas possibilidades de reconfiguração e a capacidade de reuso e reciclagem;
- 9) Providencie a separação entre as maiores funções do edifício como a parte estrutural, fachada, instalações e elementos de separação e de acabamento;
- 10) Defina os níveis de materiais seguindo a decomposição funcional;
- 11) Transforme materiais aglomerados em subconjuntos de acordo com sua funcionalidade, ciclo de vida útil, ciclo de vida técnico e material;
- 12) Crie uma separação entre elementos com diferentes funções e expectativa de ciclo de vida utilizando sistemas de separação;
- 13) Defina uma hierarquia estrutural aberta para evitar relações funcionais e de montagem entre diferentes grupos funcionais;
- 14) Projete um sistema de construção aberto com elementos independentes e modificáveis. Caracteriza-se pela separação e dissociação entre subconjuntos que têm diferentes funções e expectativas de ciclo de vida;
- 15) Use sistemas de dimensões modulares que são compatíveis com outros sistemas;
- 16) O elemento base/intermediário deve ser o elemento mais durável entre os elementos do conjunto;
- 17) Utilize elementos pré-montados na montagem;
- 18) Defina a construção em seções de construção que podem ser produzidas e montadas de forma independente;

- 19) Defina sistemas de construção adequados para repetidos processos de produção;
- 20) A ligação entre dois conjuntos deve ser adequada para fácil decomposição e reuso;
- 21) Use componentes leves que facilitam o manuseio e o transporte;
- 22) Use componentes de pequeno tamanho que são parte de um conjunto maior a fim de aumentar a possibilidade de variação;
- 23) Projete ligações entre componentes modificáveis para resistir a várias desmontagens e reuso por meio do uso de um engenhoso elemento base intermediário entre os componentes;
- 24) Utilize o mínimo de diferentes tipos de elementos de fixação ou conectores;
- 25) Forneça tolerâncias realistas para permitir a manobra durante a desmontagem;
- 26) A montagem paralela deve substituir a montagem sequencial a fim de permitir a rápida desmontagem e possibilitar a desmontagem de uma parte sem o desmembramento de outras partes;
- 27) Mantenha todos os componentes separados evitando interferência em outros componentes ou sistemas;
- 28) Forneça acessibilidade aos componentes com baixo ciclo de vida;
- 29) Conexões mecânicas devem substituir as químicas;
- 30) Forneça um intermediário entre elementos base que pertença a diferentes conjuntos;
- 31) Os conjuntos devem ser montados de forma sistemática adequada para a manutenção e possibilidade de substituição;
- 32) A sequência de montagem deve ser prevista considerando o tipo de material, seu desempenho e seu ciclo de vida;
- 33) As conexões entre conjuntos devem ser adequadas para a recuperação ou reciclagem de uma única parte;
- 34) Forneça informações dos materiais;
- 35) Evite o uso de materiais compostos, salvo se eles possam ser reciclados sem causar impactos negativos ao ambiente.

APÊNDICE B- LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS METÁLICAS E DESCONSTRUÇÃO

O termo “ligação” é aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si ou a sua união com elementos externos a ela, como, por exemplo, as fundações. As ligações se compõem dos elementos de ligação e dos meios de ligação. Os elementos de ligação são todos os componentes incluídos no conjunto para permitir ou facilitar a transmissão dos esforços: enrijecedores; placa de base; cantoneiras; chapas de *gusset*; talas de alma e de mesa; parte das peças ligadas envolvidas localmente na ligação. Os meios de ligação são os elementos que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação. Como meios de ligação são utilizados, principalmente, soldas, parafusos e barras roscadas, como os chumbadores (IBS, 2004).

As ligações podem ser classificadas de acordo com a rigidez, os esforços solicitantes, local de execução e segundo os meios de ligação (IBS, 2004).

As ligações podem ser classificadas segundo a rigidez, de acordo com o grau de impedimento da rotação relativa de suas partes, nos três seguintes tipos: ligação rígida, ligação flexível e ligação semirrígida.

A classificação das ligações segundo os esforços solicitantes depende do tipo dos esforços solicitantes, das posições relativas desses esforços e dos grupos de parafusos ou linhas de solda resistentes. As ligações podem ser dos seguintes tipos básicos: cisalhamento centrado; cisalhamento excêntrico; tração ou compressão e tração ou compressão com cisalhamento.

As ligações também podem ser classificadas pelo local de execução, sendo denominadas ligações de fábrica e de campo. Nas ligações de fábrica, o meio de ligação utilizado normalmente é a solda. Nas ligações a serem montadas no campo, utiliza-se preferencialmente os parafusos à solda. A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) indica as ligações onde devem ser usados solda ou parafuso de alta resistência e aquelas em que podem ser feitas com parafusos comuns ASTM A-307 ou ISO 4.6.

Segundo os meios de ligação, as ligações geralmente são classificadas em ligações soldadas e ligações parafusadas. Segundo Margarido (2007), as ligações nas estruturas metálicas podem ser feitas por meio de: parafuso comum; parafusos de alta resistência; solda e rebites (atualmente em desuso, são usados, quase somente para

restauro de estruturas metálicas antigas). Os parafusos devem resistir a esforços de tração e/ou cisalhamento, ao passo que as soldas devem resistir a tensões de tração, compressão e/ou cisalhamento (IBS, 2004). É possível usar soldas e parafusos em uma mesma ligação, mas nunca na mesma função. Os parafusos funcionam mesmo com folga, já as soldas não permitem qualquer movimento (MARINGONI, 2004). Com relação à desconstrução, essa classificação é a mais importante.

B.1. Ligações soldadas

A união de componentes metálicos pode ser feita por meio da fusão de eletrodos metálicos. A solda é obtida pela fusão do eletrodo, que é composto de um metal mais resistente do que as partes que vão se unir. Devido à alta temperatura produzida por um arco voltaico, processa-se também a fusão parcial dos componentes a serem ligados. Após o resfriamento, o metal base e o metal do eletrodo passam a constituir um corpo único. Essa operação necessita de uma fonte de energia elétrica de baixa voltagem e alta amperagem a fim de gerar o calor necessário e os aços devem ter soldabilidade (IAB, 2011).

A solda pode ser feita por meio de corrente contínua ou alternada, em função de necessidade de maior penetração ou cobertura que se deseja obter. Podem ser feitas com vários diâmetros de eletrodos, em função do tipo de solda e da potência do equipamento de solda. As soldas podem ser: de entalhe com penetração total; de entalhe com penetração parcial; solda de filete e solda de tampão (MARGARIDO, 2007).

As soldas de entalhe de penetração total (ou parcial) são utilizadas quando se deseja manter a continuidade total (ou parcial) da espessura do elemento conectado para a transmissão do esforço através da ligação ou quando, por questões construtivas, a solda de filete não puder ser empregada. A solda de filete é geralmente mais econômica que a de entalhe por não necessitar do trabalho de chanfro nas chapas (IBS, 2004).

Segundo Maringoni (2004), ligações soldadas quando executadas na fábrica têm garantida a qualidade de execução. As ligações soldadas realizadas no canteiro de obras devem ter atenção especial para garantia da qualidade. Soldas de grande responsabilidade (conexões importantes) devem ser testadas.

B.2. Ligações parafusadas

O parafusamento, conforme a junta, pode ser mais rápido de ser executado do que a solda. As ligações parafusadas apresentam maior visibilidade, pois as ligações soldadas são menos visíveis e dão aparência de continuidade entre as peças. (MARGARIDO, 2007).

As ligações podem ser pré-montadas na fábrica, permitindo maior precisão e melhor qualidade na montagem, ou montadas em campo (MARINGONI, 2004).

Os parafusos utilizados nas construções metálicas são normalmente: os comuns, sendo o mais utilizado o ASTM A-307 e os de alta resistência, especialmente o ASTM A-325 e o ASTM A-490 (IBS, 2004).

Os parafusos comuns utilizados em estruturas de aço, também conhecidos como parafusos de baixo carbono, têm, em geral, cabeça e porca sextavada, com rosca parcial ou ao longo de todo o corpo do parafuso. A instalação é feita sem especificação de torque de montagem (aperto), desconsiderando a resistência ao deslizamento entre as partes conectadas (IAB, 2011). São utilizados em ligações não estruturais ou secundárias (IBS, 2004).

As ligações envolvendo parafusos de baixo carbono são assumidas sempre como ligações do tipo contato, ou seja, os parafusos são solicitados ao cisalhamento, à tração ou a ambos os esforços simultaneamente. Os esforços de tração são transmitidos diretamente por meio de tração no corpo do parafuso e os esforços de cisalhamento são transmitidos por cisalhamento do corpo do parafuso e o contato de sua superfície lateral com a face do furo, devido ao deslizamento entre as chapas ligadas (IAB, 2011).

Historicamente, o parafuso de alta resistência surgiu quando se estudavam ligações rebitadas com colocação de rebites a quente. Quando o aço, depois de aquecido retraía desenvolvia-se forte aperto entre as chapas, de maneira que, pela presença da força de atrito, as chapas não se deslocavam, gerando uma ligação rígida, como acontece com a ligação soldada. Assim surgiu o parafuso de alta resistência. É um parafuso que devido ao aperto da porca, gera uma força de compressão tão alta que pelo atrito as chapas não se movimentam entre si. Os parafusos de alta resistência têm um comportamento como o da solda, ou seja, eles ligam as partes de maneira que não ocorra movimento relativo (MARGARIDO, 2007).

Os parafusos de alta resistência são montados com protensão (torque especificado de montagem) e requerem cuidados especiais com relação às arruelas e ao acabamento das superfícies em contato das partes ligadas. São usados em ligações de mais responsabilidade (IBS, 2004).

A montagem desses parafusos com protensão evita o deslizamento entre as partes conectadas, pois as superfícies de contato das chapas ficam firmemente pressionadas umas contra as outras. Assim, quanto maior o torque, maior a pressão de contato imposta, maior a força de atrito mobilizada e, conseqüentemente, maior a resistência ao deslizamento. Os esforços de cisalhamento nas ligações com parafusos de alta resistência são transmitidos ou por atrito, devido à pressão entre as partes ligadas, nas chamadas ligações por atrito, ou por contato do corpo do parafuso com as paredes do furo, com cisalhamento do corpo do parafuso, nas chamadas ligações por contato (IAB, 2011).

B.3. Solda versus parafuso na desconstrução

Segundo Silverstein (2009) sob uma perspectiva puramente estrutural, há uma ligeira preferência por parafusos por causa do seu modo habitual de falha. Os parafusos têm a tendência de apresentar deformação plástica antes da falha, ao contrário de soldas que podem falhar repentinamente, principalmente durante uma desmontagem. Quando as soldas estão sendo removidas, podem quebrar-se sem aviso, conferindo uma probabilidade perigosa e indesejável ao processo de desmontagem. Conseqüentemente, a remoção de ligações soldadas requer a ajuda constante de um guindaste, para aliviar a carga sobre as conexões, além do grande custo de sequenciamento da desmontagem. Uma vez que a estabilidade do parafuso pode ser determinada facilmente durante a desmontagem, um guindaste não é necessário, até o momento em que a peça está pronta para remoção.

As ligações soldadas oferecem a vantagem de exigir menos modificações nas peças durante a fabricação, como os furos para os parafusos, mas são mais difíceis de desconstruir. Embora as ligações aparafusadas possam tornar a desconstrução mais fácil, os elementos estruturais podem exigir reparos para o reuso. As ligações parafusadas não tornam as estruturas em aço estritamente reaproveitáveis. Muitas vezes as estruturas devem ser recondicionadas ou restauradas para serem reusadas. Ainda

assim o processo de recondição das peças requer menos energia do que o de reciclagem. Nos casos em que o edifício inteiro é desconstruído e remontado, os orifícios dos parafusos geralmente não precisam ser reparados (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

As ligações parafusadas exigem requisitos menos rigorosos de acessibilidade, menos experiência do trabalhador e menos certificação, além disso, ligações parafusadas são muito mais fáceis de inspecionar. (OWENS; CHEAL⁴⁵, 1989 apud SILVERSTEIN, 2009). No entanto, as ligações parafusadas podem variar e fatores como as condições climáticas e o método de instalação vão interferir diretamente na dificuldade de desconstrução.

B.4. Divisão de Silverstein (2009)

Para determinar quais os tipos de ligações funcionam melhor durante a desconstrução, Silverstein (2009) considerou as conexões em um sentido abstrato, utilizando um sistema desenvolvido por Durmisevic e Brouwer⁴⁶ (2002 apud SILVERSTEIN, 2009) que classifica as possíveis formas de conexão entre dois elementos. Nessa classificação, três tipos principais de interface foram especificados: conexões preenchidas (*filled connection*), conexões integrais (*integral connection*) e conexões acessórias (*accessory connection*), como ilustrado na figura B.1. As conexões integrais se subdividem em conexões integrais intertravadas e conexões integrais sobrepostas. As conexões acessórias se subdividem em conexões acessórias internas e conexões acessórias externas.

As conexões preenchidas são interfaces em que um material é aplicado no local para ligar quimicamente dois elementos em conjunto. O produto químico pode ser uma cola ou metal fundido que ao secar ou esfriar cria uma forte ligação. Muitas conexões preenchidas são difíceis ou impossíveis de remover. Existem ligações soldadas, tal como a mostrada na figura B.2, que são preenchidas apenas ao longo das bordas e não

⁴⁵ OWENS, Graham W.; CHEAL, Brian D. **Structural Steelwork Connections**. London, UK: Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1989.

⁴⁶ DURMISEVIC, Elma; BROUWER, Jan. Dynamic versus Static Building Structures. In International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment. **Proceedings...** Salford, UK, 2002.

sobre a face inteira, tornando a separação entre os elementos um pouco mais fácil, mas ainda assim os componentes podem sofrer danos durante a desconstrução.

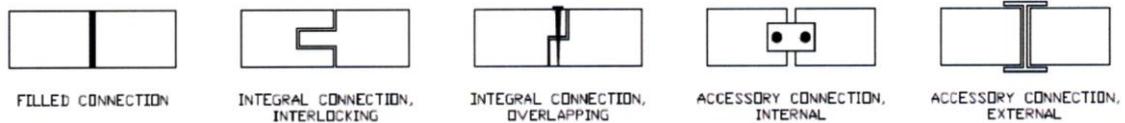


Figura B.1: Esquema representando as ligações em estrutura metálica.
Fonte: DURMISEVIC; BROUWER, 2002 (apud SILVERSTEIN, 2009).

As conexões integrais são interfaces em que a geometria dos dois elementos os conecta em cisalhamento. A geometria pode ser caracterizada por intertravamento ou sobreposição.

Uma conexão do tipo intertravamento não requer peças acessórias, pois as próprias peças têm encaixes macho-fêmea que se combinam para criar uma forte ligação. Segundo Silverstein (2009), a facilidade de montagem e desmontagem sem peças adicionais faz com que essas conexões sejam ideais, embora, infelizmente as tolerâncias necessárias para fabricar elementos intertravados e os perigos de falha local impedem a adoção de tais conexões em uma escala estrutural.

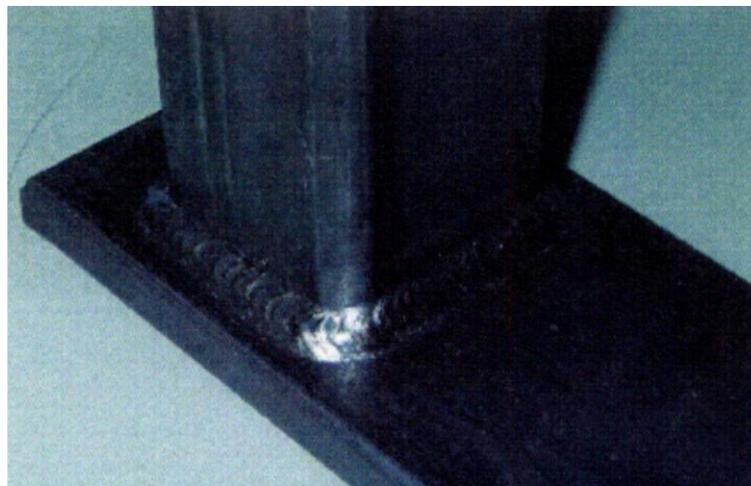


Figura B.2. Ligação soldada em estrutura metálica- exemplo de conexão preenchida.
Fonte: SILVERSTEIN, 2009.

Nas conexões do tipo sobreposição cada elemento volta-se para o próximo, normalmente exigindo uma parte acessória para completar a ligação. Conexões desse tipo são mais adequadas para elementos de cobrir fachadas e outras superfícies.

Silverstein (2009) cita o uso de rebites para a fixação de placas de aço como um exemplo histórico de ligação de sobreposição, conforme mostrado na figura B.3. Essas ligações eram comumente utilizadas antes que os imperativos de velocidade de montagem e de preocupações com segurança tornaram-na obsoleta em favor de ligações aparafusadas diretas. Segundo Silverstein (2009), o potencial de desconstrução da conexão de sobreposição depende em grande parte a parte do acessório utilizado para a conexão e dos danos causados às peças originais.

As conexões com acessórios são interfaces em que os dois elementos são mantidos juntos indiretamente e caracterizam-se pela facilidade de montagem e desmontagem. Essas conexões se subdividem em conexões de acessório do tipo interno e do tipo externo. As conexões do tipo interno incorporam peças acessórias inseridas diretamente por meio dos elementos, requerendo alguns danos às peças para criar uma superfície de apoio. A maioria das conexões aparafusadas de aço, como a mostrada na figura B.4, são conexões do tipo interno. São as mais comuns nos projetos com estrutura de aço e, de acordo com Silverstein (2009), as únicas desvantagens são a precisão e o esforço necessários para criar furos para os parafusos e os danos resultantes nos elementos.



Figura B.3. Rebites, exemplo de conexão de sobrepor.
Fonte: SILVERSTEIN, 2009.

As conexões acessórias do tipo externo agem sem penetração, utilizando outros meios para proporcionar a resistência necessária. Uma braçadeira é um bom exemplo de uma ligação do tipo externo, pois cria a capacidade de suporte de carga através do

aumento da força de atrito. Essas conexões raramente são utilizadas na construção por causa de suas baixas capacidades (SILVERSTEIN, 2009).



Figura B.4: Ligação parafusada, exemplo de conexão acessória do tipo interno.

Fonte: SILVERSTEIN, 2009.

Para Silverstein (2009), a maioria dos tipos de ligação comuns usam parafusos e soldas em conjunto, ligados com conexões acessórias.

B.5. Novos tipos de ligações

Segundo Cooper (2010), o reuso do aço estrutural ainda é muito limitado, pois o tempo extra necessário para executar cuidadosamente a desconstrução em oposição à demolição se contrapõe ao desejo pela reutilização e economia. Além disso, a complexidade das ligações parafusadas pode desencorajar a desconstrução, como ilustrado na figura B.5.

Segundo Cooper (2010), algumas estruturas com ligações parafusadas são atualmente cortadas a fim de reutilização das peças, reduzindo o seu comprimento e causando danos nas partes após o corte. Danos adicionais com relação à saúde e segurança do trabalho podem ser causados pela queda das peças após o corte e a exigência de trabalho em altura.



Figura B.5: Ligação parafusada complexa.
Fonte: CPC ESTRUTURAS, 2014.

No cenário atual, em que todos os setores almejam tornar seus produtos e processos mais sustentáveis, surgem novos tipos de ligações para estruturas em aço que pretendem recuperar os componentes metálicos de forma a preservar a energia incorporada, reduzindo as emissões de dióxido de carbono associados aos processos de fusão na reciclagem desses materiais. Esses novos tipos de ligações tornam a desconstrução mais rápida e mais segura, facilitando a remoção de peças e incentivando a reutilização.

B.5.1. Ligação Quicon

Em 2000, no Reino Unido, o *Steel Construction Institute* (SCI) desenvolveu a ligação Quicon, uma ligação simples viga-coluna e viga-viga. O sistema possui uma peça com aberturas em formato de fechadura e uma estrutura (viga ou coluna) que possui parafusos com ressaltos, formando relevos curtos. As aberturas da peça possuem um formato que permitem que as cabeças dos parafusos, que estão ligados às vigas ou colunas, se encaixem. Os relevos dos parafusos são facilmente localizados e encaixados nas aberturas durante a montagem, como demonstrado na figura B.6. O fuste do parafuso acomoda-se em uma parte mais estreita da abertura da peça (SILVERSTEIN, 2009; COOPER, 2010).

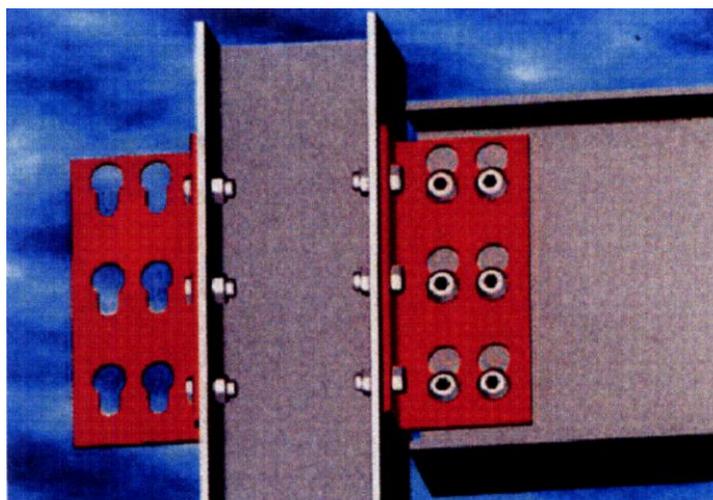


Figura B.6: Esquema da ligação Quicon.
Fonte: SILVERSTEIN, 2009.

A ligação Quicon foi projetada para acelerar a construção e, devido ao seu design, também facilita a desmontagem das peças para a reutilização. De acordo com Silverstein (2009), essa ligação melhora a segurança e a qualidade de construção, uma vez que os parafusos são pré-instalados e o único trabalho feito no local é encaixar os parafusos nos furos de conexão, aliviando a necessidade de um inspetor para verificar cada última conexão. No entanto, as aplicações das ligações Quicon provavelmente são limitadas a geometrias simples, como armazéns e estacionamentos, o que pode explicar o motivo por não ter sido amplamente utilizadas desde que o SCI lançou o sistema.

Segundo Cooper (2010), a ligação Quicon foi usada pela primeira vez na construção de um mezanino de 1650m², composto por 120 toneladas de aço na forma de 300 vigas e 84 colunas. Antes da introdução do sistema Quicon o planejamento da construção era de 2,5 semanas, mas o tempo real de construção foi reduzido para apenas 4,5 dias. Os principais envolvidos na montagem reconheceram a ligação como fácil e segura para instalação. Os custos de fabricação foram maiores do que para ligações convencionais, mas considerou-se que este custo seria reduzido com a popularização da ligação.

Embora o primeiro empreendimento tenha sido um sucesso, o segundo projeto que utilizou as ligações Quicon resultou em alguns problemas, o que levou ao lançamento do "AD 298: *Guidance on the use of Quicon slotted connections*", que

identificou as seguintes questões como potenciais problemas no uso do Quicon: deflexões; contraflecha; torção das vigas principais.

Segundo Cooper (2010), o motivo pelo qual a ligação Quicon não foi mais amplamente utilizada desde sua criação se deve em parte devido aos construtores em aço serem conservadores e qualquer novidade acrescentar certo risco, além das dificuldades encontradas no segundo projeto. Além disso, a SCI tinha recursos limitados para promover a ligação.

B.5.2. Ligação a momento protendida

Ainda em fase de testes, a ligação conhecida como uma ligação a momento protendida é uma ligação viga-coluna que resiste a momento, desenvolvida no final de 1990, no *Centre for Advanced Technology for Large Structural Systems – ATLSS* - da Universidade de Lehigh, nos EUA. O esquema está ilustrado na figura B.7.

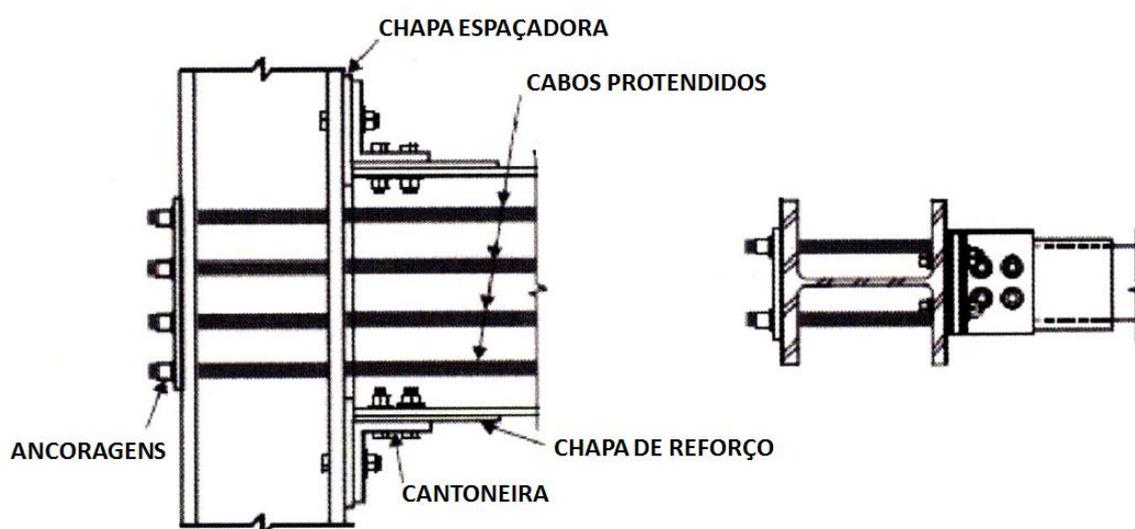


Figura B.7: Esquema da ligação a momento protendida.
Fonte: RICLES et al.⁴⁷ 2000, apud SILVERSTEIN, 2009.

Como o nome indica, a ligação desenvolve a sua capacidade a momento por meio de cabos de protensão tensionados que correm paralelos à viga e são ancorados no exterior das colunas. Estes cabos pós-tensionados colocam a viga em compressão. Um

⁴⁷ RICLES, J.M.; SAUSE, R.; GARLOCK, M. Post-Tensioned Moment Connections for Seismic Resistant Steel Frames. In AISC International Workshop on Connections in Steel Structures. **Proceedings...**, Roanoke, USA, 2000.

relatório sobre os testes iniciais feitos neste sistema divulga os muitos benefícios potenciais do que foi apelidado de "Esquema de Lehigh": a solda não é necessária, a força da ligação se aproxima de uma ligação a momento totalmente soldada, o sistema possui potencial de desconstrução devido à ausência de soldas e é reutilizável porque a conexão de atrito do tipo externo danifica pouco as peças.

B.5.3. Ligação ATLSS

Cooper (2010) destaca outra ligação viga-coluna simples denominada ATLSS *Connection*, também desenvolvida no Centro ATLSS no início de 1990.

A tecnologia para a construção com a ligação ATLSS é dependente do uso da Plataforma de Stewart (figura B.8). A Plataforma Stewart consiste em duas plataformas ligadas por uma série de seis cabos controlados individualmente para mover a plataforma inferior e a carga para a posição da plataforma superior. Essa plataforma foi concebida e montada no Centro ATLSS. A plataforma inferior pode mover-se com seis graus de movimento de controle para fazer a inserção das conexões ATLSS possíveis.

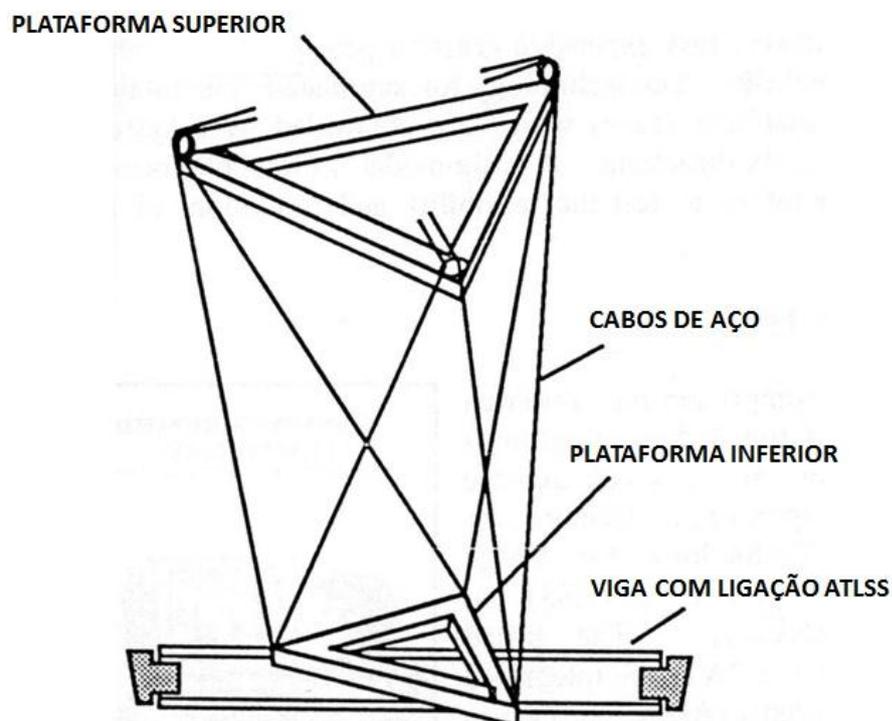


Figura B.8: Esquema da Plataforma Stewart
Fonte: VISCOMI; MICHALERYA; LU, 1994.

O conceito de ligação ATLSS é baseado no uso de um conector ATLSS formado por uma peça de pino afunilada sobre a viga que desliza num guia de encaixe montado na coluna (VISCOMI; MICHALERYA; LU, 1994).

Na figura B.9 apresenta-se o esquema da ligação ATLSS desenvolvida a partir de uma ligação macho-fêmea. A configuração final da ligação ATLSS foi desenvolvida tridimensionalmente em uma peça em forma de pino sólido e cônico e uma peça de encaixe tridimensional que contém uma cavidade cônica complementar na forma do pino. Para ser útil para a construção automatizada, ambas as peças devem ser anexadas suas respectivas barras na fábrica ou no chão no local. O objetivo final é ter uma variedade limitada de conectores produzidos em massa com uma operação de montagem padrão de fábrica rápida e capacidade de montagem automática (VISCOMI; MICHALERYA; LU, 1994).

Para Cooper (2010) ainda não está claro por que a ligação ATLSS não se tornou mais difundida. O primeiro uso da conexão ATLSS consistiu na construção de um telhado de baixa elevação de uma fábrica química onde havia planos para eventualmente estender o compartimento para cima, portanto a natureza removível da ligação era desejável. O compartimento foi pré-montado no terreno utilizando ligações tradicionais, sendo posteriormente erguidos com ligações ATLSS em cada canto.

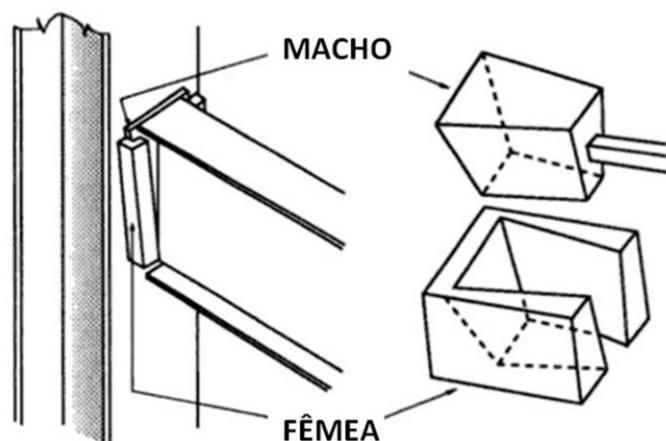


Figura B.9: Esquema de encaixe macho-fêmea da ligação ATLSS.

Fonte: DOWLING et al., 1992.

B.5.4. Ligação ConX

A ligação ConX é uma ligação desenvolvida pelo engenheiro Robert Simmons e produzida atualmente pela empresa *ConXtech Space Frame Systems* de Hayward, Califórnia. Consiste numa parte soldada de fábrica e um sistema de anel de encaixe. A ConXtech desenvolveu dois sistemas: o Conx-R, utilizado em edifícios de 4 a 8 pavimentos e Conx-L, que pode ser utilizado em edifícios de 2 a 10 pavimentos (CONXTECH, 2014).

Na Figura B.10 são apresentadas as ligações típicas das colunas Conx-R e Conx-L. O sistema de encaixe é roboticamente soldado em fábrica nos pilares. As vigas são especialmente desenvolvidas com extremidades que se encaixam perfeitamente no sistema soldado nos pilares. Em campo, as vigas são posicionadas e encaixadas nos pilares colunas, como mostrado na figura B.11.



Figura B.10: (a) Detalhe da estrutura de ligação no pilar da ConX-R. (b) Detalhe da estrutura de ligação no pilar da ConX-L.

Fonte: CONXTECH, 2014.

Os parafusos não são necessários até que vários andares sejam erguidos. Os parafusos são então utilizados para apertar os quatro cantos do anel de encaixe (COOPER, 2010).

Cooper (2010) destaca as vantagens dos sistemas ConX em relação a estruturas convencionais: estruturas mais leves; montagem em campo mais rápida; redução do

trabalho; redução de uso de equipamentos de montagem no canteiro de obras; conexões autoguiadas e auto suportadas que auxiliam a construção e a desconstrução.

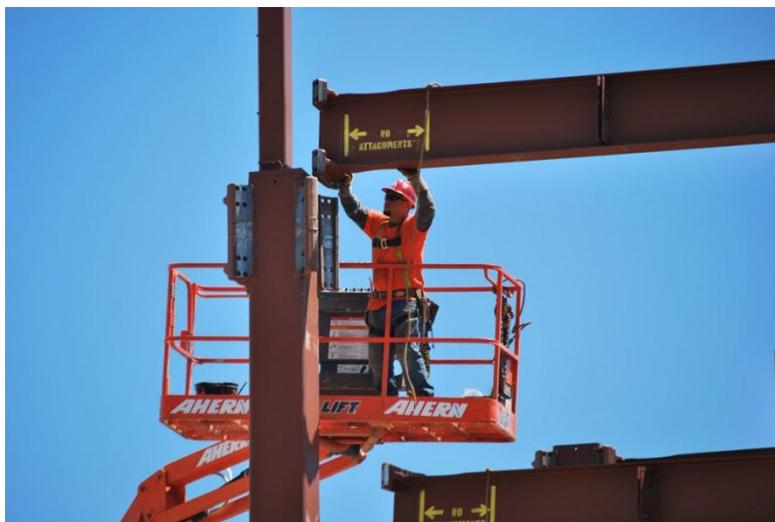


Figura B.11: Montagem de estruturas em aço com ligação ConX-L.

Fonte: CONXTECH, 2014.

A ConXtech obteve um total de 7 créditos no LEED. Numa comparação do sistema ConX com uma estrutura de aporcada padrão (para um hospital na Califórnia) descobriu-se que o sistema ConX reduziu a massa de aço em 30%, o tempo de montagem em 50% e o preço total em 30%. A natureza modular do sistema repercute com a padronização e a facilidade de reutilização (COOPER, 2010).

Atualmente a empresa fabricante dos sistemas ConX também oferecem escadas pré-fabricadas; um sistema de fechamento horizontal e de fechamento vertical externo compatíveis com o sistema.

B.5.5. Ligação Girder Clamps

Girder Clamps são ligações reversíveis que evitam a necessidade de furos para parafusos, deixando o aço estrutural efetivamente intocado e tornando a reutilização, no fim de vida, mais fácil, pois reduz os custos de condicionamento. Essa ligação depende de uma conexão de cisalhamento de gravidade e atrito entre os componentes da ligação e as estruturas de aço (COOPER, 2010).

Atualmente esse sistema de ligação está disponível no mercado pela empresa Lindapter e pela empresa BeamClamp. O conjunto é constituído por uma placa

perfurada nos quatro cantos inserida entre duas estruturas de aço. Nessa ligação os parafusos são colocados nos furos localizados em cada um dos quatro cantos de uma placa. Essa placa fica inserida entre duas peças de aço e presilhas de aço aparafusadas prendem as peças de aço entre si, conforme ilustrado na figura B.12.

O conjunto superior de componentes da ligação pressiona para baixo a mesa inferior do perfil superior, enquanto um conjunto inferior de componentes funciona no sentido oposto, com o aperto da mesa superior do perfil inferior. O desempenho da ligação é assegurado pelo atrito promovido pelos parafusos montados com torque controlado (BEAMCLAMP, 2014).

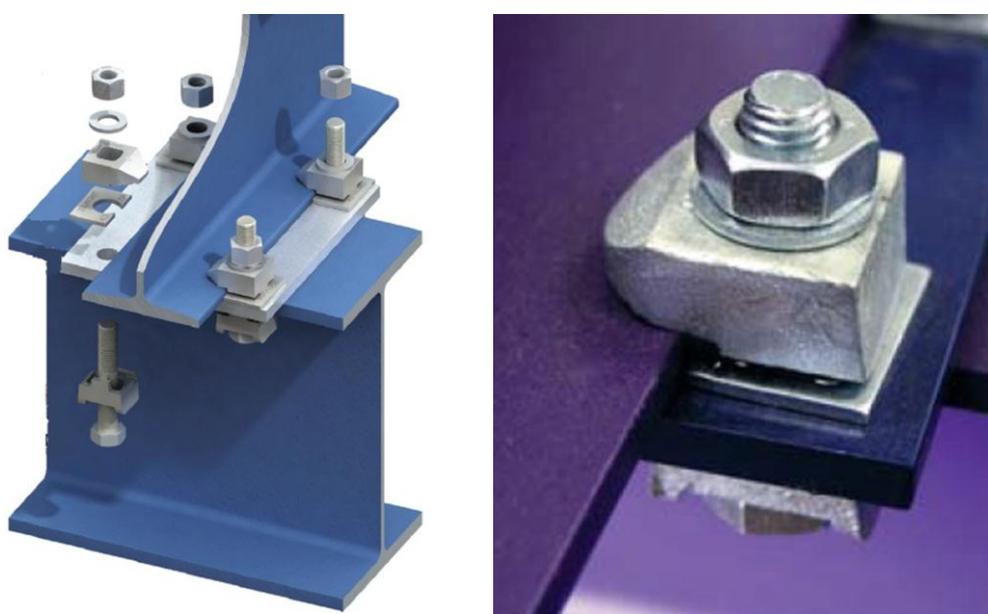


Figura B.12: (a) Componentes da ligação Girder clamp. (b) Detalhe da ligação.
Fonte: LINDAPTER, 2014.

Segundo Cooper (2010), *Girder Clamps* são ligações simples muitas vezes utilizadas para a ligação de vigas secundárias às vigas principais, bem como a ligação de serviços, vidros, calçadas, etc. São utilizadas extensivamente, em pequenas quantidades, em todo o mundo. Muitas vezes, são usadas para renovações de edifícios onde é proibida soldagem e perfuração. Em outros lugares, as ligações têm sido usadas em prédios temporários (como para exposições) devido à sua capacidade inerente de desmontagem. As ligações também têm sido usadas onde é necessária uma capacidade

de adaptação da estrutura de aço ou onde a estrutura metálica é demasiada espessa para perfurar.

De acordo com Silverstein (2009), a ligação não é mais difícil de projetar, instalar e desmontar do que uma ligação parafusada tradicional e uma vez que não penetra na viga, não reduz sua capacidade resistente.

No Quadro B.1 apresenta-se um resumo, elaborado por Cooper (2010), que compara ligações estruturais parafusadas padrão e ligações inovadoras em relação à capacidade de cisalhamento e de momento e à complexidade.

No Quadro B.1 as capacidades são apresentadas como uma porcentagem da capacidade da viga, tendo como referência as variedades de capacidades encontradas na literatura. A complexidade é tomada a partir do ponto de vista da desconstrução: Complexidade = (Parafusos x lados).

A complexidade das conexões simples são normalizadas na última coluna pelo valor da ligação com chapa simples e para conexões a momento pelo valor da ligação com chapa de extremidade.

Na figura B.13 também se apresenta um resumo de pontos representativos de dados em forma gráfica. A cor do ponto de dados indica a complexidade: o vermelho é o mais complexo, seguido pelo amarelo, pelo azul e pelo verde, o mais simples.

Novas conexões tais como Quicon, ATLSS, e ConXtech simplificam desmontagem das vigas. A conexão Quicon oferece remoção simples e a ATLSS e a ConXtech proporciona estabilidade inerente com intertravamento macho-fêmea preso com parafusos.

Girder Clamps, embora não sejam necessariamente mais fáceis de remover do que as conexões convencionais, promovem o fácil ajuste da estrutura e reduz em qualquer custo de recondicionamento no final de sua vida útil. O aumento no uso dessas ligações ou de ligações semelhantes, com base nos mesmos princípios, pode facilitar e estimular a reutilização no futuro (COOPER, 2010).

Quadro B.1. Resumo comparativo entre capacidades e complexidades de tipos de ligações

Ligações	Capacidade de Cisalhamento (%)	Capacidade de Momento (%)	Referência	Complexidade (total = parafusos x lados)					Uso	
				Parafusos	Lados	parafusos x lados	Normalizado	Complexidade		
SIMPLES	Com Chapa Simples	45	<20	Ray (1998)	3	2	6	1.0	Média	Comum
	Quicon	40	≈15	Heywood (2004)	0	0	0	0.0	Baixa	Projeto sob medida
	Com cantoneira dupla (uma linha de parafusos)	50	<20	Ray (1998)	3	2	6	1.0	Média	Comum
	Com cantoneira dupla (linha dupla de parafusos)	65	<20	Ray (1998)	6	2	12	2.0	Média	Comum
	Chapa com extremidade flexível	85	<20	Ray (1998)	6	4	24	4.0	Alta	Comum
	ATLSS	70	15	Pereira (1993)	1	1	1	0.2	Baixa	Projeto sob medida
	Girder Clamps	≈100	≈15	Não disponível	4	4	16	2.7	Média	Extensa para pequenos volumes
A MOMENTO	Com Chapa de extremidade	>85	50	Ray (1998)	6	4	24	1.0	Média	Comum
	Com chapa de extremidade estendida	>85	60	Ray (1998)	10	4	40	1.7	Alta	Comum
	Mini Mísula	>85	90	Ray (1998)	8	8	64	2.7	Alta	Comum
	Mísula	>85	100	Ray (1998)	16	8	128	5.3	Muito alta	Comum
	ConXtech	100	100	Browne (2010)	4	2	8	0.3	Baixa	Extensa para pequenos volumes

Fonte: Traduzido de COOPER, 2010.

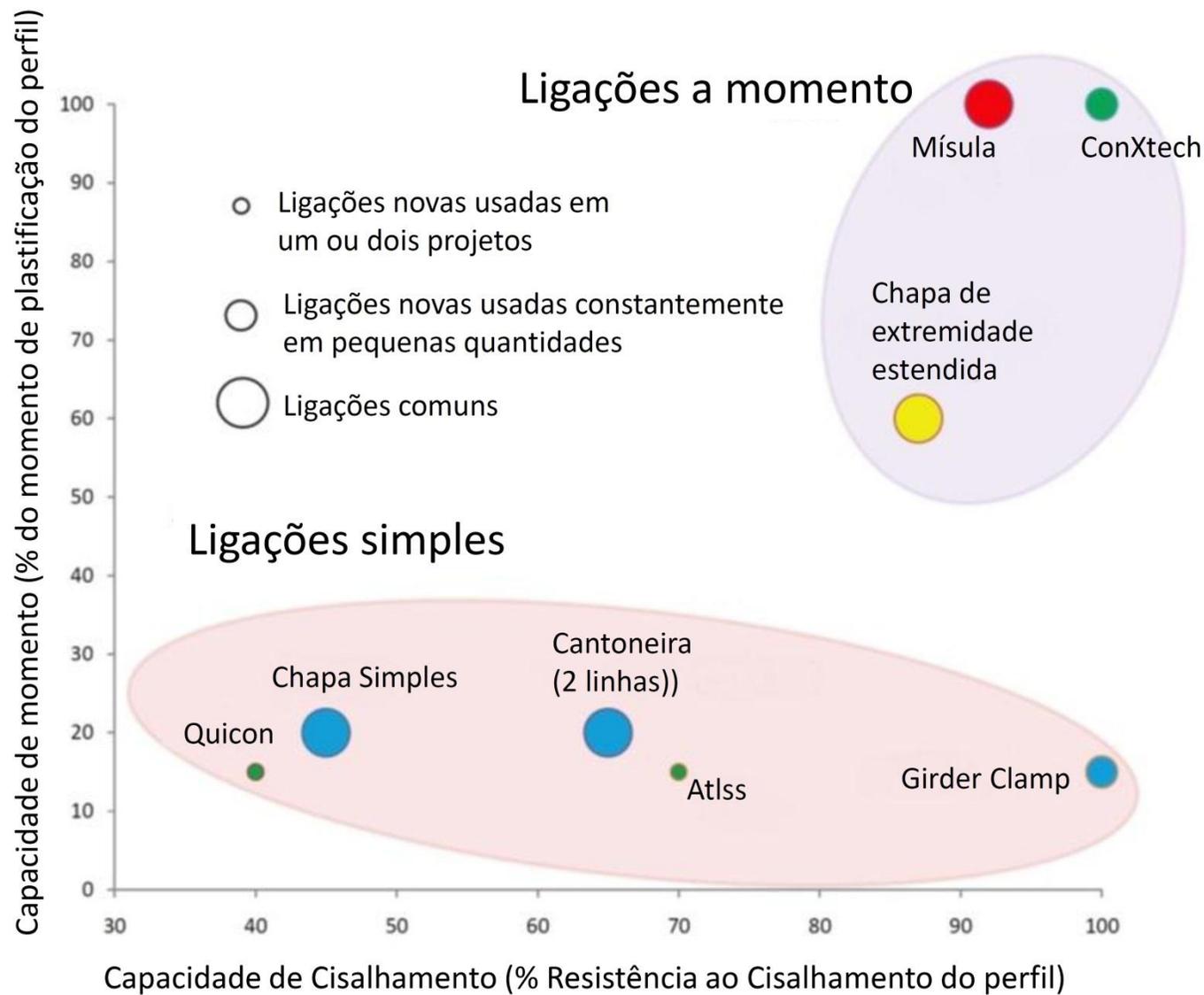
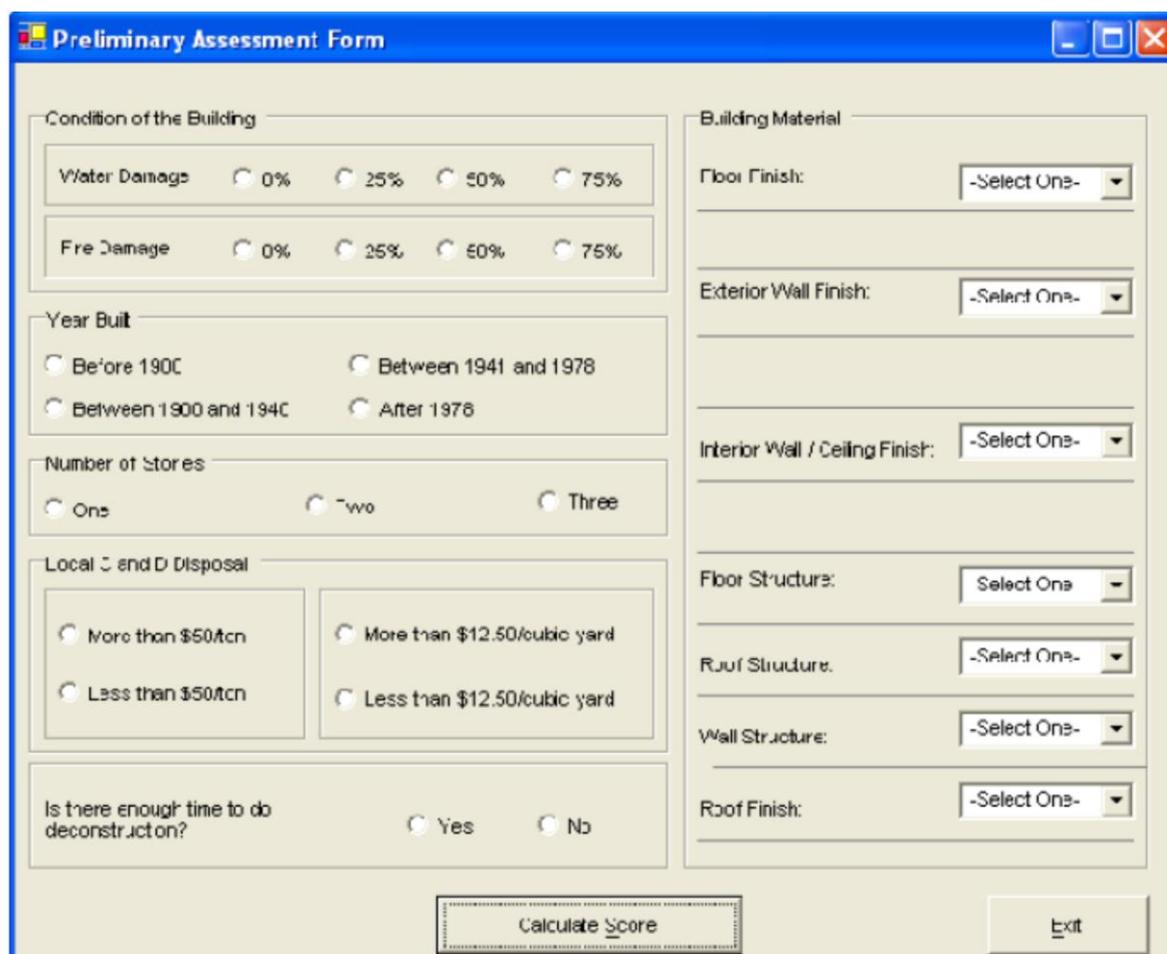


Figura B.13: Resumo de pontos representativos de dados sobre as ligações em forma gráfica.
 Fonte: Traduzido de COOPER, 2010.

APÊNDICE C- MODELOS DE GUY; OHLSEN (2003) E DURMISEVIC (2006)

C.1. Software de GUY; OHLSEN (2003)

Na página de abertura do software (versão 1.0) o usuário tem a opção de ter uma visão geral do processo de desconstrução ou uma lista abrangente de recursos de desconstrução. Um guia para usar o software também está disponível. Selecionando a opção *Project Assessment*, o usuário inicia uma avaliação preliminar, como apresentado na figura C.1, inserindo informações básicas, visualmente acessíveis, sobre o edifício. Esta avaliação preliminar permite que o usuário avalie rapidamente a viabilidade de desconstrução do edifício de uma forma simples, determinando se vale a pena o esforço de fazer uma avaliação detalhada do edifício.



The image shows a screenshot of a software window titled "Preliminary Assessment Form". The window contains several sections for data entry:

- Condition of the Building:** Radio buttons for Water Damage (0%, 25%, 50%, 75%) and Fire Damage (0%, 25%, 50%, 75%).
- Year Built:** Radio buttons for "Before 1900", "Between 1900 and 1940", "Between 1941 and 1978", and "After 1978".
- Number of stories:** Radio buttons for "One", "Two", and "Three".
- Local Land Disposal:** Radio buttons for "More than \$50/ton", "Less than \$50/ton", "More than \$12.50/cubic yard", and "Less than \$12.50/cubic yard".
- Is there enough time to do deconstruction?:** Radio buttons for "Yes" and "No".
- Building Material:** A vertical column of dropdown menus for "Floor Finish", "Exterior Wall Finish", "Interior Wall / Ceiling Finish", "Floor Structure", "Roof Structure", "Wall Structure", and "Roof Finish".

At the bottom of the form, there are two buttons: "Calculate Score" and "Exit".

Figura C.1: Página de dados de entradas do *software*.

Fonte: GUY; OHLSEN, 2003.

As informações básicas que devem ser inseridas se referem a: condições da edificação (danos causados pela água e taxas de danos), ano de construção, taxas locais de eliminação/deposição de materiais, número de pavimentos e os tipos de materiais de construção. Aos dados de entrada é atribuído um número relativo de pontos do potencial de desconstrução do edifício. O inventário detalhado na próxima parte do modelo permite ao usuário calcular custos e potencial de salvamento para separar elementos, isoladamente ou em conjunto.

Depois que o formulário de Avaliação Preliminar é preenchido, deve-se clicar no ícone "*Calculate Score*" para calcular a pontuação do edifício e uma recomendação inicial é dada para prosseguir com uma análise mais aprofundada ou para a demolição, desconstrução ou remoção e relocação do edifício. Para pontuações de 30 a 35, a edificação não é considerada candidata à desconstrução, recomenda-se estimar os custos para a demolição. Para pontuações de 36 a 55, o edifício ainda não é considerado candidato à desconstrução, recomenda-se uma avaliação mais detalhada. Pontuações de 56 a 79 significam que o edifício é um candidato à desconstrução, recomenda-se avaliação mais detalhada. Pontuações de 80 a 100 se referem às edificações excelentes para a desconstrução. Para edificações com pontuações de 100 a 120 recomenda-se que seja apenas removida/relocada.

Depois de selecionar o botão "*Deconstruction*" o usuário irá proceder a uma quantificação mais detalhada dos materiais do edifício e atribuir um valor monetário de base sobre os materiais recuperáveis. O edifício é dividido em componentes principais e secundários. Nestas categorias, os elementos específicos e tipos de materiais são listados para o usuário aumentar a especificidade da avaliação como quiserem.

O edifício é avaliado de duas formas, por todo o edifício e depois por cômodo. Para alguns elementos, tais como revestimento exterior, as paredes do perímetro exterior podem ser calculadas como um componente de todo o edifício. Para outros elementos, tais como acabamentos interiores, para cada cômodo é atribuído até 6 superfícies de parede, duas superfícies de teto e dois pavimentos e os acabamentos são estimados por cômodo.

O *software* foi projetado em torno de uma abordagem de senso comum para o inventário de um edifício. O usuário reconstrói o layout geral do edifício por seção, devendo começar por fazer um esboço do edifício, obtendo as quatro elevações

principais: norte, sul, leste e oeste. Elementos como varandas devem ser incluídos como um "cômodo". O esboço também deve incluir elementos como escadas.

O esboço permite que o usuário insira a informação de quantidade de acabamentos de construção, incluindo paredes, tetos, pisos, portas e janelas, como indicado na figura C.2, para paredes. A informação recolhida a partir do esboço converte, de forma bastante simples, para o modelo de computador.

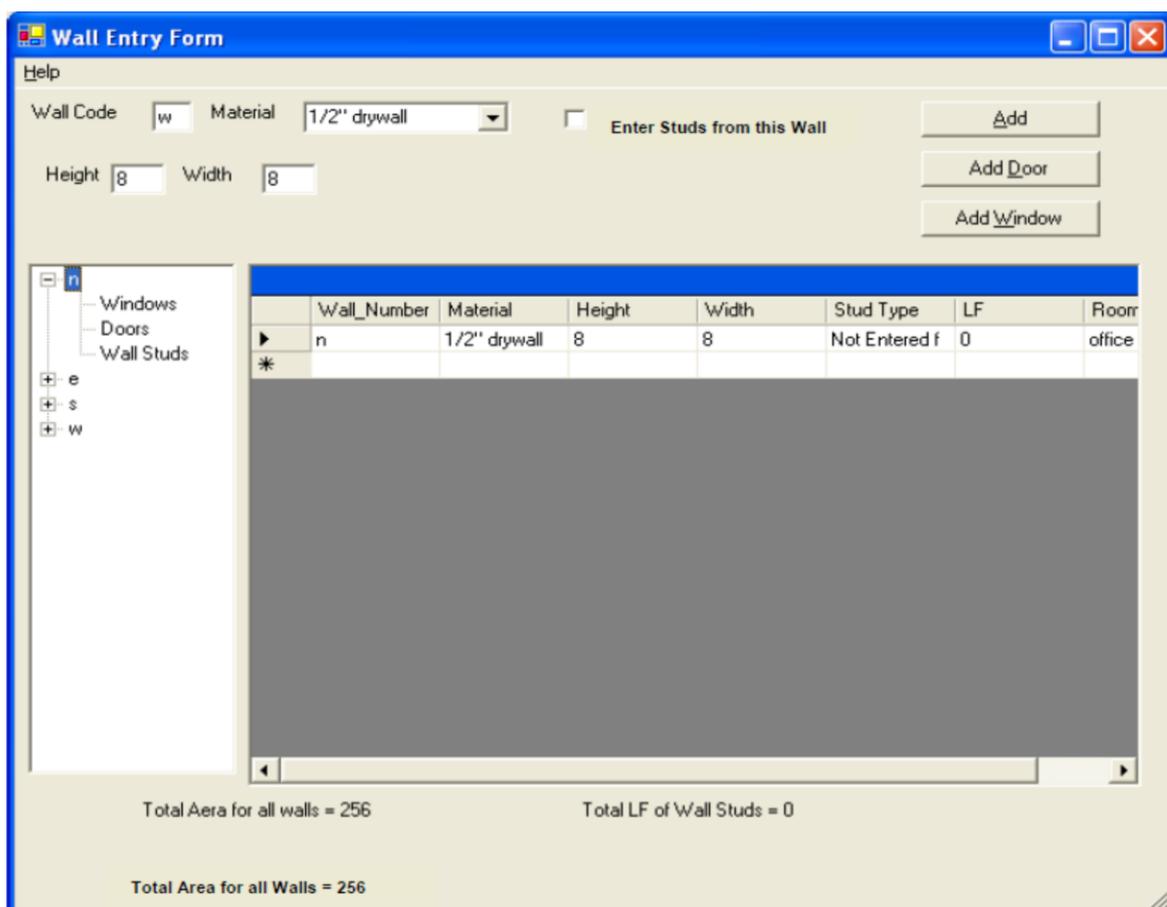


Figura C.2: Página do software relativa a entradas de dados relativas à parede.

Fonte: GUY; OHLSEN, 2003.

Uma vez que o inventário de construção está completo, com quantidades e preços dos materiais associados, haverá uma base de dados estabelecida com um cálculo de todo o edifício, de volume e de peso, com o valor residual estimado de cada um dos elementos. A versão padrão da ferramenta inclui tempos de trabalho e algumas estimativas de valor para os materiais individuais, como peça 2x4 de madeira serrada. O usuário é livre para mudar o percentual de recuperação estimado como quiser.

Após a conclusão das estimativas de quantidades de materiais, uma taxa de recuperação é atribuída a cada elemento para estimar o valor de recuperação real esperado. O fator residual é calculado primeiramente com base no nível geral de deterioração determinado na avaliação preliminar, e, em seguida, baseado em dados ainda mais refinados fornecidos para cada elemento do edifício. Após a conclusão dos materiais detalhados e estimativas de recuperação, o usuário será capaz de estimar os custos baseados em taxas unitárias de desconstrução, taxas trabalhistas e os custos de descarte. O relatório final combina essas estimativas e variáveis para determinar a relação custo-eficiência de uma desconstrução.

C.2. Modelo de Durmisevic (2006)

No modelo inicial de Durmisevic (2006), cada subaspecto divide-se em variáveis, às quais se deu uma pontuação (peso), adicionando o fator de ponderação, que apresenta o impacto de cada subaspecto no aspecto principal da DfD, como mostrado no Quadro C.1. O valor mais favorável para cada subaspecto de desmontagem é definido como o valor "1". Essa pontuação serve para a representação das variáveis no diagrama apresentado no capítulo 5, figura 5.2.

Quadro C.1. Aspectos, Subaspectos, variáveis e pesos (continua)

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla	Variáveis dos subaspectos	Peso	
FD	1.1. Separação Funcional	Fs01	Separação de funções	1	
		Fs02	Integração de funções com o mesmo ciclo de vida em um elemento	0.6	
		Fs03	Integração de funções com diferentes ciclos de vida em um elemento	0.1	
	$F_s = [fs1+fs2+...fs(n)]/n$				
	1.2. Dependência funcional	Fdp01	Zoneamento modular		1
		Fdp02	Planejada interpenetração de soluções diferentes (excesso de capacidade)		0.8
		Fdp03	Planejado interpenetração para uma solução		0.4
		Fdp04	Interpenetração não planejada		0.2
		Fdp05	Dependência total		0.1
	$F_{dp} = [fdp1+fdp2+...fdp(n)]/n$				
FD= cálculo fuzzy baseado em "Fs" e "Fdp" e seus fatores de peso					

Quadro C.1. Aspectos, Subaspectos, variáveis e pesos

(continuação)

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso	
SY	Estrutura e níveis de materiais	St01	Componentes	1	
		St02	Elementos/componentes	0.8	
		St03	Elementos	0.6	
		St04	Material/ elemento/ componente	0.4	
		St05	Material/elemento	0.2	
		St06	Material	0.1	
	$St = [St1+St2+...St(n)]/n$				
	Tipos de agrupamento	C01	Agrupamento de acordo com a funcionalidade	1	
		C02	Agrupamento de acordo com o ciclo de vida dos materiais	0.6	
		C03	Agrupamento para a desmontagem rápida	0.3	
		C04	Não há agrupamento	0.1	
$C = [C1+C2+...C(n)]/n$					
SY= cálculo fuzzy baseado em “St” e “C” e seus fatores de peso					

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso
BE	Tipo de Elemento Base	B01	Elemento base intermediário entre sistemas/componentes	1
		B02	Elemento base em 2 níveis	0.6
		B03	Elemento com 2 funções (elemento base e 1 função na edificação)	0.4
		B04	Não há elemento base	0.1
	$B = [B1+B2+...B(n)]/n$			
BE= cálculo fuzzy baseado em “B” e seus fatores de peso				

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso	
A	Direção de montagem baseada em tipo de montagem	Ad01	paralela	1	
		Ad02	montagem estática	0.6	
		Ad03	Elemento base de montagem estática	0.4	
		Ad04	sequencial	0.1	
	$Ad = [Ad1+Ad2+...Ad(n)]/n$				
	Sequência de montagem em relação ao nível de materiais. (1)- Ordem de montagem em primeiro lugar (2)- Ordem de montagem em segundo lugar	As01	Componente (1)/ Componente (2)	1	
		As02	Componente (1)/ Elemento (2)	0.8	
		As03	Elemento (1)/ Componente (2)	0.6	
		As04	Elemento (1)/ Elemento (2)	0.5	
		As05	Material (1)/ Componente (2)	0.3	
		As06	Componente (1)/ Material (2)	0.2	
		As07	Material (1)/ Material (2)	0.1	
	$As = [As1+As2+...As(n)]/n$				
	A= cálculo fuzzy baseado em “Ad”, “As” e seus fatores de peso				

Quadro C.1. Aspectos, Subaspectos, variáveis e pesos

(continuação)

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso	
LCC	Coordenação do ciclo de vida (LC) útil (1)- Ordem de montagem em primeiro lugar (2)- Ordem de montagem em segundo lugar	Ucl01	LC longo (1)/LC longo (2) ou LC curto (1)/LC curto (2)	1	
		Ucl02	LC longo (1) / LC curto (2)	0.8	
		Ucl03	LC médio (1) / LC longo (2)	0.5	
		Ucl04	LC curto (1) / LC médio (2)	0.3	
		Ucl05	LC curto (1) / LC longo (2)	0.1	
	$Ucl = [Ucl1+Ucl2+...Ucl(n)]/n$				
	Coordenação do ciclo de vida técnico (1)- Ordem de montagem em primeiro lugar (2)- Ordem de montagem em segundo lugar	Tcl01	LC longo (1) / LC longo (2) ou LC curto (1)/ LC curto (2) ou LC longo (1) /LC curto (2)	1	
		Tcl02	LC médio (1) / LC longo (2)	0.5	
		Tcl03	LC curto (1) / LC médio (2)	0.3	
		Tcl04	LC curto (1) / LC longo (2)	0.1	
	$Tcl = [Tcl1+Tcl2+...Tcl(n)]/n$				
	Coordenação do ciclo de vida e relação de tamanho (1)- Ordem de montagem em primeiro lugar (2)- Ordem de montagem em segundo lugar	S01	pequeno elemento (1)/ curto LC ou componente médio/ curto LC	1	
		S02	Componente grande (1)/ longo LC	1	
		S03	pequeno elemento (1)/ longo LC	0.8	
		S04	grande componente / curto LC	0.4	
S05		materiais (1)/ curto LC	0.2		
S06		elemento grande/ curto LC ou material/ curto LC	0.1		
$S = [S1+S2+...S(n)]/n$					
LCC= cálculo fuzzy baseado em “Ucl”, “Tcl”, “S” e seus fatores de peso					

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso
RP	Relação de posição em relação ao diagrama	R01	Vertical	1
		R02	horizontal na zona inferior	0.6
		R03	horizontal entre a zona superior e inferior	0.4
		R04	horizontal na zona superior	0.1
	$R = [R1+R2+...R(n)]/n$			
RP= cálculo fuzzy baseado em “R” e seus fatores de peso				

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso
G	Geometria das bordas do produto	Gp01	Linear aberta	1
		Gp02	sobreposição simétrica	0.8
		Gp03	sobreposição de um lado	0.7
		Gp04	sobreposição assimétrica	0.4
		Gp05	Inserção por um dos lados	0.2
		Gp06	Inserção pelos dois lados	0.1
	$G_p = [G_{p1}+G_{p2}+...G_{p(n)}]/n$			
	Padronização das bordas do produto	Spe01	geometria pré-fabricada	1
		Spe02	Metade da geometria padronizada	0.5
		Spe03	geometria feita no canteiro de obras	0.1
	$Spe = [Spe1+Spe2+...Spe(n)]/n$			
G= cálculo fuzzy baseado em “Gp”, “Spe” e seus fatores de peso				

Quadro C.1. Aspectos, Subaspectos, variáveis e pesos (continuação)

Aspectos	Fatores determinantes	Sigla		Peso
C	Tipo de conexões	Tc01	acessório de conexão externa ou sistema de conexão	1
		Tc02	conexão direta com dispositivos de fixação adicionais	0.8
		Tc03	conexão integral direta com inserções (pinos)	0.6
		Tc04	conexão integral direta	0.5
		Tc05	acessório de conexão interna	0.4
		Tc06	Preenchimento com ligação química suave	0.2
		Tc07	Preenchimento com ligação química forte	0.1
		Tc08	ligação química direta	0.1
	$T_c = [T_{c1}+T_{c2}+...T_{c(n)}]/n$			
	Acessibilidade às conexões e intermedários	Af01	acessível	1
		Af02	acessível com operação adicional. Que não causa nenhum dano	0.8
		Af03	acessível com operação adicional. Causa dano reparável	0.6
		Af04	acessível, com operação adicional que causa dano parcialmente reparável	0.4
		Af05	não acessível - dano total de elementos	0.1
	$Af = [Af1+Af2+...Af(n)]/n$			
	tolerância	T01	alta tolerância	1
		T02	tolerância mínima	0.5
		T03	nenhuma tolerância	0.1
	$T = [T1+T2+...T(n)]/n$			
	Morfologia das juntas	Mj01	nó (ligações 3D)	1
		Mj02	ponto	0.8
		Mj03	linear (ligações 1D)	0.6
		Mj04	serviço (ligações 2D)	0.1
$M_j = [M_{j1}+M_{j2}+...M_{j(n)}]/n$				
C= cálculo fuzzy baseado em “Tc”, “Af”, “T”, “Mj” e seus fatores de peso				

O modelo de avaliação desenvolvido por Durmisevic que utiliza a lógica *fuzzy* lida não só com as 17 variáveis independentes e as 14 variáveis dependentes, mas também com 40 relações entre essas variáveis. A essas relações foram dados pesos, que representam a hierarquia de influência que diferentes variáveis têm sobre o resultado final. O objetivo final do modelo é representar todos os fatores que têm um impacto sobre a TC por um único número.

Como dito anteriormente, o modelo possui cinco níveis, representados pelo arranjo hierárquico dos nós. A este respeito, as relações entre os nós estão numa estrutura de alimentação de baixo para cima. Isto significa que qualquer nó no modelo pode afetar apenas os nós com postos mais altos. As relações entre as entradas e os nós foram definidas por pesos, que indicam o nível da sua influência sobre o resultado final.

O fator de ponderação é baseado na análise de cada um dos aspectos e no seu impacto sobre o potencial de desconstrução da estrutura. Foram classificados de 0 (pior valor) a 1 (melhor valor).

A informação recolhida das propriedades da estrutura de construção e seus pesos são representados sob a forma de uma matriz, que é chamada a matriz de conhecimento. A matriz do conhecimento representa as relações/dependências entre os nós. O modelo de conhecimento representa um conjunto de variáveis linguísticas: de pior, bom e melhor.

Os dados de entrada envolvidos neste modelo de conhecimento são difusos no sentido de que as entradas representam intervalos categóricos ao invés de descrições exatas de estado. Devido à natureza dos dados, torna-se evidente que as ferramentas que lidam com informações vagas e imprecisas (dados não-lineares) são essenciais para este modelo.

Segundo Durmisevic (2006), métodos lineares tradicionais são incapazes de lidar com dados não-lineares devido à complexidade das tarefas e a relativa falta de métodos matemáticos que lidam com a complexidade não-linear.

A imprecisão está presente nas variáveis definidas pelo modelo. Portanto, cada nó é descrito por uma regra *fuzzy* de modo que a saída do nó é resultado de uma regra.

O projeto de uma construção é um processo de conhecimento altamente intensivo e complexo para uma análise utilizando métodos convencionais. No entanto, ao se definir os requisitos técnicos e funcionais como um conjunto *fuzzy*, pode-se

executar o raciocínio inexato utilizado durante a fase conceitual e o processo criativo de projeto com melhor encaminhamento de informações e decisões (DURMISEVIC, 2006).

No modelo básico existem 14 nós principais que desempenham um papel na determinação da TC. Cada nó possui subcomponentes representados por setas de entrada. No modelo, cada nó corresponde a uma regra e, com a combinação de 14 nós, o TC é determinado. As relações entre os componentes principais são representados por fatores de peso relevantes. Cada peso recebeu um valor entre 0 e 1, que representam a intensidade da relação. As relações são representadas por variáveis *fuzzy* caracterizadas por uma função de pertinência. As funções de pertinência utilizadas neste trabalho estão sob a forma de funções Gaussianas. Assim, uma função de pertinência μ é dada por:

$$\mu(x_p) = \exp(-(x_p - w_{ij})^2 / 2\sigma^2) \quad \text{C.1}$$

Onde w_{ij} e σ são a média e a variância da Gaussiana, respectivamente.

A elaboração das regras *fuzzy* foi definida com conectivos “and”. A média de cada gaussiana é caracterizada pelos fatores de ponderação no modelo de conhecimento.

Para $x_p = w_{ij}$, obtem-se $\mu(x_p) = 1$, de modo que o modelo de conhecimento verifica a TC para as entradas padrão que formam o modelo. Neste caso, as funções de pertinência tomam os valores máximos, indicando que os valores dos componentes têm os seus melhores valores representativos. Por conseguinte, o modelo representativo de conhecimento é formado.

O modelo determinado pode ser utilizado para a avaliação da TC para diferentes entradas. O modelo de conhecimento primeiro calcula o caso ideal em relação à TC calculada. O caso ideal é usado como um caso padrão TCs. Uma vez que o modelo de conhecimento tem nós bem definidos que definem a TC ideal, qualquer desvio a partir destes valores, isto é, a cada entrada de teste, a TC irá diminuir em relação à TC ideal. No modelo de conhecimento a TC foi normalizada por TCs de modo que a capacidade de transformação pode ser obtida na forma de uma proporção de TC/TCs. Esta proporção é interpretada como a capacidade para que a transformação ocorra. Para

entradas de teste, a avaliação de cada nó de saída é determinada pelas funções de pertinência.

Dessa forma, a avaliação da TC foi dividida nas seguintes fases:

1. Limites de sistemas: estabelecimento de critérios claros de desempenho para a transformação.

2. Coleta de dados: análise da composição técnica de configuração.

3. Avaliação: construção da árvore do processo, normalização, caracterização e pesos das diferentes categorias. Como resultado destes cálculos, um gráfico com os impactos dos diferentes aspectos sobre a transformação é apresentado. Com um modelo de conhecimento desenvolvido para a avaliação da TC, estas categorias diferentes podem ser combinadas numa única figura. Finalmente, é possível indicar os aspectos que devem ser melhorados para obter um melhor desempenho.

4. Avaliação de melhoria. Como resultado da avaliação, partes da configuração têm maiores impactos sobre TC total do que em outros. Para melhorar a TC total melhorias podem ser feitas às partes do produto ou da construção que têm o maior impacto.

Como resultados dos TCs, os aspectos que sugerem a demolição total da edificação foram classificados entre 0,1 e 0,2. Os aspectos que indicam demolição parcial e reconfiguração foram classificados entre 0,3 e 0,6. Finalmente, os aspectos que indicam a desmontagem com possível reutilização, reconfiguração e reciclagem têm valores entre 0,6 e 0,9. De acordo com a estrutura definida, todas as estruturas de edifícios podem ser agrupados em três categorias:

Categoria 1: A primeira categoria de transformação tem elevado potencial de desmontagem em que ambos os indicadores de transformação (independência e permutabilidade) têm mais do que 70%. Estes resultam em um $TC > 0,67$. Deste modo, menos de 25% dos resíduos de construção é produzido durante desconstrução.

Categoria 2: A segunda categoria tem potencial médio de desmontagem com indicadores entre 33 e 70%. Isto resulta em um TC entre 0,33 e 0,67. Assim, entre 20-80% dos resíduos da construção civil é produzido durante a desconstrução.

Categoria 3: A terceira categoria tem um baixo potencial de desmontagem, onde ambos os indicadores têm menos de 33%. Consequentemente $TC < 0,33$, sendo mais de 80% dos resíduos de construção produzidos durante a desconstrução.

Embora seja claro o uso da lógica *fuzzy* para o cálculo de TC, o trabalho não deixa claro como esses cálculos foram realizados e nem quais foram as funções de pertinência adotadas para cada variável de entrada. Embora apresente a aplicação do modelo em estudos de caso, o trabalho só apresenta os resultados finais, sem demonstrar o processo de avaliação e aplicação do método.

APÊNDICE D- SEGURANÇA DO TRABALHO EM ALTURA

Segundo a atual norma regulamentadora nacional que trata da segurança do trabalho em altura, NR35-Trabalho em altura (BRASIL, 2014d), o empregador deve assegurar a realização de avaliação prévia das condições no local do trabalho em altura, pelo estudo, planejamento e implementação das ações e das medidas complementares de segurança aplicáveis. As atividades de trabalho em altura não rotineiras devem ser previamente autorizadas mediante Permissão de Trabalho⁴⁸, depois de realizada a Análise de Risco⁴⁹. A norma também define a capacitação, o treinamento periódico e os exames para avaliação do estado de saúde dos operários que exercem atividades em altura.

Uma das formas de reduzir o trabalho em altura consiste em desmontar e manter o máximo de estruturas em aço em conjunto e, se preciso, separar as peças ao nível do solo, ou a partir de lajes de piso construídos. Segundo Corus (2006), a montagem prévia de subconjuntos de peças ainda no térreo é, na maioria das vezes, o método mais adequado e seguro de construção. Toda sequência de montagem antes do içamento deve ser avaliada e prevista na etapa de projeto e no plano de montagem. Durante a desconstrução pode-se utilizar a ordem de desmontagem de forma inversa à ordem da montagem, deixando para separar também ao solo as peças que foram unidas ao solo antes do içamento. Assim deve-se proceder a remoção dos subconjuntos inteiros da construção, desmontando-os de forma mais segura.

Durante a construção, a instalação dos sistemas de escada permanente ou temporário, logo que possível, ajuda a eliminar alguns dos riscos associados ao acesso temporário. Nas operações de desconstrução, como são geralmente executadas de cima para baixo, os acessos por escadas permanentes devem ser mantidos até o final dos serviços aos quais podem dar alcance.

A norma NR18 (BRASIL, 2013) exige que a transposição de pisos com diferença de nível superior a quarenta centímetros deve ser feita por meio de escadas ou

⁴⁸ Documento escrito contendo conjunto de medidas de controle visando o desenvolvimento de trabalho seguro, além de medidas de emergência e resgate (BRASIL, 2014d).

⁴⁹ Avaliação dos riscos potenciais, suas causas, consequências e medidas de controle (BRASIL, 2014d).

rampas, admitindo o uso de escada de mão para uso restrito, acessos provisórios e serviços de pequeno porte. Para evitar as restrições de acesso, sistemas de acessos temporários, tais como andaimes, podem ser instalados. Também é admitido o uso de plataforma de trabalho com sistema de movimentação vertical e de Plataforma de Trabalho Aéreo⁵⁰ (PTA). O cinto de segurança tipo paraquedista⁵¹, dotado de dispositivo trava-quedas e ligado a cabo de segurança⁵² independente da estrutura do andaime, deve ser utilizado em atividades a mais de dois metros de altura do piso, nas quais haja risco de queda do trabalhador (BRASIL, 2013).

Uma recente alteração na norma NR18⁵³ (BRASIL, 2013) exige que, durante serviços onde não é possível a instalação de cabo-guia de segurança, seja obrigatório o uso de duplo talabarte⁵⁴: “18.23.5 Em serviços de montagem industrial, montagem e desmontagem de guias, andaimes, torres de elevadores, estruturas metálicas e assemelhados onde haja necessidade de movimentação do trabalhador e não seja possível a instalação de cabo-guia de segurança, é obrigatório o uso de duplo talabarte, mosquetão de aço inox com abertura mínima de cinquenta milímetros e dupla trava”.

A norma NR35 (BRASIL, 2014d) também admite a adoção da técnica de “Acesso por Corda” para trabalho em altura. Considera-se acesso por corda a técnica de progressão utilizando cordas, com outros equipamentos para ascender, descender ou se deslocar horizontalmente, assim como para posicionamento no local de trabalho, normalmente incorporando dois sistemas de segurança fixados de forma independente, um como forma de acesso e o outro como corda de segurança utilizado com cinturão de

⁵⁰ PTA é um equipamento móvel, autopropelido ou não, dotado de uma estação de trabalho (cesto ou plataforma) e sustentado em sua base por haste metálica (lança) ou tesoura, capaz de erguer-se para atingir ponto ou local de trabalho elevado (BRASIL, 2013). A área de operação do PTA deve ser delimitada e sinalizada, de forma a impedir a circulação de trabalhadores. Todos os trabalhadores na PTA devem utilizar cinto de segurança tipo paraquedista ligado ao guarda-corpo do equipamento ou a outro dispositivo específico previsto pelo fabricante.

⁵¹ Cinto tipo paraquedistas: Equipamento de Proteção Individual utilizado para trabalhos em altura onde haja risco de queda, constituído de sustentação na parte inferior do peitoral, acima dos ombros e envolto nas coxas (BRASIL, 2013).

⁵² Cabo-Guia ou de Segurança é um cabo ancorado à estrutura, onde são fixadas as ligações dos cintos de segurança (BRASIL, 2013).

⁵³ Portaria SIT n.º 201 de 21 de janeiro de 2011.

⁵⁴ Duplo talabarte é um dispositivo de conexão de um sistema de segurança, regulável ou não, para sustentar, posicionar e/ou limitar a movimentação do trabalhador (BRASIL, 2013).

segurança tipo paraquedista. Durante a execução da atividade o trabalhador deve estar conectado a pelo menos duas cordas em pontos de ancoragem independentes.

O acesso por corda pode ser uma opção mais segura se comparada a outras alternativas, tais como, andaimes, balancins, escadas, plataformas elevatórias, etc. Os pontos fortes que têm levado à expansão do seu uso são: a) permitir acesso a locais que apresentem restrições de acesso por outros métodos; b) ser uma opção quando outros métodos resultarem em risco maior aos trabalhadores direta ou indiretamente envolvidos (BRASIL, 2014a).

Apesar dos meios de acesso temporário apresentados por ambas as normas, não existe qualquer menção sobre a utilização da própria estrutura como acesso, método frequentemente utilizado durante a montagem de estruturas para acesso aos pontos de trabalho. Conforme mostrado na figura D.1, é possível observar trabalhadores andando sobre as vigas, causando sérios riscos de queda.

Segundo a *British Constructional Steelwork Association* (BCSA, 2006), quando se trata de estruturas altas, admite-se que nem sempre é possível garantir o acesso por meio de escadas ou andaimes para determinadas operações de soldagem e acabamento. As mesmas dificuldades são enfrentadas durante a desconstrução. Entretanto, em nenhum momento os funcionários são autorizados a caminhar sobre o topo da mesa⁵⁵ da viga. Nesses casos a associação britânica admite a utilização de uma técnica chamada de "*beam straddling*", onde os trabalhadores devem se mover ao longo da viga na posição sentada sobre o topo da mesa superior com ambas as mãos segurando o topo da mesa superior da seção e os pés apoiados no interior da mesa inferior, em cada uma das laterais. O uso de "*beam straddling*" deve ser evitado quando o uso de um dos seguintes métodos é possível: uso de plataformas de trabalho elevatórias ou plataformas de trabalho aéreas; uso de andaimes móveis (torres de acesso móveis); andaimes; plataformas de extensão para acesso e escadas para acesso às posições de trabalho ou como posto de trabalho (admitido para tarefas curtas de no máximo 30 minutos).

⁵⁵ Seções transversais dos perfis metálicos são compostas por partes: flanges ou mesas e alma. Mesa ou Flange: extremidades horizontais da seção transversal de um perfil metálico I. Alma: parte vertical da seção transversal de um perfil metálico I, situada entre as mesas.

Os trabalhadores devem ser treinados a seguir instruções especiais necessárias para a atividade onde o acesso é requerido por meio do método “*beam straddling*”. O método só pode ser iniciado se a dimensão da seção é adequada (normalmente com altura entre 356 milímetros e 610 milímetros).



Figura D.1: Trabalhadores posicionados em pé sobre vigas para acesso temporário em construção metálica.

De acordo com o código de prática do BCSA (2006), a utilização do método *beam straddling* deve ser justificada pelo contratante. Um método específico para a execução dessa tarefa deve ser desenvolvido juntamente com uma avaliação dos riscos associados. Nesse caso, deve ser previsto todo o tipo de prevenção de quedas possível, principalmente a utilização de duplo talabarte como EPI. Os funcionários responsáveis pela tarefa devem ser treinados e instruídos para controle dos riscos envolvidos.

O trabalhador deve usar cinto de segurança tipo paraquedista, ligado ao trava-quedas de segurança e este ligado a um cabo guia. Na ausência de cabo guia, para o acesso com o método “*beam straddling*” podem-se usar equipamentos como *beam gliders* ou *girder trolleys*, que são presos na mesa inferior da viga, permitindo que o trabalhador atravesse a viga estando preso na estrutura pelo equipamento e trava-quedas (BCSA, 2006).

Segundo Corus (2006), o acesso seguro pode ser conseguido a partir de pisos metálicos ou pranchas pré-moldadas instaladas no andar inferior. Toole (2011) sugere a previsão, por meio de projeto, de plataformas modulares temporárias e desmontáveis.

Dentre as medidas que eliminam ou diminuem o risco de queda dos trabalhadores destacam-se os seguintes sistemas de proteção (MACHADO; TIBIRIÇÁ; SENSATO, 2012): a) **sistema de prevenção de quedas**, que impede o trabalhador de ficar em uma posição de onde poderia cair (exemplos: guarda-corpos, barreiras e sistemas de proteção de periferia); b) **sistemas de retenção ou contenção**, que restringe o usuário de atingir os locais onde uma queda possa vir a ocorrer (exemplos: pontos de ancoragem como componentes, definitivos ou temporários, ou cabos-guia aos quais se fixam as ligações do cinto de segurança tipo abdominal⁵⁶); c) **sistemas de limitação de queda**, que consistem em dispositivos que limitam a extensão da queda, de modo que o usuário permaneça preso em caso de perda de equilíbrio, desfalecimento ou queda (exemplos: redes de segurança e pontos de ancoragem⁵⁷ aos quais o trabalhador possa conectar seu cinto de segurança tipo paraquedistas, diretamente ou por meio de outro dispositivo).

Um dos **sistemas de prevenção de quedas** previsto na norma NR18 é a proteção contra queda de trabalhadores e projeção de materiais na periferia da edificação⁵⁸ (BRASIL, 2013). Segundo a BCSA (2006) e a CORUS (2006), devem-se disponibilizar pontos para a fixação da proteção de periferia e, sempre que possível, instalar a proteção como integrante na estrutura de aço ainda ao nível do solo, como o mostrado na figura D.2, reduzindo o risco de trabalhos em altura durante a instalação do sistema. Mesmo que a sequência de trabalho limite a instalação completa de tais itens ainda no solo, a disponibilização de pontos de fixação adequados facilita e torna mais ágil a instalação do sistema em altura. Alguns sistemas usam braçadeiras que podem prender a proteção contra quedas ainda ao nível do solo ou após a instalação das vigas.

⁵⁶ Cinto tipo abdominal: cinto de segurança com fixação apenas na cintura, utilizado para limitar a movimentação do trabalhador (BRASIL, 2013).

⁵⁷ Ponto destinado a suportar carga de pessoas para a conexão de dispositivos de segurança, tais como cordas, cabos de aço, trava-queda e talabartes.

⁵⁸ Sistema de proteção, geralmente constituído de anteparos rígidos com guarda-corpo, rodapé e vãos preenchidos com tela.

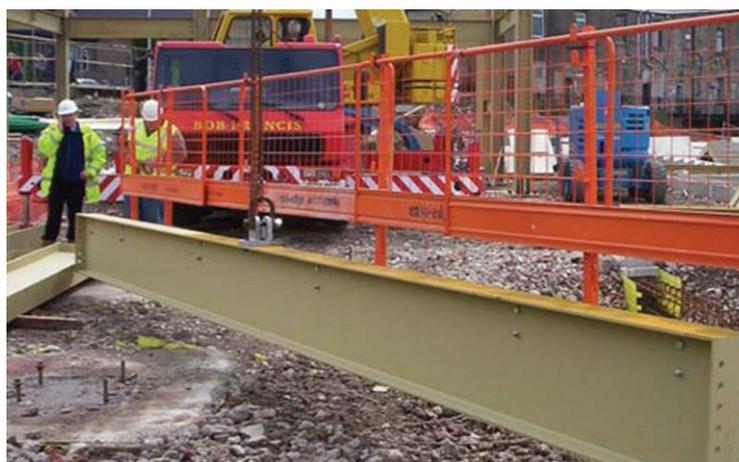


Figura D.2: Proteção de periferia fixa na viga antes do içamento

Fonte: BCSA, 2006.

Outros sistemas contam com peças soldadas ao aço que são posteriormente incorporadas na laje quando da sua concretagem. Há ainda sistemas que dependem de um padrão específico de orifícios prévios no componente de aço, executados durante a fabricação (BCSA, 2006). Sugere-se também o projeto de guarda-corpo de periferia e plataformas de proteção em perfis tubulares de aço, com dimensões ajustáveis, de forma a permitir o reaproveitamento em diversas obras, como mostrado nas figuras D.3 e D.4 (MÉLO FILHO; RABBANI; BARKOKÉBAS JUNIOR, 2008).

Com relação **aos sistemas de retenção**, é recomendável a previsão, ainda na fase de projeto, de pontos de ancoragem estratégicos nas lajes inferiores ou superiores ou em pilares, a fim de limitar a movimentação dos funcionários. Podem-se também utilizar cabos de aço passando por orifícios ou ganchos nos pilares, que funcionam como cabos-guia para a fixação de cintos de segurança. Os cabos podem passar em furos previamente executados durante a fabricação dos pilares ou em acessórios de metais a eles soldados, como mostrado na figura D.5 (MÉLO FILHO; RABBANI; BARKOKÉBAS JUNIOR, 2008). Podem ser simples olhais de rosca, ganchos de metal, talhas de viga, ou outros elementos estruturais com capacidade nominal robusta.

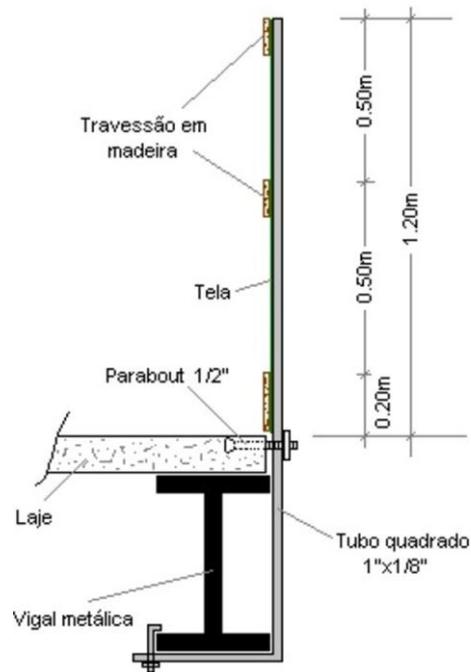


Figura D.3: Guarda corpo de periferia ajustável, conforme a NR18.
 Fonte: MÉLO FILHO; RABBANI; BARKOKÉBAS JUNIOR, 2008.

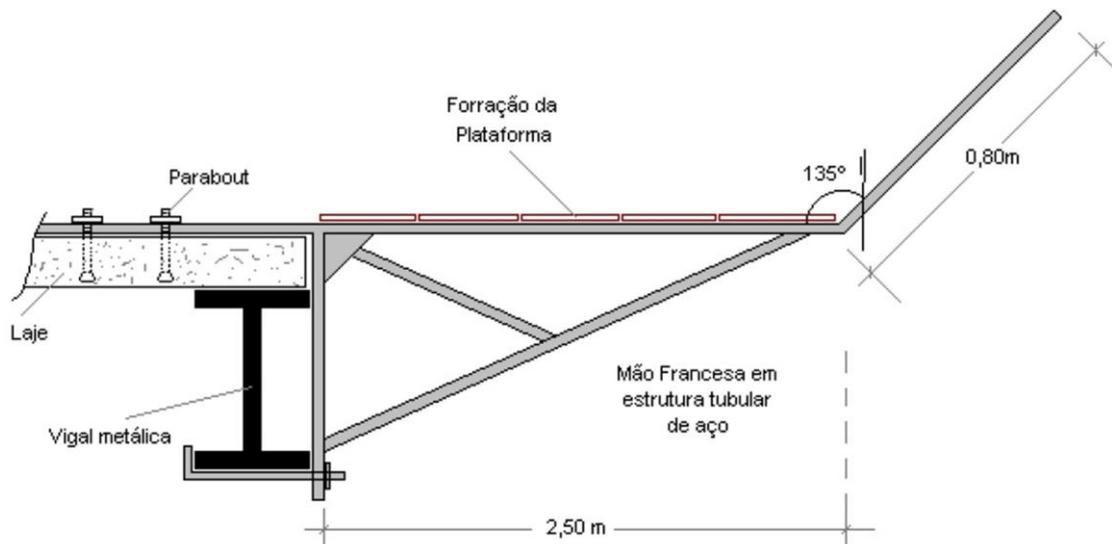


Figura D.4: Plataforma principal de proteção, elaborada segundo a NR 118.
 Fonte: MÉLO FILHO; RABBANI; BARKOKÉBAS JUNIOR, 2008.

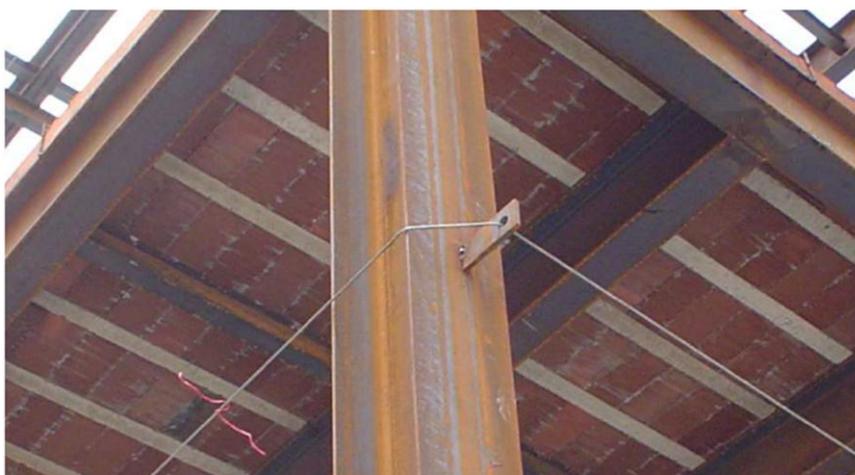


Figura D.5: Cabos de aço fixados em acessórios soldados no pilar.
Fonte: MÉLO FILHO; RABBANI; BARKOKÉBAS JUNIOR, 2008.

Onde as barreiras fixas ou os dispositivos de retenção não puderem ser instalados, devem-se fornecer **sistemas de limitação de queda**. Podem-se prever orifícios e pontos de ancoragem, dimensionados para suportar impactos de queda, para a instalação de cabos-guia ou para a fixação dos cintos de segurança do tipo paraquedista dotado de dispositivo para conexão no sistema de ancoragem. O talabarte e o dispositivo trava-quedas devem estar fixados acima do nível da cintura do trabalhador, ajustados de modo a restringir a altura de queda e assegurar que, em caso de ocorrência, minimize as chances do trabalhador colidir com uma estrutura inferior. (BCSA, 2006; BRASIL, 2013).

A maioria desses sistemas, quando previstos e utilizados durante a construção podem ser reutilizados no processo de desconstrução.

APÊNDICE E- LÓGICA FUZZY

E.1. Introdução à lógica *fuzzy*

Lógica é a ciência que tem por objetivo o estudo das leis do raciocínio (AGUIAR; JÚNIOR, 2007). A forma de raciocínio da lógica clássica ou booleana, na qual uma expressão só pode assumir dois valores, verdadeiro ou falso, é utilizada como forma de modelagem de problemas matemáticos e modelagem computacional convencional, que utiliza esse conceito de bivalência. No entanto esse raciocínio é inadequado quando se pensa em problemas do mundo real por não conseguir trabalhar com ambiguidades (MOREIRA, 2007).

Segundo Barros e Bassanezi (2010), no cotidiano, as ações humanas controlam os mais diversos sistemas do mundo real por meio de informações imprecisas. Cada indivíduo funciona como uma "caixa preta": recebe informações que são interpretadas segundo seus parâmetros e então decide qual atitude tomar.

É difícil imaginar uma pessoa pensando em somente duas possibilidades (sim/não, verdadeiro/falso, branco/preto) quando lida com fatores como ambiguidades, incertezas e informações vagas.

Lofti A. Zadeh, ainda na década de 1960, percebeu que os métodos tradicionais de análise de sistemas e os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar as atividades relacionadas a problemas que compreendessem situações ambíguas, não passíveis de processamento por meio da lógica booleana.

Segundo Moreira (2007), ao tentar aproximar a modelagem matemática e os problemas do mundo real e após observar que muitas regras utilizadas pelas pessoas para fazer inferências não eram conscientes, ou seja, não podiam ser explicadas pelas pessoas que as usavam, Zadeh desenvolveu, em 1965, a lógica *fuzzy*. A lógica *fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa ou lógica difusa, reconhece as muitas possibilidades existentes entre o verdadeiro e o falso, sendo uma variação da lógica tradicional.

Segundo Barros e Bassanezi (2010), a lógica *fuzzy* é de fato uma lógica (área do conhecimento que estuda consequências) com suas metodologias próprias, que tem por finalidade o estudo dos princípios formais do raciocínio aproximado. A seguir

apresenta-se uma pequena recapitulação da lógica clássica, de modo a se entender a transposição de operadores para o âmbito da Lógica *Fuzzy*.

E.2. Lógica clássica e lógica *fuzzy*

Na lógica clássica, sentenças verdadeiras têm valor lógico 1, enquanto sentenças falsas têm valor lógico 0. Já a Lógica *Fuzzy* é multivalorada. Em vez de um elemento ser 100% pertencente a um conjunto ou outro, ou uma proposição ser inteiramente verdadeira ou falsa, a lógica difusa trabalha com afirmações parcialmente verdadeiras e parcialmente falsas ao mesmo tempo (MOREIRA, 2007).

Na teoria clássica dos conjuntos, estes podem ser definidos de forma bastante simples: são uma coleção de objetos que apresentam determinada característica em comum. Os objetos possuem apenas duas maneiras de se relacionar com o conjunto: ou pertencem ou não pertencem ao conjunto. Como exemplo, pode-se apresentar o problema para identificar pessoas com estatura média. Se considerar tais pessoas com altura entre 1,60 e 1,70 m, a lógica booleana não conseguiria identificar as pessoas com 1,59 ou 1,71 m como pertencentes a esse grupo. Já a Lógica *Fuzzy* identificaria essa pessoa como pertencente ao grupo, porém com um grau de certeza menor que outra pessoa com 1,65 m (MOREIRA, 2007).

Na lógica booleana, dado um conjunto A em um universo X , os elementos desse universo simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto:

$$f_{A(x)} = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \text{ pertence a } A \\ 0 & \text{se e somente se } x \text{ não pertence a } A \end{cases} \quad (\text{E.1})$$

Esses valores 1 e 0 representam respectivamente, o resultado da função de pertinência ou característica ($f_{A(x)}$) quanto a sua pertinência ou não pertinência de um elemento no conjunto (ou a verdade e a falsidade da afirmação de que um elemento pertence ao conjunto).

Zadeh propôs uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica de modo que ela pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo $[0,1]$. Os conjuntos *fuzzy* também são definidos sobre um domínio (universo de discurso), mas não possuem uma fronteira abruptamente delimitada.

Segundo Tanscheit (2007), um conjunto *fuzzy* A em um universo X é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$, e representado por um conjunto de pares ordenados

$$A = \{x, \mu_A(x)\} \quad x \in X \quad (\text{E.2})$$

Onde x é a variável, contínua ou discreta, do universo em estudo e $\mu_A(x)$ é uma função cuja imagem pertence ao intervalo $[0,1]$; indica o quanto x é compatível com o conjunto A .

O valor “0” é usado para representar a não pertinência e o valor “1” é utilizado para representar a pertinência completa dos elementos no conjunto. Já os valores no intervalo entre “0” e “1” são utilizados para representar os graus de pertinência dos elementos no conjunto.

Em outras palavras, frequentemente o mapeamento é descrito como uma função de pertinência ao conjunto F . O grau pelo qual a afirmação $x \in F$ é verdadeira é determinado pelo par ordenado do qual o primeiro elemento é x e o segundo elemento do par determina o grau de veracidade da afirmação, podendo ser completamente falso, se o valor for 0; ou completamente verdadeiro, se o valor for 1; admitidos também valores intermediários. Determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência (AGUIAR; JÚNIOR, 2007).

Dessa forma, intuitivamente, pode-se dizer que a lógica clássica é uma espécie de recorte da lógica *fuzzy*, quando as incertezas tendem a zero (BARROS; BASSANEZI, 2010). No entanto, a Lógica *fuzzy* é uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural, e convertê-las para o formato numérico, de fácil manipulação. Seu objetivo é capturar os diferentes graus de incerteza existentes para as situações da vida real e modelar essas situações de uma forma matemática. Esse grau de incerteza ou grau de pertinência é representado como função de pertinência (MOREIRA, 2007).

E.3. Variáveis linguísticas

Segundo Barros e Bassanezi (2010), uma variável linguística X no universo U é uma variável cujos valores assumidos são subconjuntos *fuzzy* de U . Tecnicamente

variável linguística é um substantivo, enquanto seus valores são adjetivos, representados por conjuntos *fuzzy*.

Por exemplo, a temperatura de determinado processo pode ser uma variável linguística assumindo valores: baixa, média e alta. Esses valores são descritos por intermédio de conjuntos *fuzzy*, representados por funções de pertinência, conforme mostrado na figura E.1. Generalizando, os valores de uma variável linguística podem ser sentenças em uma linguagem especificada, construídas a partir de termos primários (alto, baixo, pequeno, médio, grande, zero, por exemplo), de conectivos lógicos (negação “não”, conectivos “e” e “ou”), de modificadores (utilizados para alterar tributos, modelar advérbios, como por exemplo: muito, pouco, levemente, extremamente) e de delimitadores (como parênteses) (TANSCHHEIT; 2007).

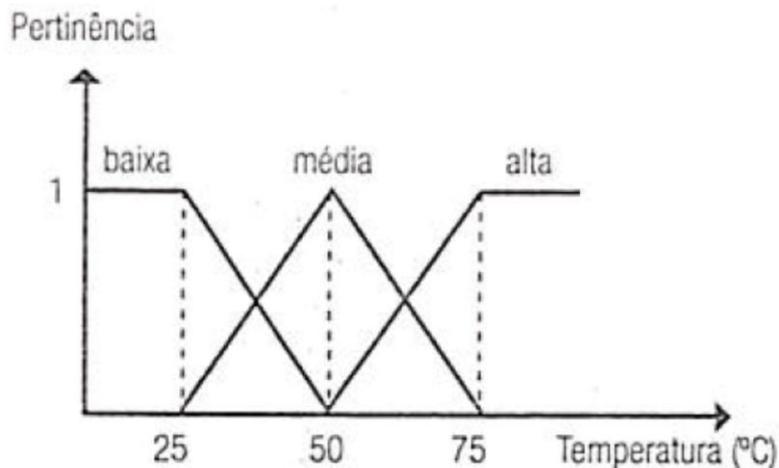


Figura E.1: Funções de pertinência para a variável temperatura.
Fonte: AGUIAR; JUNIOR, 2007.

Segundo Tanscheit (2007), formalmente, tomando o exemplo da variável temperatura, uma variável linguística é caracterizada da seguinte forma, conforme mostrado no Quadro E.1.

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma representação para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição linguística empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados pelos termos matemáticos convencionais.

Quadro E.1 – Variável linguística – exemplo temperatura

N	nome da variável
T(N)	conjunto de termos de N, ou seja, o conjunto de nomes dos valores linguísticos de N. No exemplo, T(N): {baixa, média, alta}
X	universo de discurso, domínio. Por exemplo, 0 a 100°C
G	regra sintática para gerar os valores de N como uma composição de termos T(N), conectivos lógicos, modificadores e delimitadores. No exemplo, G: temperatura não baixa e não muito alta.
M	regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto <i>fuzzy</i> em X. Associa o valor anterior a um conjunto <i>fuzzy</i> cuja função de pertinência exprime o seu significado.

E.4. Funções de pertinência

Segundo Moreira (2007), cada conjunto *fuzzy* A é definido em termos de compatibilidade com um conjunto universal, X , por meio de uma função denominada função de pertinência, μ , associando a cada elemento x um número $\mu(x)$ no intervalo fechado $[0,1]$ que caracteriza o grau de pertinência de x em A .

De acordo com Barros e Bassanezi (2010) é neste ponto que as variáveis e suas classificações linguísticas são catalogadas e, em seguida, modeladas por conjuntos *fuzzy*, isto é, funções de pertinência. Os métodos para obter essas funções de pertinência são os mais variados: apelos intuitivos, ajustes de curvas, interpolações e até mesmo redes neurais. Geralmente com os especialistas, as funções de pertinência são formuladas para cada conjunto *fuzzy* envolvido no processo.

As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. Segundo Barbalho⁵⁹ (2001 apud MOREIRA, 2007), qualquer função que mapeie o domínio U no intervalo $[0,1]$ pode ser utilizada como função de pertinência. De acordo com Tanscheit (2007), as funções de pertinência podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva do usuário, mas é comum fazer-se uso de funções de pertinência mais comuns, por exemplo, as de forma triangular, trapezoidal e gaussiana, como ilustrado na figura E.2.

⁵⁹ BARBALHO, V. M. de S. **Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Difusa para Simulação do Processo Chuva-Vazão**. 2001. 77f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

Em aplicações práticas, as formas escolhidas podem sofrer ajustes em função dos resultados observados.

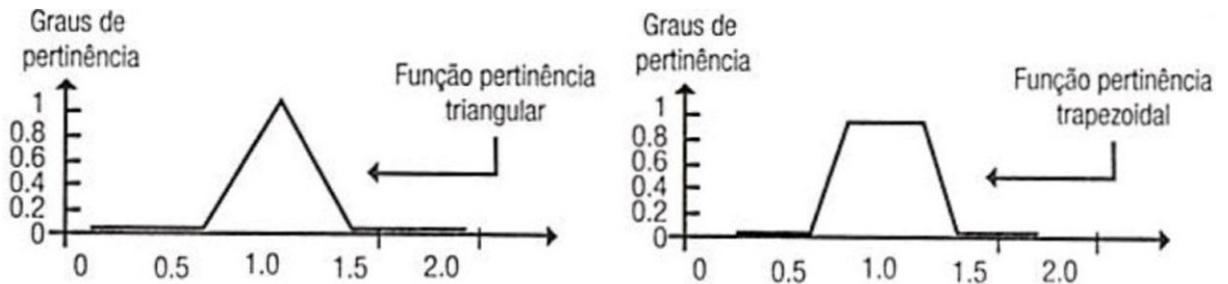


Figura E.2: Funções de pertinência triangular e trapezoidal.
Fonte: MOREIRA, 2007.

E.5. Regras *fuzzy*

Segundo Aguiar e Júnior (2007), toda regra tem um antecedente e um conseqüente. Para uma regra na lógica Clássica, por exemplo, tem-se:

- Se o céu está nublado (antecedente), então vai chover (conseqüente).

Para uma regra *fuzzy* pode-se proceder da seguinte forma:

- Se o céu está um pouco nublado (antecedente), então vai chover pouco (conseqüente).

No primeiro exemplo está ou não está chovendo, o que torna a alternativa verdadeira ou falsa (analogicamente, 1 ou 0). Para o segundo exemplo, por se tratar de afirmações *fuzzy*, existe um “ar de dúvida” e a afirmativa pode assumir graus de incerteza (pouco nublado → chover pouco; muito nublado → chover muito) (AGUIAR; JÚNIOR, 2007).

E.6. Proposições *fuzzy*

As relações entre os antecedentes das regras *fuzzy* e os conseqüentes, ou seja, as variáveis de entrada e saída são expressas por meio de proposições *fuzzy*. As

proposições fuzzy podem ser combinadas utilizando diferentes operadores, por exemplo, os conectivos lógicos “e” e “ou”, a negação “não” e o operador de implicação “se ...então”.

Uma declaração condicional *fuzzy*, também conhecida como operador “se... então”, descreve a dependência do valor de uma variável linguística em relação ao valor de outra. Em muitas aplicações essas declarações condicionais são simplesmente denominadas regras linguísticas, constituindo-se em frases da forma: Se x é A então y é B. Uma frase desse tipo é normalmente denominada implicação (TANSCHKEIT, 2007).

E.7. Base de regras *fuzzy*

Uma base de regras *fuzzy* é um conjunto de várias regras *fuzzy*. Aguiar e Júnior (2007) exemplificam uma base de regras *fuzzy* do seguinte modo:

Variáveis de entrada: escolaridade e experiência;

Domínio das variáveis de entrada: escolaridade de 0 a 15 anos; experiência de 0 a 25 anos;

Variável de saída: salário;

Domínio da variável e saída: de 0 a 1000 unidades monetárias.

Usando-se essas variáveis, pode-se ter, por exemplo, a seguinte base de regras fuzzy:

Regra 1: Se a escolaridade é média e a experiência é pouca, então o salário é muito baixo;

Regra 2: Se a escolaridade é média e a experiência é média, então o salário é pouco baixo;

Regra 3: Se a escolaridade é média e a experiência é grande, então o salário é médio;

Regra 4 - Se a escolaridade é alta e a experiência é pouca, então o salário é pouco baixo;

Regra 5 - Se a escolaridade é alta e a experiência é média, então o salário é médio;

Regra 6 - Se a escolaridade e alta e a experiência é alta, então o salário é alto.

Nesse exemplo a *fuzzificação* das entradas foi feita por meio de palavras. Na realidade, ela é feita com as funções de pertinência que vão modelar matematicamente as palavras. As entradas estão interligadas com a palavra "e", que é o conectivo "e" (AND), podendo ser um operador produto ou mínimo, por exemplo.

O grau de pertinência de uma variável em determinada função de pertinência estabelece o grau de ativação de determinada regra. Quanto mais a entrada for compatível com o antecedente da regra, mais peso terá seu consequente no resultado final (TANSCHHEIT, 2007).

E.8. Sistema baseado em regras *fuzzy*

A teoria de conjuntos *fuzzy* e os conceitos de Lógica *Fuzzy* podem ser utilizados para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas. Se um operador humano for capaz de articular sua estratégia de ação como um conjunto de regras da forma “se...então”, um algoritmo passível de ser implementado em computador pode ser construído. O resultado é um sistema de inferência baseado em regras, no qual a teoria de conjuntos *fuzzy* e lógica *Fuzzy* fornecem o ferramental matemático para se lidar com tais regras linguísticas (TANSCHHEIT; 2007).

Segundo Barros e Bassanezi (2010), é possível traduzir termos linguísticos constantemente empregados por especialistas com o intuito de controlar suas tarefas em fórmulas matemáticas, possibilitando a automação de certas tarefas. Segundo Moreira (2007), os sistemas de inferência *fuzzy* são baseados em regras que utilizam as variáveis linguísticas (conjuntos *fuzzy*) para executar um processo de tomada de decisão.

Via de regra, os sistemas de inferência *fuzzy* são compostos de quatro módulos: *fuzzificação*, base de regras, inferência e *defuzzificação*, como esquematizado na figura E.3.

E.9. Base de regras

Os termos linguísticos, traduzidos por conjuntos *fuzzy*, são utilizados para transcrever a base de conhecimentos por meio da base de regras *fuzzy*, ou seja, de uma coleção de regras *fuzzy*. A partir dessa base de regras obtém-se a relação *fuzzy*, a qual produzirá a saída (resposta, ação, também chamados consequentes) para cada entrada (estado, condição, também chamados de antecedentes).

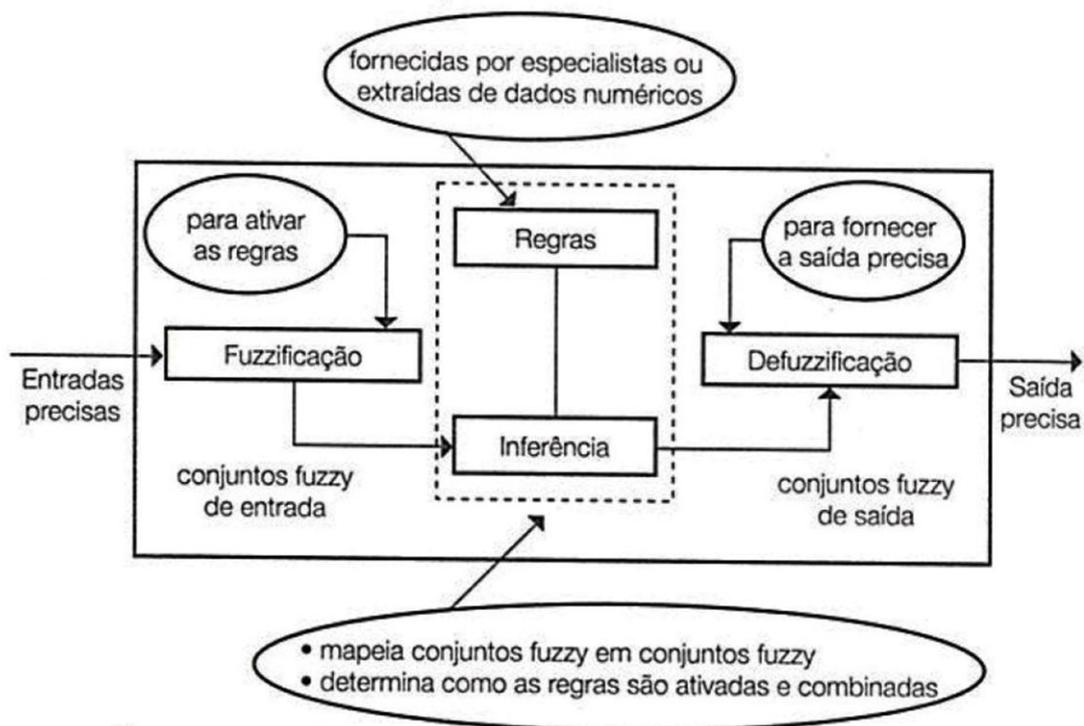


Figura E.3: Esquema do sistema de inferência *fuzzy*.
 Fonte: TANSCHKEIT, 2007.

As regras servem para representar a interdependência entre as variáveis independentes (entradas) e dependentes (saídas) de um sistema real. A base de regras condicionais *fuzzy* deve ser definida a partir de um mesmo conjunto de premissas (variáveis independentes) com respostas pertencentes a um mesmo domínio (MOREIRA, 2007).

Esses sistemas, em geral, são fundamentados no conjunto de regras fuzzy (base de conhecimento) do tipo “se ... então” que descrevem a dependência entre as variáveis linguísticas de entrada e saída. Segundo Barbalho (2001 apud MOREIRA, 2007) um sistema de inferência *fuzzy*, a partir de valores conhecidos das variáveis de entrada, pode realizar inferências sobre esses dados e obter os valores das variáveis de saída. Nesse processo, as regras são inferidas paralelamente, não importando a ordem em que estas são realizadas. A interpretação ou inferência de cada regra consiste na avaliação das proposições antecedentes (premissas), seguida da aplicação das consequências.

Cada uma das classificações das variáveis que constam na base de regras é modelada por um conjunto *fuzzy*. A lógica *fuzzy* sintetiza as informações matemáticas

contidas na base de regras. A base de regras “traduz” matematicamente as informações que formam a base de conhecimentos do sistema *fuzzy*. Num certo sentido, pode-se afirmar que quanto mais precisas forem tais informações, menos *fuzzy* (mais *crisp*) será a relação *fuzzy* que representa a base de conhecimentos (BARROS; BASSANEZI, 2010).

Segundo Tanscheit (2007), as regras se constituem em um aspecto fundamental no desempenho de um sistema de inferência *fuzzy*. Elas podem ser fornecidas por especialistas, em forma de sentenças linguísticas. Tomando o exemplo de um controlador *fuzzy*, este só terá um bom desempenho se as regras que definem a estratégia de controle forem consistentes. Extrair regras de especialistas na forma de sentenças do tipo “se...então” pode não ser uma tarefa fácil, por mais conhecedores que eles sejam do problema em questão. Alternativamente ao uso de especialistas para a definição da base de regras, existem métodos de extração de regras de dados numéricos.

E.10. Fuzzificação

Quando se trabalha com dados de entrada de sistemas computacionais, estes, geralmente, são valores numéricos informados ao sistema. Como os sistemas de inferência *fuzzy* trabalham com as informações imprecisas e/ou termos vagos da linguagem natural, com termos linguísticos, há a necessidade de transformar esses dados de entrada numéricos em conjuntos *fuzzy*. Portanto, é executado um mapeamento dos dados de entrada (em geral, números discretos, reais ou *crisp*) em números *fuzzy*. Este processo é denominado *fuzzificação* (MOREIRA, 2007).

Tanscheit (2007) explica da seguinte forma: no sistema de inferência *fuzzy* consideram-se as entradas não-*fuzzy*, ou precisas, resultantes de medições ou observações (conjuntos de dados, por exemplo). Em virtude disso é necessário efetuar-se um mapeamento desses dados precisos para os conjuntos *fuzzy* de entrada relevantes, o que é realizado no estágio de *fuzzificação*. Nesse estágio ocorre também a ativação das regras relevantes para cada situação.

Para que haja essa transformação, os valores numéricos dados para cada variável de entrada são avaliados contra as funções de pertinência associadas à variável correspondente, resultando o grau de pertinência de cada valor nos termos linguísticos correspondentes (BARBALHO, 2001 apud MOREIRA, 2007).

E.11. Processo de inferência *fuzzy*

Em seguida, a próxima etapa do sistema de inferência *fuzzy* é o denominado processo de inferência *fuzzy*, também chamado de lógica de tomada de decisão. Esse processo é o responsável por avaliar as variáveis de entrada aplicando as regras da base de conhecimento e atribuindo respostas ao processamento. Segundo Moreira (2007), esse processo consiste em três etapas: avaliação de premissas; implicação e agregação de consequências.

Após a *fuzzificação* das variáveis de entrada, as regras *fuzzy* são avaliadas uma a uma e calculam-se os graus de pertinência associados com cada antecedente das regras de inferência. A cada combinação de proposições (de cada regra) é aplicada uma função (dependendo do operador lógico usado na combinação das proposições) para produzir um número entre 0 e 1 que representa o grau com que a expressão condicional da regra é satisfeita (grau de aplicabilidade da regra).

As funções mais comumente aplicadas nesse processo são: a função de máximo, para o operador "OU", e a função de mínimo, para o operador "E". Essa etapa constitui a avaliação de premissas.

Segundo Barbalho (2001 apud MOREIRA, 2007), a implicação consiste em calcular as consequências das regras cujas condições são satisfeitas com algum grau, com base nos respectivos graus de aplicabilidade. Nos casos em que as regras possuem mais de uma consequência, todas as consequências são igualmente afetadas pelo grau de aplicabilidade.

Quando o sistema de inferência *fuzzy* trata as variáveis de entrada e verifica as regras aplicáveis, geralmente, encontra-se mais de uma regra aplicável. Contudo, é necessário gerar uma única resposta para cada variável de saída. A agregação de consequências consiste em agregar, ou combinar, as consequências obtidas pela inferência dessas regras (BARBALHO, 2001 apud MOREIRA; 2007). Frequentemente, essa agregação é feita utilizando-se a função de máximo que corresponde a um dos operadores definidos para a união dos conjuntos *fuzzy*.

Segundo Aguiar e Júnior (2007), dois modelos de inferência *fuzzy* são particularmente importantes: modelo de Mamdani e modelo de Takagi-Sugeno.

E.11.1. Modelo de Mamdani

Uma regra típica desse modelo é: se x é A e y é B (onde A e B são conjuntos fuzzy), então z é C (onde C é conjunto fuzzy).

Segundo Barros e Bassanezi (2010), a saída do controlador *fuzzy* dada pelo método de inferência Mamdani é um subconjunto *fuzzy*, mesmo para o caso de uma entrada *crisp*, um número real. Após o processo de inferência *fuzzy*, obtém-se um conjunto *fuzzy* como resposta. Porém, muitas vezes esse conjunto não é conveniente como resposta final do sistema, pois geralmente quando a entrada é um número real espera-se que a saída correspondente seja também um número real.

A representação numérica sintética da resposta *fuzzy* é realizada por meio do processo de defuzzificação (MOREIRA, 2007).

E.11.2. Modelo de Takagi-Sugeno

Como dito anteriormente, os controladores *fuzzy* são compostos de quatro módulos: *fuzzificação*, base de regras, inferência e *defuzzificação*. Segundo Barros e Bassanezi (2010), o método Mamdani é um caso típico. No entanto, para algumas situações o módulo de defuzzificação pode ser suprimido. Este é o caso do método de inferência de Takagi-Sugeno.

Uma regra típica desse modelo é: “se x é A e y é B , então, $z = f(x, y)$ ” onde A e B são conjuntos fuzzy e f é uma função real de x e y (AGUIAR; JÚNIOR, 2007).

As diferenças básicas entre o método de inferência de Takagi-Sugeno e o Mamdani estão na forma de escrever o consequente de cada regra e no procedimento de defuzzificação para obter a saída geral do sistema (BARROS; BASSANEZI, 2010). Segundo Tanscheit (2007), o sistema de inferência Takagi-Sugeno difere do Mamdani na parte do consequente, que é uma função linear das variáveis dos antecedentes.

No método Takagi-Sugeno o consequente de cada regra é dado explicitamente por uma função dos valores de entrada desta regra. Barros e Bassanezi (2010) apresentam algumas considerações a respeito dos dois métodos: (i) o método de Mamdani é mais simples e mais intuitivo que o de Takagi-Sugeno; (ii) o método de Mamdani é menos eficiente que o de Takagi-Sugeno quanto à rapidez computacional e (iii) o método de Mamdani tem menos propriedades matemáticas que o de Takagi-Sugeno.

E.12. Defuzzificação

Em aplicações práticas geralmente são requeridas saídas precisas, assim, se for necessário ter um número real, após o processo de inferência, deve-se fazer uma *defuzzificação* do subconjunto *fuzzy* de saída para se obter um valor *crisp* que o represente. Assim, deve-se indicar um método para *defuzzificar* a saída e obter um número real.

Existem vários métodos de *defuzzificação* na literatura, como por exemplo: centróide (centro de gravidade ou centro de área); centro dos máximos; média dos máximos, etc.

Segundo Tanscheit (2007), dois dos mais empregados são: o centro de gravidade e a média dos máximos. Neste a saída precisa é obtida tomando-se a média entre os dois elementos extremos no universo que correspondem aos maiores valores da função de pertinência do consequente. A média dos máximos corresponde à média de todos os valores de saída cujos graus de pertinência atingiram o máximo. De acordo com Barros e Bassanezi (2010), o centro de gravidade consiste na média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy* após a aplicação das regras de inferência. Entre todos os métodos de *defuzzificação* ele é o preferido, mesmo sendo talvez o mais complicado.

E.13. Softwares para aplicação da lógica fuzzy

Para auxílio ao projeto e implementação de sistemas *fuzzy* existem softwares como a *fuzzy Toolbox* do Matlab[®] e diversos outros dedicados a determinados tipos de aplicações, como, por exemplo, os desenvolvidos na Universidade de Magdeburg (NEFCON[®], NEFCLASS[®], NEFPROX[®], entre outros) (TANSCHIEIT, 2007).

No Matlab[®] existe um recurso pelo qual é possível elaborar todas as etapas, escolhendo entre os modelos de inferência *fuzzy* de Mamdani ou de Takagi-Sugeno.

E.14. Modelagem no MatLab

O software MATLAB oferece distintos usos, dentre eles o uso de várias *toolbox*, cada um constando de uma coleção de arquivos destinados a tratar certas classes de problemas científicos. Dentre estes, encontra-se o *Fuzzy Logical Toolbox*, que é usado para desenvolver os modelos de análise do qual trata esta tese, e cujo uso descreve-se no

que segue. Na tela inicial do MatLab ao se digitar no *prompt* a palavra “fuzzy” e, em seguida, pressionar a tecla Enter, aparecerá a tela inicial do *Fuzzy Logical Toolbox*, onde estão os arquivos e funções destinados ao uso da teoria de conjuntos *fuzzy*, como mostrado na figura E.4.

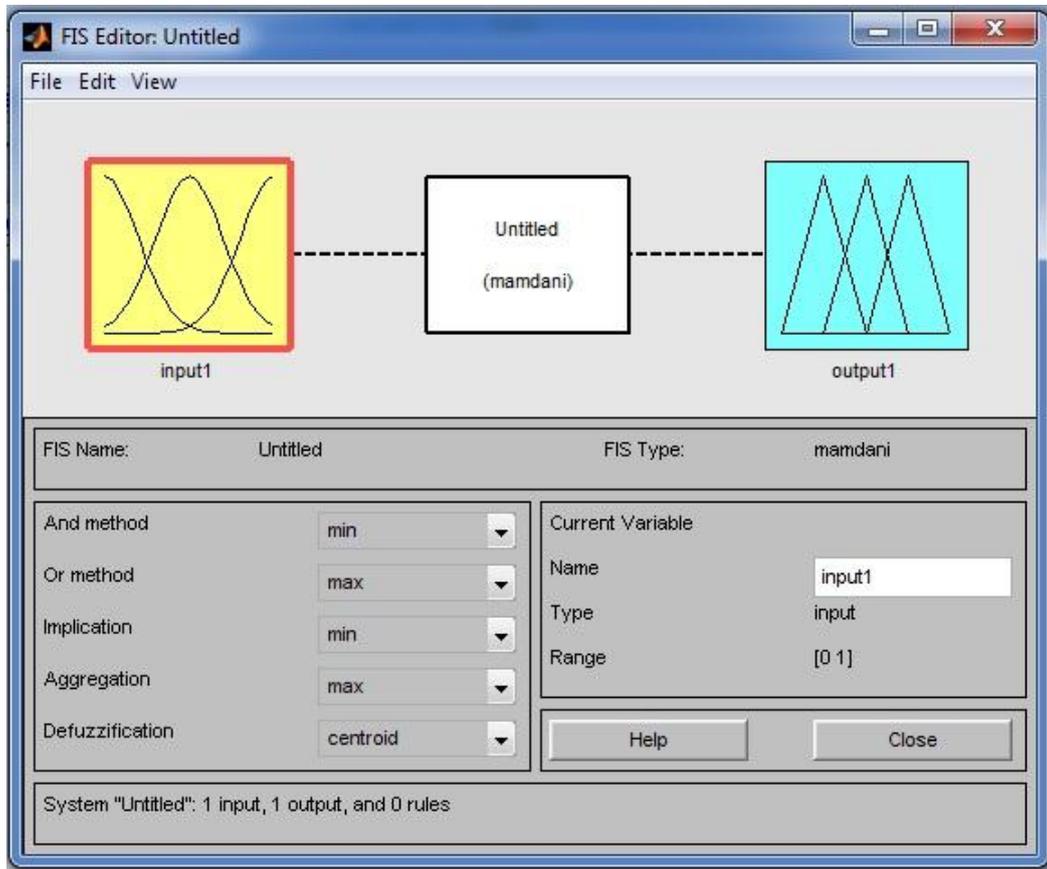


Figura E.4: Tela inicial do Fuzzy Logical Toolbox no Matlab®.

Embora o *Fuzzy Logic toolbox* do MATLAB ofereça duas opções na tela inicial, o Método de Mamdani e o Método de Sugeno, a opção referente ao tipo de análise *fuzzy* está destacada com o nome MAMDANI. Analogamente, existem diversos métodos de *defuzzificação*. Devido à simplicidade e eficiência, além de ser bastante condizente com a intuição humana, todos os modelos de análise foram desenvolvidos utilizando-se os seguintes métodos disponibilizados por esta *toolbox*: o Método de Mamdani, na etapa de inferência, e o Método do centro de gravidade (*centroid*), na etapa de *defuzzificação*. O método média dos máximos (*mom*) também foi testado para comparação dos resultados.

De acordo com o número de variáveis de entrada do modelo adiciona-se na opção *Edit* selecionando *Add Variables* e *Input* para introduzir ou adicionar as variáveis na *Fuzzy Logic Toolbox*. Da mesma forma pode-se adicionar mais de uma saída na opção *Edit - Add Variables* e *Output*.

São dados nomes às variáveis de entrada e de saída, conforme mostrado na figura E.5. A primeira alteração que deve ser feita dentro das “caixas” das variáveis de entrada e/ou saída, para que estas fiquem representativas do problema que se quer estudar, é a determinação do domínio de cada uma dessas variáveis. Determina-se o nome da função em *name*, bem como o tipo de função e seus parâmetros, conforme indicado na figura E.5.

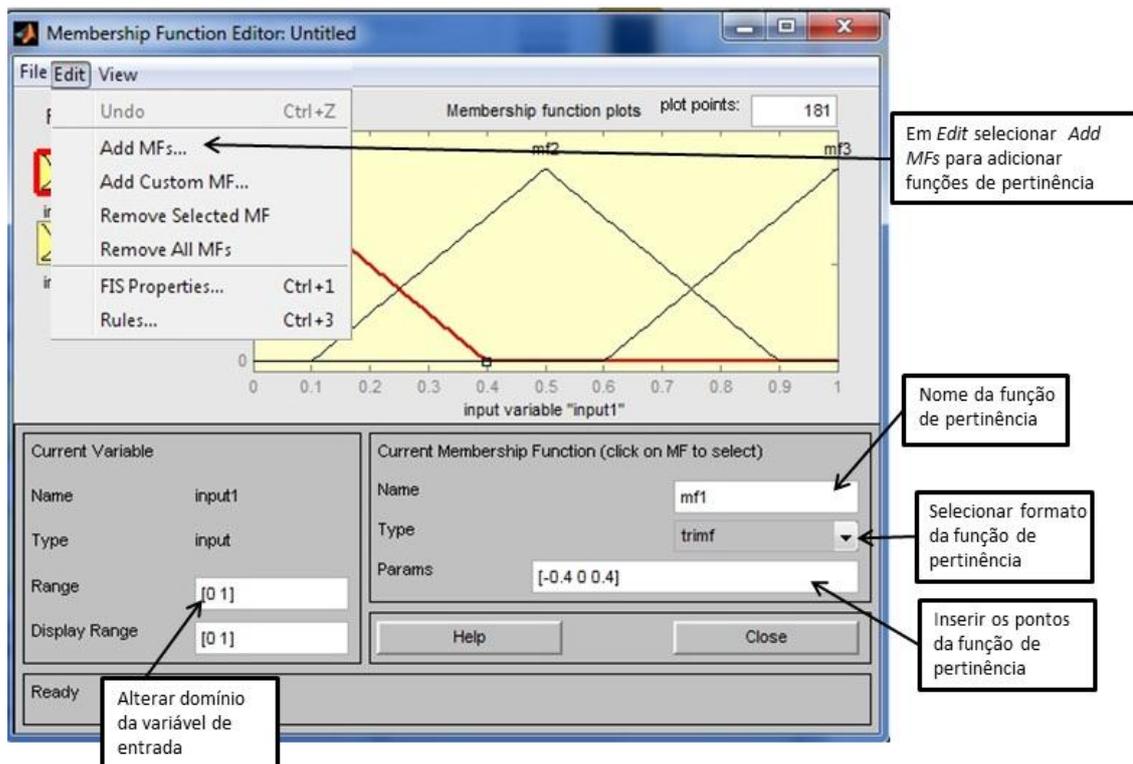


Figura E.5: Definição do domínio das variáveis de entrada; nome, formato e pontos da função de pertinência e opção de adição de funções de pertinência.

Fonte: Adaptado de AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005.

E.15. Funções de pertinência

As funções de pertinência preexistentes no Matlab® estão apresentadas na figura E.6. Nos modelos, as funções de pertinência foram estabelecidas conforme as considerações feitas no capítulo sete. As funções de pertinência mais utilizadas são: trapezoidal (*trapmf*), triangular (*trimf*) e gaussiana (*gaussmf*).

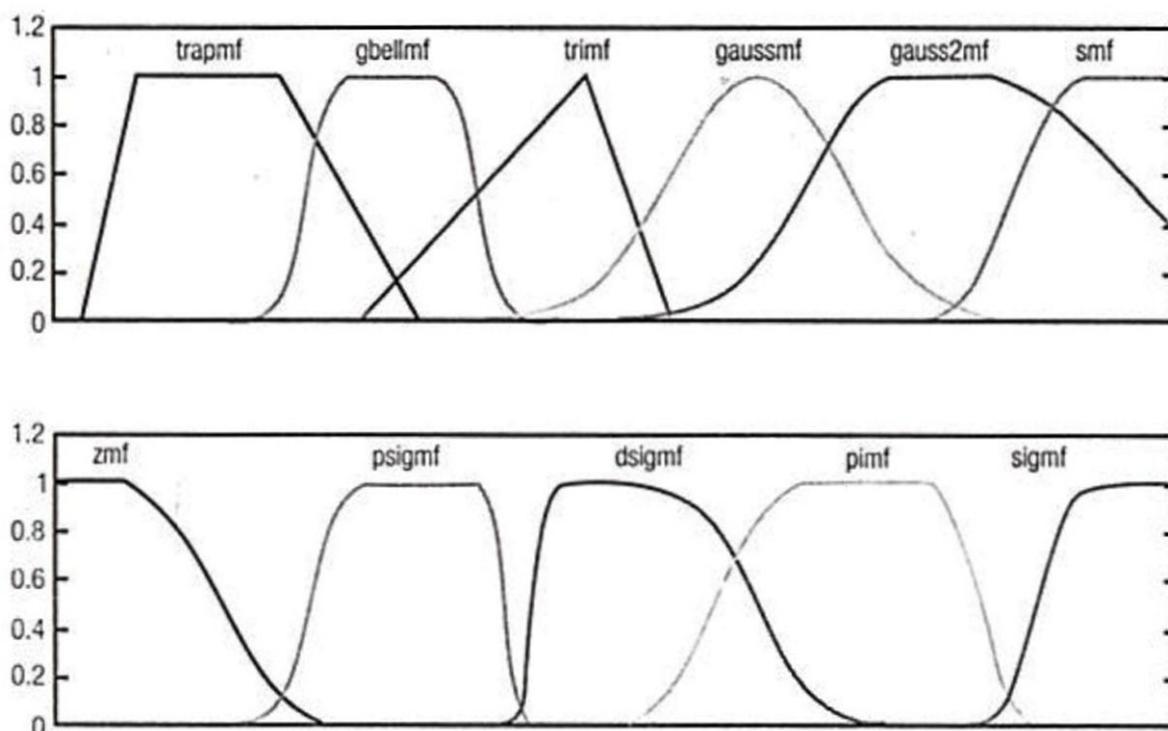


Figura E.6: Ilustração das funções de pertinência existentes no Matlab®.
Fonte: AGUIAR; JUNIOR, 2007.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a, b, c), onde a e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de pertinência é máxima. Na figura E.7 exibe-se uma função de pertinência triangular onde são destacados a, b e c . Nesta figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar. Os valores de a, b e c devem ser definidos para cada uma das funções de pertinência (AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005).

O que de fato a *toolbox* aciona é a função:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases} \quad \text{E.3}$$

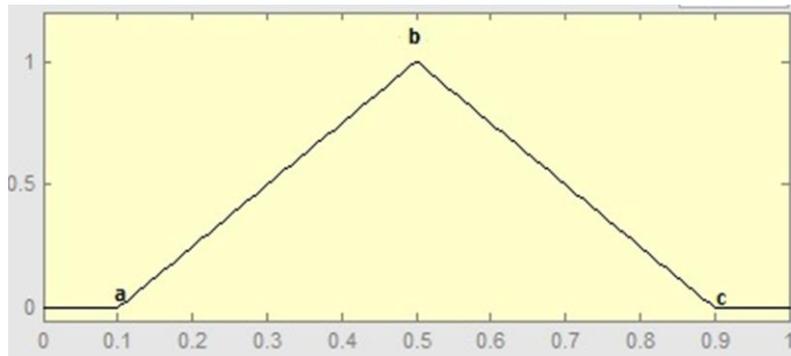


Figura E.7: Função de pertinência triangular.

As funções de pertinência Gaussianas são caracterizadas pela sua média (μ) e seu desvio padrão (σ). Este tipo de função de pertinência tem um decaimento suave e tem valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada. Na figura E.8 exibe-se uma função de pertinência Gaussiana, onde encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

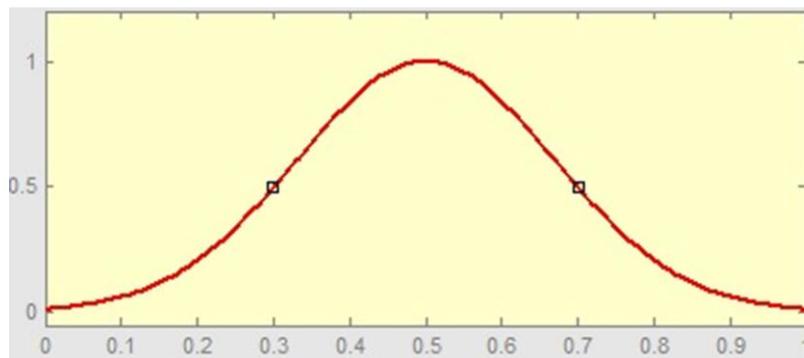


Figura E.8: Função de pertinência gaussiana.

Neste caso, a função que a *toolbox* aciona é:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \text{ está fora do domínio} \\ \exp(-(x - \nu)^2) / 2\sigma^2 & \end{cases} \quad \text{E.4}$$

Para se escolher o formato Gaussiano para as funções de pertinência de uma variável de entrada e/ou saída deve-se escolher a opção *gaussmf*. A média (μ) e o desvio padrão (σ) devem ser definidos para cada uma das funções de pertinência.

As funções de pertinência trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de a, b, c e d, onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Na figura E.9 exibe-se uma função de pertinência trapezoidal onde podem ser destacados os pontos a, b, c e d. Nesta Figura E.9 encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

Para se determinar, dentro da *Fuzzy Logical Toolbox* os valores de a, b, c e d, deve-se escolher a opção *trapmf*. No local indicado, deve-se digitar entre os colchetes, separados por um espaço, os valores de a, b, c, d.

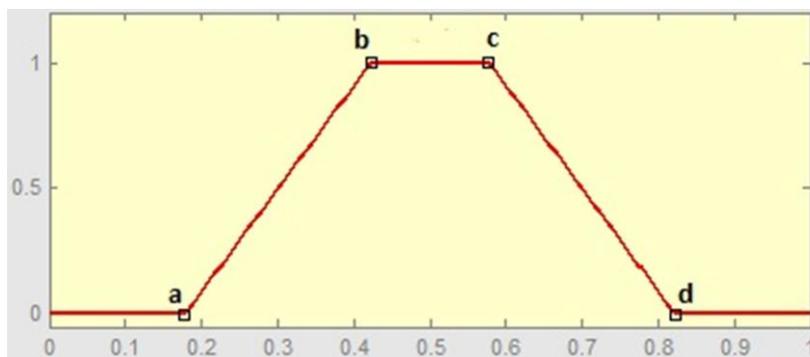


Figura E.9: Função de pertinência trapezoidal.

O que de fato a *toolbox* aciona é a função:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases} \quad \text{E.5}$$

E.16. Elaboração das regras fuzzy

Após os procedimentos descritos anteriormente, deve-se criar a base de regras. A elaboração das regras *fuzzy* deve ser precedida da definição dos conectivos dos antecedentes (conectivos “*and*” ou “*or*”), definição das implicações cujos operadores podem ser “mínimo” ou “produto”, agregação dos consequentes cujos operadores podem ser “máximo” ou “soma limitada” e *defuzzificação* (ou não) da saída.

Para a construção de cada regra deve-se selecionar para cada entrada definida a função de pertinência desejada, a saída e o peso de cada regra. Também se define a conexão entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, por meio dos operadores lógicos, como ilustrado na figura E.10. No final deste processo tem-se a formação do sistema de controle *fuzzy*.

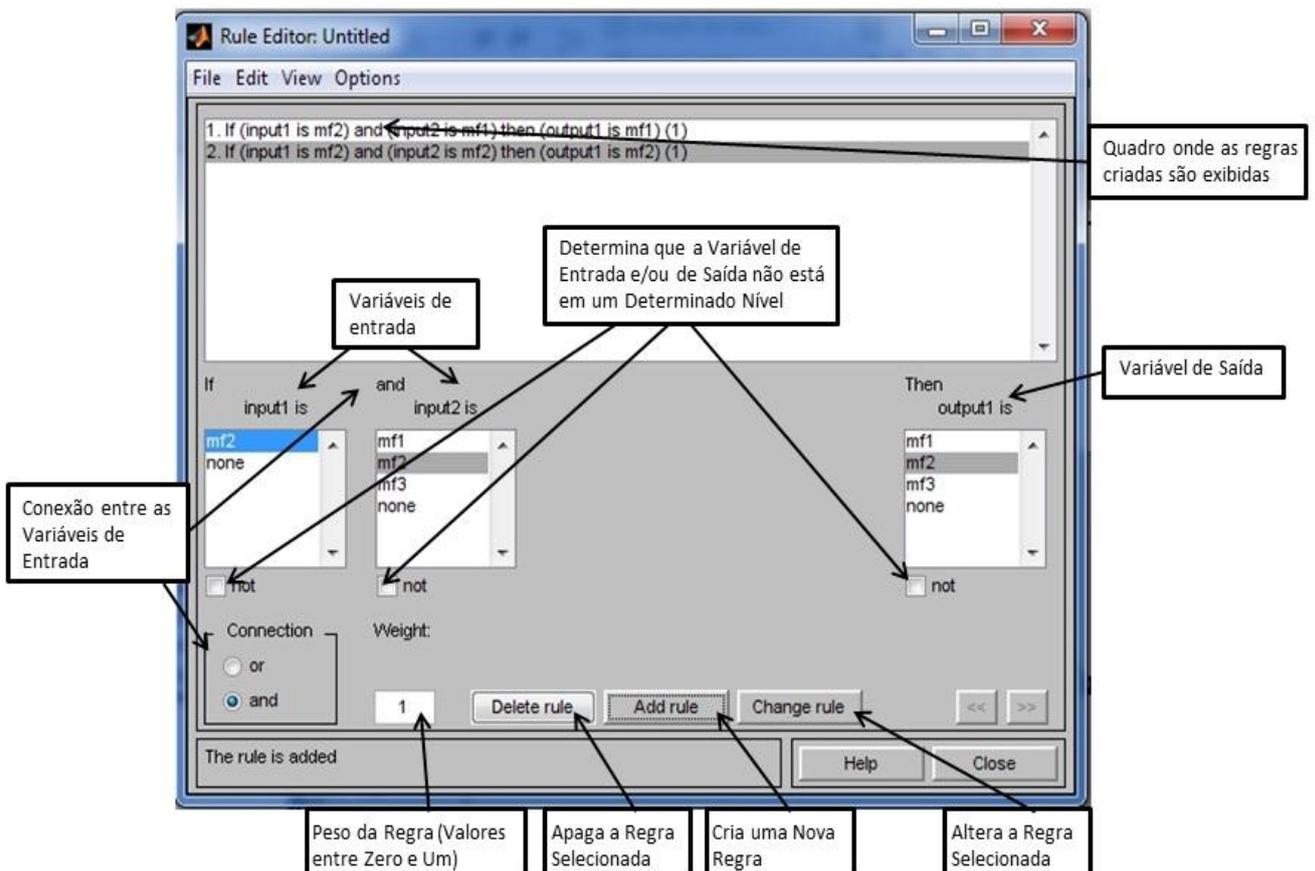


Figura E.10: Criação da base de regras fuzzy.

Fonte: Adaptado de AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005.

E.17. Utilização do sistema de controle *fuzzy*

Construído o sistema de controle *fuzzy* pode-se arbitrar valores numéricos para as variáveis de entrada, simulando cenários factíveis, do ponto de vista do especialista, para observar e analisar os valores obtidos para cada variável de saída, como mostrado na figura E.11.

Os valores de entrada desejados devem ser digitados entre os colchetes no local denominado *Input*, indicado na figura [0.5 80 50], referentes às variáveis de entrada. Para cada conjunto de valores atribuídos às variáveis de entrada o sistema gera um valor para a variável de saída, na figura E.11 representado pelo valor 0.814, localizado no canto superior direito, indicado na figura.



Figura E.11: Cenário resultante da seleção de valores das variáveis de entrada e o valor de saída associado para o Modelo M2.

APÊNDICE F- QUESTIONÁRIO PARA A ENTREVISTA

- 1) Como surgiu a ideia de desconstrução e reconstrução do Ginásio?
- 2) O Ginásio foi reconstruído ou apenas foram reaproveitadas algumas peças?
- 3) O que conseguiu-se reaproveitar do Ginásio?
 - Estrutura da cobertura
 - Fechamentos verticais (paredes)
 - Fechamentos horizontais (lajes e cobertura)
 - Estrutura
 - Arquibancada
 - Etc
- 4) Como eram as ligações entre a estrutura? Foi difícil desmontar? Como foi realizado o processo?
- 5) Quais foram as maiores dificuldades encontradas durante o processo?
- 6) O que foi feito com os restos de fechamentos verticais e lajes?
- 7) Foi seu primeiro trabalho de acompanhamento de uma desconstrução para reuso dos materiais? Se não, quais foram os outros?
- 8) A equipe de funcionários que fez a desmontagem tinha alguma experiência na área? Já havia feito algo semelhante? Foi realizado algum treinamento prévio com a equipe?
- 9) Quanto tempo durou o processo de desmontagem?
- 10) Como era a logística da operação? Como separavam e organizavam as peças desmontadas?
- 11) Quanto tempo durou a reconstrução do Ginásio?
- 12) Como estava o estado de conservação das peças? Foram necessários muitos reparos?
- 13) Houve perda de peças (peças que não puderam ser reparadas, que se perderam, ou que não foram encontradas partes de montagem)? Quais os principais motivos?
- 14) Faltaram peças de ligação menores, por exemplo, parafusos?
- 15) Quais equipamentos foram necessários para a desmontagem?
- 16) Durante a obra, ocorreu algum acidente ou quase acidente? Qual?

- 17) Você considera que foi proveitoso esse procedimento em termos financeiros e ambientais?
- 18) Como você classificaria o processo de desconstrução do Ginásio entre as opções Indicado, Viável e Inviável? Sendo:
- **Indicado (quando o processo de desconstrução com certeza traz vantagens econômicas e ambientais)**
 - **Viável (quando podem existir benefícios e não há desvantagem econômica e ambiental)**
 - **Inviável (quando o processo de desconstrução apresenta desvantagens maiores que vantagens, em termos econômicos ou em termos ambientais)**
- 19) Em termos de avaliação quantitativa, que valor você daria para classificar o processo de desconstrução entre 0 e 1, sendo 0 para a pior situação, quando a desconstrução é considerada inviável e 1 para a situação mais favorável, quando a desconstrução é indicada?
- 20) O que você faria diferente em uma construção, não necessariamente de um Ginásio, se tivesse que programar sua desconstrução e aproveitamento de suas peças no futuro, por exemplo, daqui a 40 anos?

APÊNDICE G- DADOS INFORMADOS NA ENTREVISTA

G.1. Informações sobre a obra

Segundo Ribeiro (2014), foi realizada uma licitação e a empresa vencedora foi a Diminas Construções e Comércio, de Ouro Preto. Essa empresa trabalhou em parceria com outra empresa responsável pelos serviços em estrutura metálica.

A edificação original do Ginásio possuía um pavimento térreo e a quadra ficava suspensa do nível do terreno, como mostrado na figura G.1.



Figura G.1: Detalhe do interior do antigo Ginásio com quadra suspensa.

Data: 24 de janeiro de 2008.

Fonte: RIBEIRO, 2008.

No novo projeto a parte térrea foi demolida e, por decisão de projeto, o gabarito do ginásio foi reduzido, ficando a quadra no nível térreo e mantendo praticamente a mesma cobertura (como mostrado na figura G.2). Houve apenas uma pequena adaptação, alterando o aproveitamento de projeção para 90% da área do original.

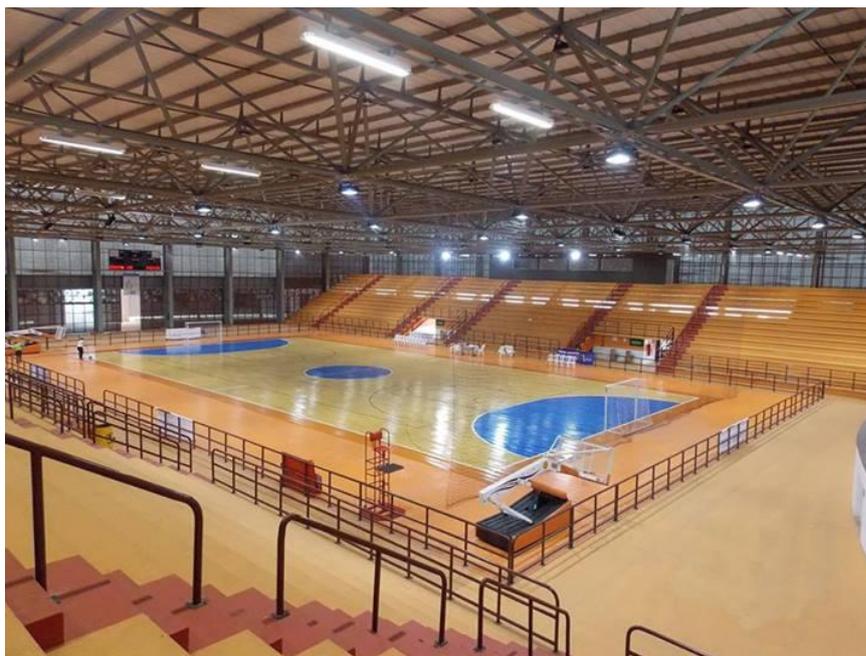


Figura G.2: Detalhe do interior do novo Ginásio com quadra no nível térreo e mesma cobertura.

Fonte: GONÇALVES, 2013.

G.2. Informações sobre os materiais reaproveitados

De acordo com Ribeiro (2014) se o antigo Ginásio não tivesse passado por tantas alterações ao longo dos anos e se houvesse uma manutenção constante na edificação o grau de aproveitamento das peças seria maior. Exceto pelas arquibancadas em concreto armado e pela estrutura metálica, todo o restante do trabalho em concreto foi realizado como se a edificação nunca fosse ser desmontada, pois a construção original do Ginásio apresentava um grau de industrialização baixo. Por isso, os materiais removidos e reusados na construção do novo Ginásio foram: a estrutura metálica, a cobertura e parte das arquibancadas.

De acordo com Ribeiro (2014), a ideia original era reaproveitar todas as arquibancadas de concreto, que consistiam em peças em L, como uma grande escada, mas houve muito dano no pré-moldado de concreto durante a desmontagem, pois não houve um acompanhamento sistemático da desmontagem das arquibancadas. Os danos nas peças da arquibancada não ocorreram no processo de remoção (como mostrado nas figuras G.3 e G.4), mas no momento de armazenagem, porque as peças foram projetadas para serem utilizadas de forma biapojada nas extremidades, como mostrado

na figura G.5, e, durante o processo de armazenagem, criaram-se situações de apoio diferentes, criando-se balanços (figura G.6) que não eram equivalentes ao comportamento original das peças.



Figura G.3: Arquibancadas do antigo Ginásio sendo removidas. Data: 29 de abril de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.4: Arquibancadas do antigo Ginásio sendo removidas. Data: 29 de abril de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.5: Arquibancadas do antigo Ginásio vistas da parte inferior mostrando o apoio apenas nas extremidades. Data: 24 de janeiro de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.6: Arquibancadas removidas e armazenadas de forma incorreta, com partes em balanço. Data: 29 de abril de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

Essa armazenagem incorreta causou danos às peças, inclusive algumas partes quebraram (figuras G.7 e G.8). Provavelmente algumas peças puderam ser aproveitadas e foi feito uma complementação do que faltava, até porque com a mudança de altura da nova edificação foi feito um ajuste e provavelmente nem todas as partes da arquibancada seriam aproveitadas, mesmo se todas as peças fossem resgatadas sem danos.



Figura G.7: Peças das arquibancadas danificadas devido ao armazenamento incorreto. Data: 29 de abril de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.8: Peças das arquibancadas danificadas devido ao armazenamento incorreto. Data: 29 de abril de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

Os fechamentos externos especificados para o novo Ginásio eram muito diferentes, por isso não houve cuidado na retirada dos painéis e nem aproveitamento. Parte do fechamento vertical do Ginásio original era em alvenaria (figura G.9) e por isso não poderia ser reusado.



Figura G.9: Fechamento vertical em alvenaria do antigo Ginásio. Data: 24 de janeiro de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

G.3. Processo de desconstrução da estrutura e dificuldades encontradas

A desmontagem da parte estrutural foi mais minuciosa e teve um acompanhamento maior. Algumas peças tiveram de ser separadas das lajes e alvenaria com certa dificuldade porque os componentes precisaram ser quebrados com auxílio de uma britadeira para a separação das peças estruturais (figuras G.10 e G.11). Ribeiro (2014) destaca que a etapa de quebra das lajes de concreto foi uma das principais dificuldades encontradas no processo. As lajes e alvenarias não foram reaproveitadas e o entulho (figura G.12) foi levado para bota foras.

O estado de conservação de partes de algumas peças da estrutura, principalmente as bases dos pilares, foi considerado ruim. Alguns pilares apresentavam as bases muito corroídas (figura G.13) e em alguns casos houve até perda de parte da alma. Os danos encontrados ocorreram devido à falta de manutenção da construção. Felizmente a maioria das demais peças apresentava um estado de conservação satisfatório, apesar da

falta de manutenção periódica da construção. O projeto do novo Ginásio previa alteração do gabarito da edificação, por isso a maioria dos pilares foi cortada, retirando as áreas mais deterioradas de suas bases.



Figura G.10: Laje sendo separada de viga e pilar com o auxílio de uma britadeira. Data: 03 de junho de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.11: Detalhe da separação entre laje e pilar. A interface entre o concreto e a estrutura dificultou o processo de desconstrução. Data: 24 de janeiro de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.12: Entulho devido à quebra das lajes e alvenaria do antigo Ginásio. Data: 25 de fevereiro de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.13: Base de pilar danificado. Data: 29 de abril de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

As vigas da arquibancada e as peças da cobertura puderam ser totalmente recuperadas. Portanto a maioria das adaptações e reparos consistiu no corte das colunas, retirando parte da base que estava danificada e recebendo uma nova placa de base e chumbadores. Além disso, algumas peças mais esbeltas ficaram um pouco amassadas e retorcidas durante a desconstrução (figura G.14). Todas as peças reaproveitadas foram reparadas (figura G.15) e receberam nova pintura (figuras G.16 e G.17).



Figura G.14: Peças esbeltas danificadas. Data: 03 de junho de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.15: Peça sendo reparada. Data: 31 de março de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.16: Peças restauradas e pintadas. Data: 31 de agosto de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.17: Peças mais esbeltas restauradas e pintadas. Data: 31 de agosto de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

As ligações soldadas foram utilizadas como suporte dos fechamentos. As ligações da estrutura do Ginásio antigo eram, em sua maioria, parafusadas (figura G.18), o que geralmente possibilitava a remoção dos parafusos e peças estruturais de forma integral e sem danos (figuras G.19 e G.20).



Figura G.18: Detalhe das ligações parafusadas da estrutura da arquibancada. Data: 24 de janeiro de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

Mesmo nas ligações aparafusadas, em alguns casos, durante a desconstrução, a separação das peças foi complicada porque haviam parafusos corroídos que não puderam ser removidos e por isso não puderam ser reusados. Nesses casos, os parafusos tiveram de ser seccionados, o que causou a perda de parafusos e porcas. Ribeiro (2014) destaca que esse problema ocorreu porque durante a vida útil da construção não houve manutenção. Como o novo projeto consistia na retirada de um pavimento é provável

que não tenha sido necessária a substituição dos parafusos perdidos, pelo contrário, possivelmente sobraram parafusos. Como as ligações eram, em sua maioria, padronizadas, se necessário, seria possível a substituição dos parafusos que não puderam ser removidos e reusados. Os parafusos removidos das peças metálicas foram limpos, selecionados quanto à possibilidade de reaproveitamento e armazenados por tipo (figura G.21). Os que não estavam em boas condições foram descartados



Figura G.19: Peças retiradas sem danos. Data: 25 de fevereiro de 2008.

Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.20: Peças das arquibancadas retiradas sem danos. Data: 03 de junho de 2008.

Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.21: Parafusos selecionados e armazenados por tipo.
Data: 31 de agosto de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

O tipo de ligação utilizada na cobertura tornava mais fácil a desmontagem (figura G.22). Além disso, os problemas de deterioração das peças eram menores, tornando os danos decorrentes do processo menores, tanto nas ligações como nas peças.



Figura G.22: Detalhe das ligações na estrutura de cobertura.
Data: 24 de janeiro de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

A maioria dos reparos foi executada no próprio canteiro de obras do novo Ginásio porque eram peças muito grandes e que exigiam poucos reparos,

principalmente porque a maior parte da deterioração foi descartada com o corte nos pilares e havia espaço suficiente para a armazenagem e os trabalhos de reparo. Por isso, as peças foram levadas do local de desmontagem direto para o canteiro de obras onde seriam reusadas, sem a necessidade de realizar o transporte das peças para a fábrica. A construção do novo Ginásio ocorreu paralelamente ao reparo e pintura das peças, como pode ser observado na figura G.23.



Figura G.23: Peças sendo restauradas e pintadas enquanto o novo Ginásio era construído aos fundos. Data: 31 de agosto de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

G.4. Duração do processo

O processo de desconstrução e reconstrução do novo Ginásio pode ser dividido em três fases: fase de desmontagem, fase de ajustes e recuperação do material a ser reusado e fase de construção do novo Ginásio. A fase de desmontagem teve seu início em janeiro de 2008, tendo duração aproximada de 4 meses. A fase de ajustes e recuperação do material também durou aproximadamente 4 meses e consistiu basicamente em: reparação de imperfeições, pintura e colocação de chapas de base nos pilares que foram cortados. Os trabalhos de montagem foram realizados paralelamente à fase de ajuste. Em agosto de 2008 a construção apresentava-se bem adiantada, pois já haviam sido feitas as fundações e algumas peças estavam montadas, principalmente os pilares, como pode ser visto na figura G.24. Porém, por questões burocráticas de

administração de obra pública e devido a motivos políticos, a obra só foi inaugurada em 2013.



Figura G.24: Avanços na construção do novo Ginásio: fundações, pilares e vigas montados. Data: 31 de agosto de 2008. Fonte: RIBEIRO, 2008.

Segundo Ribeiro (2014) a desconstrução e reconstrução do Ginásio poderia ter sido muito mais rápida se houvesse uma coordenação melhor e, enquanto a construção antiga estivesse sendo desmontada, todo o trabalho de fundação e preparação do novo terreno poderia ter sido realizado.

G.5. Logística do processo

Havia um planejamento com a ordem de desmontagem e uma organização do armazenamento de peças no canteiro de desmontagem. As peças foram desmontadas e separadas por componentes idênticos. Todas as peças foram identificadas com pincel atômico ou etiquetadas com papel impresso e fita adesiva, antes e depois da desmontadas, conforme apresentado nas figuras G.25, G.26 e G.27.



Figura G.25: Numeração dos pilares antes da desmontagem. Data: 04 de março de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.26: Peças da cobertura etiquetadas antes da desconstrução.
Data: 04 de março de 2008.
Fonte: RIBEIRO, 2008.

A especificação exata de determinada peça no projeto de remontagem fazia menção ao projeto original indicando de onde a peça devia ser retirada e, eventualmente, se algum tipo de ajuste, recorte ou emenda seria necessário. Mesmo depois de restauradas e pintadas, as peças foram identificadas conforme o projeto para facilitar o processo de remontagem, como mostrado na figura G.28.



Figura G.27: Peças identificadas e armazenadas. Data: 04 de março de 2008.

Fonte: RIBEIRO, 2008.



Figura G.28: Peças identificadas após a recuperação. Data: 31 de agosto de 2008.

Fonte: RIBEIRO, 2008.

Os principais equipamentos e ferramentas utilizados no processo foram: andaimes, para alcançar as partes da cobertura; britadeiras, para quebrar o concreto e guindastes em caminhões munck. Apesar das peças da cobertura serem leves e esbeltas, as vigas e pilares são razoavelmente pesados, por isso precisou-se de guindastes de porte pequeno e médio para segurar as peças enquanto as ligações estavam sendo desfeitas.

Durante a desconstrução não se teve conhecimento de acidentes graves ou incidentes. A segurança do trabalho realizado foi considerada satisfatória por Ribeiro (2014).

G.6. Benefícios ambientais com a desconstrução

Em termos ambientais Ribeiro (2014) acredita que o grau de entulho gerado decorrente da concepção original das lajes concretadas *in loco*, foi um fator negativo na desconstrução. Entretanto considerou-se que a desconstrução foi vantajosa em termos ambientais devido à economia de energia alcançada com o reuso das estruturas de aço.

De forma geral considerou-se que a experiência de desconstrução do Ginásio comprovou que, em maior ou menor grau, dependendo da concepção original da construção a ser desmontada e das manutenções ao longo da vida útil, a estrutura metálica apresenta um alto grau de aproveitamento, sem contar que as partes que foram cortadas e as poucas peças consideradas irrecuperáveis podem ser vendidas como sucata e realimentar a própria cadeia da indústria siderúrgica.

G.7. Orientações para PpD

Para Ribeiro (2014) o projeto de uma construção, não necessariamente um Ginásio, que fosse ser desconstruída no futuro para reuso de suas peças, deve considerar os seguintes aspectos:

- Em primeiro lugar deve-se ter um cuidado especial com ligações, utilizando o mínimo possível de ligações soldadas porque mesmo que se consiga desfazer esse tipo de ligação geralmente causa algum dano nas peças;
- Deve-se planejar e executar um programa periódico de manutenção dos componentes; e
- Deve-se empregar o maior grau de industrialização possível na etapa de execução. A industrialização deve abranger tudo que puder favorecer o reaproveitamento não só da estrutura metálica, mas de todos os componentes em maior ou menor grau: fechamentos, instalações elétricas, inclusive com a

utilização de calhas, instalações hidráulicas aparentes ou em *shafts*⁶⁰. Na medida do possível todos os elementos e componentes devem ser industrializados, sistematizados, padronizados e modulados. Em termos de estrutura metálica, fundamentalmente a questão do uso das ligações aparafusadas é de extrema importância e deve ser utilizado o máximo possível. Como no exemplo do Ginásio, a questão da manutenção periódica também é de suma importância. Os componentes estruturais devem ser verificados em termos de danos e de prevenção de corrosão. Outro aspecto importante para manutenção da conservação das peças são os cuidados de execução da construção para evitar pontos de patologias e interferências negativas entre fechamentos e estruturas.

60 Compartimento ou fechamento em gesso, madeira ou até em alvenaria que serve como área específica para esconder as tubulações hidráulica, elétrica, etc. de uma construção.

APÊNDICE H- RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE ANÁLISE COM CONJUNTOS DIFUSOS E DEFUZZIFICAÇÃO CENTRÓIDE

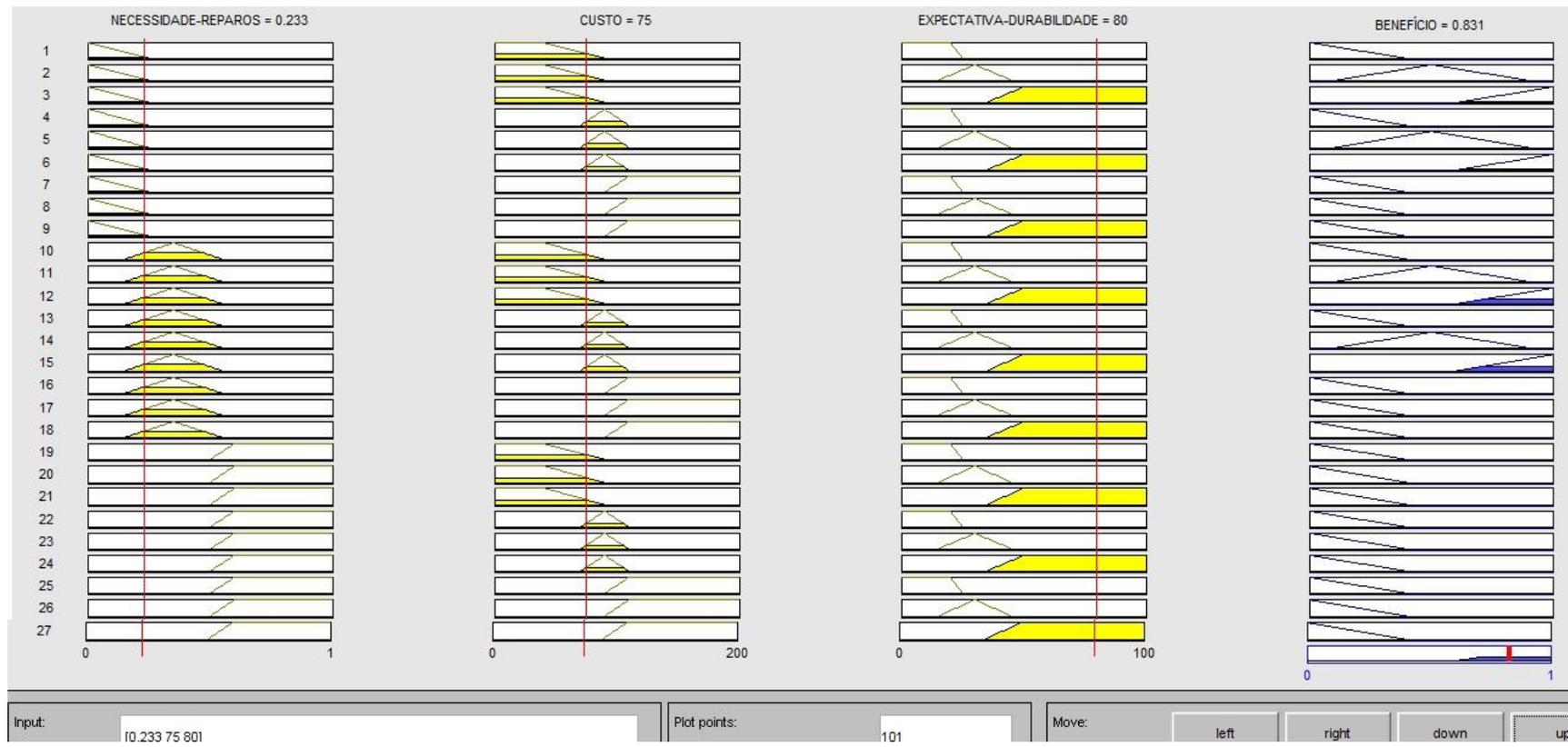


Modelo M2 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 1.1- Custo = 75%; 1.2- Expectativa de durabilidade = 80 e M1-Necessidade de reparo = 0,233

Variável de Saída: M2-Benefício com recuperação do material= 0.831

Regras ativadas: 12 e 15.



Modelo M3 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 2.1-Padronização = 75%; 2.2- Modulação = 90% e 2.3- Tecnologias e ferramentas = 4

Variável de Saída: M3-Características Construtivas= 0.5

Regras ativadas: 14 e 17.



Modelo M4 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: M2-Benefício com recuperação do material = 0.831 e M3-Características construtivas = 0.5

Variável de Saída: M4-Composição = 0.693

Regras ativadas: 5 e 8.

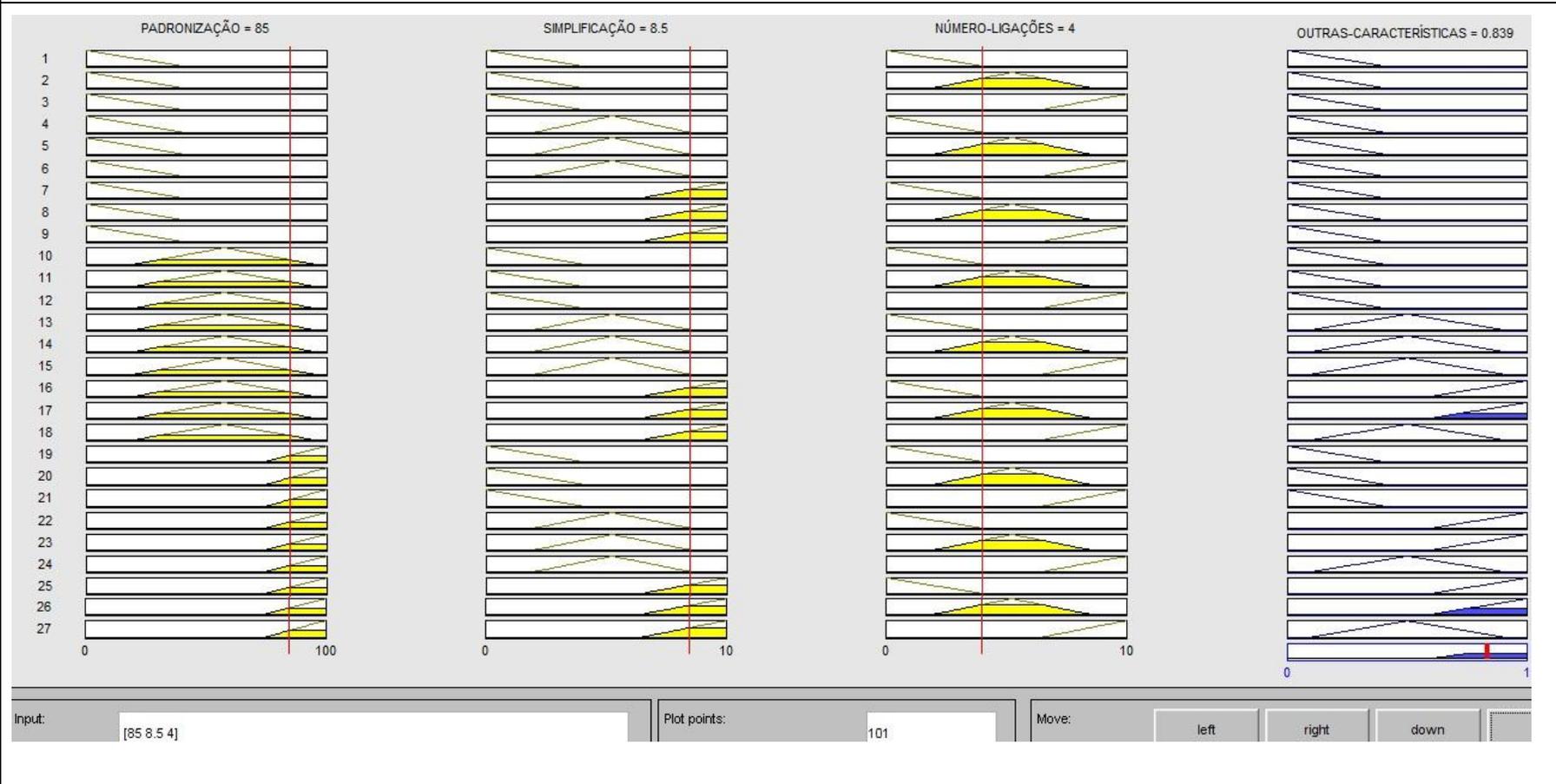


Modelo M5 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 3.1-Padronização = 85%; 3.2-Simplificação = 8.5 e 3.3-Número de ligações = 4

Variável de Saída: M5- Outras Características = 0.839

Regras ativadas: 17 e 26.



Modelo M6 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 3.4- Expectativa de durabilidade = 80 e 3.5- Dano às ligações = 10%

Variável de Saída: M6- Possibilidade de Reutilização = 0.87

Regra ativada: 7

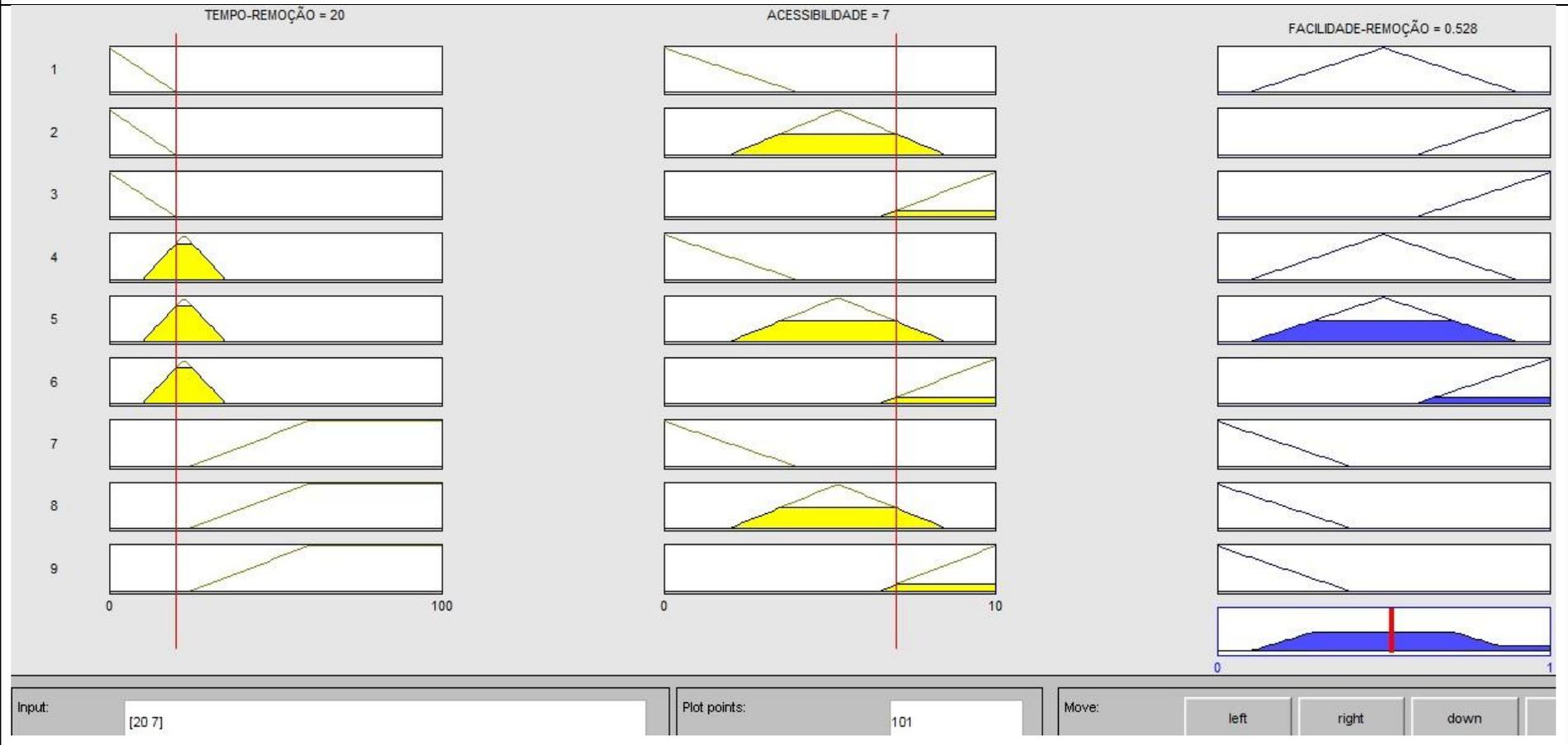


Modelo M7 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 3.6- Tempo de remoção da ligação = 20 e 3.7- Acessibilidade = 7

Variável de Saída: M7-Facilidade de remoção = 0.528

Regras ativadas: 5 e 6

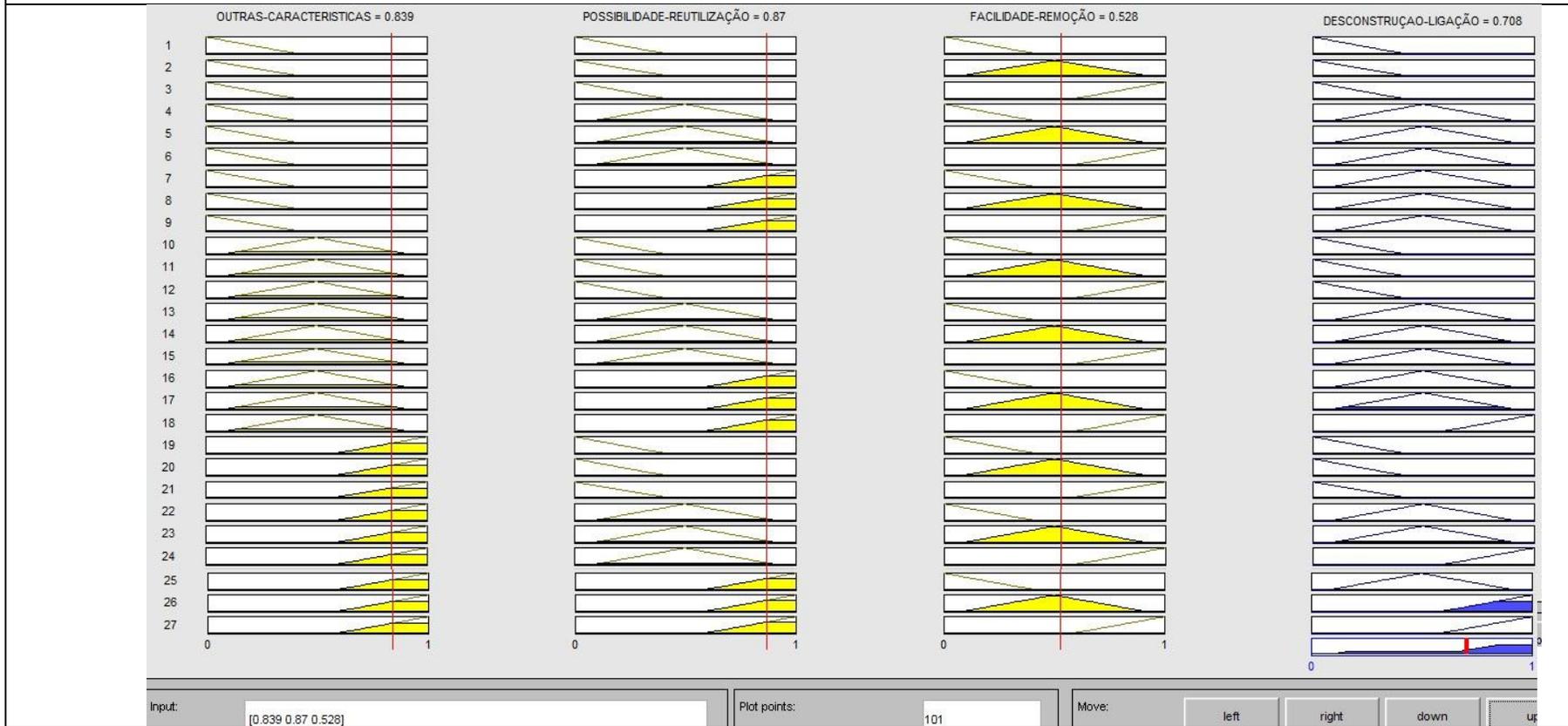


Modelo M8 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: M5- Outras Características = 0.839; M6-Possibilidade de Reutilização = 0.87 e M7-Facilidade de remoção = 0.528

Variável de Saída: M8-Desconstrução da Ligação = 0.708

Regras ativadas: 17e 26

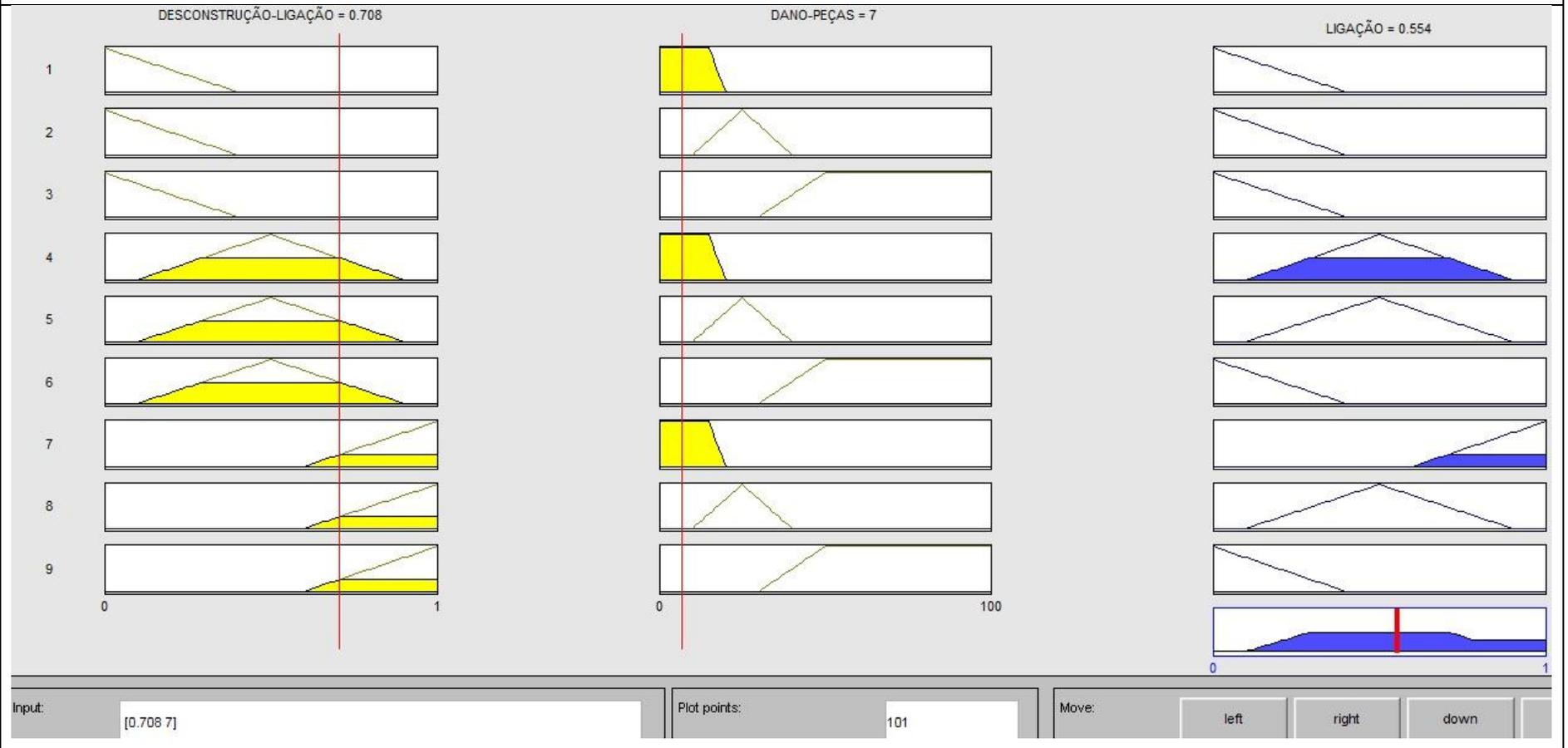


Modelo M9 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: M8-Desconstrução da Ligação = 0.708 e 3.8-Dano causado às peças = 7%

Variável de Saída: M9-Ligação = 0.554

Regras ativadas: 4 e 7

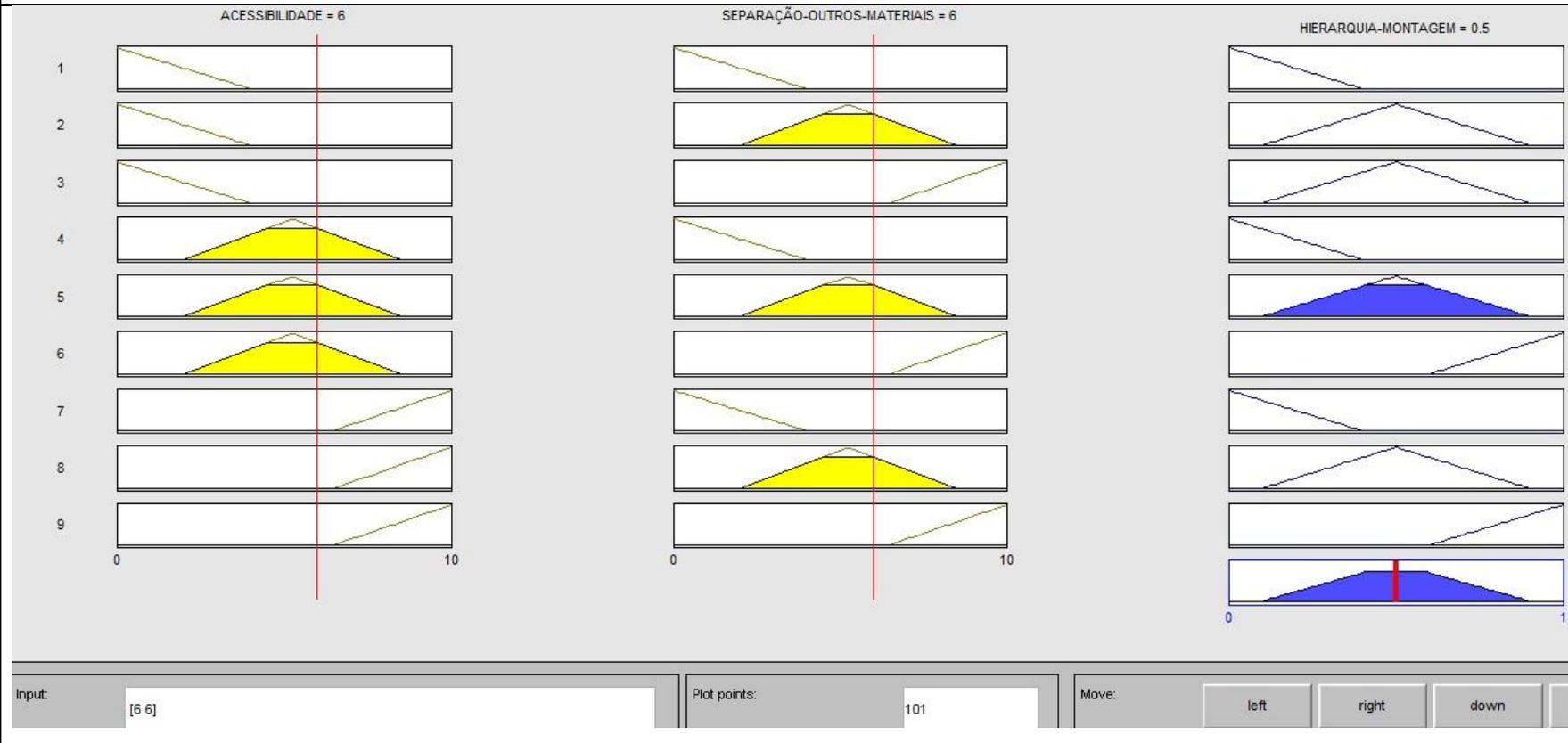


Modelo M10 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 4.1- Acessibilidade = 6 e 4.2- Separação de outros níveis de materiais = 6

Variável de Saída: M10-Hierarquia de montagem = 0.5

Regra ativada: 5

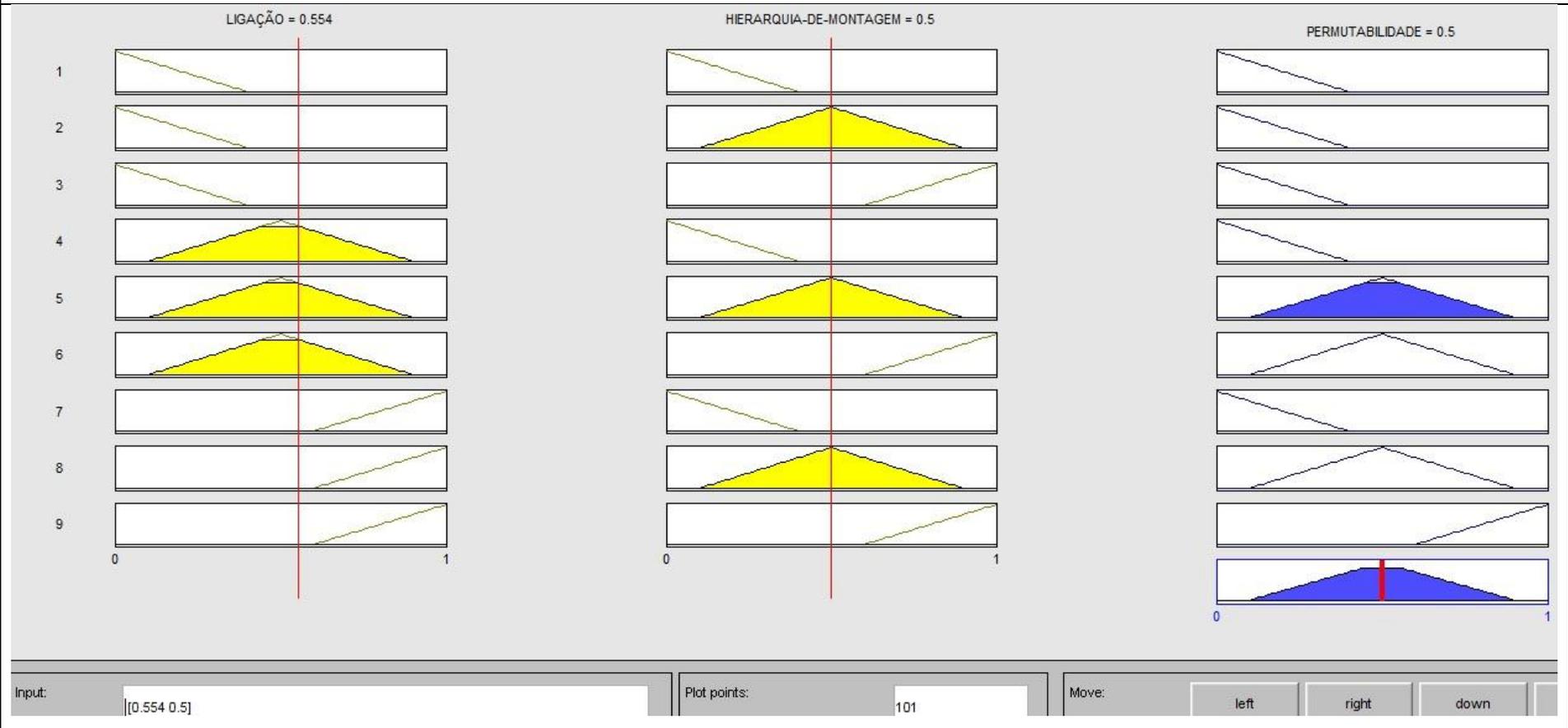


Modelo M11 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: M9-Ligação = 0.554 e M10-Hierarquia de montagem = 0.5

Variável de Saída: M11-Permutabilidade = 0.5

Regra ativada: 5

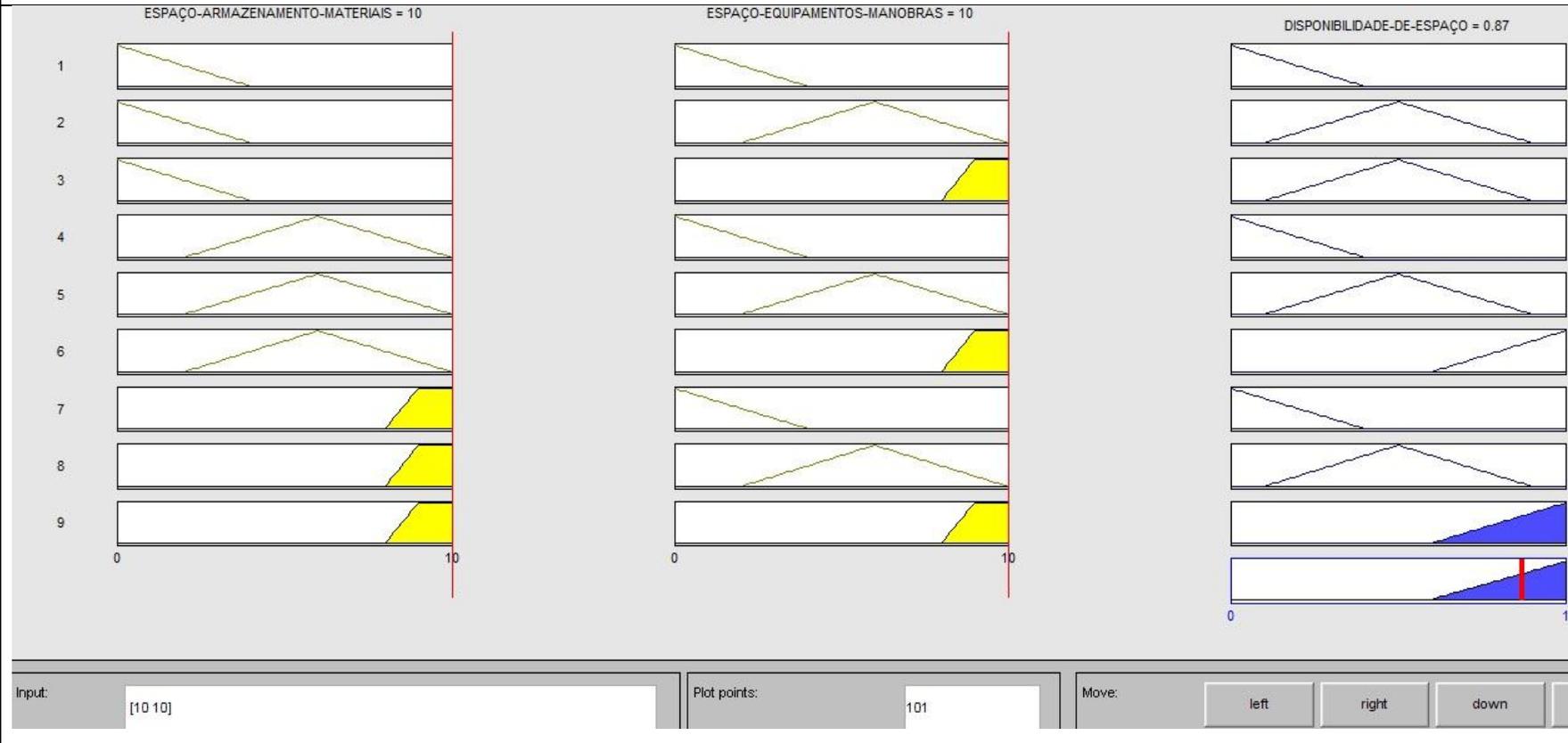


Modelo M12 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 5.3- Espaço para armazenamento de materiais = 10 e 5.4-Espaço para equipamentos e manobras = 10

Variável de Saída: M12-Disponibilidade de espaço = 0.87

Regra ativada: 9

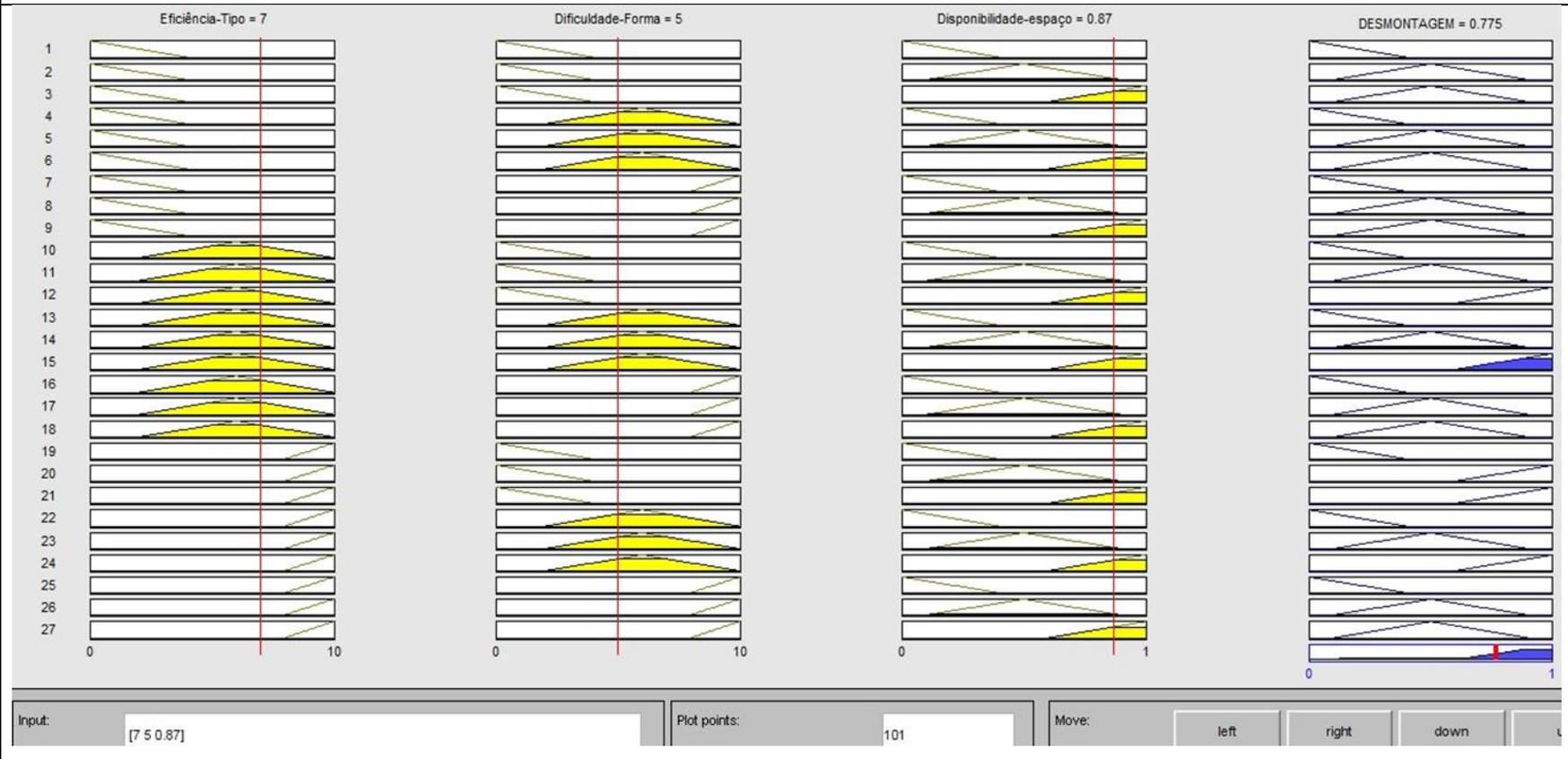


Modelo M13 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 5.1- Eficiência pelo tipo de desmontagem = 7; 5.2- Dificuldade pela forma de desmontagem = 5 e M12-Disponibilidade de espaço = 0.87

Variável de Saída: M13-Desmontagem = 0.775

Regras ativadas: 14 e 15

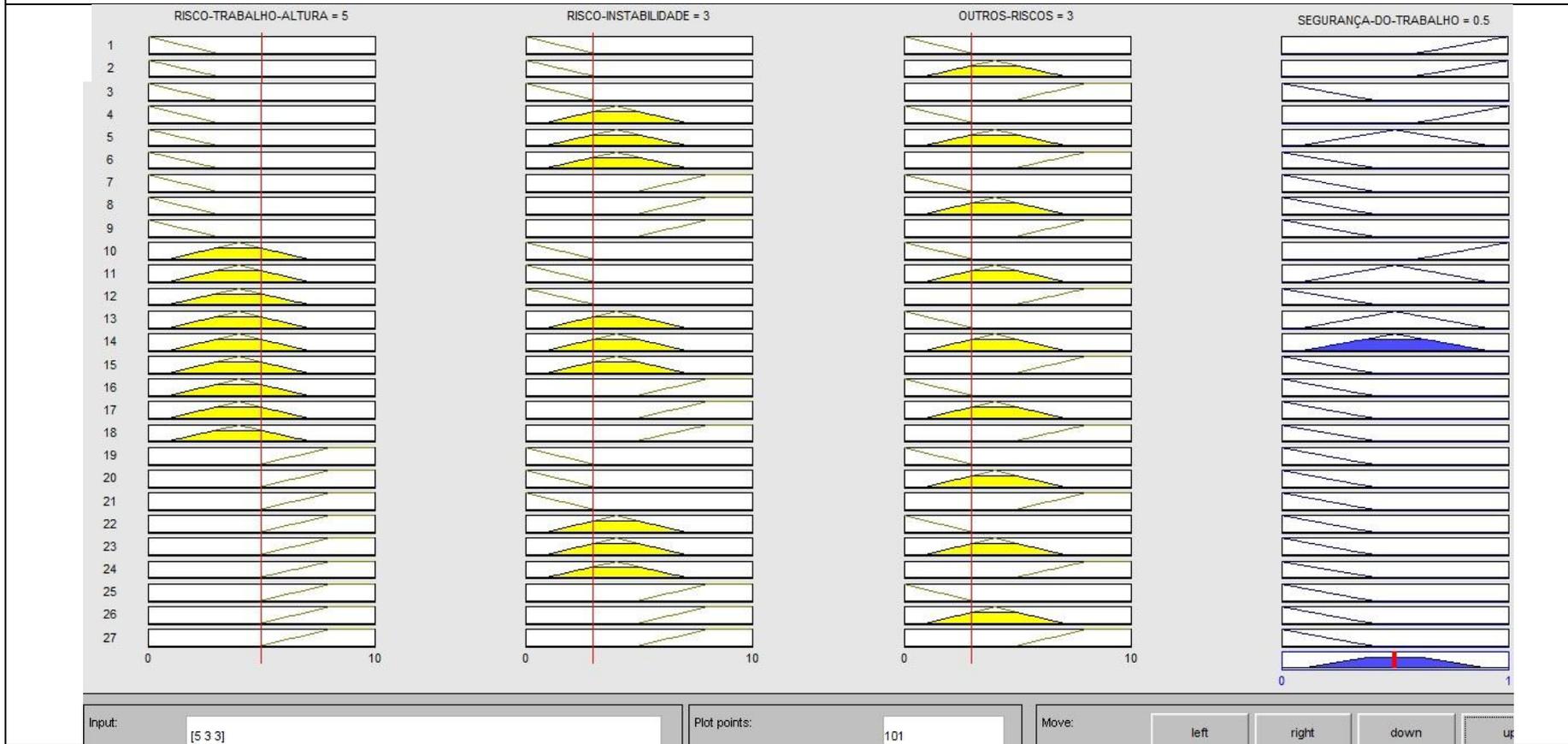


Modelo M14 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 6.1- Risco por Trabalho em Altura = 3; 6.2- Risco por Instabilidade = 3 e 6.3- Outros Riscos = 3

Variável de Saída: M14-Segurança do trabalho = 0.5

Regra ativada: 14



Modelo M15 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: 7.1- Sistema de informação e identificação dos materiais = 4; 7.2- Procedimento de desmontagem= 4 e 7.3- Projeto as built = 4

Variável de Saída: M15- Plano de Desconstrução = 0.5

Regra ativada: 14

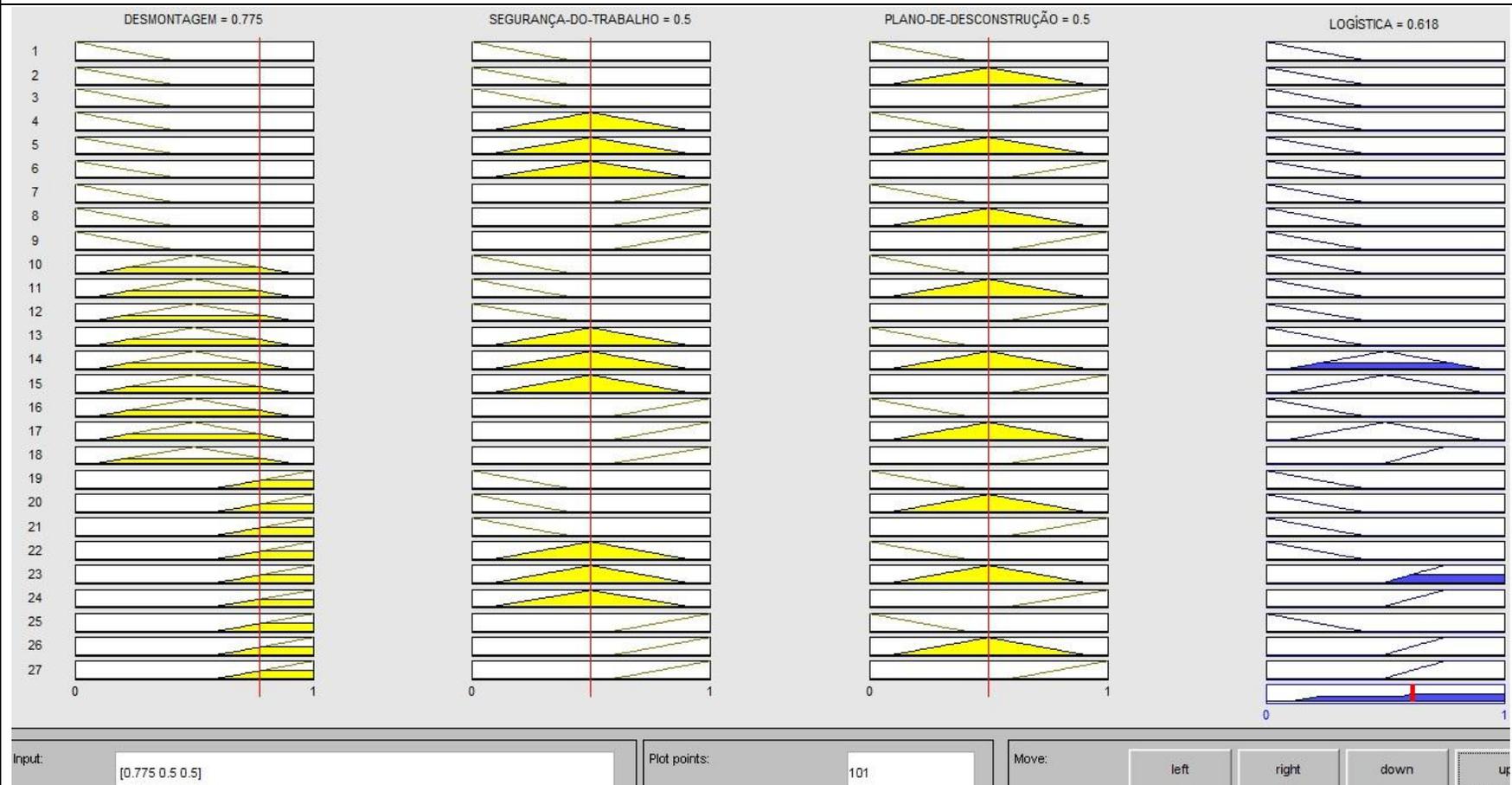


Modelo M16 defuzzificação centróide

Variáveis de entrada: M13-Desmontagem = 0.775 ;M14-Segurança do trabalho = 0.5 e M15-Plano de Desconstrução = 0.5

Variável de Saída: M16- Logística = 0.618

Regras ativadas: 14 e 23



Modelo M17 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M4-Composição = 0.693; M11-Permutabilidade = 0.5 e M16-Logística = 0.618

Variável de Saída: M17-Desconstrução = 0.544

Regras ativadas: 14, 15, 23 e 24



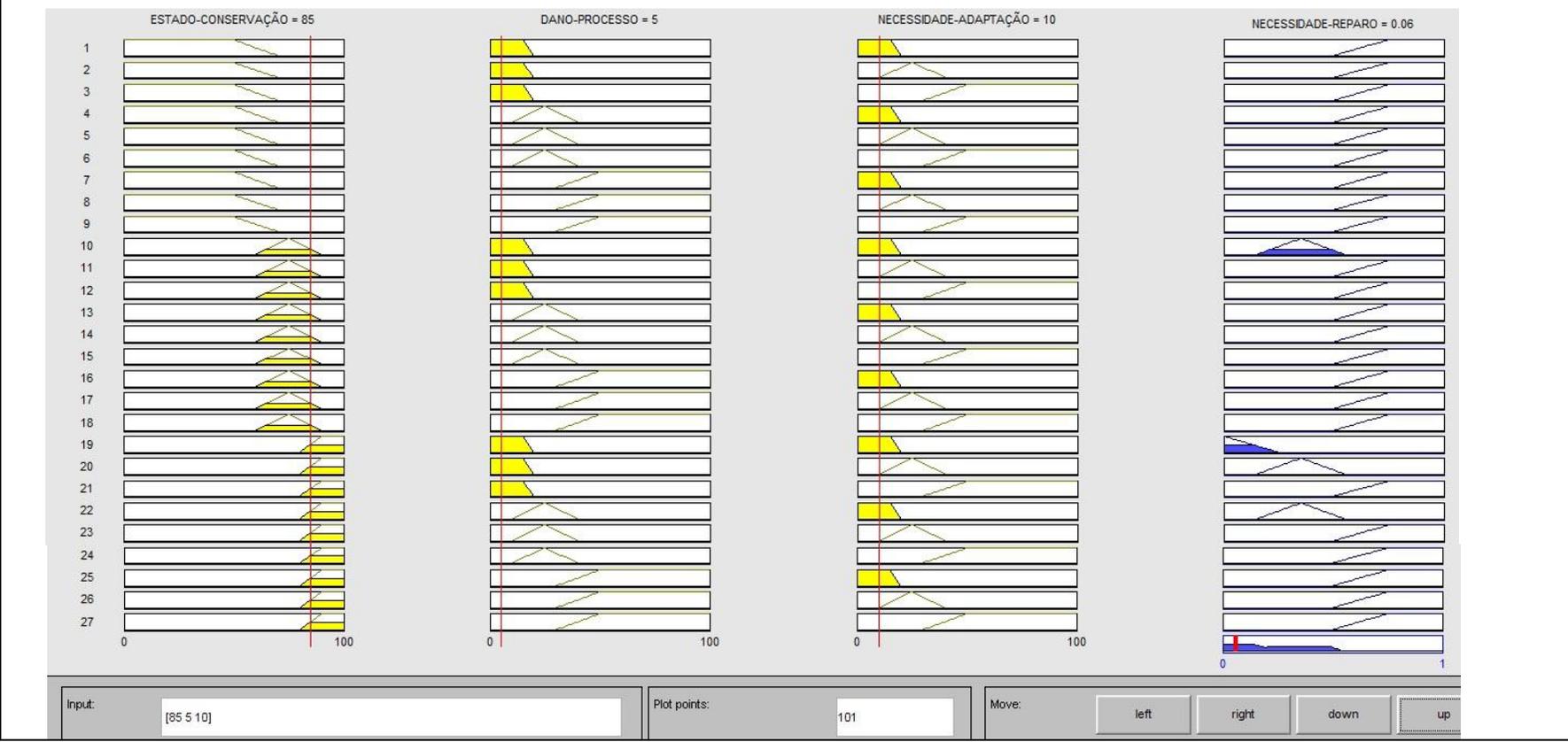
APÊNDICE H- RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE ANÁLISE COM CONJUNTOS DIFUSOS E DEFUZZIFICAÇÃO MÉDIA DOS MÁXIMOS- MOM

Modelo M1 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 1.3-Estado de conservação = 85%; 1.4-Dano no processo = 5% e 1.5-Necessidade de adaptação = 10%

Variável de Saída: M1-Necessidade de reparos= 0.06

Regras ativadas: 10 e 19.

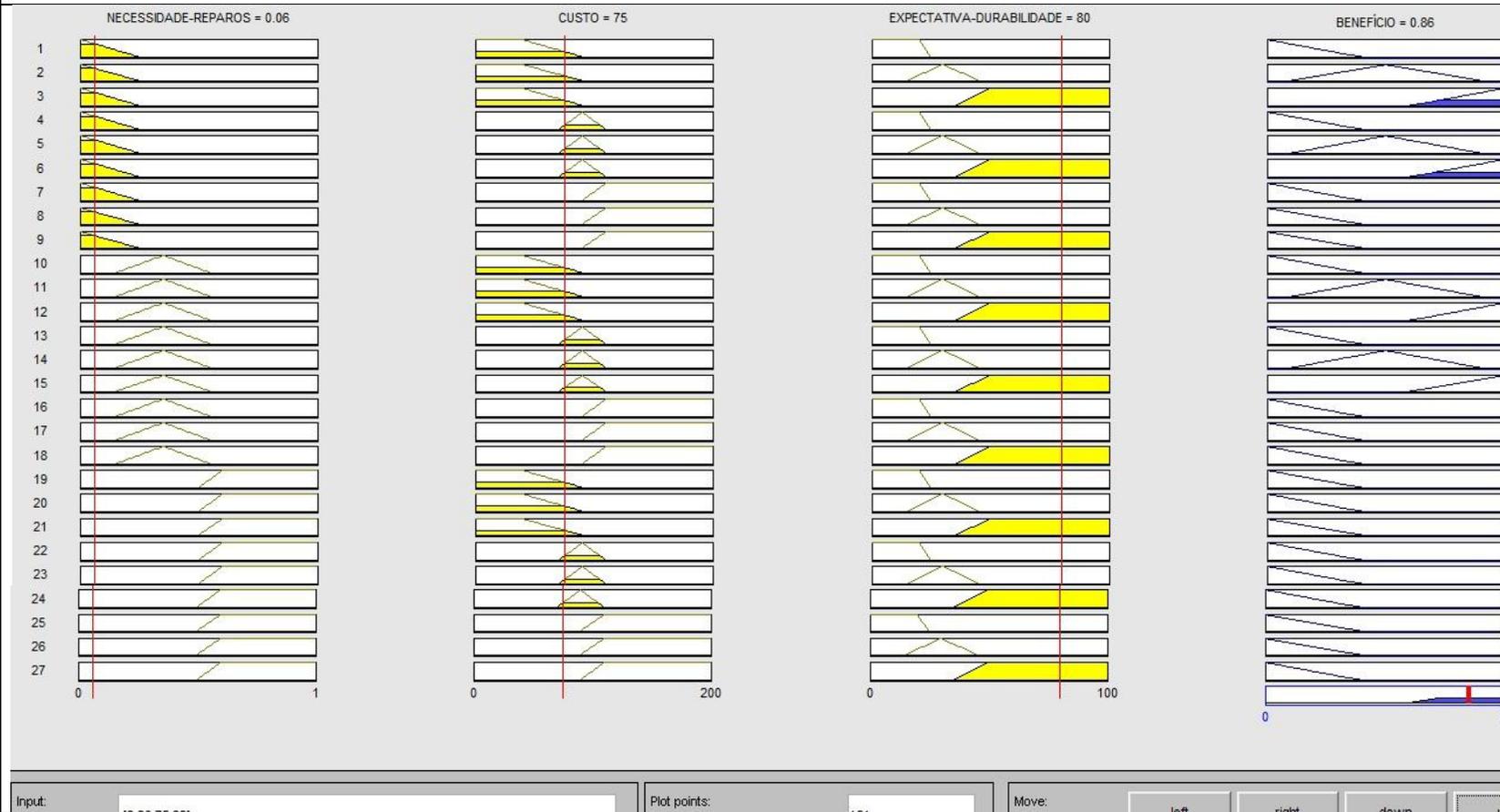


Modelo M2 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 1.1- Custo = 75%; 1.2- Expectativa de durabilidade = 80 e M1-Necessidade de reparo = 0,06

Variável de Saída: M2-Benefício com recuperação do material= 0.86

Regras ativadas: 3 e 6.



Modelo M3 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 2.1-Padronização = 75%; 2.2- Modulação = 90% e 2.3- Tecnologias e ferramentas = 4

Variável de Saída: M3-Características Construtivas= 0.5

Regras ativadas: 14 e 17.

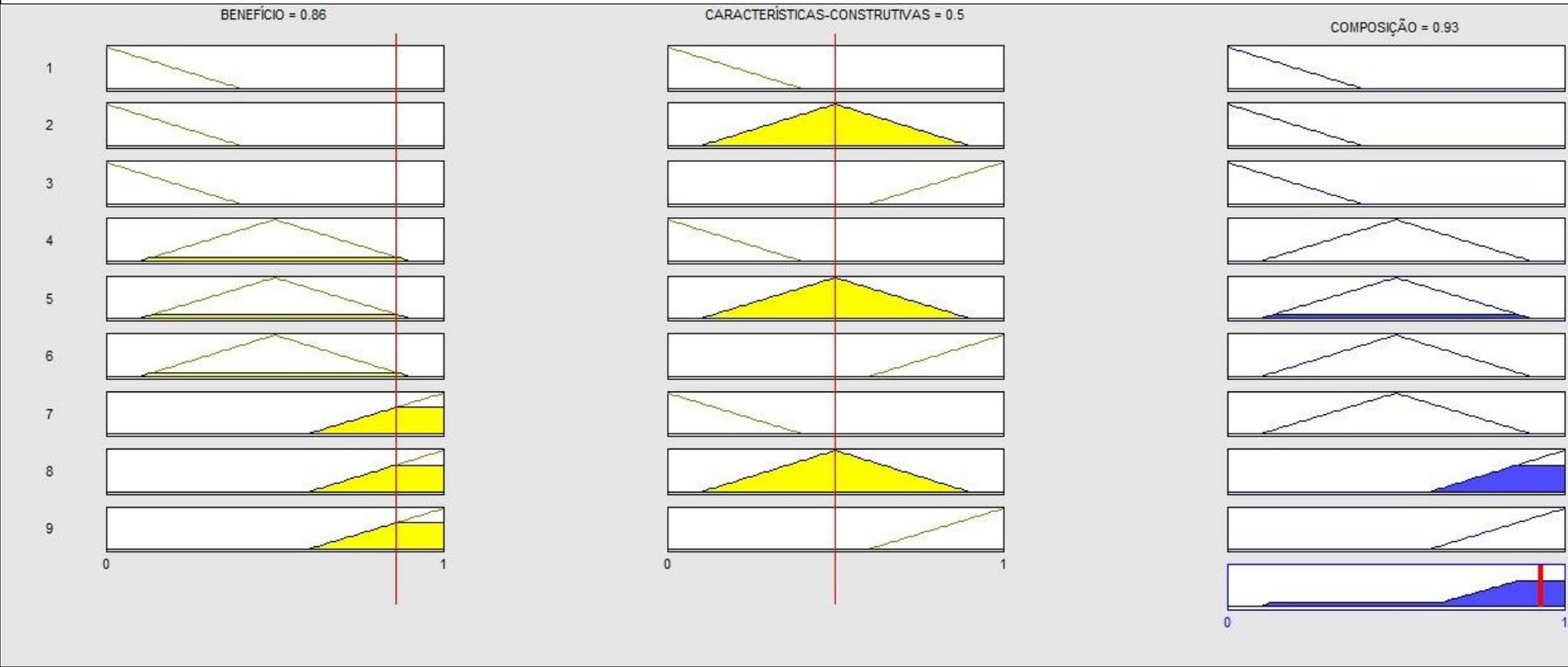


Modelo M4 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M2-Benefício com recuperação do material = 0.86 e M3-Características construtivas = 0.5

Variável de Saída: M4-Composição = 0.93

Regras ativadas: 5 e 8.



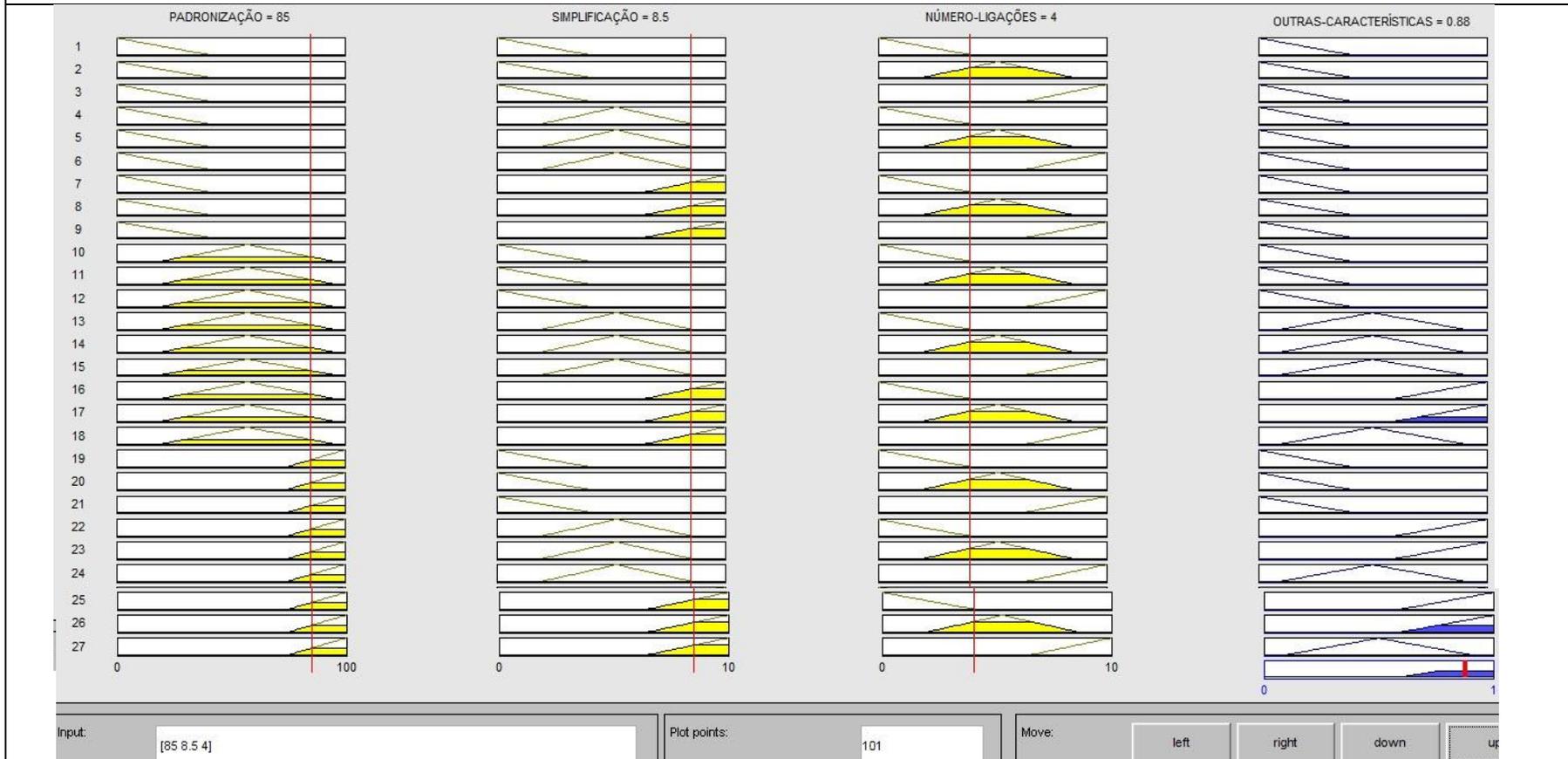
Input: [0.86 0.5] Plot points: 101 Move: left right down

Modelo M5 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 3.1-Padronização = 85%; 3.2-Simplificação = 8.5 e 3.3-Número de ligações = 4

Variável de Saída: M5- Outras Características = 0.88

Regras ativadas: 17 e 26.



Modelo M6 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 3.4- Expectativa de durabilidade = 80 e 3.5- Dano às ligações = 10%

Variável de Saída: M6- Possibilidade de Reutilização = 1

Regra ativada: 7

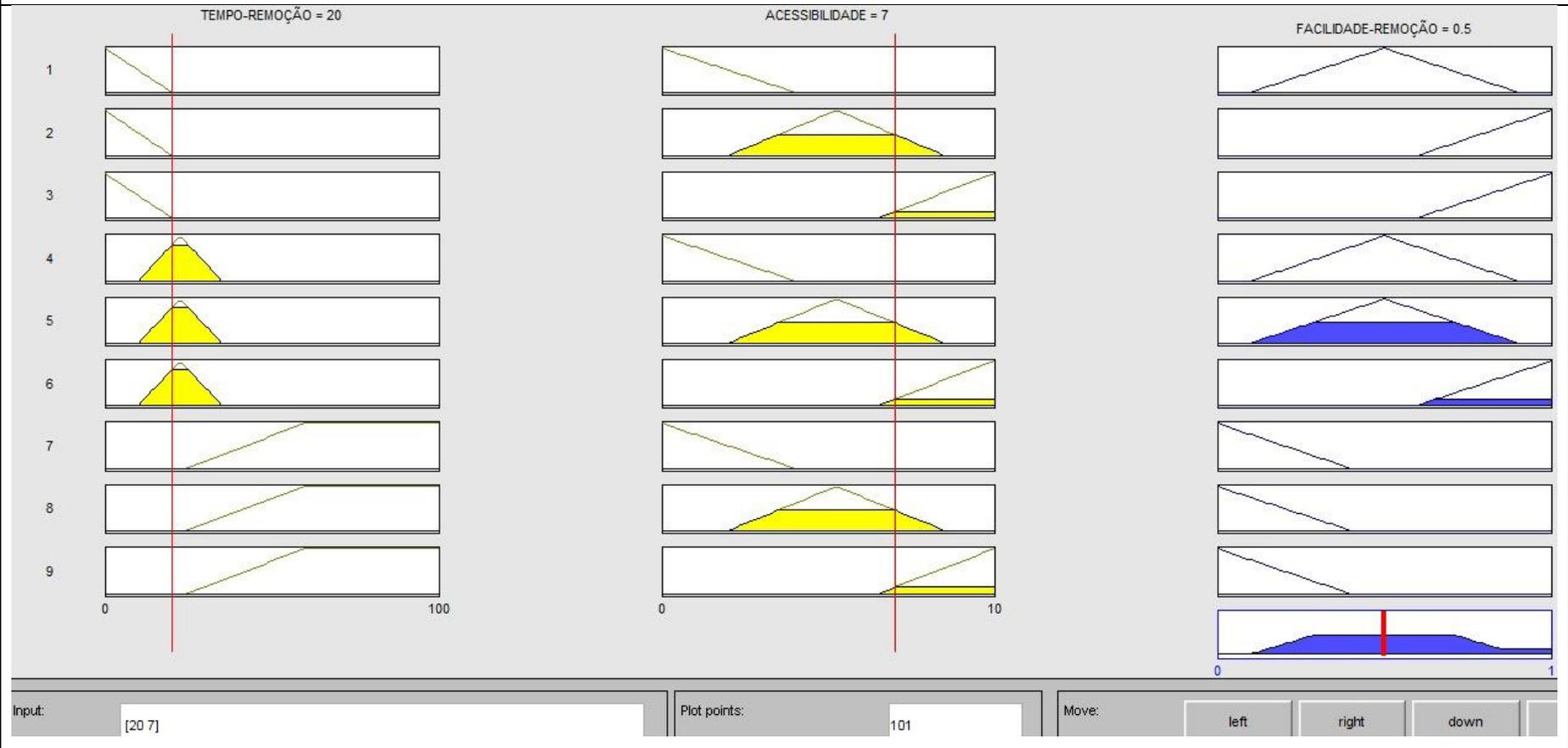


Modelo M7 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 3.6- Tempo de remoção da ligação = 20 e 3.7- Acessibilidade = 7

Variável de Saída: M7-Facilidade de remoção = 0.5

Regras ativadas: 5 e 6

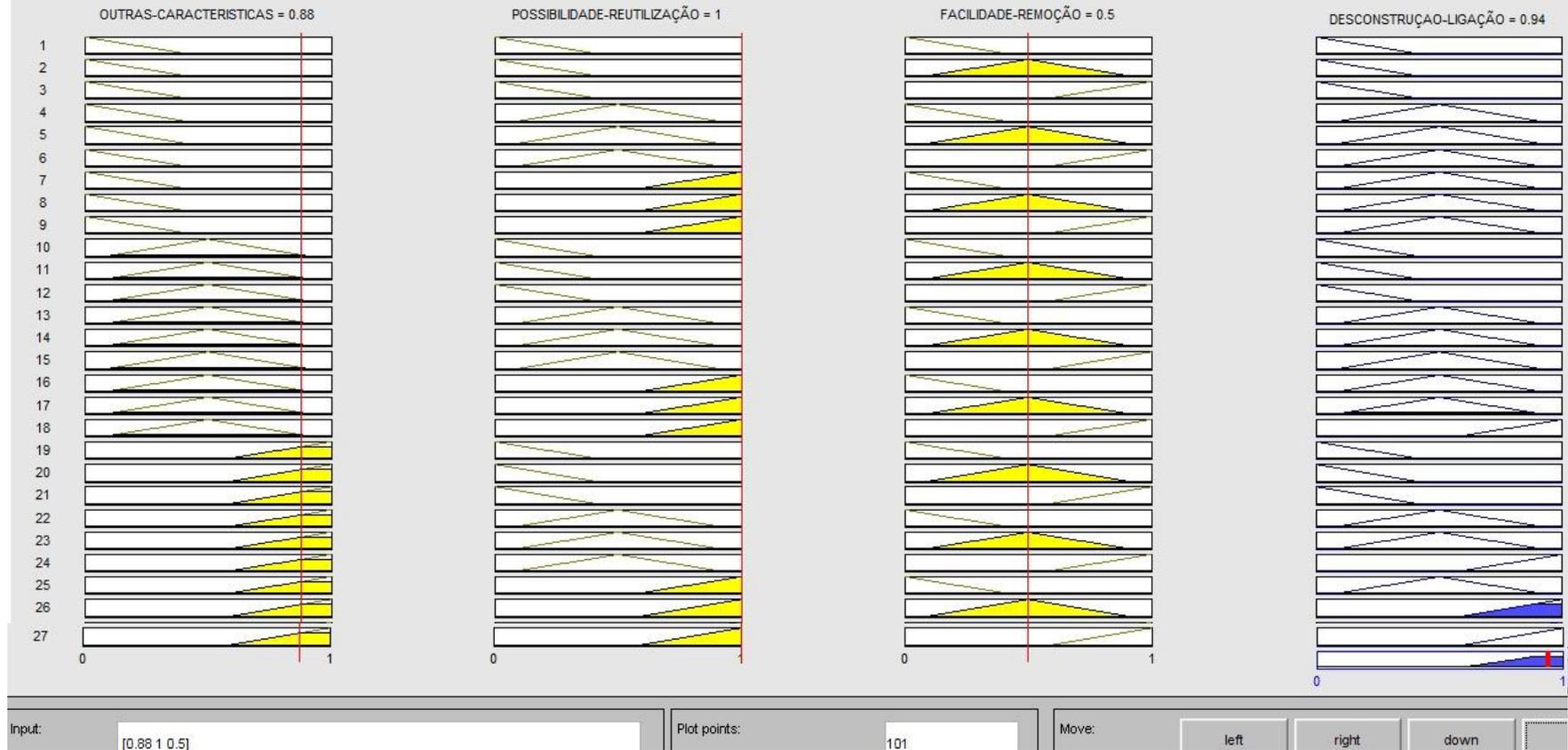


Modelo M8 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M5- Outras Características = 0.88; M6-Possibilidade de Reutilização = 1.0 e M7-Facilidade de remoção = 0.5

Variável de Saída: M8-Desconstrução da Ligação = 0.94

Regras ativadas: 17 e 26

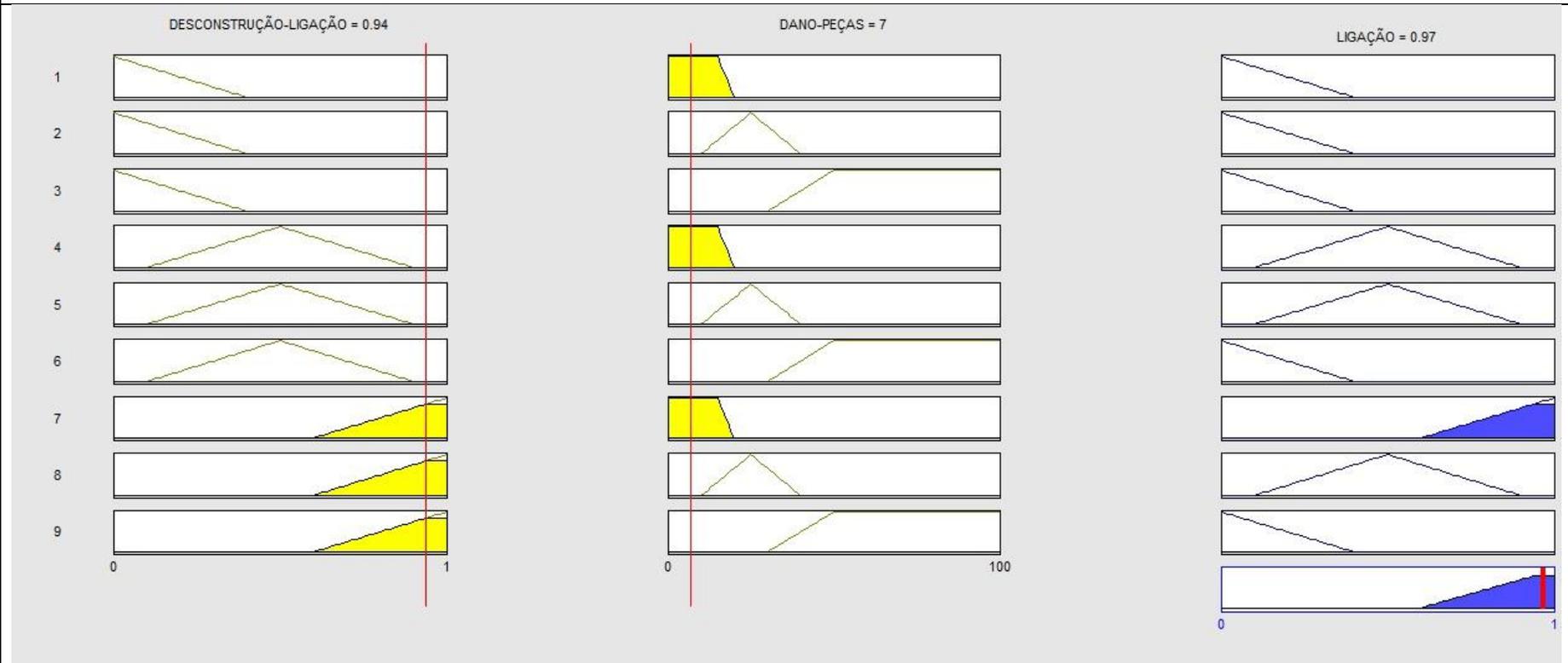


Modelo M9 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M8-Desconstrução da Ligação = 0.94 e 3.8-Dano causado às peças = 7%

Variável de Saída: M9-Ligação = 0.97

Regra ativada: 7



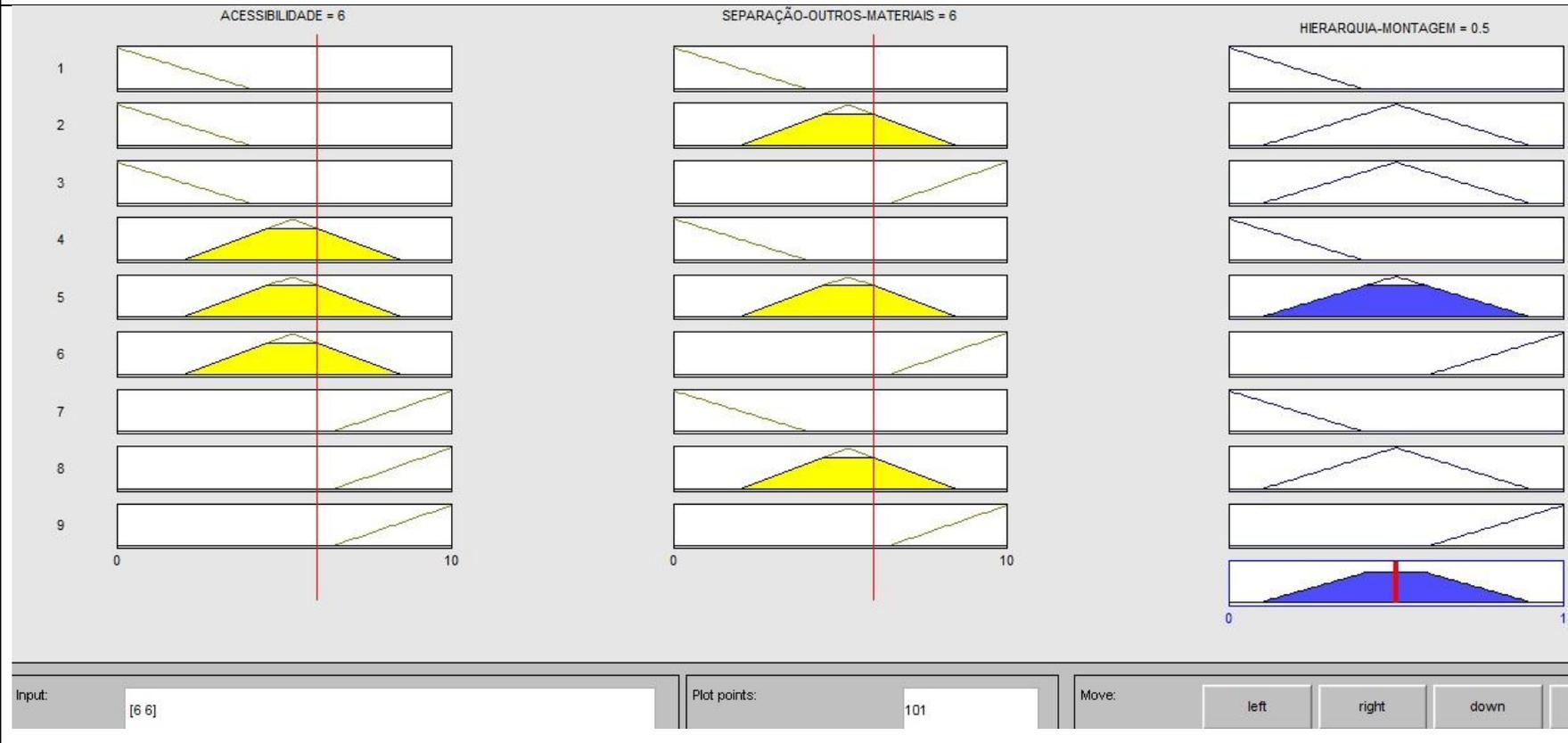
Input: Plot points: Move:

Modelo M10 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 4.1- Acessibilidade = 6 e 4.2- Separação de outros níveis de materiais = 6

Variável de Saída: M10-Hierarquia de montagem = 0.5

Regra ativada: 5

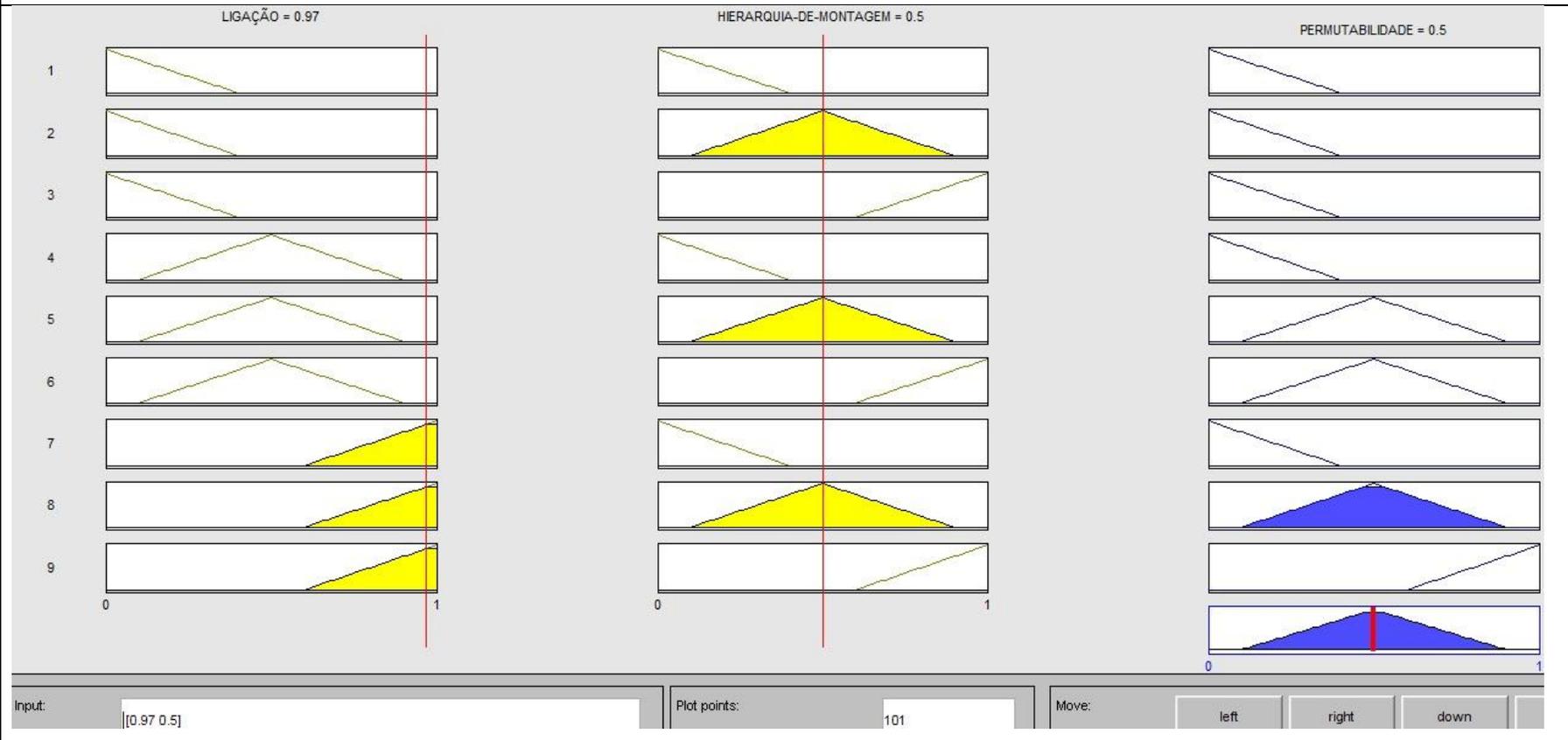


Modelo M11 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M9-Ligação = 0.97 e M10-Hierarquia de montagem = 0.5

Variável de Saída: M11-Permutabilidade = 0.5

Regra ativada: 8

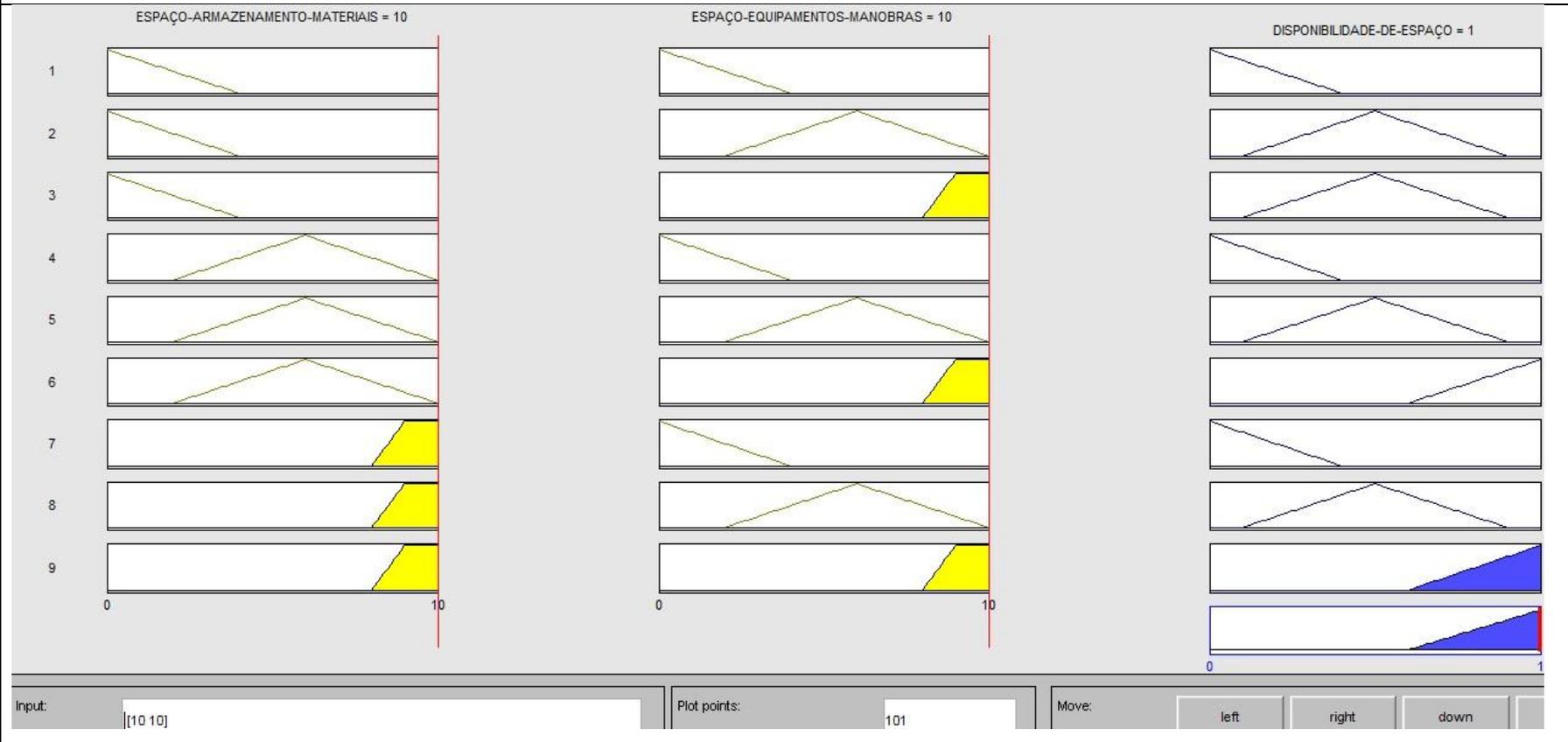


Modelo M12 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 5.3- Espaço para armazenamento de materiais = 10 e 5.4-Espaço para equipamentos e manobras = 10

Variável de Saída: M12-Disponibilidade de espaço = 1.0

Regra ativada: 9

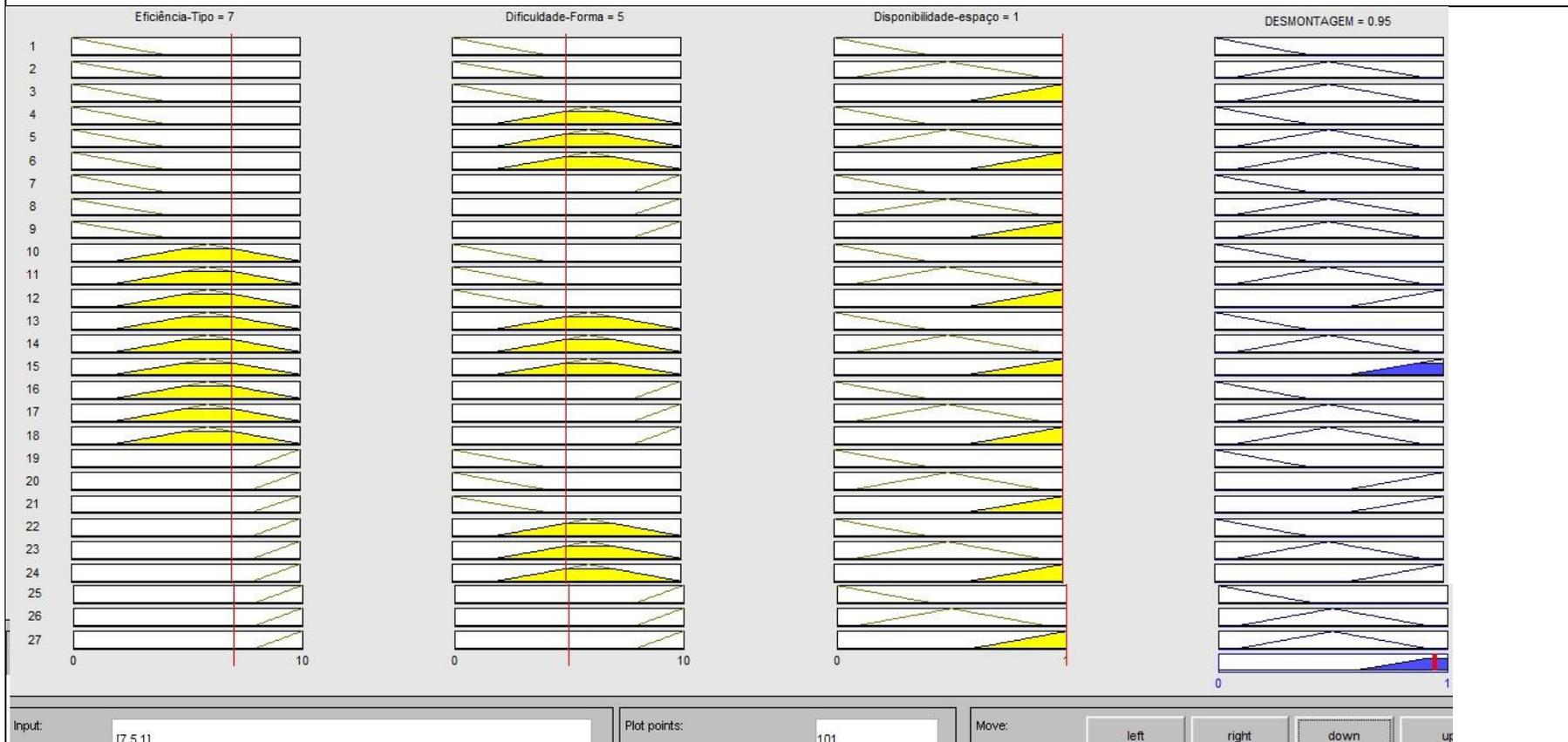


Modelo M13 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 5.1- Eficiência pelo tipo de desmontagem = 7; 5.2- Dificuldade pela forma de desmontagem = 5 e M12-Disponibilidade de espaço = 1

Variável de Saída: M13-Desmontagem = 0.95

Regra ativada: 15

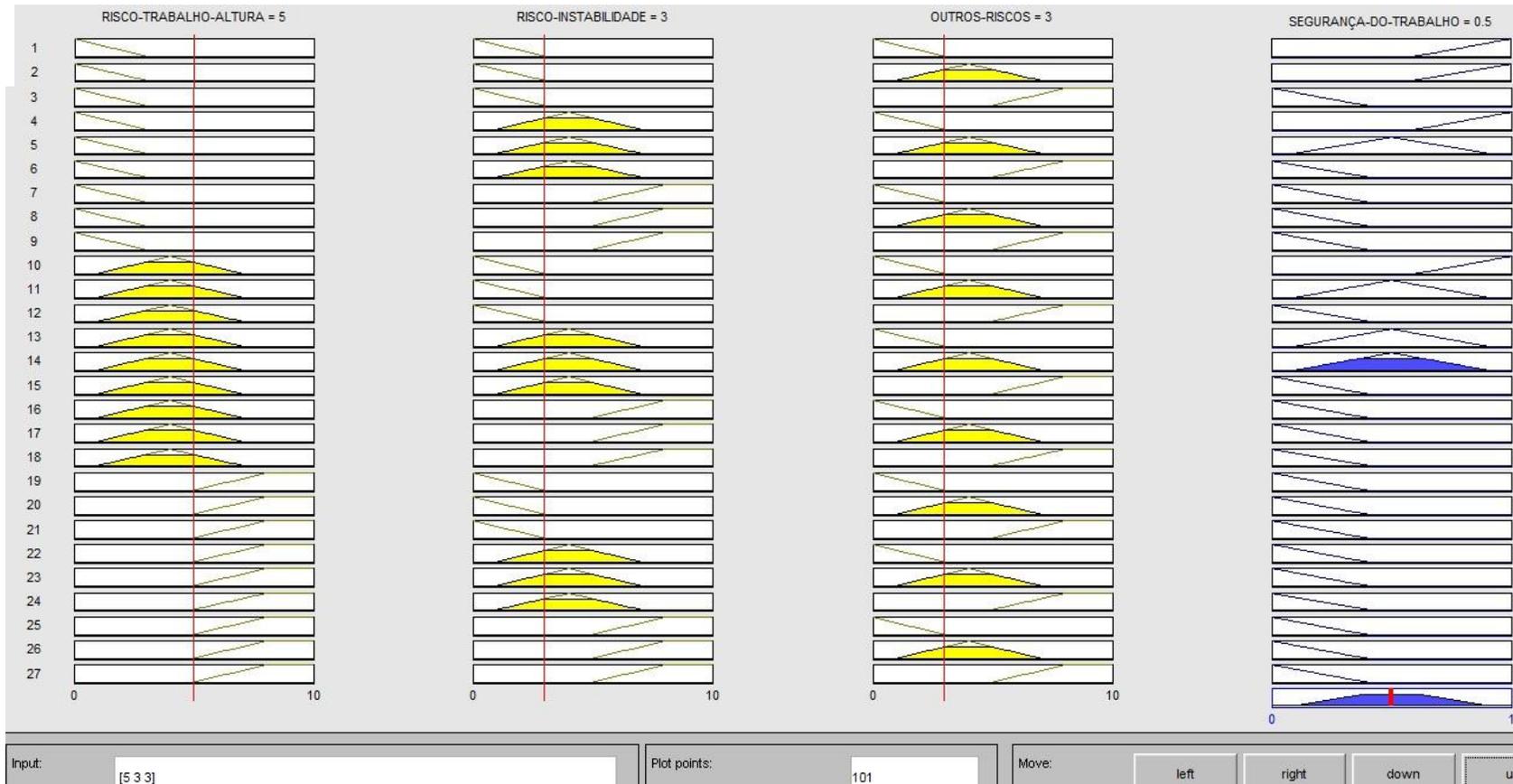


Modelo M14 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 6.1- Risco por Trabalho em Altura = 3; 6.2- Risco por Instabilidade = 3 e 6.3- Outros Riscos = 3

Variável de Saída: M14-Segurança do trabalho = 0.5

Regra ativada: 14



Modelo M15 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: 7.1- Sistema de informação e identificação dos materiais = 4; 7.2- Procedimento de desmontagem= 4 e 7.3- Projeto as built = 4

Variável de Saída: M15- Plano de Desconstrução = 0.5

Regra ativada: 14

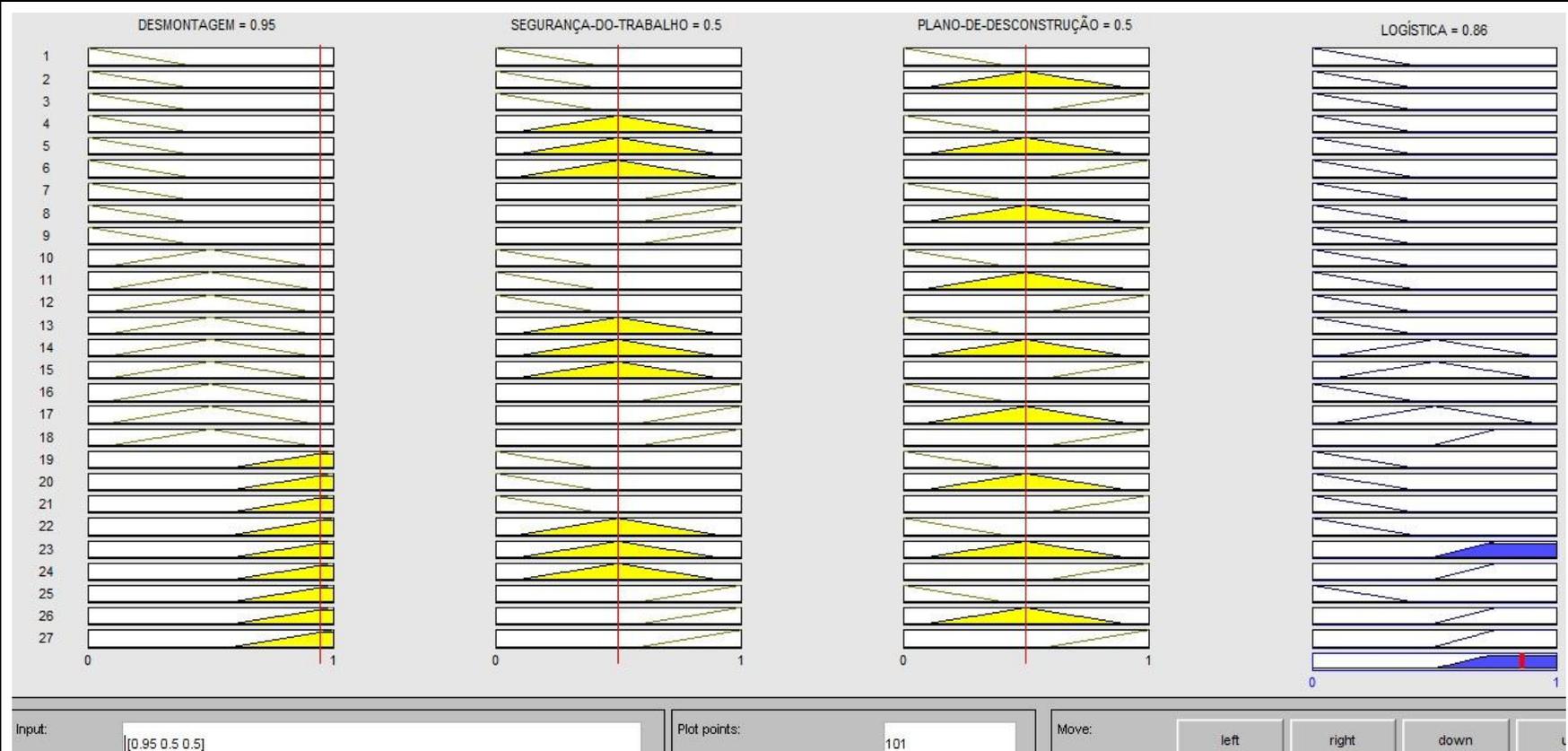


Modelo M16 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M13-Desmontagem = 0.95 ;M14-Segurança do trabalho = 0.5 e M15-Plano de Desconstrução = 0.5

Variável de Saída: M16- Logística

Regra ativada: 23

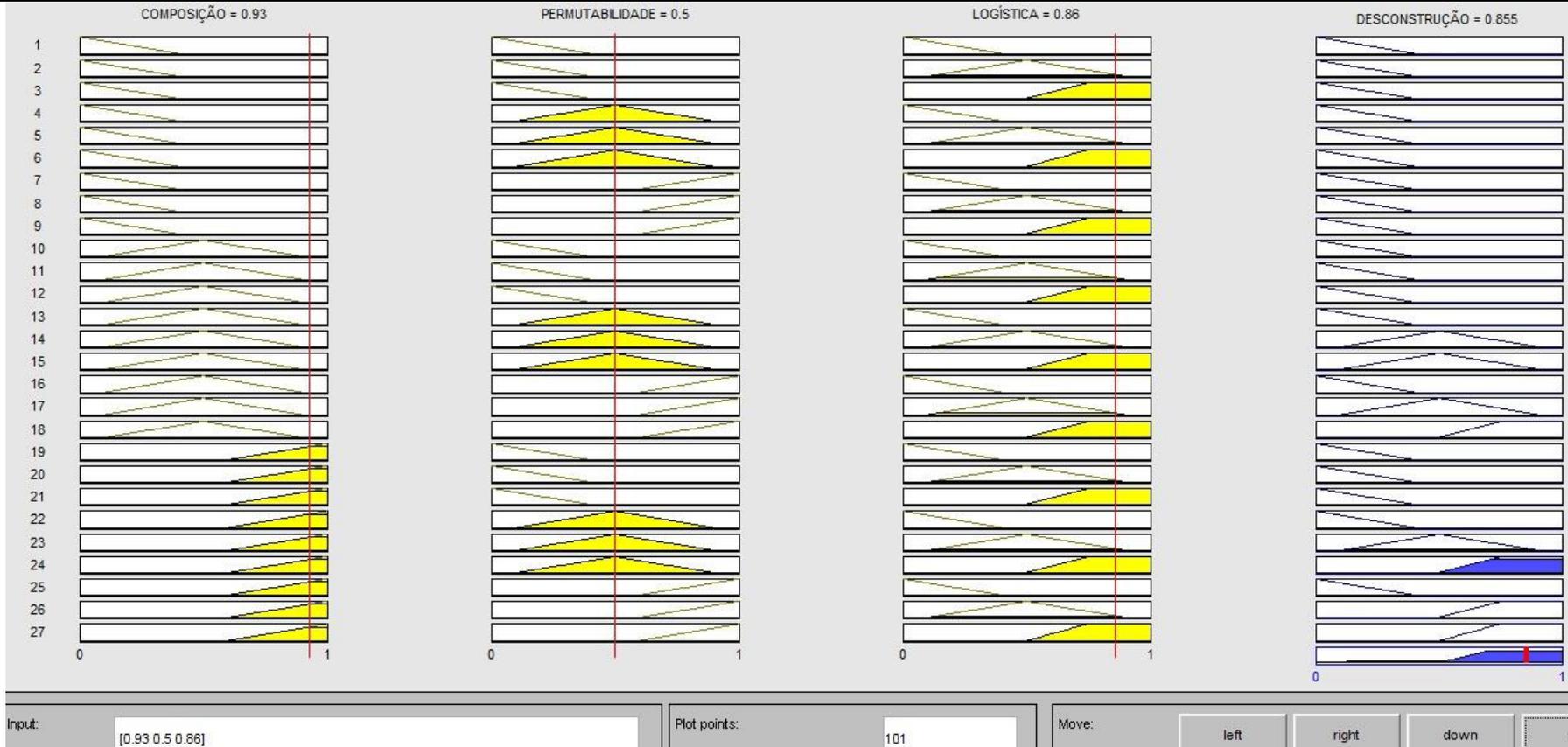


Modelo M17 defuzzificação média dos máximos (MOM)

Variáveis de entrada: M4-Composição = 0.93; M11-Permutabilidade = 0.5 e M16-Logística = 0.86

Variável de Saída: M17-Desconstrução = 0.855

Regra ativada: 23 e 24



ANEXO A- CRÉDITOS LEED



LEED para Novas Construções 2009 Registro Projeto Checklist



Nome do Projeto:
Endereço do Projeto:

Yes	?	No	Espaço Sustentável	26 Pontos
-----	---	----	---------------------------	------------------

Y	Pré-requisito 1	Prevenção da poluição na atividade da Construção	Requisito
	Crédito 1	Seleção do Terreno	1
	Crédito 2	Densidade Urbana e Conexão com a Comunidade	5
	Crédito 3	Remediação de áreas contaminadas	1
	Crédito 4.1	Transporte Alternativo, Acesso ao Transporte público	6
	Crédito 4.2	Transporte Alternativo, Bicletário e Vestiário para os ocupantes	1
	Crédito 4.3	Transporte Alternativo, Uso de Veículos de Baixa emissão	3
	Crédito 4.4	Transporte Alternativo, Área de estacionamento	2
	Crédito 5.1	Desenvolvimento do espaço, Proteção e restauração do Habitat	1
	Crédito 5.2	Desenvolvimento do espaço, Maximizar espaços abertos	1
	Crédito 6.1	Projeto para águas Pluviais, Controle da quantidade	1
	Crédito 6.2	Projeto para águas pluviais, Controle da qualidade	1
	Crédito 7.1	Redução da ilha de calor, Áreas Descobertas	1
	Crédito 7.2	Redução da ilha de calor, Áreas Cobertas	1
	Crédito 8	Redução da Poluição Luminosa	1

Yes	?	No	Uso Racional da Água	10 Pontos
-----	---	----	-----------------------------	------------------

Y	Pré-requisito 1	Redução no Uso da Água	Requisito
	Crédito 1	Uso eficiente de água no paisagismo	2 a 4
		Redução de 50%	2
		Uso de água não potável ou sem irrigação	4
	Crédito 2	Tecnologias Inovadoras para águas servidas	2
	Crédito 3	Redução do consumo de água	2 a 4
		Redução de 30%	2
		Redução de 35%	3
		Redução de 40%	4

Yes	?	No	Energia e Atmosfera	35 Pontos
-----	---	----	----------------------------	------------------

Y	Pré-requisito 1	Comissionamento dos sistemas de energia	Requisito
Y	Pré-requisito 2	Performance Mínima de Energia	Requisito
Y	Pré-requisito 3	Gestão Fundamental de Gases Refrigerantes, Não uso de CFC's	Requisito
	Crédito 1	Otimização da performance energética	1 a 19
		12% Prédios novos ou 8% Prédios reformados	1
		14% Prédios novos ou 10% Prédios reformados	2
		16% Prédios novos ou 12% Prédios reformados	3
		18% Prédios novos ou 14% Prédios reformados	4
		20% Prédios novos ou 16% Prédios reformados	5
		22% Prédios novos ou 18% Prédios reformados	6
		24% Prédios novos ou 20% Prédios reformados	7
		26% Prédios novos ou 22% Prédios reformados	8
		28% Prédios novos ou 24% Prédios reformados	9
		30% Prédios novos ou 26% Prédios reformados	10
		32% Prédios novos ou 28% Prédios reformados	11
		34% Prédios novos ou 30% Prédios reformados	12
		36% Prédios novos ou 32% Prédios reformados	13
		38% Prédios novos ou 34% Prédios reformados	14
		40% Prédios novos ou 36% Prédios reformados	15
		42% Prédios novos ou 38% Prédios reformados	16
		44% Prédios novos ou 40% Prédios reformados	17
		46% Prédios novos ou 42% Prédios reformados	18
		48% Prédios novos ou 44% Prédios reformados	19
	Crédito 2	Geração local de energia renovável	1 a 7
		1% Energia Renovável	1
		3% Energia Renovável	2
		5% Energia Renovável	3
		7% Energia Renovável	4
		9% Energia Renovável	5
		11% Energia Renovável	6
		13% Energia Renovável	7
	Crédito 3	Melhoria no comissionamento	2
	Crédito 4	Melhoria na gestão de gases refrigerantes	2
	Crédito 5	Medições e Verificações	3
	Crédito 6	Energia Verde	2

Yes	?	No	Materiais e Recursos		14 Pontos
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	Depósito e Coleta de materiais recicláveis	Requisito
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1.1	Reuso do edifício , Manter Paredes, Pisos e Coberturas Existentes	1 a 3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 55%	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 75%	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 95%	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1.2	Reuso do Edifício , Manter Elementos Interiores não estruturais	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 2	Gestão de Resíduos da Construção	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Destinar 50% para o reuso	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Destinar 75% para o reuso	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 3	Reuso de Materiais	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 5%	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Reuso de 10%	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4	Conteúdo Reciclado	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 10% do Conteúdo	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 20% do Conteúdo	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 5	Materiais Regionais	1 a 2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 10% dos Materiais Extraído, Processado e Manufaturado Regionalmente	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> 20% dos Materiais Extraído, Processado e Manufaturado Regionalmente	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 6	Materiais de Rápida Renovação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 7	Madeira Certificada	1
Yes	?	No			
Yes	?	No	Qualidade Ambiental Interna		15 Pontos
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pré-requisito 1	Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interno	Requisito
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pré-requisito 2	Controle da fumaça do cigarro	Requisito
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1	Monitoração do Ar Externo	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 2	Aumento da Ventilação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 3.1	Plano de Gestão de Qualidade do Ar , Durante a Construção	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 3.2	Plano de Gestão de Qualidade do Ar , Antes da ocupação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.1	Materiais de Baixa Emissão , Adesivos e Selantes	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.2	Materiais de Baixa Emissão , Tintas e Vernizes	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.3	Materiais de Baixa Emissão , Carpetes e sistemas de piso	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 4.4	Materiais de Baixa Emissão , Madeiras Compostas e Produtos de Agrofibras	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 5	Controle interno de poluentes e produtos químicos	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 6.1	Controle de Sistemas , Iluminação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 6.2	Controle de Sistemas , Conforto Térmico	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 7.1	Conforto Térmico , Projeto	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 7.2	Conforto Térmico , Verificação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 8.1	Iluminação Natural e Paisagem , Luz do dia	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 8.2	Iluminação Natural e Paisagem , Vistas	1
Yes	?	No			
Yes	?	No	Inovação e Processo do Projeto		6 Pontos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1	Inovação no Projeto : Insira o título	1 a 5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Inovação	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 2	Profissional Acreditado LEED®	1
Yes	?	No			
Yes	?	No	Créditos Regionais		4 Pontos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Crédito 1	Prioridades Regionais	1 a 4
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Específicas da Região	1
Yes	?	No			
Yes	?	No	Total de Pontuação do Projeto (Estimativa de Certificação)		110 Pontos
Certificado: 40-49 pontos Prata: 50-59 pontos Ouro: 60-79 pontos Platinum: 80 pontos ou mais					