



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
PROPEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Mestrado - Linha de Pesquisa: Arquitetura e Ambiente Construído



Luiza Carvalho Franco

Concretos e argamassas sustentáveis aplicados à habitação de interesse social

Ouro Preto, 29 de setembro de 2015

Concretos e argamassas sustentáveis aplicados à habitação de interesse social

Autora: Luiza Carvalho Franco

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Ouro Preto, 29 de setembro de 2015

F825c

Franco, Luiza Carvalho.

Concretos e argamassas sustentáveis aplicados à habitação de interesse social [manuscrito] / Luiza Carvalho Franco. - 2015.

139f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração: Construção Metálica.


1. Agregados (Materiais de construção). 2. Concreto. 3. Argamassa. 4. Arquitetura sustentável. 5. Habitação popular. I. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 691.322

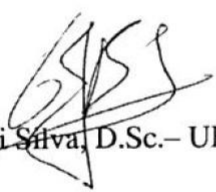
CONCRETO E ARGAMASSA SUSTENTÁVEIS APLICADOS À HABITAÇÃO SOCIAL

AUTORA: LUIZA CARVALHO FRANCO


Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 29 de Setembro de 2015, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto, D.Sc.– UFOP (Presidente)



Prof. Guilherme Jorge Brigolini Silva, D.Sc.– UFOP



Prof. Augusto César da Silva Bezerra, D.Sc. – CEFET/MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais e ao Beto, por terem sido meu apoio nas atividades práticas do mestrado, do início ao fim, e ao afeto constante que me dão;

aos coordenadores, professores e funcionários do PROPEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil pela estrutura do programa de mestrado e pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico;

ao LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFOP e ao RECICLOS – Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos pela companhia e apoio intelectual e, principalmente, ao meu orientador, Professor Ricardo Fiorotti, e ao Professor Guilherme Brigolini, meu coorientador, pelo incentivo ao aprendizado;

ao Laboratório de Conforto Ambiental, na pessoa do Professor Henor Artur de Souza, pelo apoio na simulação computacional para análise do conforto térmico da HiS - Habitação de Interesse Social e por ser tão acessível à sua experiência e conhecimento;

ao CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e ao LMPT - Laboratório de Propriedades Termofísicas, na pessoa do Carlos Manoel Soares, da Denise Camarano e do Fábio Mansur, por terem dado todo o suporte e conhecimento para as análises das propriedades termofísicas dos elementos estudados nesse projeto de pesquisa;

à ArcelorMittal, no nome do José Otávio Franco e do Sandro de Oliveira Almada, pelo esforço empresarial na busca de oportunidades nos processos construtivos com a utilização de resíduo da indústria siderúrgica. Em especial, ao José Otávio que me fez acreditar que nossa postura pessoal e profissional ética e “sustentável” podem contribuir positivamente para o todo;

aos profissionais da Bloco Sigma e da Unistein por darem todo o apoio na fabricação dos elementos da construção civil a serem usados na HiS;

à CAPES, ao CNPQ e à FAPEMIG pelos suporte educacional e financeiro.

RESUMO

O projeto desta pesquisa analisou, sob a perspectiva da redução dos impactos ambientais dos setores siderúrgico e da construção civil, a aplicação de resíduo sólido industrial da siderurgia - a escória de aciaria - como agregado para a fabricação de produtos moldados *in-loco* e pré-fabricados de concreto empregados na indústria da construção civil e, ainda, verificar o grau de desempenho e a eficiência ambiental destes produtos para a arquitetura e o ambiente construído. Para avaliar a viabilidade de uso dos produtos, foi analisado o projeto de unidades-modelo de Habitação de Interesse Social (HiS), denominado Vila Sustentável. Os resultados obtidos da produção, em escala laboratorial, de argamassa, concreto, blocos de pavimento e blocos de alvenaria serviram como parâmetro inicial para a determinação da aplicabilidade do emprego da escória de aciaria como insumo de elementos da construção. Para isso foi verificada a conformidade desses produtos, aplicados na HiS, com base nos parâmetros estabelecidos pela Norma de Desempenho - NBR 15575 (ABNT, 2013) - específica para edificações habitacionais e, adicionalmente, o atendimento aos requisitos exigidos para certificações de edificações sustentáveis. Desta forma, o desenvolvimento da pesquisa atestou o cumprimento aos parâmetros técnicos e ambientais da Norma de Desempenho sobre o projeto da Vila Sustentável, além de indicar a viabilidade econômica do emprego, da escória de aciaria como agregado artificial, em substituição integral aos agregados naturais, convencionalmente utilizados construção civil.

Palavras chave: Escória de Aciaria, Concreto, Argamassa, Construção Sustentável, Cimento Portland, Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT

This research project examined the perspective of reducing environmental impacts in the steel sector and construction, the application of solid industrial waste from steel, the steel slag as aggregate for the manufacture of products molded in-place and precast concrete used in the construction industry and also check the level of performance and environmental efficiency of these products for architecture and the built environment. To assess the feasibility of using this products, were analyzed model units project for a social housing (HiS), called Vila Sustentável. The results of production in laboratory scale of mortar, concrete, paving blocks and masonry blocks serve as initial parameters for determining the applicability of the use of steel slag as raw material for construction. The compliance of these products was verified, applied in HiS, based on parameters set by the Performance Standard - NBR 15575 (ABNT, 2013) - specific to residential buildings and, in addition, compliance with the requirements for sustainable building certifications. Thus, development of the research attested the compliance to technical and environmental parameters set by the Performance Standard applied at the Vila Sustentável´ project, furthermore, indicated the economic feasibility of use of steel slag as artificial aggregate, fully replacing the natural aggregates, usually used in constructions.

Keywords: Steel Slag, Concrete, Mortar, Sustainable Building, Portland cement, Social Housing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivo geral	4
1.3	Objetivos específicos	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1	Habitação de interesse social no cenário mundial	5
2.2	Habitação de interesse social no cenário brasileiro	6
2.3	O impacto da construção civil	8
2.4	A siderurgia e o seu impacto com a geração de resíduos industriais	10
2.5	A escória de aciaria como agregado para materiais da construção civil	12
2.6	O desenvolvimento sustentável e o desempenho das edificações	14
2.7	Certificações de sustentabilidade para edificações	17
2.8	Conforto térmico	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Materiais	27
3.2	Métodos	33
4	RESULTADOS	47
4.1	Potencial contaminante ambiental	47
4.2	Durabilidade	47
4.3	Funcionalidade e acessibilidade	49
4.4	Conforto tátil e antropodinâmico	53
4.5	Comportamento térmico	55
4.6	Certificações de sustentabilidade	62
4.7	Composição de custos	81
5	CONCLUSÕES	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88

6.1 Estudos futuros	90
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	102
ANEXO A – RESULTADOS ENSAIOS LABORATORIAIS: TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO E EMPREGO	103
ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO DA ANÁLISE DO POTENCIAL CONTAMINANTE AMBIENTAL	111
ANEXO C – ARTIGO CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DE HABITAÇÕES: COMPARAÇÃO ENTRE LEED FOR HOMES, PROCESSO AQUA E SELO CASA AZUL.....	119
APÊNDICES	136
APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS FECHAMENTOS: ELEMENTOS CONVENCIONAIS	136
APÊNDICE B – DIMENSÕES DE MOBILIÁRIO E CIRCULAÇÃO	138
APÊNDICE C – RESULTADOS TABELA DOS CONFORTO TÉRMICO	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Diagrama esquemático das condições de contorno da modelagem matemática da transferência de calor de uma parede plana unidirecional	23
Figura 3. 1 - Plano Experimental.....	26
Figura 3. 2 - Vila Sustentável.....	31
Figura 3. 3 - Ensaio de durabilidade.....	35
Figura 3. 4 - Volumetria da HiS	39
Figura 3. 5 - Calorímetro e sistema de aquisição de dados.....	40
Figura 3. 6 - Picnômetro Ultrapycnometer 1000 do Laboratório de Propriedades Termofísicas do CDTN	41
Figura 3. 7- Difusímetro QuadruFlash 1200.....	43
Figura 4. 1 - Dimensão e organização funcional dos espaços.....	50
Figura 4. 2 - Área de manobra de cadeira de rodas sem deslocamento	51
Figura 4. 3 - Atendimento dimensões mínimas vão livre e para aproximação de porta frontal .	51
Figura 4. 4 - Circulação mínima em dormitórios acessíveis.....	51
Figura 4. 5 - Planta de implantação	52
Figura 4. 6 - Corte AA.....	53
Figura 4. 7 - Piso intertravado do tipo intertravamento horizontal	54
Figura 4. 8 - Plantas de paginação	54
Figura 4. 9 - Detalhamento do piso áreas privativas e comuns	55
Figura 4. 10 - Serviços básicos em um raio de 800m da HiS.....	65
Figura 4. 11 - Planta 1ª fiada alvenaria estrutural modular	66
Figura 4. 12 - Estrutura modular dos conjuntos da HiS.....	67
Figura 4. 13 - Planta arquitetônica unidade habitacional com destaque da área molhada.....	68
Figura 4. 14 - Ilustração do efeito chaminé nas unidades da Vila Sustentável	69
Figura 4. 15 - Ilustração do efeito da ventilação cruzada	70
Figura 4. 16 - Estudo de insolação	70
Figura 4. 17 - Comportamento trajetória solar	71
Figura 4. 18 - Sistema de coleta, uso e retorno das águas da chuva	72
Figura 4. 19 - Áreas permeáveis e paisagismo	74
Figura 4. 20 - Sistema de aquecimento solar das águas	75

Figura 4. 21 - Catálogo Lâmpadas Fluorescentes Compactas	76
Figura 4. 22 - Equipamentos de lazer, social e esportivos	77
Figura 4. 23 - Indicadores de qualidade do entorno em um raio de 2,5 Km	79
Figura 6. 1 - Plano experimental para estudos futuros	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4. 1 - Variação dimensional	48
Gráfico 4. 2 - Variação de massa	48
Gráfico 4. 3 - Comportamento térmico quarto 01 - dia típico de inverno	57
Gráfico 4. 4 - Comportamento térmico quarto 01 - dia típico de verão	58
Gráfico 4. 5 - Comportamento térmico sala - dia típico de inverno	58
Gráfico 4. 6 - Comportamento térmico sala - dia típico de verão.....	59
Gráfico 4. 7 - Comportamento térmico quarto 01 - ao longo dia típico de inverno	59
Gráfico 4. 8 - Comportamento térmico quarto 01 - ao longo dia típico de verão	60
Gráfico 4. 9 - Comportamento térmico sala - ao longo dia típico de inverno	60
Gráfico 4. 10 - Comportamento térmico sala - ao longo dia típico de verão	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 - Ensaio para análise da viabilidade técnica.....	28
Tabela 3. 2 - Critérios para avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno .	37
Tabela 3. 3 - Critérios para avaliação de desempenho térmico para as condições de verão	37
Tabela 4. 1 - Propriedades termofísicas - elementos convencionais e propostos	56
Tabela 4. 2 - Comparação dos sistemas de certificação.....	62
Tabela 4. 3 - Condições e distâncias requeridas no critério Qualidade do entorno - infraestrutura Tabela.....	63
Tabela 4. 4 - Indicadores para a Qualidade do entorno - impactos	79
Tabela 4. 5 - Competências dos trabalhadores da produção nos canteiros de obras envolvendo a questão ambiental.....	80
Tabela 4. 6 - Preço médio dos insumos da construção civil	81
Tabela 4. 7 - Custo comparativo de uma unidade.....	82
Tabela 4. 8 - Custo unitário e total para a construção de uma casa padrão PiS.....	83

LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 2. 1)	22
(Equação 3. 1)	36
(Equação 3. 2)	37
(Equação 3. 3)	42
(Equação 3. 4)	43

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE_AE: Argamassa de Agregado de Escória de Aciaria Elétrica

AAE_LD: Argamassa de Agregado de Escória de Aciaria LD

AAN: Argamassa de Agregado Natural

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AE_AE: Agregado escória aciaria elétrica

AE_LD: Agregado escória aciaria LD

AN: Agregado Natural

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

ASSOHQE: Haute Qualité Environnementale

ASTM: American Society for Testing and Materials

AQUA: Alta Qualidade Ambiental

BCAE_AE: Bloco de Concreto de Agregado de Escória de Aciaria Elétrica

BCAE_LD: Bloco de Concreto de Agregado de Escória de Aciaria LD

BCAN: Bloco de Concreto de Agregado Natural

BRE: Building Research Establishment

BS: British Standards

CAE_AE: Concreto de Agregado de Escória de Aciaria Elétrica

CAE_LD: Concreto de Agregado de Escória de Aciaria LD

CAN: Concreto de Agregado Natural

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEFETMINAS: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CDTN: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CIB: Conseil International du Bâtiment

CNPQ: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP: Cimento Portland

CSBT: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DGNB: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAPEMIG: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos
GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
HiS: Habitação de Interesse Social
HQE: Haute Qualité Environmentale
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO: International Organization for Standardization
LEED: Leadership in Energy & Environmental Design
LMCC: Laboratório de Materiais de Construção Civil
LMPT: Laboratório de Propriedades Termofísicas
NBR: Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
ONU: Organização das Nações Unidas
PAC: Programa de Aceleração do Crescimento
PIB: Produto Interno Bruto
PiS: Projeto de Interesse Social
PNAD: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
PROPEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
RECICLOS: Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos
RMBH: Região Metropolitana de Belo Horizonte
SEMAE: Serviço Municipal de Água e Esgoto
SMLU: Secretaria Municipal de Limpeza Urbana
SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SINDUSCON-MG: Sindicato dos Construtores de Minas Gerais
UNCTAD: Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento
USGBC: United States Green Building Council

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grande destaque nas atividades de produção de aço e na exploração do minério de ferro e, a despeito da importância da indústria siderúrgica para a economia brasileira, o setor também é responsável por significativos impactos sobre o meio ambiente. Dentre eles, o mais significativo vem do volume de resíduos gerados, que se dá na proporção de 60% do total de aço produzido (INSTITUTO DO AÇO BRASIL, 2012). No âmbito mundial, o setor da construção civil é considerado como o mais impactante para o meio ambiente, uma vez que consome 75% dos recursos naturais (LAURIANO, 2013) e contribui com 40% da geração de resíduos (TELLO, 2012). No Brasil, a projeção para a produção de agregados naturais, basicamente brita e areia, chega a 807 milhões de toneladas para o ano de 2020 (IBRAM, 2011). A relevância do desenvolvimento de novas tecnologias para elementos da construção civil se dá na medida em que os recursos naturais explorados no meio ambiente para a fabricação de insumos tornam-se cada vez mais escassos, levando a impactos ambientais cada vez mais significativos. Para a realidade brasileira, o desafio é ainda maior quando se analisa o déficit habitacional de cerca de 5,4 milhões de domicílios em 2011 (IBGE/PNAD, 2013). A pressão da sociedade, dos agentes governamentais e empresariais impulsiona demandas que visem a otimização dos parâmetros ambientais nos mais diversos processos produtivos e, no caso da construção civil, no desenvolvimento e operação do ambiente construído. O desafio do desenvolvimento sustentável para a cadeia produtiva do aço e para a construção civil converge para a busca de soluções tecnológicas que viabilizem a destinação dos resíduos da siderurgia como matéria-prima para a construção civil. Nesse sentido, o estudo aqui proposto tem como objetivo a verificação da viabilidade de uso da escória de aciaria, resíduo sólido do processo siderúrgico, em substituição aos agregados naturais convencionalmente usados para a produção de artefatos e insumos da construção civil aplicados em modelos de habitação de interesse social (HiS). Para avaliação do desempenho e da eficiência ambiental dos modelos propostos, foram usadas como ferramentas as prescrições normativas da ABNT, tendo como base a NBR 15575 (ABNT, 2013), bem como as diretrizes e requisitos de certificações para construções sustentáveis.

1.1 Justificativa

A indústria do aço e da construção civil, a exemplo de outros segmentos de negócio, tem buscado reposicionar suas estratégias de mercado adequando-se às atuais demandas sociais e ambientais. Entretanto, o desafio atual é que não basta ter um processo industrial correto, é necessário que o produto resultante seja eficiente e o mais sustentável possível para o seu uso. Também para a arquitetura e os processos construtivos, as legislações ambientais estão mais restritivas, assim como os acordos ambientais internacionais. Ao mesmo tempo, a opinião pública está mais crítica e exigente. Essa pressão tem imposto diretrizes de sustentabilidade que não podem ser entendidas como obstáculos ao desenvolvimento dessas atividades, mas sim como oportunidades para o desenvolvimento de práticas inovadoras e ecoeficientes que sejam alinhadas e coordenadas.

É nessa perspectiva que o reaproveitamento de resíduos da indústria siderúrgica na construção civil surge como uma alternativa a ser considerada, uma vez que contribui efetivamente na mitigação dos impactos ambientais desses dois processos produtivos, pela diminuição do consumo de agregados naturais, favorecimento da reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos da siderurgia, além da diminuição do consumo de energia utilizada e das emissões de CO₂ no processo da construção civil.

A busca da aplicabilidade dos resíduos da indústria do aço na construção civil se respalda nas seguintes possibilidades:

- Transformar os resíduos gerados na cadeia industrial do aço, hoje vistos como um “passivo ambiental”, em matéria prima e insumo para a construção civil;
- Gerar receita para a indústria do aço pela comercialização de seus resíduos e pela redução dos custos de deposição dos mesmos no meio ambiente, conforme legislação ambiental;
- Agregar valor ambiental à arquitetura e à construção pela utilização de materiais e elementos com conteúdo reciclado advindos dos resíduos da indústria siderúrgica;

- Agregar valor ambiental à indústria de produtos utilizados na construção civil pela substituição de matérias primas e insumos oriundos obtidos diretamente no meio ambiente por produtos advindos de uma cadeia reciclável;
- Reduzir os custos da indústria de produtos utilizados na construção civil pela aquisição dos resíduos da indústria do aço, mais baratos que a exploração mineral de matérias primas.

1.2 Objetivo geral

Avaliar o desempenho e a eficiência ambiental de modelos habitacionais de interesse social (HiS) produzidos com matrizes de cimento Portland fabricadas *in-loco* e pré-fabricadas com agregados artificiais de escória de aciaria em substituição integral aos agregados naturais.

1.3 Objetivos específicos

- Verificar os projetos arquitetônico e complementares quanto a certos aspectos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade em atendimento aos requisitos gerais de funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico; comportamento térmico; durabilidade e potencial contaminante ambiental quanto aos parâmetros das prescrições normativas de desempenho da NBR 15575 (ABNT, 2013) e outras normatizações nacionais e internacionais.
- Analisar comparativamente o conforto térmico da HiS a partir da substituição de agregados naturais por agregados reciclados de escória de aciaria por meio da realização de simulação computacional pelo software *EnergyPlus* com vistas a comparar e avaliar o seu desempenho.
- Avaliar o atendimento aos requisitos de certificações de sustentabilidade para edificações, adotadas no Brasil, quanto aos materiais e técnicas aplicadas na HiS.
- Determinar a viabilidade econômica da produção de modelos para unidades habitacionais de interesse social, a partir da substituição de agregados naturais por agregados reciclados de escória de aciaria, conforme prescrições normativas de desempenho e outras aplicadas ao processo de construção dos modelos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Habitação de interesse social no cenário mundial

Mundialmente, verifica-se que as pessoas estão cada vez mais concentradas em áreas urbanas do que em áreas rurais. Com base em pesquisa feita pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, em 2014, 54% da população mundial residia em áreas urbanas. Em 1950, era de 30% da população mundial e em 2050 tem-se a perspectiva de que 66% da população mundial estará habitando nos centros urbanos.

Esse cenário mundial confere uma grande preocupação quanto ao aspecto da habitação de interesse social. Conforme estudo da ONU Habitat, o déficit habitacional do conjunto América Latina e Caribe tem aumentado, indicando ser 38 milhões de habitações em 1900 e de 42 a 51 milhões em 2011. A esse desafio mundial estão atrelados também os problemas de segregação espacial e social; inexistência ou precariedade de serviços básicos de saúde; falta de transporte público de qualidade, carência de espaços e equipamentos sociais de lazer, comércio e serviços; dentre outros.

E, embora complexo, o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas concretiza assertivamente o ponto chave para sua resolução da deficiência mundial de habitações:

“Enquanto o mundo continua a urbanizar, desafios sustentáveis de desenvolvimento serão cada vez mais concentrados nas cidades, particularmente nos países de baixa e média renda onde o ritmo de urbanização é mais rápido. Políticas integradas para melhorar a qualidade de vida das populações urbanas e rurais serão necessárias”.

2.2 Habitação de interesse social no cenário brasileiro

A habitação de interesse social é um modelo construtivo destinado a viabilizar moradia à população que não possui condições de adquirir um imóvel. A necessidade de uso de modelos habitacionais desse formato surge em virtude do problema do déficit habitacional iniciado nas zonas urbanas, a partir do período da Revolução Industrial, no século XIX, pela migração de pessoas vindas do meio rural para as cidades. A evolução histórica nos indica que, no ano de 2012, a população brasileira residente em área urbana já chegava a quase 85% (IBGE, 2012), sendo que apenas doze metrópoles concentravam 33% da população (HABITARE, 2007).

No cenário atual do século XXI, o déficit habitacional tornou-se o indicador mais importante para orientar os agentes da política habitacional no desenvolvimento de programas capazes de suprir a demanda de moradias (FURTADO *et al.*, 2013). Segundo metodologia e fontes do IBGE/PNAD, esse déficit habitacional é evidenciado quando há pelo menos uma das quatro situações: domicílios precários (rústicos ou improvisados); situação de coabitação (famílias conviventes que habitam o mesmo espaço com intenção de se mudar ou residentes em cômodos comuns); domicílios cujo valor do aluguel é superior a 30% da renda domiciliar total (excedente de aluguel); e domicílios alugados com mais de três habitantes, utilizando o mesmo cômodo (adensamento excessivo). No Brasil, este indicador, em valores brutos, é de cerca de 5,4 milhões de domicílios em 2011, contra 5,6 milhões em 2007. Apesar do aumento de quase 10% no número de domicílios, em valores absolutos houve uma queda tímida.

O déficit habitacional é majoritariamente urbano, pois 81% do total está nas grandes capitais e, especificamente, no Sudeste. Já a precariedade dos domicílios se apresenta de forma predominante no Norte e Nordeste, especialmente no Maranhão.

De forma geral, são mais de sete milhões de famílias carentes de moradias novas, além de 10 milhões de domicílios com problemas de infraestrutura básica (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004). E conforme cita Luis Manuel Rebelo Fernandes, presidente da FINEP:

“A indústria que constrói essas moradias também enfrenta problemas. Responsável por 8,5% do PIB nacional, a cadeia produtiva da construção civil depende da extração de matérias-primas naturais (areia, madeira, pedras), produz montanhas de resíduos e atua, em grande parte, com baixo nível de inovação tecnológica. A construção civil é responsável por milhares de empregos, mas é carente de melhorias na maioria de seus processos, do projeto à execução”.

Perante o exposto, a carência habitacional brasileira deve ser priorizada no conjunto de políticas públicas para que esta dívida social seja resgatada na forma como preconiza a Constituição Federal Brasileira que responsabiliza a União pela instituição de diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive os aspectos de moradia. Nesse sentido, no atual governo, dentre as diretrizes da Política Nacional da Habitação destaca-se a qualidade e produtividade habitacional, que dentre outras questões frisa a melhoria da qualidade das diversas modalidades da cadeia produtiva da construção. Os objetivos são buscar a maior durabilidade e confiabilidade das edificações, reduzindo assim os riscos do investimento na construção habitacional; e implementar ações voltadas à sustentabilidade do ambiente construído, desde as fases de elaboração de projeto até a de execução da obra, objetivando a redução do desperdício, aumento da vida útil das construções e aproveitamento dos resíduos gerados. Essas diretrizes são diretamente relacionadas à proposta desse projeto de pesquisa, pois a aplicação de elementos da construção civil com novas tecnologias contribui diretamente para o desempenho e a eficiência ambiental das habitações de interesse social.

2.3 O impacto da construção civil

A indústria da construção civil inicia seu impacto ao meio ambiente ainda na fase de extração das matérias primas de que necessita, gerando a exaustão dos recursos naturais, e termina com o fim da vida útil dos produtos construídos, quando os mesmos são então descartados como resíduo, nem sempre de forma correta.

De acordo com John (2000), a construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. No Brasil, Lauriano (2013) afirma que esse setor é responsável por 75% do consumo de recursos naturais. Quanto à geração de resíduos produzidos pela sociedade mundial, segundo Tello (2012), 40% do total advém da atividade de construção. E esses dados confirmam o impacto da construção civil sobre o meio ambiente, provocando a escassez de recursos naturais, que constituem matéria-prima para o desenvolvimento do ambiente construído.

O levantamento da produção de agregados e aglomerantes de concreto torna-se imprescindível para a avaliação dos impactos ambientais da construção civil. Esse material é o mais utilizado no mundo pela construção, atingindo cerca de 20 bilhões de toneladas por ano, conforme Torgal (2012). Embora haja a falta de dados estatísticos, ainda conforme John (2000), o consumo de agregados naturais no Brasil pode ser estimado, considerando uma produção de aproximadamente 35 milhões de toneladas de cimento Portland por ano. Assumindo que este cimento é utilizado com agregados a um traço médio de 1:6, em massa, chega-se a um estimado consumo anual de 210 milhões de toneladas de agregados somente em argamassa e concreto. Mais especificamente, conforme sumário mineral do DNPM (2013), o Brasil apresentou em 2012 uma produção de mais de 287 milhões de toneladas de cascalho e brita, de quase 369 milhões de toneladas de areia e 69 milhões de toneladas de cimento.

Diante disso, é de grande importância o estudo e o desenvolvimento de novas tecnologias que viabilizem a produção de elementos concebidos em matrizes de cimento Portland e que garantam a redução da exploração de matérias primas e minimização da geração de resíduos. A alternativa vislumbrada com a utilização de resíduos industriais da siderurgia em substituição aos agregados naturais, vem ao encontro da necessidade de conservar os recursos naturais, reduzir as emissões de

CO₂ e o consumo de energia na cadeia produtiva e reduzir os custos na produção dos artefatos para a construção civil (PEIXOTO, 2012).

2.4 A siderurgia e o seu impacto com a geração de resíduos industriais

A indústria siderúrgica, de forma proporcional ao seu porte produtivo, tem que lidar com relevantes aspectos de cunho ambiental, sendo eles a degradação gerada pela extração da matéria-prima, o consumo de água e de energia, a geração de efluentes, emissões e resíduos e o impacto no transporte dos insumos e produtos produzidos.

Para se ter ideia do tamanho do problema, conforme a Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento (UNCTAD), o Brasil é o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, sendo que, em 2012, a produção de aço bruto no país chegou a 34,5 milhões de toneladas, volume inferior somente ao da Austrália.

No aspecto da geração de resíduos, em 2012, para cada tonelada de aço produzido na indústria siderúrgica gerou-se 600 kg e o volume total foi de 17,7 milhões de toneladas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013). Quanto a destinação dos resíduos gerados, 63% são reaproveitados como agregados siderúrgicos, sendo que quase 70% deste montante são utilizados na produção de cimento, 18,4% em bases e sub-bases de estradas, 7,7% no nivelamento de terrenos e o restante em outras aplicações como lastro ferroviário e uso agrônômico.

No processo de fabricação de aço, composto pelas etapas de preparação da carga; redução; refino e lingotamento contínuo e laminação, a geração dos resíduos se dá na penúltima fase. O refino e lingotamento acontece em aciarias a oxigênio (aciaria LD) ou aciarias elétricas, de acordo com o tipo de usina, e é aí onde o ferro-gusa líquido ou sólido e a sucata de ferro e aço são transformados em aço líquido. Nessa etapa parte do carbono contido no ferro-gusa é removido juntamente com impurezas, que são denominadas escórias de aciaria (RIZZO, 2006; MELO, 2008). Essas, em geral, contêm sílica, que se torna sólida à temperatura ambiente. De acordo com a Shi (2004), escória de aciaria é um subproduto da indústria siderúrgica a partir da conversão de ferro em aço numa fornalha de oxigênio ou da fusão de sucata para fazer aço em um forno elétrico.

Sobre o aspecto da geração de resíduos, Rocha e John (2003) afirmam que:

“Embora seja possível e prioritário reduzir a quantidade de resíduos durante a produção e até o pós-consumo, eles sempre serão gerados. O desenvolvimento sustentável requer uma redução do consumo de matérias-primas naturais não renováveis. O fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos a partir da reciclagem de resíduos, é uma alternativa insubstituível. Assim, o desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de resíduos ambientalmente eficientes e seguras, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivas nos diferentes mercados é um desafio técnico importante...”

O estudo científico da aplicação da escória de aciaria como agregados para produtos na construção civil atende ao conceito de desenvolvimento sustentável preconizado acima por Rocha e John (2003) em dois aspectos. Primeiro no que diz respeito à redução do consumo de matérias primas não renováveis, no caso, areia e pedra de brita, agregados convencionais, e que são as substâncias minerárias mais consumidas no mundo. Em segundo lugar, proporciona o fechamento do ciclo produtivo do aço, com a geração de matrizes de cimento Portland com agregados de escória de aciaria.

2.5 A escória de aciaria como agregado para materiais da construção civil

Devido a sua importância, a utilização da escória de aciaria como material de construção, principalmente como material inerte na produção de matrizes cimentícias, vem sendo estudada por vários centros de pesquisa no país. Shi (2004) estudou a produção e as características da escória de aciaria e o uso do material em matrizes de cimento e observou que, a medida em que a produção de cimento Portland apresenta alto gasto de energia, gera altas emissões de gases do efeito estufa, o uso da escória de aciaria deve ser considerada, em primeiro plano, como componente cimentício quanto aos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. E Masuero (2004) já apontava que argamassas com até 50 % substituição de cimento por escória de aciaria elétrica estabilizada apresentam desempenho semelhante do ponto de vista mecânico e de absorção de água que argamassas sem escória.

No estudo de caso para uma ciclovia, Peixoto e Padula (2009) apontaram para a viabilidade de uso de escória de aciaria processada como agregado para concreto de cimento Portland na construção de pavimento rígido. Afirmaram que, se a escória é estabilizada e processada industrialmente para segregação das frações metálica e não metálica, além do enquadramento em faixas granulométricas adequadas, a mesma pode ser usada como agregado para concreto de cimento Portland.

Já Thanaya (2010) fez uma investigação da produção de blocos de alvenaria de concreto que incorporam resíduos, a saber: escória de aço; vidro moído; cinzas volantes; cinza de casca de arroz; cinzas de incinerador de lodo de esgoto; cinzas de incinerador de resíduos sólidos; ligados com betume ou asfalto. Os resultados apontaram que o desempenho dos blocos quanto à resistência à compressão são comparáveis a dos blocos de concreto atualmente usados no Reino Unido para aplicação em alvenaria não estrutural.

Em pesquisa científica na Croácia, Netinger (2011) indicou que escória de aciaria com granulometria (4-8, 8-16 mm), conforme normatização Europeia, pode ser uma boa substituta para elementos de concreto que faz o uso de agregados naturais.

Segundo Paula *et al.* (2013) a utilização criteriosa da escória de aciaria LD viabiliza, para os parâmetros de teor de ar incorporado, capacidade de retenção da água,

densidade de massa e resistência à compressão, o seu uso como material constituinte de argamassas de assentamento de alvenarias nas aplicações correntes da construção civil, em substituição aos materiais naturais.

França *et al.* (2013) analisou parâmetros de resistência à compressão, tração na flexão e aderência à tração, verificando que as amostras de argamassas de escória possuem resistências mecânicas superiores à argamassa produzida com areia, além de apresentarem desempenho superior quanto à aderência e resultados idênticos para trabalhabilidade.

Recentemente, Souza (2013) propôs a execução de pavimentos ecológicos permeáveis contendo em sua matriz apenas escórias de aciaria em substituição aos agregados naturais e observou que as propriedades mecânicas, resistência à compressão e tração na flexão apresentaram resultados similares às amostras contendo apenas agregados naturais. Já Santos (2013) analisou o desempenho de blocos de concreto produzidos integralmente com escória, e afirmou que a utilização escória de aciaria elétrica viabiliza, para os parâmetros estudados, o uso como material constituinte de blocos de concreto para alvenarias modulares. Contudo, recomendou para futuros estudos a avaliação desempenho e durabilidade dos blocos em condições de campo, utilização e serviço.

2.6 O desenvolvimento sustentável e o desempenho das edificações

Conforme definido por Blachere (1970), o desempenho de uma edificação pode ser entendido como o seu comportamento em uso ao longo de sua vida útil. E é notável que o desempenho das edificações esteja intrinsecamente amarrado aos conceitos de Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade tão amplamente discutidos nos encontros políticos, econômicos e sociais mundiais atuais. Inserido a todas essas ações de envolvimento para a busca do Desenvolvimento Sustentável existe ainda o desafio de mensurar as ações que se dizem sustentáveis. Tratado no meio acadêmico como indicadores de sustentabilidade, medir este conceito requer a integração de um número considerável de informações de diversas áreas do conhecimento. Desta forma, as legislações, normatizações e certificações de materiais e edificações nos fornecem os parâmetros de análise e formulações mensuráveis que nos permitem avaliar o desempenho de uma habitação de interesse social, por exemplo.

Há mais de 40 anos o conceito de desempenho de edificações e seus sistemas vem sendo desenvolvido e hoje o tema já está consolidado na maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O interesse em aprimorar os sistemas construtivos para reduzir os custos por meio de inovação tecnológica e a necessidade de lidar com o déficit habitacional fazem com que a aplicação do conceito de vida útil da edificação, ou seja, o seu desempenho, seja aplicado de forma prática na construção civil.

Um marco relevante para a aplicação do conceito de desempenho foi a elaboração da ISO 6241 em 1984, que trata sobre padrões de desempenho na construção e definiu uma formulação mestre de requisitos funcionais dos usuários de imóveis. Conceitos importantes como a vida útil das edificações e o custo de manutenção já estavam elencados nos seus requisitos, sendo que a norma de desempenho brasileira, NBR 15575 (ABNT, 2013), adota mecanismo similar.

Posteriormente o CIB (Conseil Internacional du Bâtiment) definiu o tema Performance Based Building (Construção baseado no desempenho) e começou a estudar amplamente o assunto. Além do CIB, outros institutos de pesquisa vêm estudando o tema desempenho de edificação, como o CSBT – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. No Brasil, o tema tomou proporção na década de 80 com

estudos do pesquisador Ercio Thomaz do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

A NBR 15575 (ABNT, 2013), cuja discussão técnica para atualização, iniciada em 2008, consolidou-se em 19 de julho de 2013, quando entrou em vigor, rege a forma de avaliação do comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Esta NBR tem base em questões relativas à segurança (segurança estrutural, segurança contra fogo e segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental). Ela está organizada em seis partes, de acordo com os elementos que compõem uma construção: (1) Requisitos gerais, (2) Requisitos para os Sistemas estruturais, (3) Requisitos para os Sistemas de pisos, (4) Requisitos para os Sistemas de vedações verticais internas e externas, (5) Requisitos para os Sistemas de cobertura, e (6) Requisitos para os Sistemas hidrossanitários.

Cada uma das partes é composta pelo seguinte sumário, o qual possui informações relativas ao sistema em análise, quando aplicável: (1) Escopo, (2) Referências Normativas, (3) Termos e definições, (4) Requisitos do usuário, (5) Incumbências dos intervenientes, (6) Avaliação de desempenho, (7) Desempenho estrutural, (8) Segurança contra incêndio, (9) Segurança no uso e operação, (10) Estanqueidade, (11) Desempenho térmico, (12) Desempenho acústico, (13) Desempenho lumínico, (14) Durabilidade e manutenibilidade, (15) Saúde, higiene e qualidade do ar, (16) Funcionalidade e acessibilidade, (17) Conforto tátil, visual e antropodinâmico, (18) Adequação ambiental.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) aplica-se a edificações habitacionais, desde que não sejam obras de reforma, retrofit (reformulação) ou edificações provisórias, com qualquer número de pavimentos, apresentando as ressalvas necessárias para edificações de até cinco pavimentos e regulamentando as construções com níveis de desempenho mínimo, intermediário ou superior. Baseada no desempenho de uma edificação, a NBR se complementa com as chamadas normas prescritivas. Ou seja, ela não entra em conflito com normatizações específicas para os sistemas que integram um edifício, apenas determinando o resultado que deve ser alcançado.

Para cada sistema, a norma estabelece critérios de qualidade e os procedimentos para medir se os mesmos atendem aos seus requisitos. A norma prevê ainda uma série de situações de risco para o imóvel e fornece não só a medida, assim como instruções para determinar se os sistemas são seguros, estabelecendo padrões mínimos de qualidade, baseados no desempenho e na durabilidade dos sistemas.

2.7 Certificações de sustentabilidade para edificações

É notável o desafio de mensurar as ações de desempenho, que são denominadas no mercado como sustentáveis e ainda tratadas no meio acadêmico como indicadores de sustentabilidade. Medir a sustentabilidade requer a integração de um número considerável de informações produzidas em diversas áreas do conhecimento, como climatologia, economia, ecologia, engenharia, arquitetura, dentre outras. Há ainda, na gestão dos indicadores de desempenho, a dificuldade de obtenção e comparação de dados, uma vez que eles provêm de fontes de informações diversas e estabelecidos muitas vezes com parâmetros também diversos. (FRANCO, 2012)

Dadas as dificuldades e a variedade das questões envolvidas, torna-se difícil compor um conceito amplo e com bons argumentos sobre o que é a sustentabilidade. A rigor não faz sentido falar sustentabilidade, afinal não existe no cenário mundial uma edificação ou algum elemento construtivo que se sustenta, algum fator que consegue se manter constante e auto suficiente. E sim, é necessária uma evolução contínua destas ações que levem ao Desenvolvimento Sustentável, partindo da consciência de cada ação. Essa discussão sobre o conceito sustentabilidade foi bastante aprofundado por Peter Russell no artigo “Is sustainable development compatible with Western civilization?”.

Partindo desse princípio, surgiram no mercado os chamados selos ou certificações de sustentabilidade para edificações e áreas urbanas, ou também chamados de selos verdes. Estes surgiram a partir da necessidade de diversos países em produzir construções com menor impacto ambiental, menor consumo de energia, muitas vezes associada à preocupação com as mudanças climáticas (IPCC, 2014). Podem-se destacar o LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) criado pela organização sem fins lucrativos Green Building Council dos Estados Unidos (USGBC); o HQE (Haute Qualité Environnementale) criado pela associação Haute Qualité Environnementale (ASSOHQE) sediada na França; o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) criado pelo Building Research Establishment (BRE) com sede na Inglaterra; o DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) fundado pelo German Sustainable Building Council na Alemanha.

Além de existir outras certificações não citadas nesse projeto de pesquisa, essas são utilizadas mundialmente assim como no Brasil, onde utilizam-se tanto as certificações internacionais quanto as “tropicalizadas” – certificações baseadas em métodos internacionais que são adaptados à realidade do país –, e ainda aquelas, exclusivamente, criadas para a realidade brasileira.

2.8 Conforto térmico

Segundo a norma ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2010) conforto térmico é uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. E uma edificação tem a função de permitir que o usuário realize plenamente diversas atividades, que ocorram em seu interior, com as melhores condições de conforto e segurança possíveis (TRINDADE, 2014). A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange seu conforto térmico. A arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas. (FROTA, 2001).

A análise do desempenho térmico das edificações consiste na verificação das condições do ambiente construído quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes, por meio da resposta global da edificação às trocas de calor e massa entre o ambiente interno e o ambiente externo. Sendo assim, as características da envoltória (piso, parede e teto) de uma edificação influenciam diretamente em sua resposta térmica que, por sua vez, se relaciona com o conforto térmico do usuário e com a eficiência energética da edificação em uso.

Segundo TRINDADE (2014) considera-se eficiência energética como sendo a capacidade de se realizar diversidades de trabalhos no ambiente, utilizando a menor quantidade de energia possível. Em um edifício sem grandes fontes internas de geração de calor, a envoltória é a principal responsável pela demanda de carga térmica dos sistemas de climatização e em edifícios não climatizados, pelas condições internas que irão repercutir no conforto térmico do usuário (BRITO; AKUTSU; TRIBESS, 2011).

Logo, o conhecimento do clima, associado aos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos elementos construtivos a serem empregados na edificação, auxiliando por programas de simulação computacional, permitem definir a condição arquitetônica adequada.

2.8.1 Simulação computacional

O *EnergyPlus* é um programa de simulação de edificações baseado nas características e capacidades dos programas BLAST e DOE-2. Este software permite o cálculo do impacto de equipamentos de aquecimento, resfriamento, ventilação, tipos complexos de iluminação e venezianas de janelas para maximizar a eficiência energética da edificação e o conforto dos ocupantes, características não contempladas pelo software DOE-2. O *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia em cooperação com o Laboratório de Pesquisa do Departamento de Engenharia de Construção do Exército Norte-Americano, a Universidade de Estado de Oklahoma, o Departamento de Energia do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley e do Centro de Engenharia Solar da Flórida. (CRAWLEY *et al.*, 2000).

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação fornece a resposta global do projeto arquitetônico em relação às interações térmicas e de massa entre ambiente interno e ambiente externo (AKUTSU, 1998), contemplando as seguintes etapas:

- a) Caracterização da edificação e seu perfil de ocupação;
- b) Caracterização e configuração dos fechamentos e estratégias bioclimáticas incorporadas ao desenho;
- c) Caracterização das condições climáticas;
- d) Caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- e) Simulação numérica das interações térmicas e de massa entre o ambiente externo e interno;
- f) Avaliação da distribuição interna da temperatura e umidade relativa (edificações naturalmente ventiladas) e da carga térmica necessária (edificações mecanicamente condicionadas).

A simulação numérica se apresenta como uma ferramenta importante para a modelagem do desempenho térmico e energético de edificações, pois permite

avaliar quais estratégias podem minimizar os problemas causadores do desconforto térmico.

2.8.2 Propriedades termofísicas

Para a simulação numérica das interações térmicas e de massa entre o ambiente interno e externo, é necessário determinar certas propriedades termofísicas dos elementos da construção. Esses parâmetros são necessários para que o *software* caracterize o modelo computacional de um projeto arquitetônico e faça a simulação do desempenho térmico. As propriedades termofísicas necessárias são: calor específico, densidade e condutividade térmica.

A partir da troca térmica ocorrida entre os corpos, em um meio isolado, é possível determinar grandezas térmicas como o calor específico (c). Essa propriedade característica de um material define a quantidade de calor necessária para que uma unidade de massa do mesmo altere sua temperatura em 1°C . Dentre as formas de determinação do calor específico, foi selecionado o processo baseado no Protocolo RECICLOS #4 (MENDES, 2015), no qual o calorímetro é o aparelho utilizado e, isolado termicamente, determina a quantidade de calor trocado entre dois corpos de temperaturas diferentes. A unidade de medida utilizada pelo Sistema Internacional de Unidades é: $\text{J}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$, Joule por quilograma e por Kelvin.

A densidade (ρ), ou também definida como massa específica, é a relação entre a massa e o volume de determinado material e a unidade de medida utilizada pelo Sistema Internacional de Unidades é: kg/m^3 , quilograma por metro cúbico. Um dos instrumentos capazes de determinar a densidade de um material é o ultrapicnômetro. Este equipamento é utilizado para medir o volume e a densidade real de materiais sólidos. Seu funcionamento é baseado no princípio de deslocamento de fluido de Arquimedes e na Lei de Boyle para a determinação do volume. O fluido a ser deslocado é um gás inerte capaz de penetrar nos menores poros, conseguindo, assim, uma melhor exatidão dos resultados. O gás Hélio é mais recomendado devido a suas dimensões atômicas que permite uma penetração em poros com até $0,25 \text{ nm}$ de diâmetro. O picnômetro a Hélio determina o volume de um sólido, mesmo que poroso, por variação da pressão de gás numa câmara de

volume conhecido (WEBB,1997). O picnômetro a Hélio é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos, por calibração prévia. Em uma câmara se coloca a amostra e a outra serve como câmara de expansão, sendo ambas ligadas por uma válvula de expansão.

Outro parâmetro necessário é a condutividade térmica (λ), que, conforme NBR 15220 (ABNT, 2003), define-se como a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro quadrado. Em outros termos, depende da densidade do material e representa a capacidade do mesmo em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. A unidade de medida utilizada pelo Sistema Internacional de Unidades é: W/m.K , Watt por metro Kelvin. O Método Quadrupólo Térmico desenvolvido por Degiovanni (DEGIOVANNI,1997; DEGIOVANNI, 2000) é uma ferramenta analítica na modelagem matemática da transferência de calor unidimensional de uma parede plana e homogênea. O método do Quadrupólo Térmico oferece um modelo que conduz à solução da equação geral de calor, a equação 2.1 a seguir:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{T}}{\partial \mathbf{z}^2} = \frac{1}{\mathbf{a}} \left(\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \mathbf{t}} \right) - \text{div}(\varphi_r) \quad (\text{Equação 2. 1})$$

Onde:

φ_r = densidade de fluxo radiativo;

T = temperatura;

t = tempo.

Este é um método analítico cuja solução é aproximada pelo método dos mínimos quadrados, permitindo assim determinar a difusividade térmica. A amostra recebe um pulso de luz sobre uma das faces elevando sua temperatura. A partir do campo de temperatura em relação à distância, realiza-se a inversão da transformação, sendo possível comparar a curva teórica com a curva experimental pelo método dos

mínimos quadrados. A modelização para o método é ilustrada pela figura 2.1 por Guisard-Restivo (2003).

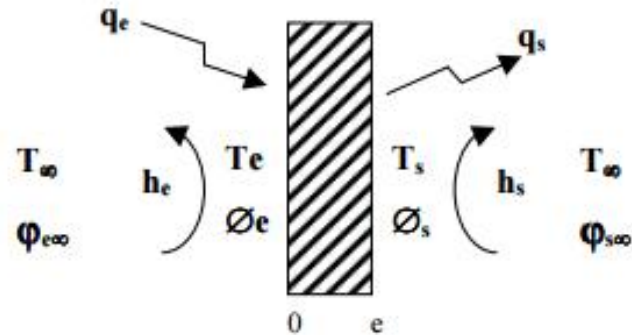


Figura 2. 1 - Diagrama esquemático das condições de contorno da modelagem matemática da transferência de calor de uma parede plana unidirecional

Fonte: Guisard-Restivo (2003)

Onde:

φ = densidade de fluxo de calor por unidade de tempo;

T_{∞} = temperatura ambiente;

h = coeficiente de transferência de calor convectivo;

q = fluxo de calor, referidos aos subscritos e (entrada) e s (saída).

Sabendo que difusividade térmica é o quociente da condutividade térmica pela multiplicação da massa específica e do calor específico do material, obtém-se a condutividade térmica de um corpo (ORDENES *et al.*, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento deste projeto de pesquisa foram analisados os componentes construtivos - concretos e argamassas -, produzidos com matrizes de cimento Portland contendo como agregado a escória de aciaria, com base na sua aplicação em um projeto de HiS, que pretende estudar o comportamento, em campo, de elementos produzidos com escória de aciaria em substituição integral ao agregados naturais.

Conforme será descrito no capítulo 3.1, teve-se como material de análise o projeto da HiS denominado Vila Sustentável, o qual agrupa resultados obtidos de estudos passados financiados por agências federais (CNPQ, CAPES), estaduais (FAPEMIG, Fundação GORCEIX, Fundação CEFETMINAS) e privada (ArcelorMittal Brasil), afim de estabelecer a possibilidade de utilização de rejeitos industriais siderúrgicos aplicados como materiais para elementos de construção civil, em substituição aos materiais naturais convencionalmente utilizados.

Para a análise do atendimento aos aspectos de habitabilidade, conforme NBR 15575 (ABNT, 2013), verificou-se a funcionalidade e a acessibilidade; o conforto tátil e antropodinâmico; e o comportamento térmico, sendo este último item estudado por meio de simulação computacional para comparação do desempenho dos modelos habitacionais compostos por componentes construtivos contendo agregados naturais com aqueles contendo agregados artificiais de escória de aciaria. Os aspectos de segurança da HiS foram avaliados por meio de resultados de ensaios laboratoriais precedentes de Souza (2013) e Santos (2013) quanto aos aspectos de durabilidade e do potencial contaminante ambiental dos componentes construtivos pré-fabricados contendo a escória de aciaria em comparação aos componentes construtivos convencionais com agregado natural. Para a análise da sustentabilidade, verificou-se o atendimento do projeto da HiS sobre os pré-requisitos e critérios de um modelo de certificação de sustentabilidade para edificações em vigência no Brasil. E, para a determinação da viabilidade econômica, foi procedida uma composição de custos comparativos sobre a construção do modelo habitacional contendo concretos e argamassas sustentáveis com um modelo aplicando componentes construtivos convencionalmente comercializados no

mercado da construção. Essa conformação do plano experimental do projeto de pesquisa é apresentado na figura 3.1 a seguir.

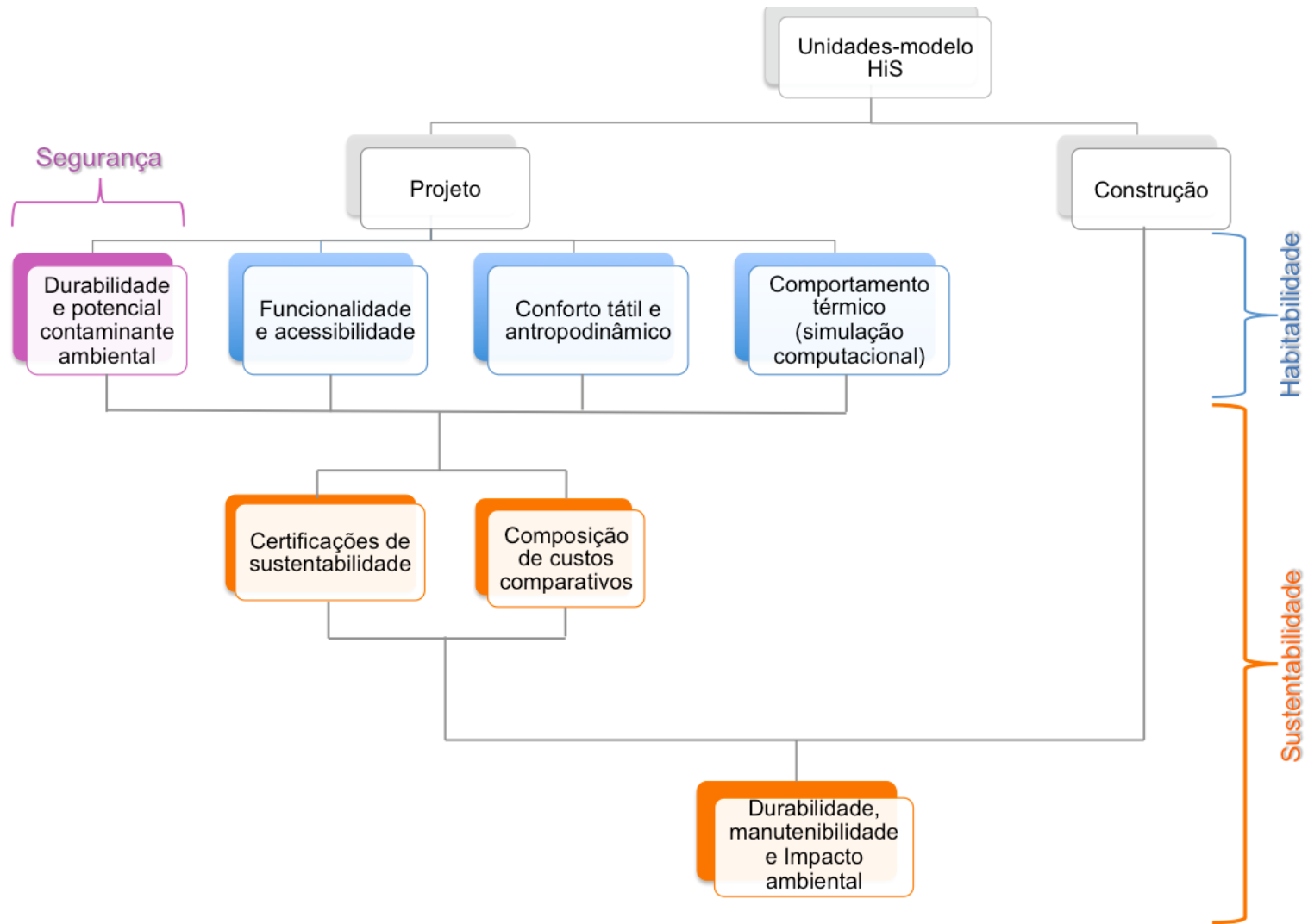


Figura 3. 1 - Plano Experimental

3.1 Materiais

3.1.1 Elementos da construção

As matrizes de cimento Portland que compuseram os elementos construtivos foram a argamassa de assentamento e revestimento; o concreto moldado *in-loco*; o bloco de alvenaria e o bloco de pavimentação. Antes da análise da viabilidade de aplicação destes elementos em escala real, todos foram estudados e caracterizados segundo suas propriedades de interesse de engenharia no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP a partir de diversos estudos de Silva *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2011; Januzzi, 2012; Peixoto *et al.*, 2012; França *et al.*, 2013; Santos, 2013; Souza, 2013; Januzzi *et al.*, 2014. Essa caracterização comparou o comportamento mecânico, o desempenho e a durabilidade dos elementos produzidos com agregados de escória de aciaria (agregados artificial), com os parâmetros normativos obtidos dos elementos produzidos convencionalmente com areia, brita 0 e brita 1 (agregados naturais).

As escórias de aciaria, foco deste projeto, utilizadas como agregados artificiais na produção de elementos construtivos, foram obtidas em duas unidades siderúrgicas da ArcelorMittal Brasil, produtoras de aços longos, uma em São Paulo, que utiliza a aciaria elétrica, e outra em Minas Gerais, cuja aciaria é do tipo LD. Essas amostras de escória foram entregues beneficiadas em um processo que consistiu na separação de escória em duas frações em sistemas especializado de segregação das frações metálicas e não metálicas, sendo esta última, utilizada como material de construção civil. A durabilidade destas matrizes de cimento Portland produzidas a partir da fração não metálica das escórias de aciaria, é inversamente proporcional ao teor de metálicos presente nestas amostras (PEIXOTO *et al.*, 2015).

Os elementos construtivos que receberam os agregados artificiais (escória de aciaria elétrica e escória de aciaria LD) foram os compostos por matrizes de cimento Portland tipo CP-V para blocos de pavimentação e blocos de alvenaria e do tipo CP-III para a argamassa de assentamento e revestimento e o concreto moldado *in-loco*.

Para compreensão do desempenho desses elementos verificou-se, inicialmente, a caracterização física, química e ambiental dos agregados artificiais (escória de

aciaria), tendo como referência comparativa a caracterização dos agregados naturais (brita e areia). Em seguida foram examinadas as técnicas de dimensionamento das dosagens, segundo requisitos normativos para cada elemento. Por último foram feitas as análises dimensionais e os ensaios mecânicos dos blocos de alvenaria e blocos de pavimentação, bem como as análises de teor de umidade, absorção de água e expansibilidade. A análise da saturação foi realizada somente para os blocos de pavimentação, com o propósito de verificar a durabilidade dos elementos. Na tabela 3.1 a seguir são apresentados os ensaios analisados.

Tabela 3. 1 - Ensaio para análise da viabilidade técnica

Ensaio	Agregado	Argamassa	Concreto	Bloco de Alvenaria	Bloco de Pavimentação
Caracterização químico-ambiental*					
Teor de metálicos					
Análise granulométrica					
Massa específica					
Massa unitária					
Teor de umidade					
Dimensionamento de dosagem					
Resistência à compressão					
Análise dimensional					
Teor de umidade					
Absorção de água					
Expansibilidade					
Saturação					

Toda a normalização aplicável aos procedimentos e às técnicas de dimensionamento para as dosagens dos agregados artificiais foram as mesmas aplicadas para as dosagens dos elementos com agregados naturais utilizados na construção civil. E constatou-se que, os agregados de escória de aciaria, são fisicamente idênticos aos agregados naturais utilizados na construção civil.

A caracterização dos elementos construtivos é apresentado a seguir e o detalhamento dos resultados das análises encontra-se no anexo A.

3.1.1.1 Argamassa de assentamento e revestimento

Matrizes de cimento Portland, moldadas *in-loco*, mistas ou simples, foram produzidas a partir de traços dimensionados segundo metodologia British Standards (BS 4721, 1981), para assentamento ou revestimento de alvenarias, a partir da substituição integral de agregados miúdos naturais por agregados reciclados de escória de aciaria, em misturas aditivadas com cal.

3.1.1.2 Concreto moldado *in-loco*

Matrizes de cimento Portland pré-fabricadas ou moldadas *in-loco*, foram produzidas a partir de traços dimensionados segundo metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (HELENE E TERZIAN, 1992), para classes de resistência C10, C20 e C30 segundo NBR 6118 (ABNT, 2004), a partir da substituição integral de agregados naturais graúdos e miúdos por agregados reciclados de escória de aciaria.

3.1.1.3 Bloco de alvenaria

Matrizes de cimento Portland pré-fabricadas, foram moldadas sob formas definida para emprego como elementos de vedação e estrutura de alvenaria, segundo classes de resistência 4 MPa e 6 MPa da NBR 6136 (ABNT, 2007) a partir da substituição integral de agregados naturais graúdos e miúdos por agregados reciclados de escória de aciaria.

3.1.1.4 Bloco de pavimentação

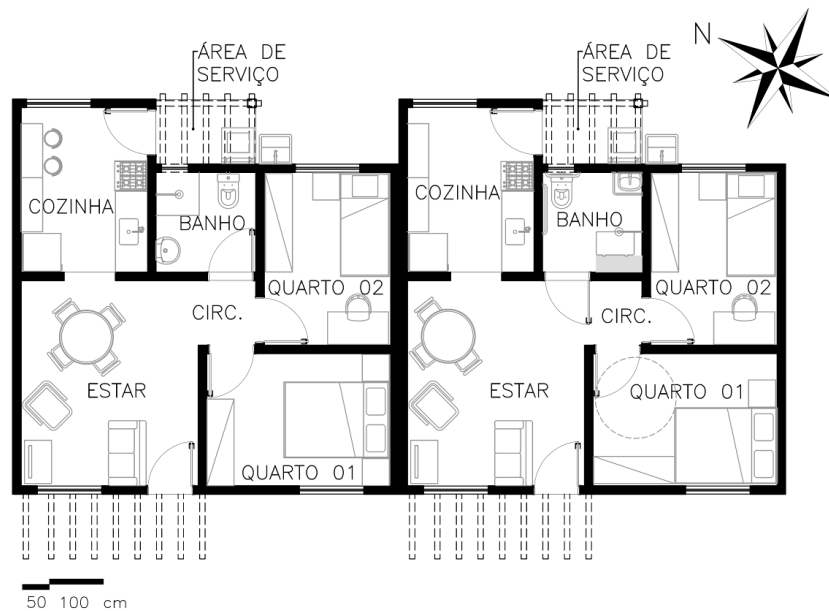
Matrizes de cimento Portland pré-fabricadas, foram moldadas sob formas definida para emprego como elementos para revestimento de vias de tráfego leve ou pesado, segundo classes de resistência $f_{pk} \geq 35$ MPa e $f_{pk} \geq 50$ MPa, conforme NBR 12118

(ABNT, 2006), a partir da substituição integral de agregados naturais graúdos e miúdos por agregados reciclados de escória de aciaria.

3.1.2 Vila Sustentável

Foram analisados os projetos arquitetônico e complementares de um modelo conceitual de HiS, denominado Vila Sustentável, para a verificação do atendimento às normatizações de desempenho da ABNT e suas prescrições, bem como a aplicação dos elementos produzidos com matrizes de cimento Portland, onde os agregados naturais foram substituídos integralmente por agregados reciclados de escória de aciaria.

A figura 3.2, a seguir, apresenta o projeto arquitetônico e a fachada frontal das unidades geminadas, bem como indica a visão geral demonstrando a concepção volumétrica do conjunto habitacional. Em fase de projeto básico, o mesmo foi desenvolvido pela Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012).



a. Planta arquitetônica



b. Fachada frontal



c. Visão geral

Figura 3. 2 - Vila Sustentável

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012) e RECICLOS (2013)

3.1.2.1 Projeto arquitetônico

O modelo construtivo apresentado propõe 4 unidades residenciais de 45,70 m² cada em alvenaria estrutural, além de área de estacionamento e praça de convivência. O conjunto soma uma área total de construção de 182,80 m² em terreno de aproximadamente 1.535,00 m², localizado no bairro Morro do Cruzeiro, em Ouro Preto (MG).

Além da proposta de utilização de elementos da construção civil com conteúdo reciclado de escória de aciaria, os modelos para a HiS propõem estratégias para a aplicação dos princípios da arquitetura bioclimática. Para isso, no projeto da HiS, foram estabelecidos critérios que associam aspectos relacionados à sustentabilidade em seu conceito mais amplo e que envolve o indivíduo, a coletividade e o processo construtivo, assim como outros aspectos relacionados à manutenção e à utilização futura desse empreendimento, conforme será apresentado nos métodos da pesquisa.

3.1.2.2 Projetos complementares

Para garantia do processo construtivo ordenado e seguro, foram desenvolvidos os projetos complementares à arquitetura para a parte estrutural, instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias, bem como para os sistemas de infiltração e captação de águas de chuva e sistema de tratamento biológico dos efluentes gerados pela HiS.

3.2 Métodos

Os parâmetros relativos ao desempenho da HiS foram determinados a partir da identificação dos índices necessários a sua qualificação de acordo com as prescrições normativas da NBR15575 (ABNT, 2013) e de outras normatizações nacionais e internacionais relativas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade e, adicionalmente, segundo parâmetros para certificações de sustentabilidade para edificações. As normatizações e as certificações pertinentes a cada um dos métodos adotados são apresentadas nos itens subsequentes.

3.2.1 Potencial contaminante ambiental

A NBR 10004 (ABNT, 2004) foi utilizada como parâmetro para a classificação da escória de aciaria e determinação do potencial contaminante ambiental dos elementos construtivos produzidos integralmente com agregados artificiais.

Com o objetivo de verificar a periculosidade do resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, com riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, a escória de aciaria foi submetida aos ensaios de lixiviação, processo que determina a capacidade do resíduo sólido de transferir substâncias orgânicas e inorgânicas, por meio de dissolução no meio extrator. Além desse ensaio, a escória também passou pelo processo de solubilização, no qual a substância pode se dissolver em um líquido. Ambos ensaios foram realizados, por laboratório externo certificado, de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 2004) e NBR 10006 (ABNT, 2004) respectivamente. O relatório do ensaio produzido pelo laboratório é apresentado no anexo B.

3.2.2 Durabilidade

A agressividade do meio, como ambientes urbanos, marinhos, industriais, esgotos, entre outros, onde os elementos em matrizes de cimento estão inseridos, pode reduzir significativamente a vida útil dos mesmos.

O íon sulfato, presente de forma comum nos ambientes citados, reage quimicamente com os compostos do cimento e forma produtos expansivos, provocando a fissuração e desagregação. Além disso, o ataque por sulfatos, causam prejuízo à

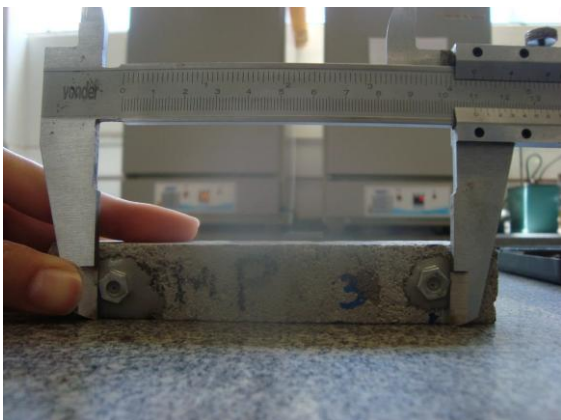
resistência do material devido à perda de coesão na pasta de cimento e à perda de aderência entre a pasta e as partículas de agregado (KULISCH, 2011).

Foi realizado procedimento para determinação da durabilidade das matrizes de cimento Portland a serem empregadas no projeto da HiS contendo agregados de escória de aciaria. Para isso, foi utilizado procedimento adaptado do método ASTM C-1012 (1997), Protocolo RECICLOS (REC02/2011). Para essa análise foram utilizados corpos de prova extraídos dos elementos pré-fabricados com dimensões de 25x25x200 mm, em que os parâmetros de moldagem, cura e geometria das matrizes de cimento foram admitidas em equivalência ao processo industrial de produção.

Pelo método verificou-se a mudança do comprimento de argamassa de cimento hidráulico por meio da imersão das amostras em solução de Na₂SO₄ (Sulfato de Sódio), com água destilada e exposição das mesmas a ciclos de variação de temperatura e umidade. Para determinação das variações de comprimento das amostras, foram fixados pinos de referência sobre os corpos de prova, conforme procedimento ASTM C-426.

Os procedimentos relacionados ao número amostral, solução de ataque, tempo e outras análises da normatização foram mantidas. O método foi aplicado também em matrizes de cimento Portland com agregados naturais para se ter a análise comparativa dos resultados.

A determinação da variação dimensional e de massa das amostras foi realizada em períodos de 0, 1 e 2 semanas, após a imersão dos corpos de prova na solução. As medidas foram conduzidas com 6 repetições para cada barra sendo o grupo amostral formado por 3 para determinação das variações do comprimento e para determinação da perda de massa. As análises dimensionais foram conduzidas a partir de medições dos pinos de fixação nas amostras, determinadas com auxílio de um extensômetro da marca HUMBOLDT com precisão de 0,002mm e de um paquímetro, figura 3.3. Durante o processo foram observados e registrados: aspectos das barras, fissuras (localização, tipo, abertura e quantidade), depósitos na superfície e exsudatos. Para cada medição, os pinos foram limpos, para eliminar quaisquer incrustações e/ou depósitos de materiais que pudessem prejudicar as medições.



a. Pinos fixados aos corpos-de-prova



b. Extensômetro

Figura 3. 3 - Ensaio de durabilidade

Fonte: Acero pessoal

3.2.3 Funcionalidade e acessibilidade

Em atendimento aos aspectos de funcionalidade e acessibilidade da NBR 15575 (ABNT, 2013) observaram-se nos projetos arquitetônico e complementares: (1) os parâmetros relativos à geometria e dimensões dos ambientes internos e de acesso, de forma a garantir as dimensões mínimas exigidas e a organização funcional dos espaços para uso e operação da habitação, de acordo com as prescrições normativas indicadas; (2) a determinação quantitativa dos parâmetros de funcionalidade e acessibilidade com relação às áreas de uso comum e privativas, bem como as adaptações necessárias para a acessibilidade dos portadores de necessidades especiais e mobilidade reduzida, em atendimento à NBR 9050 (ABNT, 2004); (3) as alturas dos pés-direitos previstas no projeto das habitações para atender a um mínimo de 2,50 metros, além de outras variáveis relacionadas.

3.2.4 Conforto tátil e antropodinâmico

Em atendimento aos aspectos de conforto tátil e antropodinâmico da NBR15575 (ABNT, 2013) foram avaliados os sistemas de piso quanto à homogeneidade e planicidade da camada de acabamento do piso ou superfícies regularizadas para a fixação de camada de acabamento das áreas comuns e privativas.

3.2.5 Comportamento térmico

Para determinação dos parâmetros relacionados ao conforto térmico ambiental o desempenho térmico da HiS foi determinado, por meio do método de avaliação de

simulação computacional no programa *EnergyPlus*. Foram feitas três simulações: uma com a aplicação de elementos produzidos com matrizes de cimento Portland e agregados artificiais de escória de aciaria LD, outra com escória de aciaria elétrica. E uma terceira simulação utilizada como testemunho, com elementos produzidos com matrizes de cimento Portland e agregados naturais. Posteriormente, foram verificadas as recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base nos parâmetros e condições de contorno fixados na NBR 15575 (ABNT, 2013).

A avaliação de desempenho térmico, via simulação numérica, foi realizada para um dia típico de projeto, consideradas as condições de verão e de inverno. Os parâmetros utilizados para a simulação para um dia de verão são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos. Os parâmetros utilizados para a simulação para um dia de inverno são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos.

Para as condições de verão, a temperatura no interior (T_i) da HiS, nos recintos de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor, devem se apresentar menores ou iguais ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior (T_e) a sombra, para o dia típico de verão. Ou seja, a temperatura dentro da HiS no período do ano especificado deverá atender no mínimo a condição apresentada na equação 3.1 a seguir:

$$T_i^{máx} \leq T_e^{máx} \quad (\text{Equação 3. 1})$$

Para as condições de inverno, a temperatura no interior da HiS, nos recintos de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor, devem se apresentar maiores ou iguais ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior a sombra, para o dia típico de inverno. Ou seja, a temperatura dentro da HiS no período do ano especificado deverá atender no mínimo a condição apresentada na equação 3.2 a seguir:

(Equação 3. 2)

$$T_i^{mín} \geq T_e^{mín} + 3^{\circ}\text{C}$$

Os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, devem ser sempre maiores ou iguais a temperatura mínima externa acrescida de 3 °C.

Os resultados obtidos das simulações foram comparados com aqueles determinados segundo critérios estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), conforme apresentados nas tabelas 3.2 e 3.3, para o zoneamento bioclimático de Ouro Preto, Zona 3.

Tabela 3. 2 - Critérios para avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno

Nível de Desempenho	Critério
	Zona 3* (cidade: Ouro Preto)
Mínimo (M)	$T_i, \text{min} \geq T_e, \text{min} + 3^{\circ}\text{C}$
Intermediário (I)	$T_i, \text{min} \geq T_e, \text{min} + 5^{\circ}\text{C}$
Superior (S)	$T_i, \text{min} \geq T_e, \text{min} + 7^{\circ}\text{C}$

T_i, min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 T_e, min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.
*Zona Bioclimática de acordo com a ANBT NBR 15220- 3.

Tabela 3. 3 - Critérios para avaliação de desempenho térmico para as condições de verão

Nível de Desempenho	Critério
	Zona 3* (cidade: Ouro Preto)
Mínimo (M)	$T_i, \text{máx} \leq T_e, \text{máx}$
Intermediário (I)	$T_i, \text{máx} \leq (T_e, \text{máx} - 2^{\circ}\text{C})$
Superior (S)	$T_i, \text{máx} \leq (T_e, \text{máx} - 4^{\circ}\text{C})$

$T_i, \text{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_e, \text{máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.
*Zona Bioclimática de acordo com a ANBT NBR 15220- 3.

3.2.5.1 Simulação computacional

A simulação computacional para obtenção dos índices de conforto térmico dos modelos propostos para a HiS foi realizada via abordagem numérica no programa *EnergyPlus*, versão 8.0, em que adotou-se o módulo de ventilação natural com taxas de ventilação e/ou renovação do ar constantes (ZoneVentilation).

Foi simulado todos os recintos da HiS, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliando os resultados dos recintos de permanência prolongada, considerando as condições apresentadas a seguir: (a) Na entrada de dados, foi

considerado que os recintos adjacentes, de outras unidades habitacionais, separados, portanto, por paredes de geminação ou entre pisos, apresentavam a mesma condição térmica do ambiente que foi sendo simulado; (b) A edificação foi orientada conforme a implantação. A unidade habitacional desta edificação escolhida para a simulação era a mais crítica do ponto de vista térmico.

No procedimento foram consideradas condições de ventilação e de sombreamento, conforme NBR 15575 (ABNT, 2013). No caso da ventilação foi considerada uma condição “padrão”, com taxa de 1 ren/h, ou seja, uma renovação de ar por hora do ambiente (renovação por frestas), e uma condição “ventilada”, com taxa de 5 ren/h, ou seja, cinco renovações de ar por hora do ambiente sala ou dormitório. No caso do sombreamento das aberturas foi considerada uma condição “padrão”, na qual não há nenhuma proteção da abertura contra a entrada da radiação solar, e uma condição “sombreada”, na qual há proteção da abertura que corte pelo menos 50 % da radiação solar incidente no ambiente.

3.2.5.2 Parâmetros da simulação numérica

3.2.5.2.1 Caracterização da edificação e do perfil de ocupação

Para a análise do comportamento térmico da edificação a ser analisada exigiu-se o desenvolvimento de uma volumetria digital, conforme apresentado na figura 3.4, bem como determinações de parâmetros dos elementos construtivos a serem utilizados na simulação computacional.

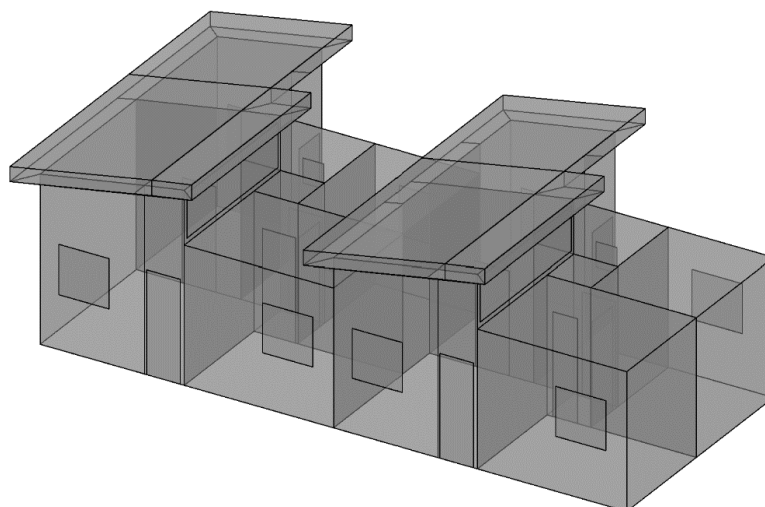


Figura 3. 4 - Volumetria da HiS

Fonte: Acervo Pessoal

Para verificação dos requisitos mínimos sugeridos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), considera-se a edificação sem a presença de fontes internas de calor, que são os ocupantes, lâmpadas e outros equipamentos em geral, não sendo considerado neste modelo, nenhum perfil de ocupação.

3.2.5.2.2 Caracterização e configuração dos fechamentos

Para o estudo da caracterização e configuração dos fechamentos comparou-se o desempenho dos elementos convencionalmente empregados nos fechamentos de edificações do tipo habitacional, que são produzidos com agregados naturais com aqueles propostos neste projeto de pesquisa e que usam agregados artificiais - escória de aciaria elétrica e LD - em substituição aos agregados naturais.

No apêndice A são apresentadas a localização, especificação, tipo e as propriedades termofísicas (densidade, calor específico e condutividade térmica) de todos os elementos convencionais necessários para a envoltória da HiS. Os dados de densidade, calor específico e condutividade térmica dos elementos convencionais foram obtidos da NBR 15220 (ABNT, 2003).

Para obter-se as propriedades termofísicas dos elementos propostos produzidos com materiais não convencionais, escória de aciaria elétrica e LD, os mesmos tiveram amostras submetidas a análises específicas conforme descrito nos subcapítulos a seguir.

3.2.5.2.2.1 Calor específico

Para determinação do calor específico do concreto moldado *in-loco*, argamassa e bloco de alvenaria, produzidos com agregado artificial de escória de aciaria LD e aciaria elétrica, foram produzidas amostras sobre a forma de blocos com dimensão de 5x5 cm. Esses corpos de prova foram submetidos a análise e determinação segundo Protocolo RECICLOS #4 (MENDES, 2015).

O método se baseia em aquecer a amostra a uma temperatura maior que a do ambiente, acima de 100°C, e, em seguida, colocá-la imersa em água destilada contida em calorímetro a temperatura ambiente. Tendo conhecimento da massa e temperatura inicial da água destilada e da amostra do material, além do calor específico da água, a partir do princípio da conservação da massa, obtém-se o parâmetro desejado - calor específico do material em análise. O procedimento é interrompido no momento em que a temperatura da água estabilizar, mais precisamente, quando a temperatura parar de subir por aproximadamente 20 segundos, ou começar a cair. Esse procedimento leva, geralmente, cerca de 3 minutos. O acompanhamento do processo é feito, simultaneamente, pelo *software* HOBOWare.

O método tem por embasamento teórico o conhecimento de que, em um sistema fechado, todo o calor fornecido dentro do sistema é absorvido pelo mesmo (MENDES, 2015). A figura 3.5 a seguir apresenta o calorímetro e o sistema de aquisição de dados, HOBOWare data logger onset com 4 canais, referência U12-006, utilizado nesse procedimento.



Figura 3. 5 - Calorímetro e sistema de aquisição de dados
Fonte: Acervo Pessoal

3.2.5.2.2 Densidade

A densidade foi obtida por meio de um picnômetro a Hélio Quantachrome Instruments, modelo Ultrapycnometer 1000, figura 3.6, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), com repetibilidade da ordem 0,003 % do valor da densidade. O equipamento é constituído de três compartimentos de alumínio com capacidade para 10 cm³, 50 cm³ e 135 cm³.

Para essa determinação, utilizou-se o compartimento com capacidade de 50 cm³. Foram realizadas séries de determinações com amostras em pó de concreto moldado *in- loco*, argamassa e bloco de alvenaria produzidos com agregado artificial de escória de aciaria LD e aciaria elétrica. Foram realizadas 15 determinações para cada amostra à temperatura ambiente.



Figura 3. 6 - Picnômetro Ultrapycnometer 1000 do Laboratório de Propriedades Termofísicas do CDTN

Fonte: Laboratório de Propriedades Termofísicas do CDTN (2015)

Antes de iniciar a análise propriamente dita, a amostra, colocada na respectiva câmara, foi submetida a um processo de desgaseificação, que consiste em repetidas purgas com Hélio, para remoção de impurezas e umidade que eventualmente possam conter. Depois, todo o sistema é levado à pressão atmosférica, isolando-se a câmara de expansão e fechando a válvula de expansão, para pressurizar a câmara que contém a amostra até uma pressão P1 (cerca de 20 psi). Em seguida, a válvula de expansão é aberta e, em consequência, ocorre um abaixamento de pressão para P2. Admitindo comportamento ideal do Hélio, o volume do sólido pode ser calculado a partir da equação 3.3 (MOURA, 2002; SMITH, 1996). A densidade é automaticamente calculada pelo equipamento, através da relação entre a massa do sólido (introduzida como dado de entrada) e o volume derivado da equação.

$$P_1(V_a - V_s) = P_2(V_a - V_s + V_e) \quad (\text{Equação 3. 3})$$

Onde:

V_a = volume da câmara da amostra;

V_e = volume da câmara de expansão;

V_s = volume do sólido.

3.2.5.2.2.3 Condutividade térmica

Aplicou-se o método Quadrupólo Térmico utilizando-se o difusímetro da marca Protolab modelo QuadruFlash 1200, figura 3.7, do Laboratório de Propriedades Temofísicas (LMPT) do CDTN. Este equipamento é constituído por uma lâmpada de Xenônio (1200 J) responsável pelo pulso de energia, três termopares tipo K de classe especial, um detector infravermelho de InSb, um forno para aquecimento da amostra e uma unidade de tratamento de sinal. A aquisição dos dados foi realizada por meio do programa computacional (Difusímetro) específico do equipamento e, para o processamento do sinal foi utilizado o programa computacional Matlab (v.6.0.0.88).

Para determinação da difusividade térmica, foram realizadas séries de medições com amostras em pó dos elementos em concreto moldado *in-loco*, argamassa e bloco de alvenaria produzidos com agregado artificial de escória de aciaria LD e aciaria elétrica à temperatura ambiente e a 75°C.

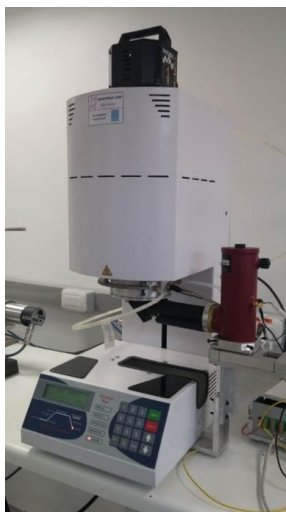


Figura 3. 7- Difusímetro QuadruFlash 1200

Fonte: Laboratório de Propriedades Termofísicas do CDTN (2015)

Após a obtenção da difusividade térmica do material e de posse da sua densidade e calor específico é possível determinar a condutividade térmica pela equação 3.4, apresentada a seguir.

(Equação 3. 4)

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

Onde:

k = condutividade térmica (W/(m·K));

ρ = massa específica (kg/m³);

c_p = calor específico (J/(kg·K)).

3.2.5.2.3 Caracterização das condições climáticas e exigências humanas de conforto térmico

Para a realização das simulações computacionais foram utilizados como referência climática os dados brasileiros da Zona Bioclimática conforme estabelecido pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005), que fornece informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno.

Para a geometria do modelo de simulação foi considerada a habitação como um todo, adotando cada ambiente como uma zona térmica. Para efeito da avaliação do desempenho foram considerados os dados obtidos para a sala e para o dormitório, conforme método detalhado na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), considerando condições desfavoráveis de exposição para cada ambiente no “dia típico de projeto”. A simulação deve compreender todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas e de massa entre os seus ambientes, onde foi avaliado os resultados dos recintos de dormitórios e salas.

A absorvância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas. Caso a cor não esteja definida, a simulação deve ser admitida para três alternativas de cor: cor clara (0,3); cor média (0,5); cor escura (0,7), onde a absorvância correspondente a cor mais escura (0,7) é a condição mais crítica.

3.2.6 Certificação de sustentabilidade

A análise da aplicação das metodologias propostas pelas certificações, indicará o sistema de certificação ambiental mais adequado às condições da HiS para, posteriormente, avaliar o atendimento aos critérios estabelecidos pelo sistema mais indicado.

Foram consideradas certificações para edificações já em aplicação no mercado brasileiro para, dentre as mais usuais, elencar qual seria mais relevante tecnicamente para ser aplicada ao projeto da HiS. A partir da fundamentação de um estudo completo e aprofundado sobre a avaliação de certificações ambientais, especificamente para habitações, feito por Grünberg, Medeiros e Tavares (2014) e apresentado de forma completa no anexo B, foi feita a seleção da certificação adequada à HiS.

No método, denominado Método da Análise Hierárquica, são considerados três sistemas usualmente utilizadas no Brasil: LEED for Homes, processo AQUA, e Selo Casa Azul. O LEED for Homes é um selo norte-americano, representado no Brasil

pelo Green Building Council Brasil e é uma ferramenta que auxilia a identificação, implementação e mensuração das práticas sustentáveis de um edifício.

O processo AQUA é um processo adaptado para o Brasil da “Démarche HQE”, da França, que aqui é representado pela Fundação Vanzolini desde 2007. Ele contém os requisitos para o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e os critérios de desempenho nas categorias da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). O processo é caracterizado pela Gestão do Projeto, visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento de construção ou de reabilitação.

O Selo Casa Azul é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais desenvolvido no Brasil e lançado em 2009. O mesmo busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno.

Foram adotadas as seguintes parametrizações comparativas: (a) Balizamento e (b) Categorias e itens. O Balizamento avalia os seguintes fatores: aplicabilidade no contexto brasileiro; e a pertinência para determinação de desempenho ambiental. Sendo assim, o Balizamento identifica a porcentagem de atendimento de cada selo estudado em relação aos fatores citados.

O critério Categorias e Itens divide-se em dois subcritérios: categorias de cada certificação e aos itens de avaliação dos mesmos. As categorias foram avaliadas qualitativamente, pela verificação da pertinência das mesmas para avaliação de desempenho ambiental das edificações, em uma escala de excelente a ruim. Os itens foram avaliados de forma quantitativa, considerado o número de itens de avaliação propostos para uma edificação, em cada selo.

Conforme determina o método, é feita uma fixação de pesos para cada critério a ser avaliado. Para definição da importância entre Balizamento e Categorias e Itens, é feita uma pesquisa com um grupo de especialistas da área, a qual defini os pesos para os critérios.

3.2.7 Composição de custos

Para a análise de viabilidade econômica dos elementos propostos - argamassa, concreto moldado *in-loco*, bloco de alvenaria e bloco de pavimentação -, foi realizado um comparativo entre o custo referente aos insumos utilizados para a fabricação dos elementos essenciais para a construção da HiS.

Primeiramente, foram utilizados os preços médios de todos os insumos necessários à produção dos elementos, com base nos levantamentos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI de 2014. Posteriormente foram consultados os traços (quantitativo de insumos) dos elementos, com base nos ensaios laboratoriais de Peixoto *et al.* (2012), comparando o custo da produção dos elementos com agregados naturais (brita e areia) ao custo de produção dos elementos com agregados artificiais (escória de aciaria).

Em seguida foram determinados os custos unitários de cada elemento construtivo, considerando o valor de mercado aplicado aos elementos convencionalmente utilizados na construção civil na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais.

Por fim, baseado nos dados do Sinduscon-MG, para os valores do custo do m² para construções de Projeto de Interesse Social (PiS) foram comparados os custos dos elementos produzidos com agregados naturais convencionalmente usados no mercado com os custos apresentados pelos elementos produzidos com agregados artificiais (escória de aciaria) em sua substituição integral.

4 RESULTADOS

4.1 Potencial contaminante ambiental

Na análise efetuada, os parâmetros não ultrapassaram os limites máximos indicados para o extrato lixiviado. A determinação do solubilizado apresentou todos os parâmetros dentro dos limites de quantificação, exceto para o Alumínio, que ficou acima do limite máximo permitido no extrato. O valor limite de quantificação é de 0,2 mg Al/L e o valor obtido da análise da escória de aciaria foi de 0,978 mg Al/L.

Os limites identificados classificam as escórias como um resíduo sólido de classe II A – não inerte. Por outro lado, resultados de análise ambiental para concretos produzidos com escória de aciaria, Stief (2009), mostraram que a substituição de agregados naturais por agregados de escória de aciaria não produziram concretos com classes ambientais diferentes, o que sugere não ser a escória de aciaria responsável pela classificação ambiental destas matrizes de cimento Portland.

Adicionalmente, matrizes de cimento Portland produzidas com agregados naturais, ao fim de seu ciclo de vida, são classificadas ambientalmente segundo Resolução CONAMA nº 307/2002, como resíduos classe A e podem ter sua reciclagem e destinação a novas matrizes de cimento, garantidas.

4.2 Durabilidade

Para melhor ajuste dos dados e a fim de eliminar possíveis imperfeições nas leituras optou-se pela plotagem da linha de tendência linear dos dados, segundo gráficos 4.1 e 4.2 a seguir.

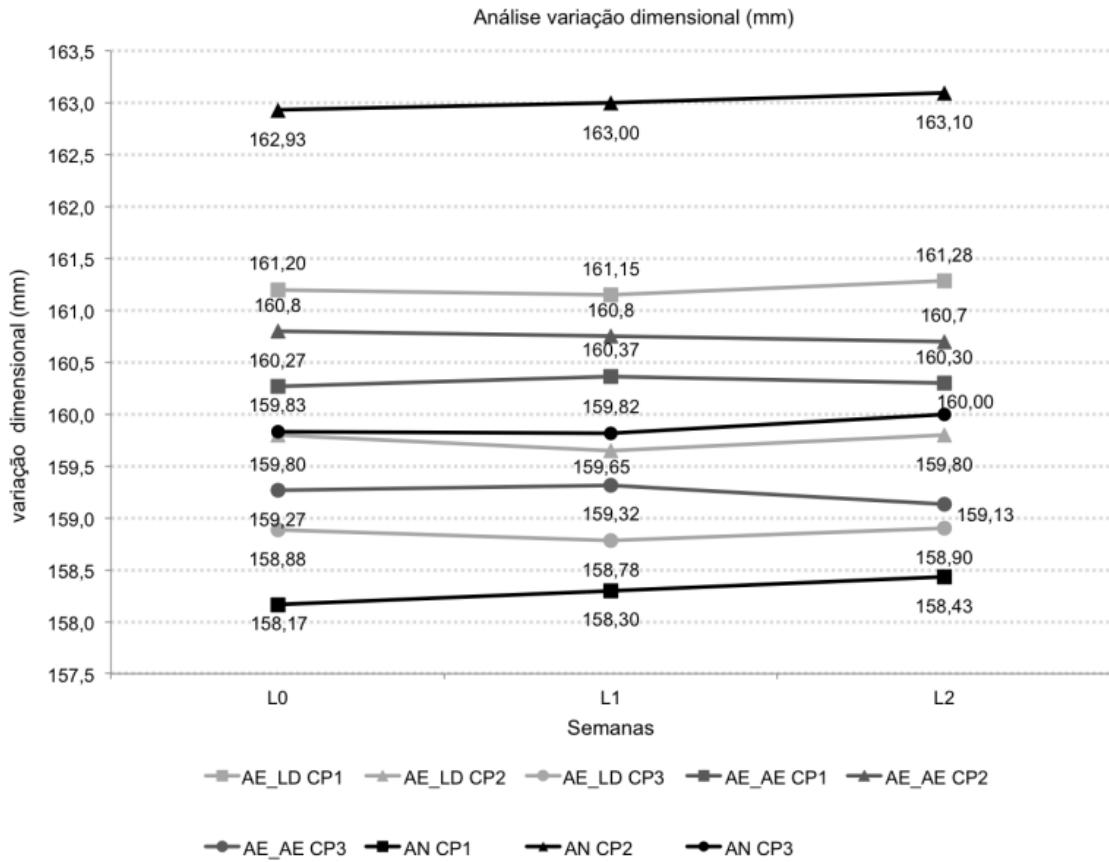


Gráfico 4. 1 - Variação dimensional

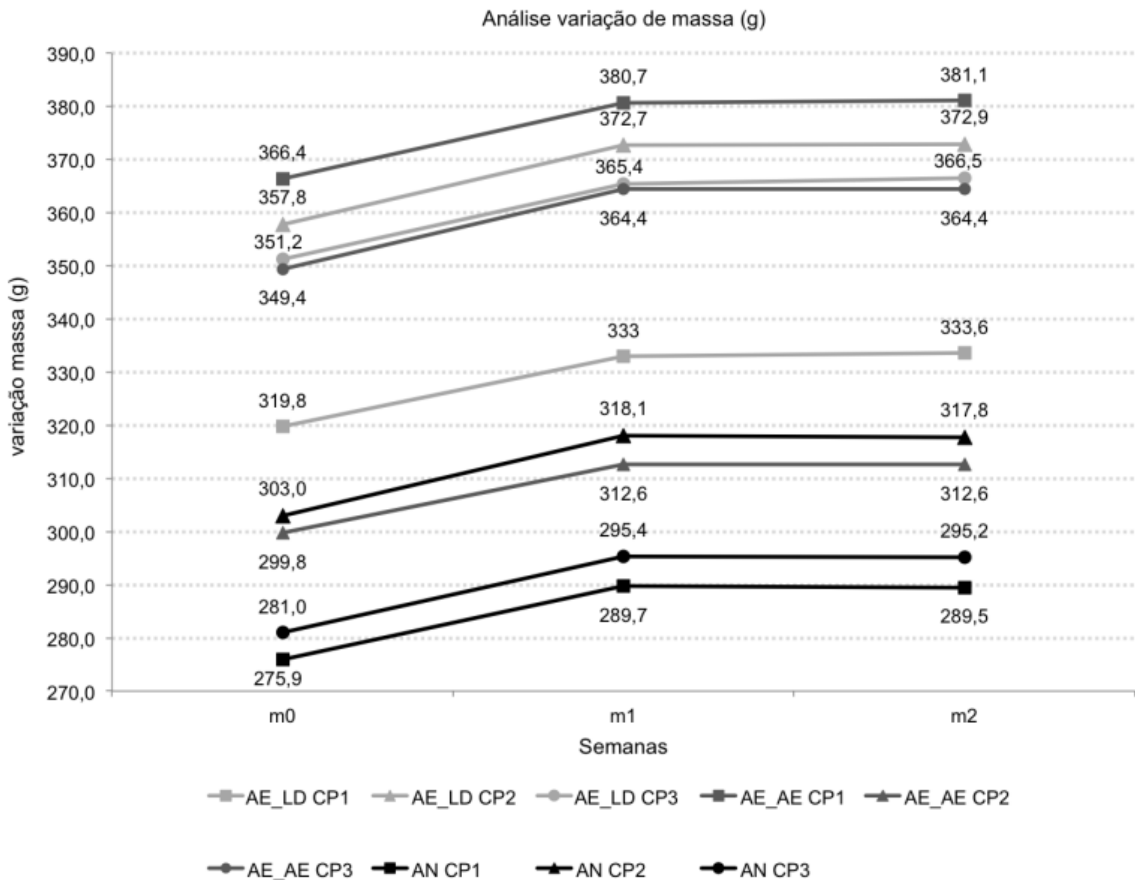


Gráfico 4. 2 - Variação de massa

Os corpos de prova produzidos com agregados naturais (AN) e agregados de escória de aciaria elétrica (AE_AE) e aciaria LD (AE_LD) apresentaram comportamento semelhante durante o período a que foram expostos ao ataque químico. Existe uma diferença de massa entre a primeira e segunda medição em consequência do material ter sido previamente seco em estufa, mas, na medição seguinte a variação dimensional observada foi crescente e não ultrapassou 0,12% para os corpos de prova de escória de aciaria LD e elétrica e com agregado natural. Esses resultados indicam o atendimento ao limite de expansão de 0,15% aos 16 dias de cura sustentado em publicação científica (HOOTON,1993). Comparando-se aos parâmetros da ASTM C-1012 (1997) verificou-se que todos os tipos amostrais dos corpos de prova não variaram entre si por mais de 0,028 %, conforme limite estabelecido para o cimento do tipo CP-V.

A variação de massa observada nos corpos de prova devido ao ataque químico em solução de sulfato de sódio com água destilada sugere uma recombinação dos óxidos presentes na escória de aciaria com o Na_2SO_4 . Essa recombinação dos elementos pode provocar o surgimento de novos compostos e cristais que provocariam o aumento de massa observado nos resultados.

4.3 Funcionalidade e acessibilidade

Prado (2015) afirmou que a qualidade das construções habitacionais vem sendo prejudicada, devido ao interesse de barateamento da construção, além de problemas construtivos e diminuição dos ambientes. Dessa forma, para atendimento à disponibilidade de espaços para uso e operação da habitação, os compartimentos da HiS e os móveis e equipamentos previstos para o seu *layout* foram determinados seguindo padrão estabelecido no anexo F – Dimensões mínimas e organização funcional dos espaços - da NBR 15575 (ABNT, 2013) conforme ilustrado na figura 4.1.

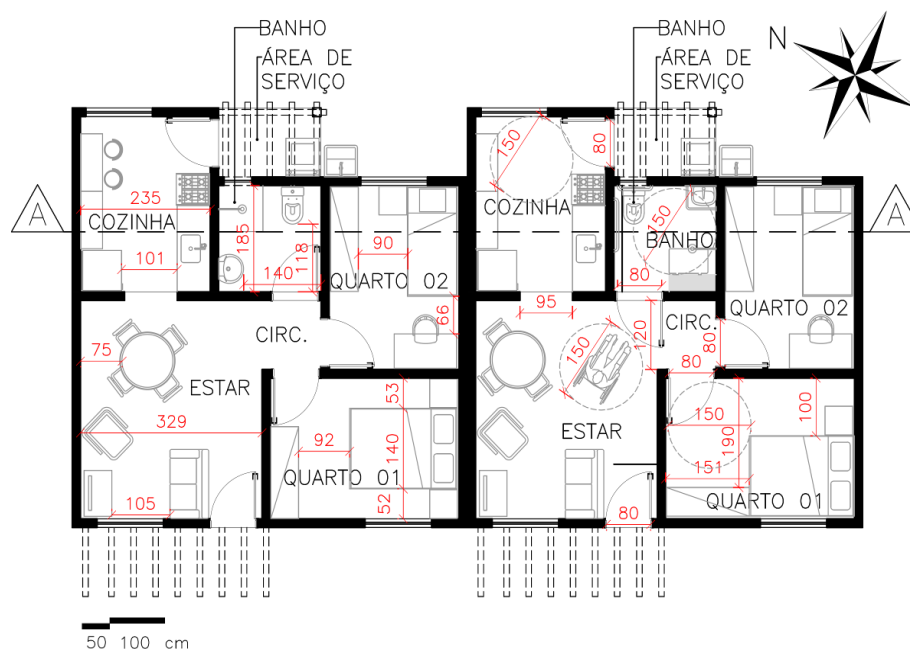


Figura 4.1 - Dimensão e organização funcional dos espaços

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012) adaptado

Cada unidade habitacional contempla 1 sala de estar, 1 cozinha, 1 área de serviço, 1 banheiro, 1 quarto de casal e 1 quarto de solteiro. Todos os compartimentos prevêem móveis e equipamentos para que sejam desempenhadas, devidamente, as atividades de uso dos espaços. No apêndice B são apresentados, por compartimento, os mobiliários/equipamentos e as circulações previstas para o projeto da HiS em comparação com o que é estabelecido na NBR 15575 (ABNT, 2013), demonstrando o atendimento dos padrões estabelecidos.

O projeto para a HiS prevê que 2 unidades habitacionais, ou seja, 50% da edificação, atenda ao uso de pessoas com deficiência física, com mobilidade reduzida ou idosos, corroborando com Sodré (2015) quando alega que o desenho universal está no propósito de oferecer acessibilidade integrada a todos, independentemente das habilidades físicas, idades ou condições socioeconômicas.

No projeto arquitetônico foram previstas áreas de circulação e giro (largura de corredores e portas); banheiros adaptados (tipos e alturas de peças sanitárias); e utensílios como alças e barras em atendimento a NBR 9050 (ABNT, 2004) que trata sobre a acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.

Internamente à HiS foram previstas áreas de manobra de cadeira de rodas, sem deslocamento, prevendo uma rotação de 360° com diâmetro de 1,50 metros. A figura 4.2 mostra esse atendimento à norma de acessibilidade no compartimento sala de estar. As portas foram projetadas com vão livre mínimo de 0,80 m e altura de 2,10 m, seguindo configuração de dimensões mínimas para aproximação de porta frontal, com dimensionamento para transposição de obstáculos - próximo de portas laterais e frontais -, e a área necessária de manobra de cadeira de rodas sem deslocamento, conforme NBR 9050 (ABNT, 2004) e apresentado na figura 4.3. Para garantia da circulação mínima dos dormitórios acessíveis foi prevista faixa livre mínima de circulação interna maior que 0,90 metros de largura, prevendo acesso à cama e armários. Além do raio de giro de 1,50 metros para atender a manobra de um cadeirante, figura 4.4.

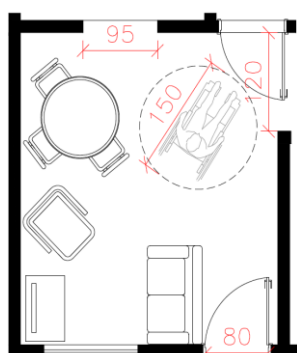


Figura 4. 2 - Área de manobra de cadeira de rodas sem deslocamento

Fonte: Acervo pessoal

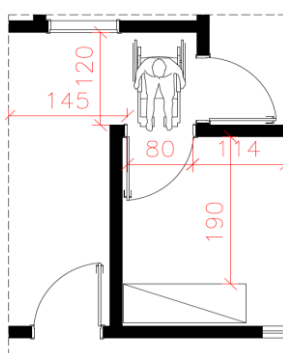


Figura 4. 3 - Atendimento dimensões mínimas vão livre e para aproximação de porta frontal

Fonte: Acervo pessoal

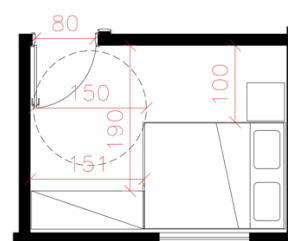


Figura 4. 4 - Circulação mínima em dormitórios acessíveis

Fonte: Acervo pessoal

Para atendimento às prescrições da NBR 9050 (ABNT, 2004), o projeto da HiS em seus acessos externos e áreas comuns às unidades habitacionais, contemplam caminhos e passagens também previstos para que as rampas apresentem inclinações adequadas às prescrições de acessibilidade universal, menores ou iguais a 8,33%, para atender as pessoas com deficiência física, mobilidade reduzida e idosos.

O percurso entre o estacionamento de veículos e a entrada principal também possui rota acessível, bem como as rotas de interligação às principais funções do edifício.

Além disso, foram previstas vagas de veículos exclusivas para pessoas com necessidades especiais interligadas a entrada através de rota acessível. Estas estratégias de projeto são apresentadas na planta arquitetônica de implantação da figura 4.5 a seguir.

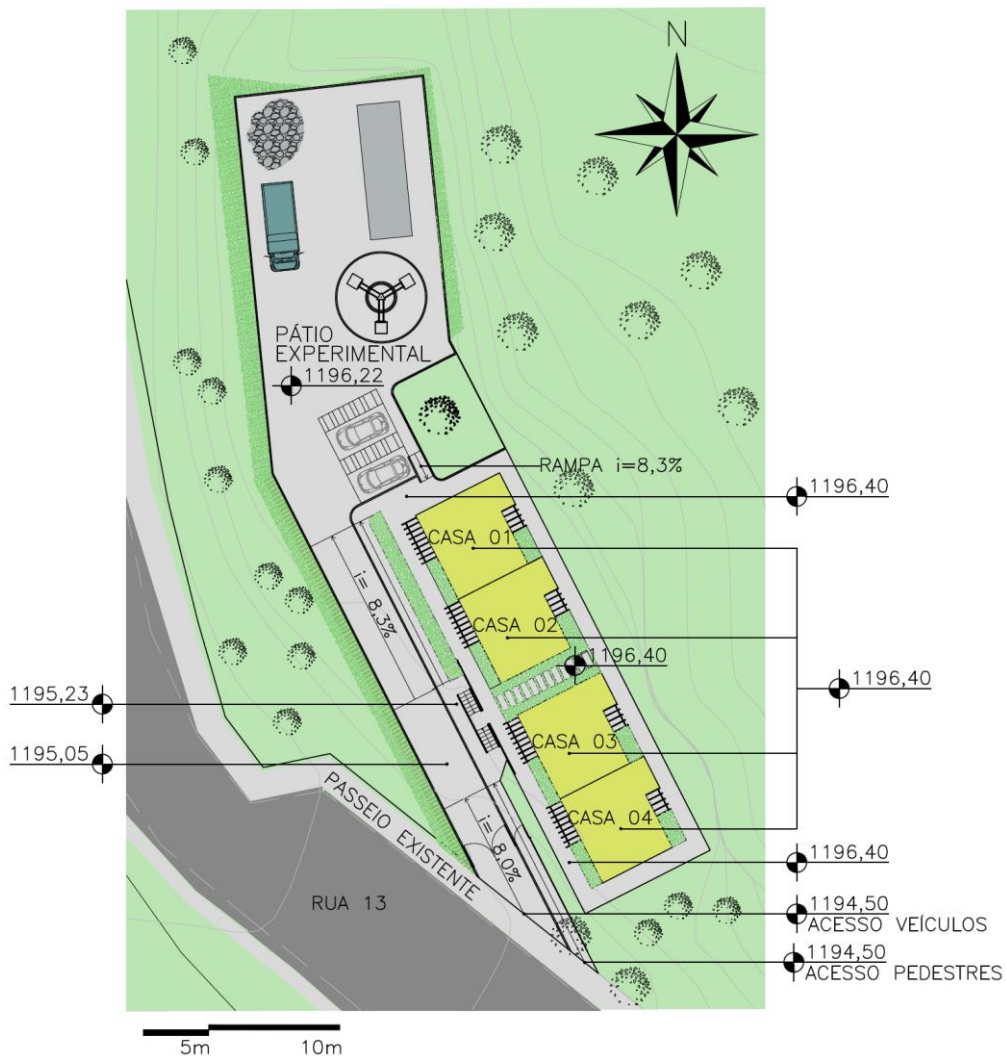


Figura 4. 5 - Planta de implantação

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012) adaptado

No projeto da HiS ainda foram estabelecidas alturas dos pés-direitos acima de 2,50 metros para atendimento ao mínimo estabelecido na NBR 15575 (ABNT, 2013). Para circulações e instalações sanitárias onde é exigido um pé-direito mínimo de 2,30 metros, foi estabelecido um pé direito de 2,82 metros. A figura 4.6 a seguir apresentar o corte AA da HiS onde estão indicados os pés-direitos adotados.

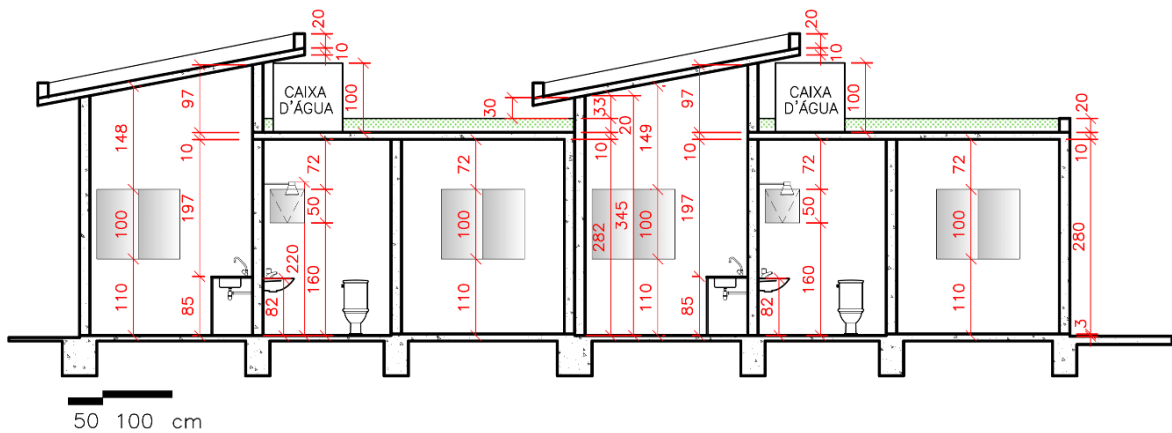


Figura 4. 6 - Corte AA

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012) adaptado

4.4 Conforto tátil e antropodinâmico

Para atendimento ao requisito conforto tátil e antropodinâmico foram previstos em sistemas de piso das áreas privativas e comuns com acabamento e superfícies com valores inferiores a 3 mm para medição em régua de 2 metros de comprimento em qualquer direção após executados, excetuando a camadas de acabamento em relevo/rampas.

O atendimento a esse requisito foi cumprido com a especificação para as áreas privativas em revestimento de cerâmica PEI 5 atomizado de 31x31 cm na cor cinza claro, assentado com argamassa colante impermeável com 4 mm de espessura e massa de rejunte com 3 mm de espessura. O caimento do piso considerado é menor que 5% exigido e ainda dentro do padrão de caimento usuais de pisos cerâmicos ou melhores aos estabelecidos pela NBR 13753 (ABNT, 1996).

Para as áreas comuns foi especificado piso em blocos de concreto vibrado e prensado hidráulicamente na sua fabricação e instalados por meio de intertravamento com elementos no formato “S”. Especificação que, segundo Nabeshima (2011), é do tipo intertravamento horizontal onde os blocos se entrelaçam nas quatro faces laterais e assim, impede o desnivelamento do piso, conforme ilustra a figura 4.7.

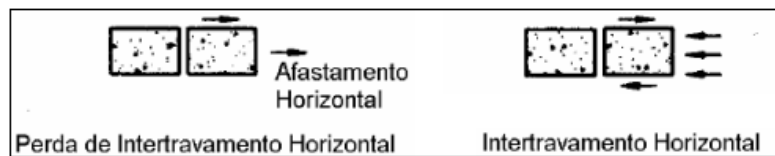
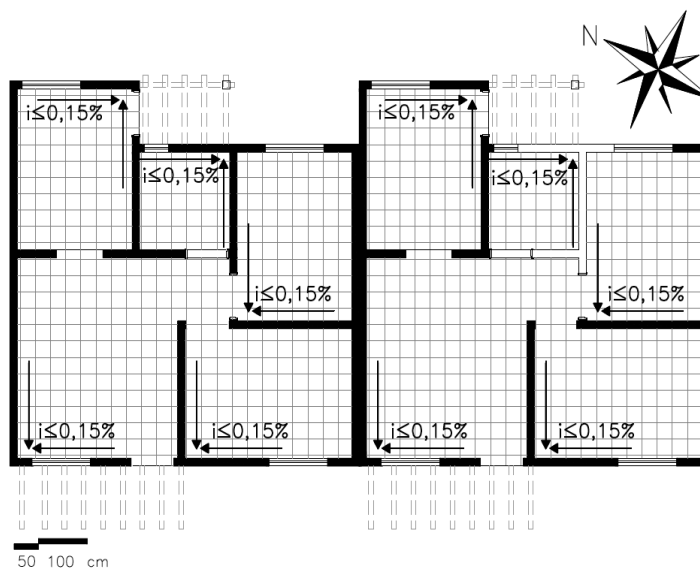


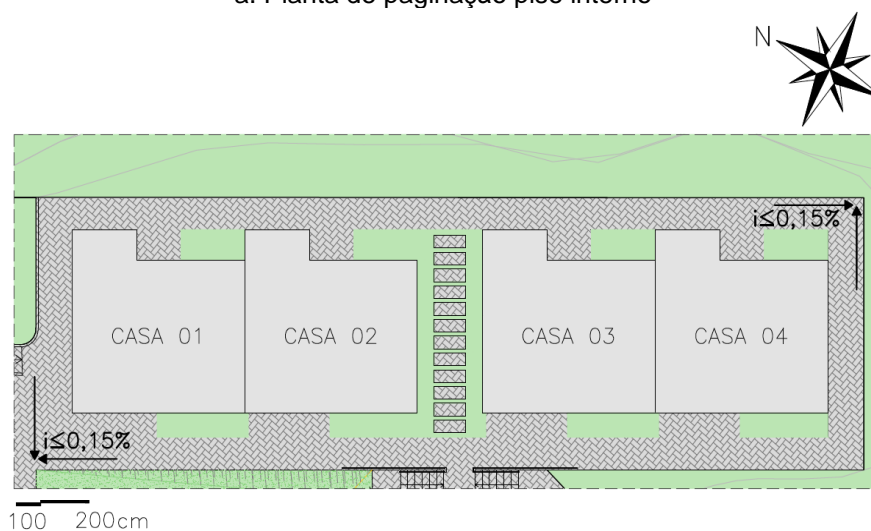
Figura 4. 7 - Piso intertravado do tipo intertravamento horizontal

Fonte: ICPI nº 4 (2002) apud Nabeshima (2011)

As estratégias visam a garantia da homogeneidade e da planicidade do acabamento e das superfícies dos pisos interno e externo à HiS, considerando que a inclinação dos mesmos não ultrapasse 0,15%, conforme ilustrado nas plantas de paginação da figura 4.8 no detalhamento da figura 4.9.



a. Planta de paginação piso interno



b. Planta de paginação piso externo

Figura 4. 8 - Plantas de paginação

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012) adaptado

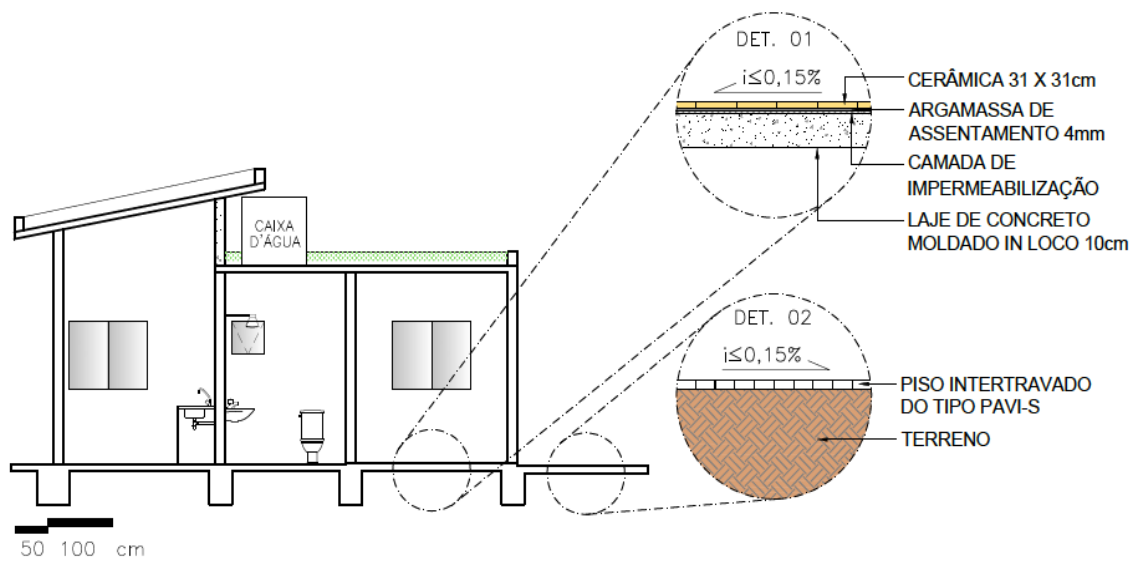


Figura 4. 9 - Detalhamento do piso áreas privadas e comuns

Fonte: Acervo pessoal

4.5 Comportamento térmico

A tabela 4.1 apresentada a seguir, ilustra valores obtidos para as propriedades termofísicas encontradas para os elementos produzidos com escória de aciaria LD e elétrica, comparativamente aos mesmos elementos compostos por agregados naturais.

Tabela 4. 1 - Propriedades termofísicas - elementos convencionais e propostos

Bloco de alvenaria de concreto Dimensões: 14x19x29cm (largura x altura x comprimento)	Tipo	Densidade ρ (kg/m³)	Calor Específico c (KJ/(Kg.K))	Condutividade térmica λ (W/(m.K))
	com agregado natural (BCAN)	2400 (NBR15220/2003)	1,00 (NBR15220/2003)	1,75 (NBR15220/2003)
	com agregado de escória de aciaria elétrica (BCAE_AE)	2722,7 (Picnometria Hélio)	0,90 (Reciclos #4)	0,59 (Quadrupólo Térmico)
	com agregado de escória de aciaria LD (BCAE_LD)	3029,9 (Picnometria Hélio)	1,02 (Reciclos #4)	0,69 (Quadrupólo Térmico)

Concreto moldado <i>in-loco</i>	Tipo	Densidade ρ (kg/m³)	Calor Específico c (KJ/(Kg.K))	Condutividade térmica λ (W/(m.K))
	com agregado natural (CAN)	2400 (NBR15220/2003)	1,00 (NBR15220/2003)	1,75 (NBR15220/2003)
	com agregado de escória de aciaria elétrica (CAE_AE)	2520,9 (Picnometria Hélio)	0,37 (Reciclos #4)	0,42 (Quadrupólo Térmico)
	com agregado de escória de aciaria LD (CAE_LD)	2506,4 (Picnometria Hélio)	0,66 (Reciclos #4)	0,54 (Quadrupólo Térmico)

Argamassa	Tipo	Densidade ρ (kg/m³)	Calor Específico c (KJ/(Kg.K))	Condutividade térmica λ (W/(m.K))
	com agregado natural (AAN)	2100 (NBR15220/2003)	1,00 (NBR15220/2003)	1,15 (NBR15220/2003)
	com agregado de escória de aciaria elétrica (AAE_AE)	2125,5 (Picnometria Hélio)	0,42 (Reciclos #4)	0,48 (Quadrupólo Térmico)
	com agregado de escória de aciaria LD (AAE_LD)	2213,9 (Picnometria Hélio)	0,72 (Reciclos #4)	0,49 (Quadrupólo Térmico)

Para os modelos produzidos com agregados naturais, agregados de escória de aciaria elétrica e LD, foram feitas simulações considerando três tipos de absorvância à radiação solar das superfícies expostas (cor clara, 0,3; cor média, 0,5; cor escura, 0,7), que conforme Dornelles (2008) afirma, a absorvância solar do envelope construtivo é responsável por grande parcela da carga térmica dos edifícios. Além de duas condições para a ventilação natural dos ambientes, com taxas renovação do ar (taxas de ventilação) de 1,0 ren/h e 5,0 ren/h conforme NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os resultados para os modelos associados às combinações de absorvância e taxas de renovação de ar foram obtidos, considerando a influência das alternativas de projetos em função das cores das superfícies e taxas de ventilação natural. Para avaliar e comparar os três tipos de composição da envoltória, foram gerados gráficos com os valores das temperaturas externa e interna, mínimos e máximos, em um dia típico de inverno e um dia típico de verão, respectivamente. A simulação compreendeu a análise da sala e de um dormitório (quarto 01) de uma das unidades da HiS, conforme método prescrito na NBR 15575 (ABNT, 2013). Os resultados são apresentados nos gráficos 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

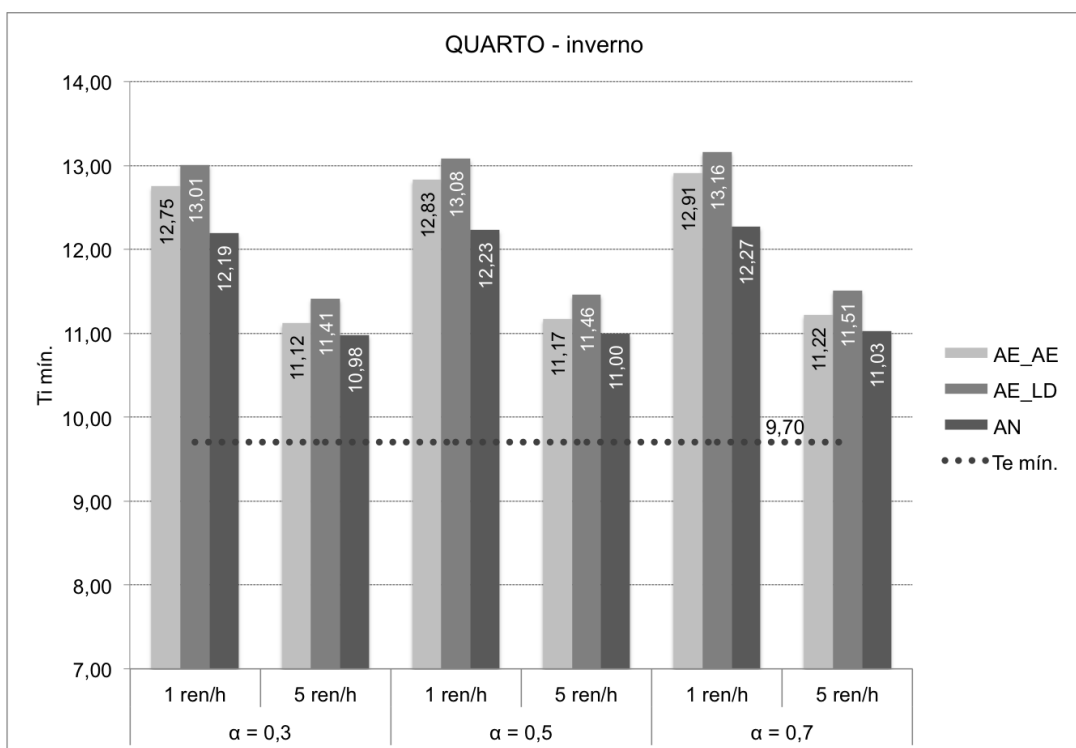


Gráfico 4. 3 - Comportamento térmico quarto 01 - dia típico de inverno

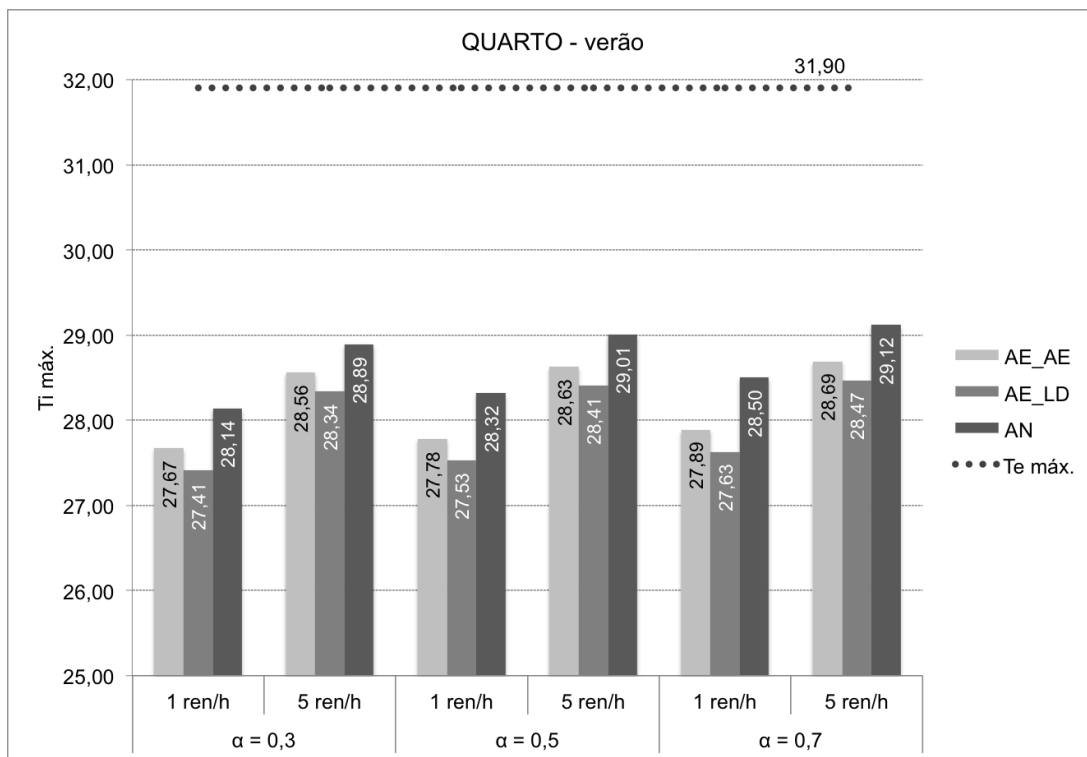


Gráfico 4. 4 - Comportamento térmico quarto 01 - dia típico de verão

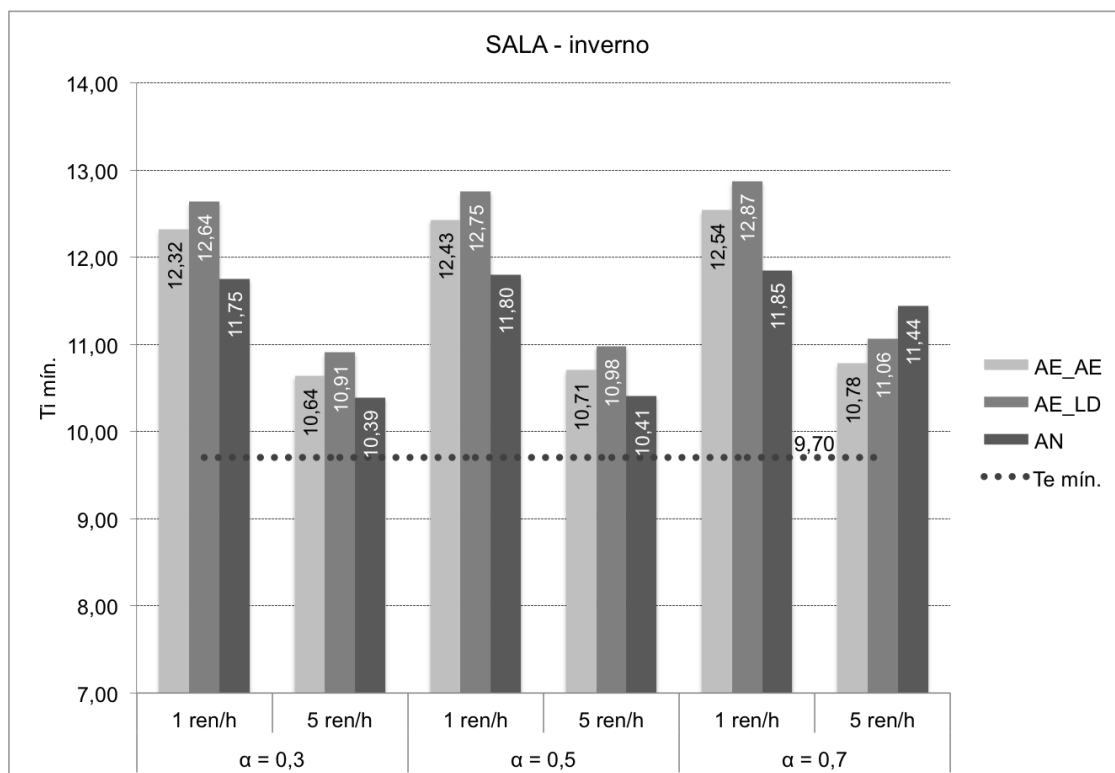


Gráfico 4. 5 - Comportamento térmico sala - dia típico de inverno

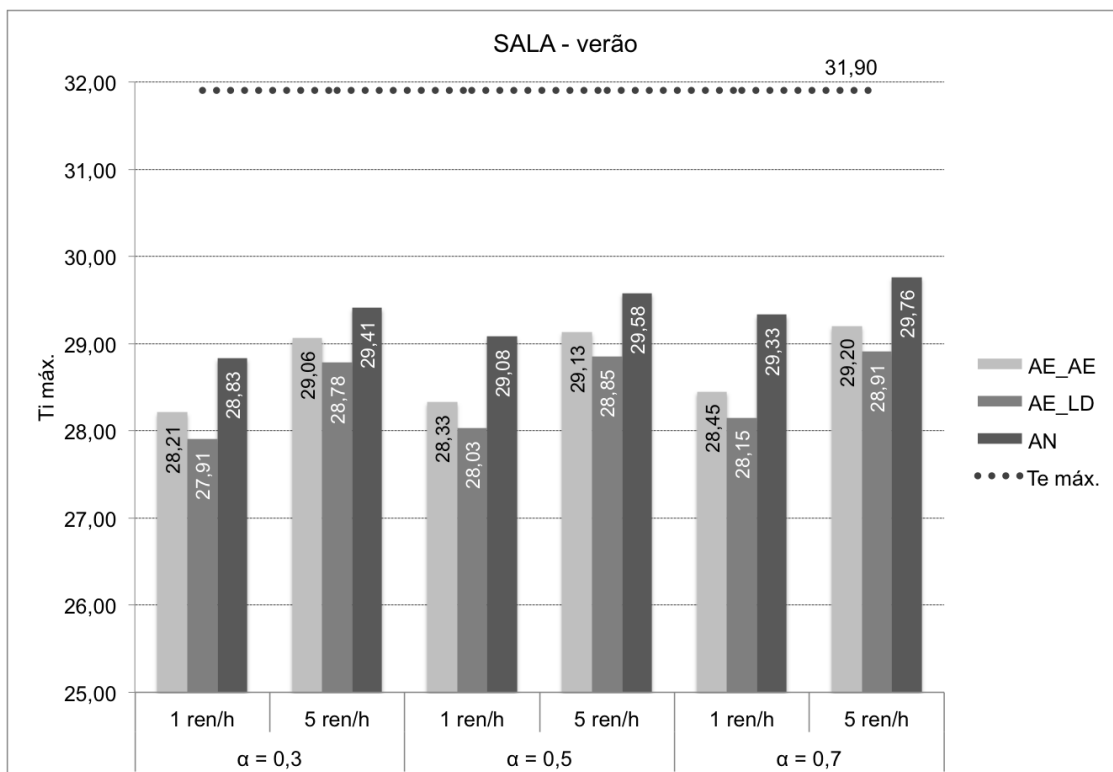


Gráfico 4. 6 - Comportamento térmico sala - dia típico de verão

Nos gráficos 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 são ainda apresentados os comportamentos da temperatura ao longo de um dia, em 24 horas, para a condição mais crítica, com 5,0 ren/h e absorvância de 0,7.

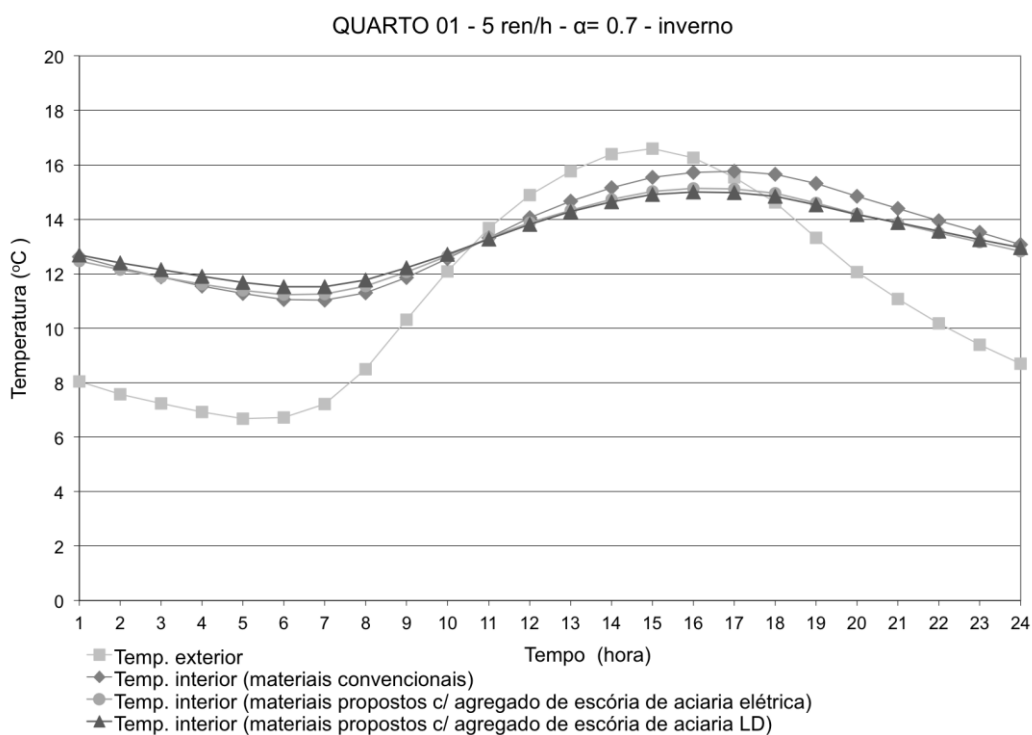


Gráfico 4. 7 - Comportamento térmico quarto 01 - ao longo dia típico de inverno

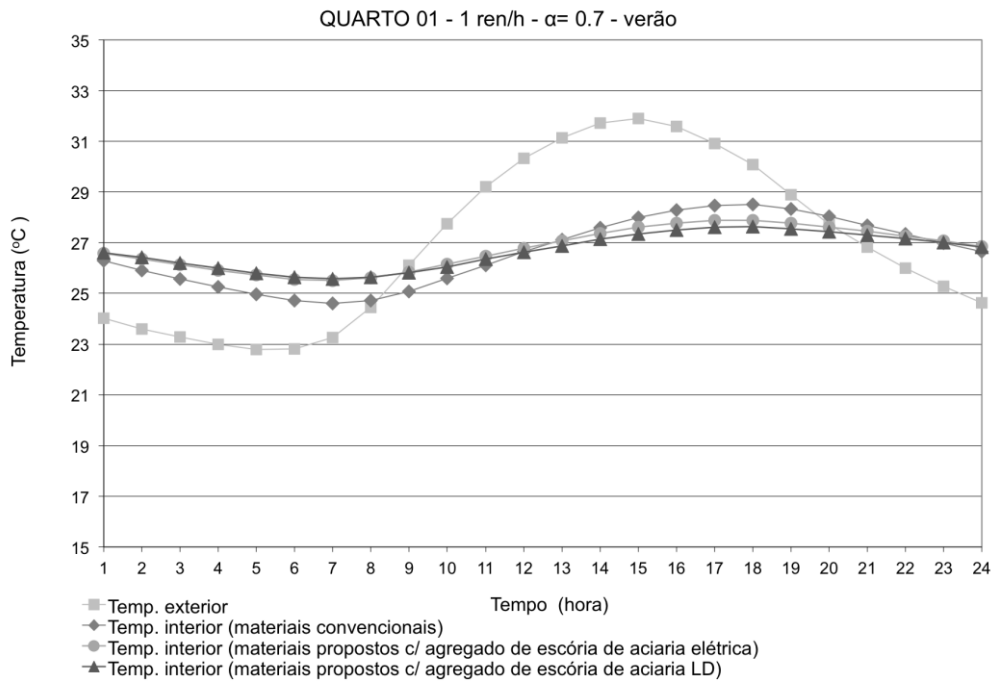


Gráfico 4. 8 - Comportamento térmico quarto 01 - ao longo dia típico de verão

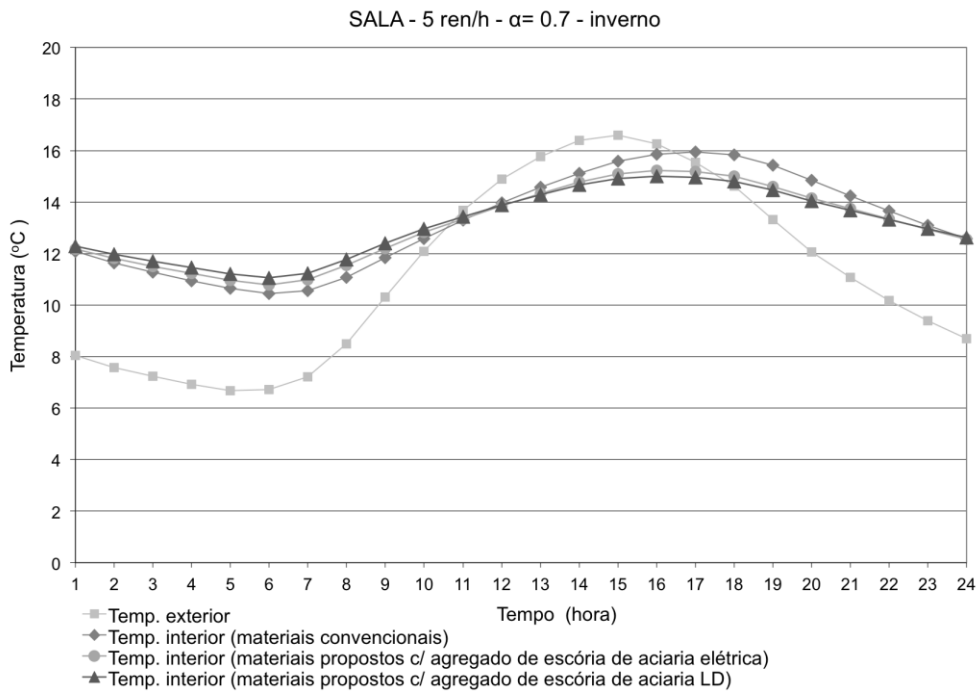


Gráfico 4. 9 - Comportamento térmico sala - ao longo dia típico de inverno

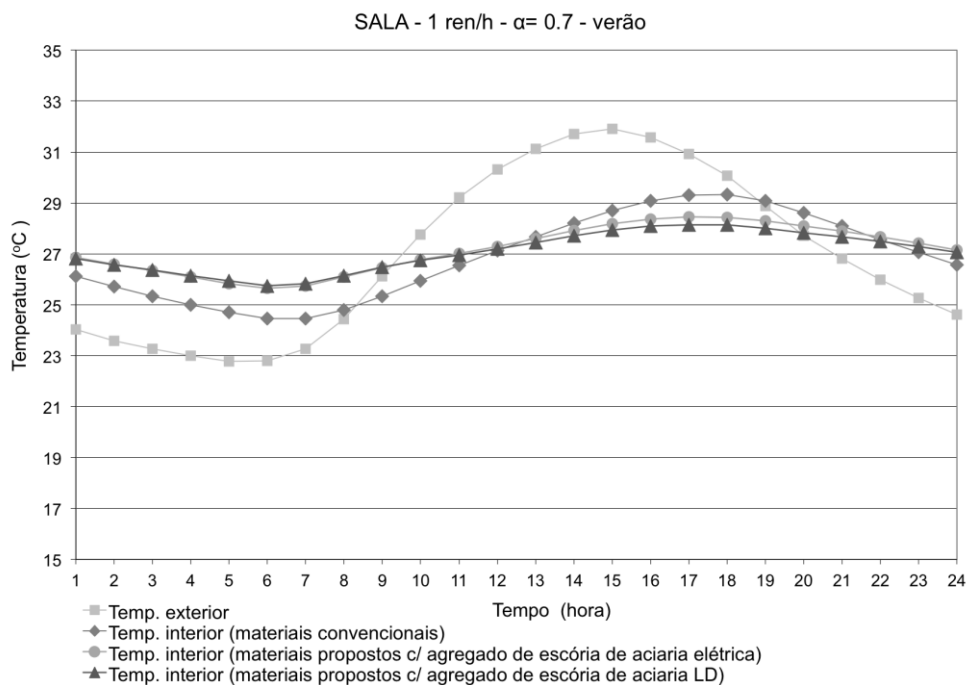


Gráfico 4. 10 - Comportamento térmico sala - ao longo dia típico de verão

Observa-se que as temperaturas internas atendem aos requisitos mínimos sugeridos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), para o Zoneamento Bioclimático 3, onde localiza-se o projeto da HiS, para os três tipos de fechamentos (composições da envoltória) analisados. Conforme o aumento das renovações de ar, a temperatura interna diminui no inverno, e aumenta no verão, tendendo a se igualar à temperatura externa.

Todos os fechamentos empregados (composições da envoltória) alcançaram os níveis de desempenho intermediário para a condição de verão segundo as diretrizes de critério da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), independentemente da taxa de ventilação e da cor da superfície considerada. Para os níveis de desempenho superior, somente a simulação em que a composição da envoltória empregou elementos construtivos com escória de aciaria LD atenderam às condições com taxas de ventilação de 5,0 ren/h para qualquer tipo de cor da superfície da envoltória. Para a condição de inverno a composição da envoltória que empregou elementos construtivos com escória de aciaria LD teve o melhor valor para atendimento dos níveis de desempenho mínimo considerando taxas de ventilação com 1,0 ren/h. No apêndice C é possível ver os resultados tabelados.

4.6 Certificações de sustentabilidade

Dentre as três certificações, o que teve o seu desenvolvimento para uma realidade e localidade específicas teve o melhor desempenho. Na comparação dos sistemas de certificação usando o Método da Análise Hierárquica, tabela 4.2, verifica-se que a Selo Azul da Caixa Econômica Federal obteve 93,3 em uma escala de 0 a 100, o Processo AQUA obteve 92,0 e o LEED for Homes obteve 51,4.

Tabela 4. 2 - Comparação dos sistemas de certificação

Escala de balizamento	Valores Atribuídos			Valores normalizados			Peso da variável (%)	Nota nos critérios		
	Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Homes	Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Homes		Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Homes
Porcentagem de critérios reprovados										
Balizamento	0,106	0,088	0,024	1,00	0,83	0,23	45,7	45,7	37,7	10,3
Categorias e itens	77,8	88,7	67,1	0,88	1,00	0,76	54,3	47,6	54,3	41,1
	Total						100	93,3	92,0	51,4

Fonte: Grünberg, Medeiros, Tavares (2014) adaptado

Logo, o sistema de certificação ambiental Selo Casa Azul teve a maior nota final, sendo o mesmo desenvolvido para ser aplicado no Brasil, baseando-se na realidade socioeconômica e características construtivas do país. Em segundo lugar, com uma diferença quase irrelevante, tem-se o AQUA, adaptação de um sistema estrangeiro para a realidade brasileira. Já o selo LEED for Homes, que é utilizado conforme foi concebido para o contexto norte-americano, aparece com menor índice de desempenho. O resultado parece coerente e indica que a adaptação do selo AQUA para a realidade brasileira foi feita de forma adequada e que a transferência de um sistema de certificação apropriado para o cenário de um país para outro com características diferentes (sem adaptações) não é o caminho mais aconselhável, sendo imprescindível sua adaptação. (GRÜNBERG, MEDEIROS, TAVARES, 2014)

4.6.1 Selo Casa Azul

Criado pela Caixa Econômica Federal, uma instituição pública, subsidiada pelo Governo Federal Brasileiro, o Selo Casa Azul, lançado em 02 de Junho de 2009, é

um instrumento que se aplica a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais apresentados ao banco para financiamento ou nos programas de repasse, podendo se candidatar as empresas construtoras, o poder público, empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades representantes de movimentos sociais.

Nos subcapítulos seguintes são apresentados pré-requisitos e critérios estabelecidos pelo selo e as estratégias de projeto adotadas para a HiS para o seu devido cumprimento.

4.6.1.1 Qualidade do entorno – infraestrutura (critério 1.1 - obrigatório)

Tendo como objetivo proporcionar aos moradores qualidade de vida, considerando a existência de infraestrutura, serviços, equipamentos comunitários e comércio disponíveis no entorno do empreendimento (CEF, 2010), a tabela 4.2 mostra as condições da infraestrutura do local de implantação da HiS e as distâncias de cada um dos estabelecimentos requeridos.

Tabela 4. 3 - Condições e distâncias requeridas no critério Qualidade do entorno - infraestrutura Tabela

Indicadores Selo Azul da Caixa	Características malha urbana
Pavimentação	Pavimentação asfáltica existente
Rede de abastecimento de água potável	Rede existente administrada pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto - SEMAE
Energia elétrica	Rede existente administrada pela CEMIG
Iluminação pública	Iluminação pública existente
Esgotamento sanitário	Esgotamento sanitário existente administrado pelo SEMAE
Drenagem	Sistema de drenagem pluvial existente
Linha de transporte público regular, com pelo menos uma parada acessível por rota de pedestre de, no máximo, um quilômetro de extensão	Linha de ônibus regular, trajeto Taquaral – Bauxita, com ponto na Praça Bauxita a 850 metros de distância (Praça Vereador Jorge Pedroso, bairro Bauxita)
Dois pontos de comércio e serviços básicos acessíveis por rota de pedestres de, no máximo, um quilômetro de extensão	Pontos de comércio e serviços básicos acessíveis por rota de pedestres existentes conforme apresentado na figura 4.10.
Uma escola pública de ensino fundamental acessível por rota de pedestres de, no máximo, 1,5 quilômetro de extensão	Escola municipal Simão Lacerda de educação infantil, fundamental e supletivo para jovens e adultos a 800 metros de distância (Av. Juscelino Kubitschek, bairro Bauxita)
Um equipamento de saúde a, no máximo, 2,5 quilômetros de distância	Santa Casa da Misericórdia de Ouro Preto, hospital geral de média complexidade, a 1,4 quilômetros de distância (Rua José Moringa, 620 - Vila Itacolomy)
Um equipamento de lazer a, no máximo, 2,5 quilômetros de distância	Centro de esportes da UFOP a menos de 1 quilômetro de distância

A figura 4.10, a seguir, delimita, em um raio de 800m a partir do centro do terreno onde será implantada a HiS, os principais serviços básicos de saúde, comércio, educação e lazer existentes.

Para o modelo habitacional deste estudo, considerados os diversos serviços necessários ao atendimento social dos habitantes, foram localizadas mais de dez unidades de serviços básicos no entorno da área. Esse resultado indica a conectividade desta comunidade e a geração de qualidade de vida para seus moradores, considerando a existência de infraestrutura, serviços, equipamentos comunitários e comércio disponíveis no entorno.



Legenda:

●●●●● Habitação de Interesse Social (HiS)














-  Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro s/n, Bauxita
-  Banco Santander - Campus Morro do Cruzeiro s/n, Bauxita
-  Lavanderia Oceano - R Hamilton Lázaro 76, Bauxita
-  Igreja Nossa Senhora das Lourdes - R Professor Paulo Magalhães Gomes, Bauxita
-  Supermercado do Lino - R Maciel, 468, Bauxita
-  Creche Municipal Colméia - R Milton Campos, 364, Vila Operária
-  Centro de Saúde/UBS Bauxita - Campus Morro do Cruzeiro s/n, Bauxita
-  Agência de Correios - R Professor Francisco Pignatário, 9, Bauxita
-  Restaurante La Cave - R Augusto Côrrea de Magalhães, 320, Bauxita
-  Drogeria Grossi - R João Pedro da Silva, 207, Bauxita
-  Parque - Praça Benedito B. Xavier
-  Centro Comunitário do Morro do Cruzeiro - R Alexandre Kassis s/n, Bauxita
-  Salão de Beleza Santa Maria - Rua Professor Francisco Pignatario, 250B, Bauxita

Figura 4. 10 - Serviços básicos em um raio de 800m da HiS

Fonte: Acervo Pessoal

4.6.1.2 Coordenação modular (critério 4.1)

A alvenaria estrutural modular foi adotada como sistema construtivo, de forma a racionalizar o processo de construção, reduzir de forma significativa o desperdício de materiais; evitar a perda por cortes dos blocos de alvenaria; impedir ajustes de componentes e o uso de materiais de enchimento; bem como facilitar o processo executivo e conseqüentemente aumentar a produtividade.

O projeto arquitetônico foi desenvolvido para o atendimento às demandas de modulação, em função das dimensões comerciais dos blocos, ou seja, o uso da coordenação modular, prevendo ainda a conformação dimensional dos blocos às aberturas, configuração das armações, bem como ao custo do empreendimento.

A modulação é fundamental para a economia e a racionalização da edificação em alvenaria estrutural. Modular um arranjo arquitetônico significa acertar suas dimensões em planta e também o pé-direito da edificação, através das dimensões das unidades, com o objetivo de reduzir ao máximo os cortes e ajustes na execução das paredes (BONACHESKI, 2006 apud KALIL, 2007).

Na figura 4.11 é apresentada a planta da 1ª fiada da alvenaria estrutural de um módulo das unidades habitacionais e na figura 4.12 a estrutura do conjuntos da HiS para ilustrar o estudo modular em acordo com o projeto arquitetônico.

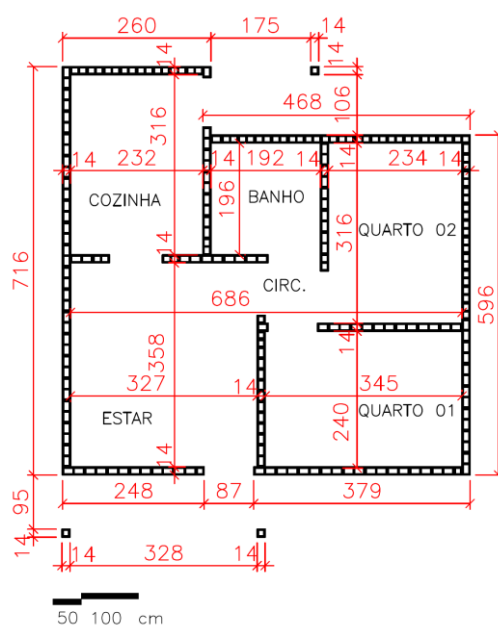


Figura 4. 11 - Planta 1ª fiada alvenaria estrutural modular
Fonte: Acervo pessoal

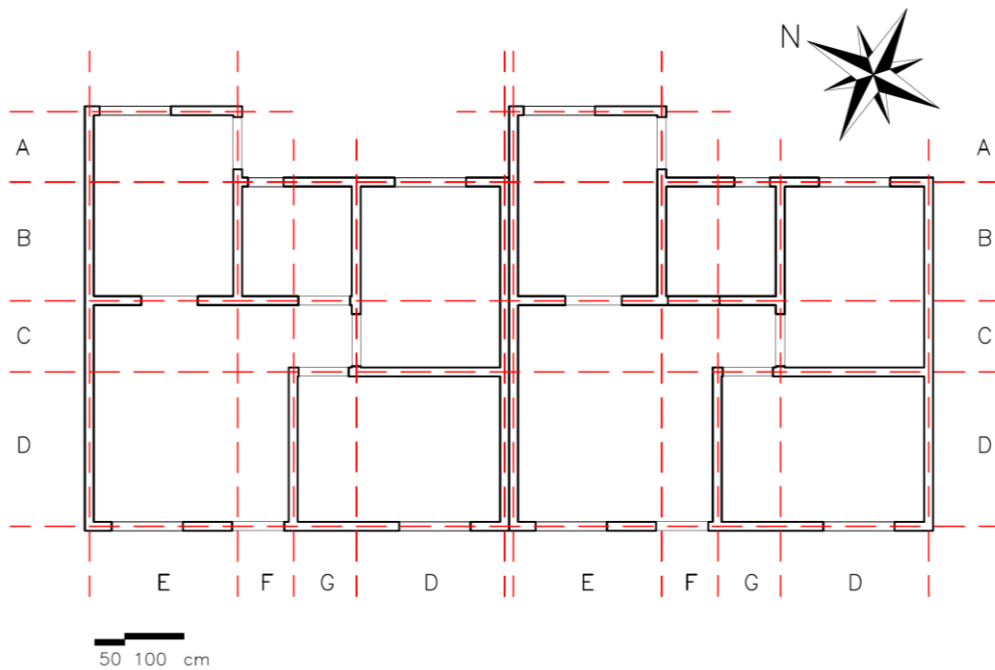


Figura 4. 12 - Estrutura modular dos conjuntos da HiS
 Fonte: Acervo pessoal

4.6.1.3 Flexibilidade de projeto (critério 2.2)

As plantas arquitetônicas para as HiS foram desenvolvidas a partir de núcleo rígido, onde se concentra a área molhada (instalações banheiro, cozinha e área de serviço), e a partir da qual se organizam os demais compartimentos. A estratégia garante economia na infraestrutura e instalações hidráulicas e cria ambiente favorável a possibilidades de ampliação e modificação da configuração dos espaços, observados os limites para as intervenções em construções em alvenaria estrutural para as unidades habitacionais. Na figura 4.13, destacado em azul está a área molhada de umas das unidades habitacionais, em vermelho está demarcada a alvenaria estrutural onde, em seu entorno, estabelecem-se os outros cômodos.

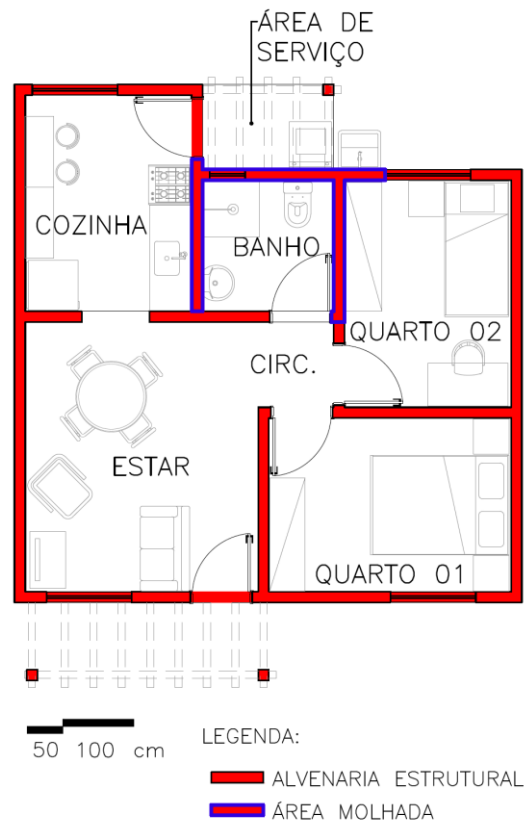


Figura 4. 13 - Planta arquitetônica unidade habitacional com destaque da área molhada
 Fonte: Acervo pessoal

4.6.1.4 Uso da ventilação e iluminação naturais (critérios 2.9 e 2.10)

Os estudos para implantação foram realizados para garantir insolação e ventilação eficientes nos ambientes da HiS. A área de inserção do projeto é classificada como Zona Bioclimática 3, NBR 15220 (ABNT, 2003).

Para melhores condições de conforto, cada unidade terá aberturas com posições opostas e com beirais diferentes, ao nível do tronco do corpo humano e acima do nível do corpo humano, dimensionadas de forma a possibilitar a livre circulação do ar. Essa composição favorece o surgimento de um efeito chaminé no interior da HiS, em função do gradiente térmico imposto pelas diferentes temperaturas das placas da cobertura, compostas por uma fria (cobertura vegetal) e outra quente (exposição direta da laje). Para condição de inverno, as bandeiras basculantes das aberturas acima do nível do corpo humano, podem ser fechadas, mantendo o interior da HiS, aquecido pelo calor acumulado pela placa quente e irradiado para o ambiente, enquanto a cobertura vegetal funciona como camada de isolamento térmico, impedindo que esse fluxo de calor seja dispersado pela cobertura. A figura 4.14 a

seguinte demonstra funcionamento simplificado do efeito chaminé. Além disso, a vegetação no entorno da edificação ajuda a refrescar o ar que entra na edificação a partir da evapotranspiração do vegetal.

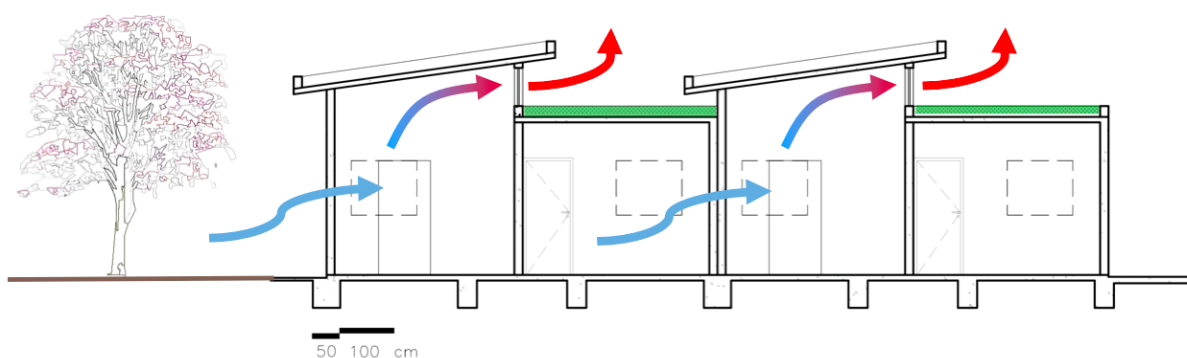


Figura 4. 14 - Ilustração do efeito chaminé nas unidades da Vila Sustentável
Fonte: Acervo pessoal

A ventilação cruzada a partir de aberturas de admissão e exaustão são capazes de promover trocas de ar, que proporcionam além do conforto térmico, qualidade do ar aos usuários. Para garantir seu funcionamento e permitir regulação da ventilação adotaram-se bandeiras basculantes sobre todas as janelas e na parte inferior das portas. Podendo-se assim abrir simultaneamente janelas e portas (ventilação intensa) ou basculantes de janelas e portas (ventilação pouco intensa) ou ainda janela e basculante e vice e versa (ventilação moderada). Para isso foi verificada a direção dos ventos predominantes na região, indicadas por um levantamento de 15 anos, na qual identifica sua condição noroeste-sudeste com velocidade média entre 5 e 5,5 m/s a 50m de altura (AMARANTE *et al.*,2010).

A figura 4.15 a seguir demonstra funcionamento simplificado da ventilação cruzada, estratégia de condicionamento térmico passivo estabelecido para a Zona 3, local de implantação da HiS, estabelecido no zoneamento bioclimático brasileiro para habitações unifamiliares de interesse social, parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2003).

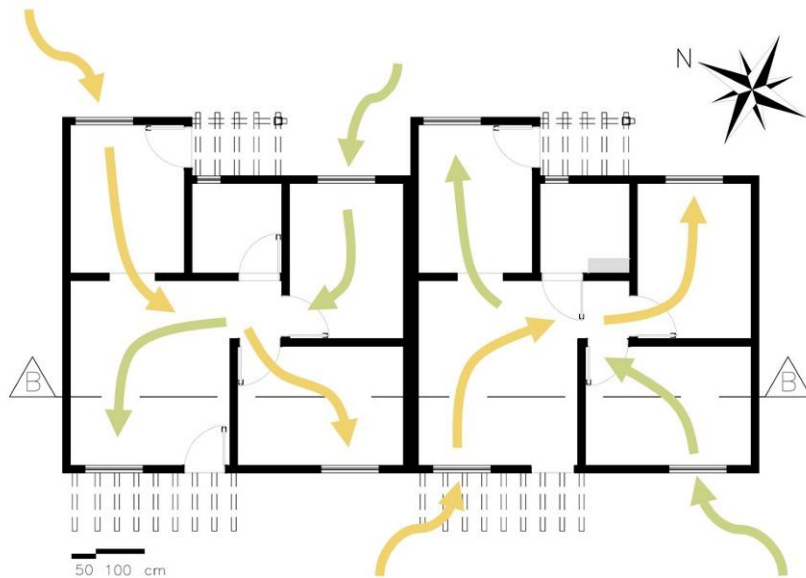


Figura 4. 15 - Ilustração do efeito da ventilação cruzada

Fonte: Acervo pessoal

Fazendo o uso de iluminação natural, janelas proporcionam a entrada da luz do sol durante o inverno e, durante os dias quentes, brises e venezianas permitem o sombreamento. Para tal, foram considerados parâmetros da geometria segundo trajetória solar e levantadas insolações para as fachadas norte, sul, leste e oeste tendo como localização o sítio de instalação da HiS, na cidade de Ouro Preto. Os dados para trajetória solar foram coletados em campo, para período compreendido entre os meses de fevereiro a dezembro de 2014, figura 4.16.



a. Medição insolação em campo. Levantamento das 09:00h do dia 26 de junho de 2014.



b. Medição insolação de hora em hora. Levantamento 09:00h e 10:00h do dia 26 de junho de 2014.



c. Medição insolação de hora em hora em um dia completo. Levantamento das 09:00h às 17:00h do dia 26 de junho de 2014.

Figura 4. 16 - Estudo de insolação

Fonte: Acervo pessoal

A fachada noroeste é a que recebe maior insolação, conforme ilustrado pela figura 4.17, assim as aberturas nesta fachada precisariam de muita proteção, o que se obteve com a manutenção nesta fachada, de uma parede opaca, que receberá pintura branca a fim de contribuir para uma máxima reflexão dessa radiação, bem como para melhor desempenho relativo ao acondicionamento térmico.

A fachada sudeste recebe insolação principalmente durante o verão, não havendo insolação de março a setembro, não configurando portanto, como uma fachada interessante para aberturas. Dessa forma, as aberturas encontram-se nas fachadas sudoeste e nordeste.

A fachada nordeste recebe insolação durante todo o ano, mas só pela manhã, não havendo necessidade de maiores proteções. Já a fachada sudoeste recebe insolação pela tarde e exige proteção fornecida por pergolado, associados à vegetação, conforme ilustrado pela figura 4.17 apresentada a seguir.

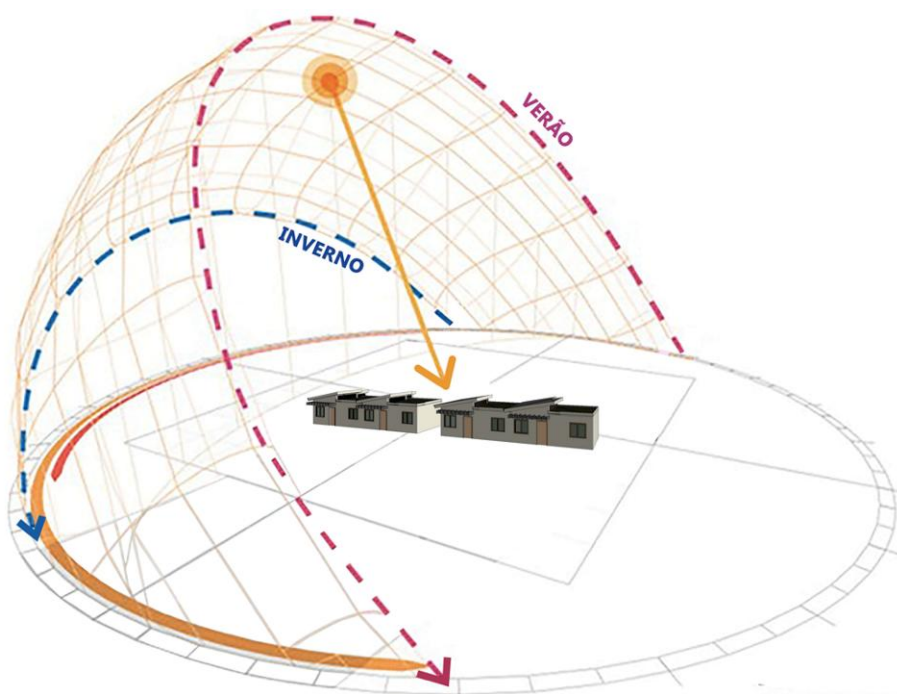


Figura 4. 17 - Comportamento trajetória solar

Fonte: Acervo pessoal

4.6.1.5 Aproveitamento, retenção e infiltração de águas pluviais (critérios 5.5, 5.6 e 5.7)

O projeto proposto como modelo para HiS é capaz de coletar águas de chuva e recarregar o lençol freático por meio de colunas drenantes no próprio solo. A partir

da recarga sistemática dos lençóis freáticos, pretende-se contribuir com elevação do nível dos lençóis subterrâneos, bem como reduzir a carga hidráulica em corpos hídricos, quando da ocorrência de chuvas torrenciais. A água coletada deste lençol freático subterrâneo será utilizada como não-potável nas edificações, a exemplo, na irrigação de áreas verdes, lavagem de pisos e lavagem de veículos. De forma diferente das alternativas convencionais para sistema de acumulação, o projeto propõe captar água de chuvas e viabilizar infiltração no solo, de forma simples, com auxílio de drenos verticais naturais, recarregando o lençol freático, democratizando uso da água, reduzindo sobrecargas nos corpos hídricos em estações chuvosas e aumentando segurança das comunidades em relação aos riscos de enchentes e inundações e contribuindo de forma sistêmica para sustentabilidade e reuso de água.

Esse sistema simplificado de tratamento da água é apresentado pela EMBRAPA (PINTO, 2006) e funciona como uma alternativa para reduzir a contribuição das cargas hídricas, com amortecimento das descargas. O mesmo recarrega o lençol freático e armazena água de qualidade, tratada naturalmente pelas camadas de solo que trabalham como filtros naturais, conforme ilustração da figura 4.18 a seguir referente aos itens 1, 2 e 3 indicados.

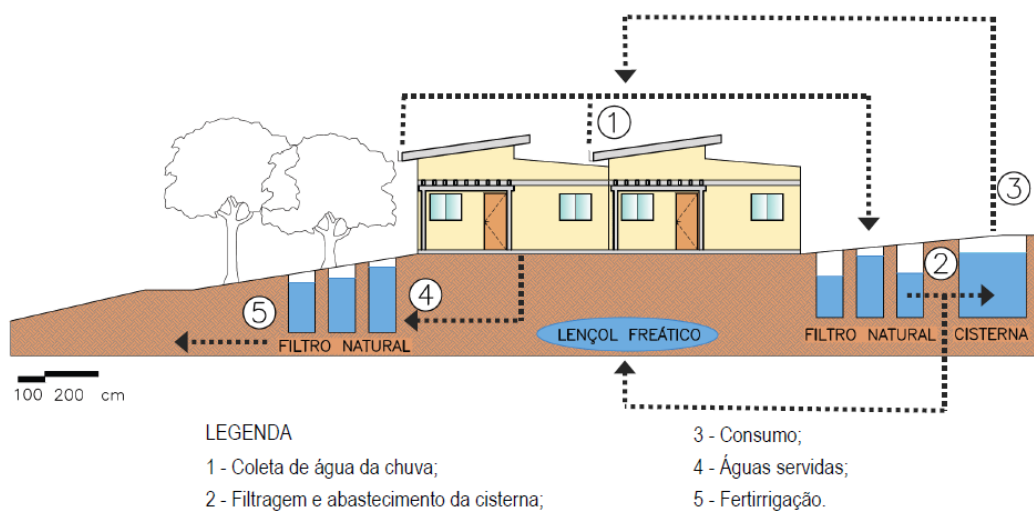


Figura 4. 18 - Sistema de coleta, uso e retorno das águas da chuva

Fonte: Acervo pessoal

4.6.1.6 Gestão da água (critérios 5.1, 5.2 e 5.3)

Como estratégia para redução do lançamento de águas servidas nas redes públicas coletoras de esgotos, que na maioria das vezes não possui tratamento destes efluentes antes do lançamento nos corpos hídricos, tem-se o sistema anaeróbio para tratamento de águas servidas geradas pela HiS, sendo o efluente tratado lançado no solo em valas drenantes de sub-infiltração (EMBRAPA, 2010), conforme ilustração da figura 4.18 a seguir referente aos itens 4 e 5 indicados.

Contribuindo para a redução do consumo de água potável nas edificações nas cozinhas e nos banheiros foram projetados dispositivos aeradores e válvulas de descarga com sistemas economizadores. Estas com sistema de acionamento de 6 ou 3 litros.

Cada unidade habitacional da HiS terá um medidor individual de consumo de água para controlar as perdas de água por vazamentos ou por usos excessivos; proporcionar o controle individual pela busca da economia na conta; reduzir os insumos utilizados na captação, no tratamento e na adução, tais como sulfato de alumínio, cal, cloro, flúor e outros.

4.6.1.7 Áreas permeáveis e paisagismo (critérios 2.1 e 5.8)

Para auxiliar no controle do gradiente térmico interno às habitações é prevista a implantação de vegetação rasteira, do tipo grama São Carlos, em parte da cobertura das unidades habitacionais para auxiliar no desempenho térmico interno à edificação. Faz-se a previsão de uso de arborização nativa do tipo *Tabebuia chrysotricha* (ipê amarelo) apropriadas ao meio ambiente local, e por isto, adaptadas às condições climáticas da área, clima tropical de altitude, sem maiores exigências de irrigação após apropriadas ao meio ambiente inserido, figura 4.19. Considerando toda a área do terreno e a taxa de ocupação da HiS será possível obter um coeficiente de permeabilidade superior a 20%, acima do estabelecido pela legislação municipal.

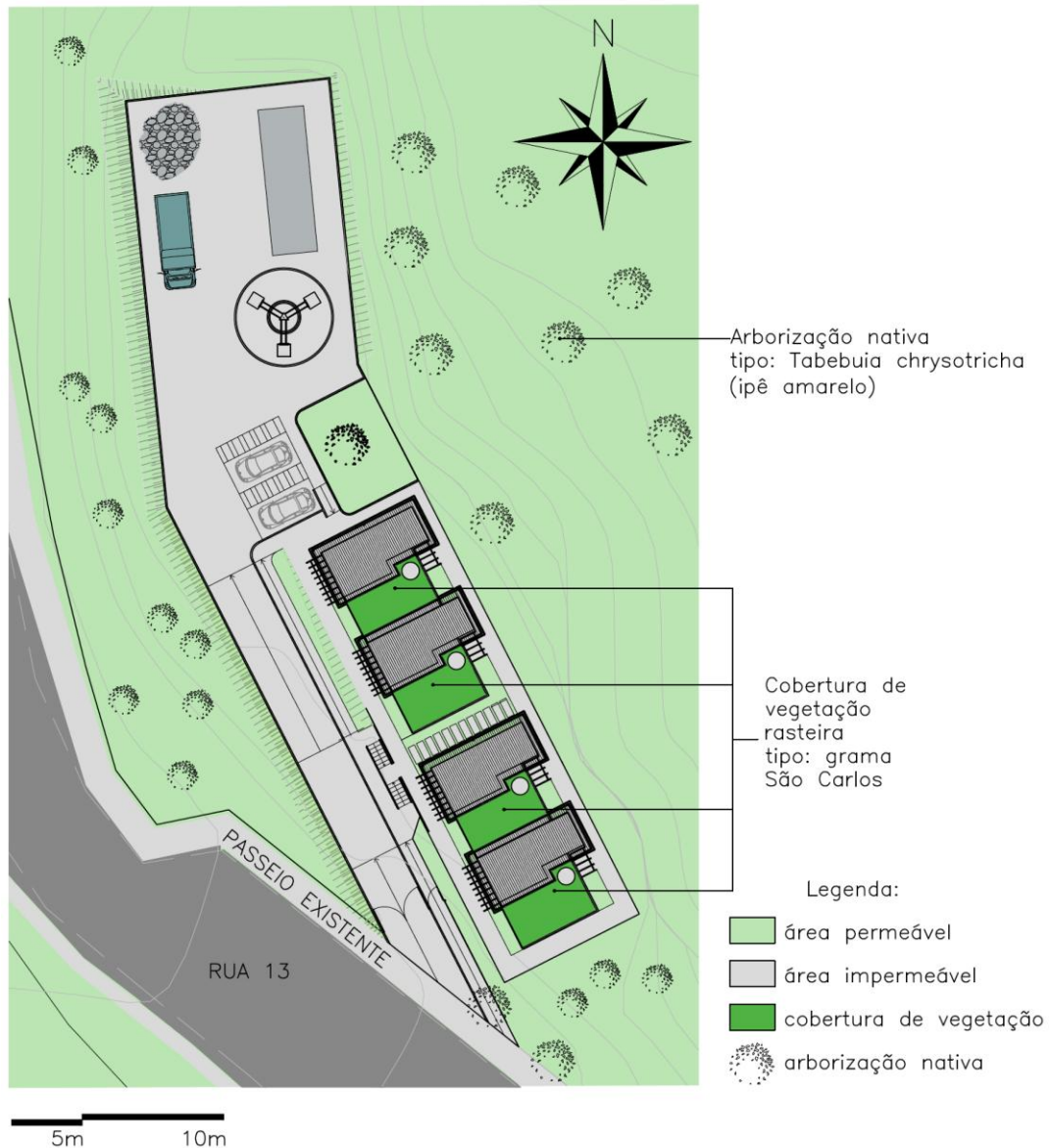


Figura 4. 19 - Áreas permeáveis e paisagismo

Fonte: Coordenadoria de Planejamento e Gestão de Projetos da UFOP (2012) adaptado

4.6.1.8 Aquecimento solar das águas (critério 3.3)

O sistema de aquecimento solar de águas se apropriará da energia térmica acumulada na placa quente em laje de concreto moldado *in-loco* da cobertura inclinada para norte, figura 4.20. O modelo conceitual previsto para a HiS dispõe de dispositivos para coleta de energia solar para aquecimento, utilizando energia térmica da placa quente e a instalação de um circuito de tubos de cobre ou aço no interior da manta de concreto da placa da laje e armazenando água quente em reservatório termo isolado. Essa concepção parte de um estudo já desenvolvido pelo engenheiro Fernandes *et al.* (2011) para o desenvolvimento de protótipos de placas

pré-moldadas de argamassa armada para circulação de água aquecida ou resfriada. A redução do consumo de energia para aquecimento de água representa porcentagem significativa nas demandas de energia das habitações quando faz-se a eliminação do uso do chuveiro elétrico.

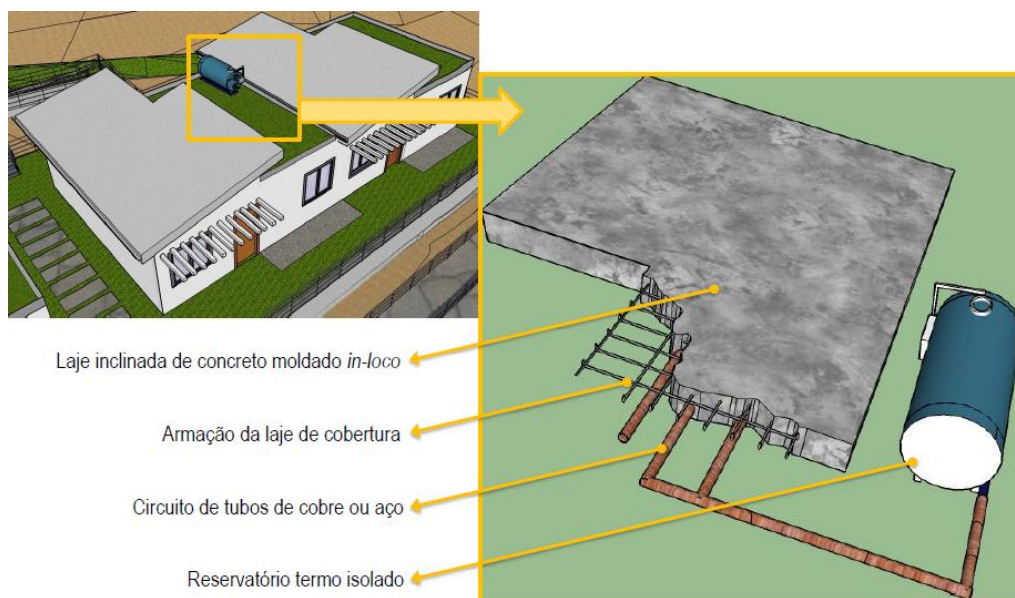


Figura 4. 20 - Sistema de aquecimento solar das águas

Fonte: Acervo Pessoal

4.6.1.9 Eficiência energética (critérios 3.1 e 3.2)

Contribuindo para a eficiência energética, o projeto elétrico prevê para as áreas privativas, sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes de baixo consumo. O índice que determinou a escolha foi a identificação da eficiência luminosa, ou seja, a relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência consumida.

Como pré-requisito foi selecionado um tipo de lâmpada certificado pelo INMETRO e pelo selo Procel de Eficiência Energética apresentado no catálogo da Eletrobrás, figura 4.21. Foi indicado o uso de lâmpadas da marca ALPER modelo ESP 24W, com temperatura de cor de 6400K, e eficiência energética de 72lm/W,

Nas áreas comuns, foram especificados dispositivos com sensor de presença a fim de reduzir a colaboração da iluminação artificial para o gasto energético.

Destaca-se que o projeto elétrico e o projeto luminotécnico deverão identificar a rede de distribuição e os sistemas auxiliares necessários para o atendimento à iluminância desejada em cada compartimento da HiS.

LÂMPADAS FLUORESCENTES

Compactas - 127 V

Fornecedores: 24

Produtos: 172

Atualização: 04/09/2015



MARCA	TIPO	MODELO	POTÊNCIA DECLARADA (W)	FLUXO LUMINOSO (lm)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	EQUIV. LÂMP. INCANDESCENTE (W)	VIDA (h)
ALPER	ESPIRAL	ESP 24W 6400K	24	1579,9	72	100	8000

Figura 4. 21 - Catálogo Lâmpadas Fluorescentes Compactas

Fonte: ELETROBRÁS (2015)

4.6.1.10 Desempenho térmico (critérios 2.7 e 2.8)

O capítulo 4.5 que trata do comportamento térmico da HiS indica o procedimento para obtenção do desempenho térmico da HiS, conforme NBR 15575 (ABNT, 2013), atestando a favorável orientação solar, condições da ventilação e os elementos empregados na vedação da edificação.

4.6.1.11 Medição individualizada – gás (critério 3.5)

No projeto da HiS são previstos sistemas individuais de gás para cada uma das habitações com botijões doméstico de 13Kg de GLP. Isso possibilitará economia no consumo tendo em vista o incentivo à redução do consumo pelo usuário individual, uma vez que a economia gerada reverte em benefício próprio.

4.6.1.12 Local para coleta seletiva (critério 2.5)

Na operação da HiS é previsto um abrigo para armazenamento de resíduos recicláveis em atendimento às condições de Resolução CONAMA nº 275 (2001). Sua dimensão irá atender ao percentual de geração de resíduos gerados estabelecido pelo município ou com base na caracterização dos resíduos sólidos feita pela SMLU (2004). Sua característica construtiva e localização será definida posteriormente de forma a facilitar o manuseio e destino final dos resíduos recicláveis básicos (papel, papelão, vidro, metal e plástico).

4.6.1.13 Equipamentos de lazer, sociais e esportivos (critério 2.6)

A HiS já possui em projeto um pátio experimental externo que sustenta a parte social e de lazer do empreendimento. Ainda localiza-se ao lado do Centro Desportivo da UFOP, que conta com piscinas, academia e quadras poliesportivas, figura 4.22. Esse equipamento esportivo pode ser utilizado por qualquer estudante ou funcionário da instituição, o que já engloba os futuros moradores das habitações.



Figura 4. 22 - Equipamentos de lazer, social e esportivos

Fonte: Acervo Pessoal

4.6.1.14 Qualidade de materiais e componentes (critério 4.2)

Os elementos construtivos produzidos com matrizes de cimento Portland (argamassa, concreto, bloco de alvenaria e bloco de pavimentação) contendo agregados a escória de aciaria foram analisados em escala laboratorial quanto aos aspectos químicos, físicos e mecânicos (PEIXOTO *et al.*, 2012). Os resultados foram

satisfatórios e atestaram a aplicação dos mesmo na construção real da HiS, para assim, serem analisados em verdadeira grandeza.

Todos os outros produtos a serem utilizados, serão selecionados por fornecedores classificados como “qualificadas” pelo Ministério das Cidades, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Hábitat (PBQP-H).

4.6.1.15 Fôrmas e escoras reutilizáveis (critério 4.4)

Para a construção em estudo, será utilizada alvenaria estrutural como sistema construtivo. Esse sistema construtivo utiliza peças industrializadas de dimensões e peso que as fazem manuseáveis, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico. (BONACHESKI, 2006 apud KALIL, 2007).

A diferença fundamental entre o uso tradicional da alvenaria e a alvenaria estrutural é que este último é de dimensionamento e construção racional, enquanto que, na alvenaria convencional, a estrutura é dimensionada e construída empiricamente. O dimensionamento através de cálculo estrutural, com fundamentação técnico-científica, permite a obtenção de edifícios com segurança estrutural conhecida, semelhante à obtida com estruturas reticuladas de concreto armado, e compatível com as exigências da Sociedade Brasileira para edifícios multipavimentos (SABBATINI, 2002).

Ou seja, utilizar alvenaria estrutural na HiS, além de gerar uma grande economia de fôrmas e escoras, é uma forma de diminuir o desperdício de materiais; evitar a perda por cortes dos blocos de alvenaria, os ajustes de componentes e o uso de materiais de enchimento; e facilitar o processo executivo, o que aumenta a produtividade.

Fora isso, quaisquer fôrmas e/ou escoras que precisem ser utilizadas durante a construção da edificação, serão escolhidas de modo a ser possível usá-las em todas as unidades do projeto, garantindo que haja pouco desperdício de materiais.

4.6.1.16 Gestão de resíduos de construção e demolição – RCD (critério 4.5)

Segundo a Resolução CONAMA 307 (2002) a HiS se encaixa como "Pequenos Geradores" e a responsabilidade pelo projeto de gerenciamentos dos resíduos gerados em sua obra é do município.

4.6.1.17 Qualidade do entorno - impactos (critério 1.2)

Os indicadores e as condições da qualidade do entorno da HiS estão apresentadas na tabela 4.3 e a figura 4.23 traz uma imagem aérea do entorno da edificação, chamando a atenção para um raio de 2,5 quilômetros ao redor da mesma para comprovar a inexistência de impactos advindos do entorno.

Tabela 4. 4 - Indicadores para a Qualidade do entorno - impactos

Indicadores Selo Azul	Condições do entorno
Inexistência em um raio de, pelo menos, 2,5 quilômetros de fontes de ruídos excessivos e constantes, como rodovias, aeroportos e alguns tipos de indústrias.	Não há fontes de ruídos excessivos e constantes próximos ao local. A rodovia dos Inconfidentes, apesar de possuir um trecho dentro deste raio, não transmite ruídos audíveis para a localização.
Inexistência em um raio de, pelo menos, 2,5 quilômetros de odores e poluição excessivos e constantes, advindos de estações de tratamento de esgoto, lixões e alguns tipos de indústrias.	Não há fontes de odores e poluição excessivos e constantes dentro do raio de 2,5 quilômetros.

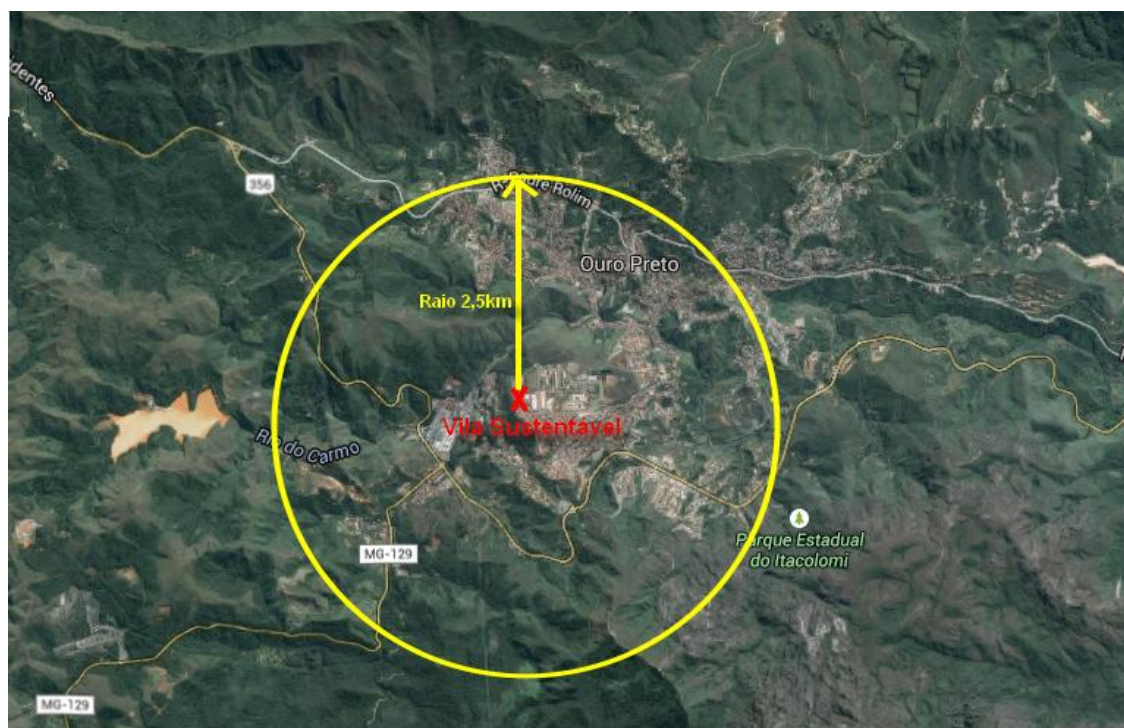


Figura 4. 23 - Indicadores de qualidade do entorno em um raio de 2,5 Km
Fonte: Google Earth adaptado

4.6.1.18 Práticas sociais (critério 6.1, 6.2 e 6.7)

Conforme Cristeli (2015) é previsto que para a construção da HiS todos trabalhadores envolvidos sejam devidamente treinados e participem de ações educativas para dotá-los de competências relacionadas aos produtos e processos envolvidos, às ferramentas e aos equipamentos utilizados, considerando principalmente a gestão dos resíduos de construção e demolição.

Está estabelecida a realização de práticas de educação ambiental dos empregados envolvidos na obra, considerando a realização de treinamentos especializados envolvendo os assuntos previstos na tabela 4.4, objetivando o consumo moderado de recursos naturais e manufaturados e o não desperdício de água e energia elétrica, dentre outros.

Essas práticas poderão envolver oficinas, cursos, palestras, campanhas, simulações da utilização dos equipamentos oferecidos, etc., valorizando sempre os métodos que apresentarem os melhores resultados.

Tabela 4. 5 - Competências dos trabalhadores da produção nos canteiros de obras envolvendo a questão ambiental

Elementos de competências	Componentes de competências
1. Comportar-se no trabalho, em sociedade e no ambiente familiar de modo ambientalmente sustentável	<ul style="list-style-type: none">• conhecer os desafios ambientais considerados obrigatórios do Selo Azul: o conservação dos recursos materiais (Utilização do Local para Coleta Seletiva, Qualidade de Materiais e Componentes e Formas e Escoras Reutilizáveis); economia de energia (Desempenho Térmico das Vedações, Orientação ao Sol e aos Ventos, Lâmpadas de Baixo Consumo e Medição Individualizada de Gás); economia de água (Dispositivos Economizadores de Água, Medição Individualizada de Água e Dispositivos Economizadores);• noções gerais sobre as alternativas de construção sustentável adotadas no empreendimento e suas implicações positivas e negativas ao meio ambiente.
2. Economizar recursos nas atividades do canteiro de obras	<ul style="list-style-type: none">• conhecer a origem dos recursos e os impactos ambientais de sua exploração;• conhecer as principais origens dos desperdícios de materiais nos canteiros de obras relacionados à ocupação profissional e as formas de minimizá-los;• conhecer as formas de economia de energia e de água possíveis de serem praticadas no canteiro de obras;• organizar o trabalho de modo a considerar as formas de minimização de perdas e de economia de energia e de água;• programar mecanismos de monitoramento.
3. Produzir com qualidade	<ul style="list-style-type: none">• conhecer os princípios da qualidade;• conhecer as principais origens da não qualidade relacionadas à ocupação profissional e as formas de minimizá-las;• organizar o trabalho de modo a considerar as formas de minimização da não qualidade;• programar mecanismos de monitoramento.

Fonte: Manual Selo Azul da CAIXA (2010)

Prevê-se a participação e envolvimento dos pesquisadores acadêmicos e estudantes em investigação científica na UFOP, bem como os futuros usuários da HiS, de forma a disseminar as características técnicas e funcionais da construção, assim como as boas práticas comportamentais.

É prevista a distribuição de um Manual do Proprietário a conter as informações presentes de forma didática e resumida nesse projeto de pesquisa para ser distribuída aos usuários e visitantes do empreendimento.

4.7 Composição de custos

Para comparação dos custos dos materiais convencionais, a serem utilizados na construção da HiS, aos rejeitos de siderurgia, escória de aciaria elétrica e LD, foram identificados os preços médios dos insumos para a obra bruta. Na tabela 4.6, a seguir, podem-se visualizar os preços médios comumente praticados na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) para os agregados naturais, segundo dados de agosto sobre o custo de referência de insumos em MG publicado pelo SINAPI (2014) e praticados no mercado, além do preço para os agregados artificiais (escória de aciaria), o que inclui o custo do processo de beneficiamento para segregação das frações de interesse, disponibilizado por empresa especializada estabelecida na RMBH. Foram considerados o mesmo custo de frete para os diferentes tipos de agregado. Observa-se que, mesmo com os gastos do processamento e beneficiamento, o agregado obtido das escórias de aciaria possui custo inferior aos agregados naturais.

Tabela 4. 6 - Preço médio dos insumos da construção civil

Material	Preço médio/Unidade
Areia	R\$ 80,00/m ³
Brita	R\$ 60,50/m ³
Escória de Aciaria*	R\$ 5,30/m ³
Cimento CP-III	R\$ 22,00/saco 50kg
Cimento CP-V - ARI	R\$ 25,00/saco 40 kg
Cal hidratada	R\$ 0,50/Kg

Fonte: SINAPI (2014)

*Fornecido por empresa especializada da RMBH

A partir do preço médio dos insumos obtidos no mercado da construção civil foram determinados os preços por unidade para os blocos de alvenaria e blocos de pavimentação, conforme traços estabelecidos por Peixoto *et al.* (2012) e

apresentados no anexo A deste projeto de pesquisa. O rendimento obtido para uma betonada, segundo informações de unidade fabril da RMBH, é de 65 blocos de alvenaria e 90 blocos de pavimentação para cada 50 kg de cimento utilizado, considerando as escórias de aciaria como agregados. Para a determinação do preço por m³ do concreto moldado *in-loco*, para ser utilizado nas lajes de fundação e de cobertura da HiS, foram considerados os traços para resistência de 20 Mpa, por *software* específico considerando o método IPT, estabelecidos também por Peixoto *et al.* (2012) e apresentados no anexo A. Para a construção das casas foram considerados dois tipos de argamassa, uma de assentamento e outra para revestimento, ambas em camada única.

A tabela 4.7 a seguir, apresenta os custos para composição unitária de uma unidade da HiS, de aproximadamente 50 m², em relação aos elementos básicos necessários para a obra bruta em função dos traços para composição de cada elemento construtivo. O custo de produção/construção, incluindo a mão de obra, foi desconsiderado nesta etapa, pois não há diferenciação entre os métodos de construção com agregados naturais ou artificiais de escória de aciaria.

Tabela 4. 7 - Custo comparativo de uma unidade

Elemento	Agregado	Preço unitário ou m³	Quantidade por casa	Preço Total
Bloco de alvenaria	Natural	R\$ 2,00	2000	R\$ 4.000,00
	Artificial	R\$ 0,70	2000	R\$1.400,00
Bloco de pavimentação	Natural	R\$ 1,70	13.500	R\$ 22.950,00
	Artificial	R\$ 0,60	13.500	R\$8.100,00
Concreto	Natural	R\$ 522,94	9,70 m ³	R\$ 5.072,50
	Artificial	R\$ 277,68	9,70 m ³	R\$ 2.693,60
Argamassa de assentamento	Natural	R\$ 453,94	1,55 m ³	R\$ 703,60
	Artificial	R\$ 266,77	1,55 m ³	R\$ 413,50
Argamassa de revestimento	Natural	R\$ 461,84	5,6 m ³	R\$ 2586,30
	Artificial	R\$ 277,09	5,6 m ³	R\$ 1551,70

O valor total encontrado para os insumos necessários na construção bruta de uma unidade habitacional com agregados naturais é de R\$ 35.312,40 enquanto o custo para a construção utilizando agregados artificiais de escória de aciaria alcançou o valor de R\$ 14.158,80, o que significa uma diferença de R\$ 21.153,60, ou seja, 59,90% menor em relação ao valor com os insumos básicos para a produção dos elementos construtivos da HiS.

Segundo dados sobre os custos unitários básicos de construção de agosto do Sinduscon-MG (2014), o preço do metro quadrado construído no Estado de Minas Gerais custa em média R\$ 746,21 para construções de Projeto de Interesse Social (PiS). Logo, para o cálculo do custo unitário básico (custo do m²) da HiS, foi encontrado o valor R\$ / m² dos materiais propostos, já o valor de mão-de-obra, despesas administrativas e equipamentos, foram considerados idênticos para HiS e PiS. Considerando que a unidade modelo da HiS em estudo, tem 45,70 m², desconsiderada a pavimentação das áreas externa que farão o uso de blocos de pavimentação, tem-se um custo final da construção com agregados naturais e agregados de escória de aciaria elétrica e LD de acordo com a tabela 4.8.

Tabela 4. 8 - Custo unitário e total para a construção de uma casa padrão PiS

Construção	Elementos	Custo do m²	ACT* (m²)	Total
Unidade padrão PiS	Convencionais	R\$ 746,21	45,70	R\$ 34.101,80
Unidade HiS	Propostos	R\$ 610,00		R\$ 27.877,20

*ACT = Área Construída Total

É importante ressaltar que o custo de mão de obra não se altera para a construção quando se utiliza os agregados de escória de aciaria, com isso, a redução de 18,25% no custo final da obra é relativa à redução no preço dos insumos básicos.

Além disso, deve-se considerar a redução dos custos operacionais, de uso, da HiS em função da adoção de critérios sustentáveis estabelecidos por certificação de sustentabilidade para edificações, como adoção de estratégias para a redução do consumo de água e energia, bem como outras medidas que, apesar de gerarem um investimento inicial maior, proporcionam uma redução de até 19% dos gastos na operação do edifício, em comparação com a média nacional (USGBC, 2013).

5 CONCLUSÕES

Como ponto de partida da pesquisa, a análise dos resultados de diversos trabalhos a citar Masuero (2004), Peixoto e Padula (2009), Silva (2011), Souza (2011), Gomes (2011), Januzzi (2012), Santos (2013), Souza (2013), França (2013), Januzzi (2014), Santos (2014) e com base em trabalhos científicos internacionais de Shi (2004), Thanaya (2010) e Netinger (2011) permitiu certificar que agregados de escória de aciaria possuem características físicas, químicas e mecânicas capazes de atender as normalizações aplicáveis aos agregados naturais e ainda produzir matrizes de cimento Portland duráveis, quando devidamente processados e estabilizadas.

Para o exame da aplicação de elementos construtivos contendo agregado de escória de aciaria em um modelo habitacional, o diagnóstico dos projetos arquitetônico e complementares do projeto da HiS, Vila Sustentável, verificou-se que o mesmo atendeu aos requisitos prescritos na norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) quantos aos aspectos de funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico; e comportamento térmico.

A análise do projeto atestou que a geometria e dimensões dos ambientes, bem como mobiliários e equipamentos previstos atendem às condições determinadas na NBR 9050 (ANBT, 2004) para os portadores de necessidade especiais e mobilidade reduzida, em 50% das unidades habitacionais. A largura mínima de circulação interna entre todos os compartimentos foram superiores ao exigido. A altura dos pés-direitos superaram os 2,50 metros mínimos. Os mobiliários e equipamentos necessários e suas dimensões para cada tipo de compartimento ultrapassaram as condições mínimas previstas para a cozinha com o gabinete, pia e bancada de apoio; área de serviço com o tanque; e no quarto de solteiro com o armário e a cama. Ainda foi atestado que todo o acesso externo à HiS, as áreas comuns, são acessíveis por caminhos com configurações adequadas à norma e contemplando rampas de inclinações iguais ou inferiores a 8,33% exigidas.

A verificação das especificações das camadas de acabamento do piso e sua superfícies regularizadoras para a fixação atestou que as inclinações internas às unidades habitacionais (cerâmica de 31x31 cm sobre argamassa de assentamento) e externas (piso intertravado de concreto do tipo Pavi-S sobre o terreno), excluindo

as rampas conforme normatização, são iguais ou inferiores a 0,15%, ou seja, após construção deverá apresentar valores inferiores a 3 mm com medição em régua de 2 metros de comprimento em qualquer direção conforme estabelecido na NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os resultados obtidos com a análise do comportamento térmico em atendimento aos parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2013) demonstraram que o uso de elementos construtivos com matrizes de cimento Portland com agregado de escória de aciaria proporcionam uma melhora no desempenho térmico da edificação se comparado ao uso de elementos construtivos com agregados naturais. A simulação computacional, via software *EnergyPlus*, apontou que a HiS empregando elementos construtivos com escória de aciaria LD teve o melhor nível de desempenho em comparação com as outras condições com agregado natural ou agregado de escória de aciaria elétrica. Destaca-se que os valores de condutividade térmica obtidos para os elementos construtivos propostos - concretos e argamassas sustentáveis - são qualitativos e não descartam uma análise pós-construção do conjunto habitacional para medição e validação do desempenho térmico em condições críticas, em campo, de um dia típico de verão e de inverno.

Atestou-se ainda que a adição do resíduo sólido, escória de aciaria, usado como agregado para a produção de elementos da construção em concreto e argamassa para uso na HiS não apresenta potencial de contaminação e prejuízo na durabilidade dos elementos construtivos, apresentando comportamentos semelhantes aos elementos construtivos com agregados naturais.

O projeto da HiS analisado atende à proposta de uma edificação de unidades habitacionais de interesse social, cujos projetos arquitetônicos e complementares são alinhados às estratégias de eficiência ambiental, cumprindo os pré-requisitos obrigatórios e critérios relevantes, orientados pela metodologia do selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal. Nesse quesito, foi verificado que a análise comparativa entre certificações de sustentabilidade para edificações é muito complexa na medida em que cada certificação tem um modelo de avaliação particular e aborda aspectos distintos da sustentabilidade. Adotando o Método da Análise Hierárquica desenvolvido por Grünberg, Medeiros e Tavares (2014), pode-se atestar que a certificação desenvolvida com base na realidade social e econômica do país em

questão reforça a solidez de avaliação dos critérios necessários e imprescindíveis ao projeto na localidade prevista. O selo Casa Azul sendo um instrumento voluntário que permite o financiamento da edificação habitacional pelo banco, também pode servir como suporte financeiro para a fase de construção da HiS.

Quanto ao aspecto econômico, o comparativo dos custos dos insumos utilizados para a fabricação dos elementos construtivos básicos para a HiS indicaram que os agregados de escória de aciaria em substituição ao agregados naturais apresentam uma redução significativa no custo final das unidades habitacionais. Foi identificado, com base no preço médio dos insumos fornecido pelo SINAPI (2014) que o total necessário para a obra bruta é quase 60% inferior se os elementos construtivos na HiS substituírem integralmente os agregados – brita e areia – por escória de aciaria. E que o custo unitário básico da HiS, com base em dados do Sinduscon-MG (2014), chega a ser mais de 18% inferior ao de um PiS (Projeto de Interesse Social) que é tabelado com base nos elementos construtivos usualmente empregados no mercado.

Desta forma, o projeto de pesquisa aponta a real possibilidade de incorporação do resíduo siderúrgico como insumos na produção de matrizes de cimento Portland destinadas à construção civil. Especificamente, concretos e argamassas, elementos básicos do processo construtivo, com conteúdo reciclado pela substituição integral dos agregados naturais (brita e areia) por agregados artificiais (escória de aciaria).

Os elementos construtivos estudados, associados às técnicas de projeto, indicam o desempenho e a eficiência ambiental para a produção de unidades habitacionais do ponto de vista construtivo e operacional em equilíbrio com o meio ambiente e adequado ao usuário, conforme os parâmetros de habitabilidade, segurança e sustentabilidade da NBR15575 (ABNT, 2013).

Por outro lado, tendo em vista as atuais carências sociais e econômicas do Brasil, a inovação tecnológica deve preferencialmente ter aplicabilidade e proporcionar resultados socioeconômicos positivos. Nessa perspectiva, este projeto de pesquisa torna-se relevante ao contribuir com a política nacional de redução do déficit habitacional brasileiro, ao propor modelos habitacionais que fazem uso de produtos “sustentáveis” e que promovem soluções de projeto e de construção voltados para a

melhora da qualidade ambiental e social de toda uma população carente de mais de 5,4 milhões de domicílios, déficit habitacional brasileiro estimado pelo IBGE em 2011.

A busca por novas alternativas tecnológicas para substituição de agregados naturais por agregados artificiais que possam ser utilizados no setor da construção civil favorece o desenvolvimento tecnológico de novos produtos, tomando por base os resíduos sólidos industriais. Desta forma, o estudo vem atestar a contribuição de reduzir o lançamento de rejeitos no meio ambiente e a geração de CO₂ durante a fabricação destes elementos, alinhado a um modelo de habitação de interesse social.

Diante disso, o projeto de pesquisa demonstra o potencial de tornar a HiS, Vila Sustentável, um modelo edificado de sustentabilidade para o mercado de habitação de interesse social, além de permitir a integração do modelo aos programas governamentais de incentivo social, que devem, mesmo em momentos de crise econômica, serem prioridade.

Com toda a experiência adquirida neste projeto de pesquisa fica a reflexão mais ampla a ser instigada pela citação dos seguintes autores:

“[...] As metas do desenvolvimento sustentável na construção civil não deveriam se limitar aos métodos de auxílio à realização de projetos de alta qualidade ambiental, esse seria apenas o começo de um processo muito mais complexo, que deve estender-se ao projeto das cidades, envolvendo a formulação de políticas para o desenvolvimento urbano sustentável.” (SALGADO; CHATELET; FERNANDEZ; 2012, p. 17)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma consolidada, as contribuições positivas mais relevantes identificadas a partir do desenvolvimento de produtos de base tecnológica, pela reciclagem e reutilização de rejeitos sólidos de siderurgia em substituição aos agregados naturais na produção de HiS, devem ser:

Para a academia:

- A geração e a disponibilização de mais produção científica voltada para a busca de inovações tecnológicas dos elementos construtivos;
- A criação de outras demandas de pesquisa relacionadas à área.

Para a indústria/comércio:

- O surgimento de produtos tecnológicos inovadores;
- A necessidade de aprimoramento dos produtos já existentes no mercado;
- A criação de novas demandas pelo mercado consumidor;
- A necessidade de redução dos custos dos produtos tradicionais, produzidos com matéria prima natural.

Para a sociedade:

- A geração de novos empregos, com o surgimento do segmento inovador voltado para a fabricação dos novos materiais;
- A geração de empregos na construção civil, com o incremento do setor pela redução do custo das habitações;
- A redução do déficit habitacional com o aumento da construção de unidades habitacionais de interesse social pela a redução do seu custo.

Para o setor da construção civil:

- O aquecimento do setor pelo o aumento da demanda por construções em função do menor custo;
- A redução dos custos da construção, devido ao menor custo do resíduo em relação ao agregado natural e à proposta de construção modular e flexível, que contribui com a diminuição do desperdício de materiais e do retrabalho;
- A redução dos custos na operação das unidades habitacionais pela economia de energia, água e maior conforto térmico sem uso de sistemas mecânicos de refrigeração.

Para a indústria siderúrgica:

- A destinação/apropriação adequada dos resíduos gerados trazendo como consequência:
 - A redução dos passivos ambientais e autuações na cadeia de produção do aço;
 - A possibilidade de mitigação de desastres ambientais;
 - A redução dos custos de gerenciamento ambiental, com a diminuição da necessidade de aterros industriais e áreas internas de estocagem intermediária;
 - A possibilidade de geração de receita com a comercialização desse tipo de coproduto.

Para o meio ambiente:

- A redução da extração de recursos naturais - areia e brita - para a cadeia produtiva da construção civil, pela apropriação de resíduos como matéria prima.

6.1 Estudos futuros

Como proposta para consolidação deste estudo, sugerem-se a determinação de parâmetros para a HiS proposta, em condições de utilização, em campo, conforme proposta esquemática apresentada na figura 6.1, a seguir.

Recomenda-se, como estudos futuros, a realização de procedimentos, prévios à construção, que contemplem a avaliação da segurança estrutural e contra incêndio; saúde, higiene e qualidade do ar; e estanqueidade. E, após a efetiva construção do modelo piloto da HiS, aconselha-se a realização das medições para a verificação de parâmetros relacionados ao conforto térmico; acústico; lumínico; e avaliação da segurança no uso e operação.

O atendimento aos pré-requisitos da selo Casa Azul na fase de construção devem ser praticados e contemplam: a gestão dos resíduos de construção e demolição; a previsão e proposição de gestão para coleta seletiva; o atendimento aos padrões de compra de materiais e componentes do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Hábitat; uso de fôrmas e escoras reutilizáveis; e a aplicação das práticas sociais para treinamento e disseminação de todas as ações vinculadas ao atendimento dos critérios do selo.

Por fim, aconselha-se, como contribuição à garantia de desempenho e mitigação dos impactos ambientais na construção da HiS, a prática de procedimentos construtivos que sejam capazes de considerar:

- Gestão do processo executivo, em que sejam considerados e previnam os riscos de desconfinamento do solo, deslizamentos de taludes, erosões, tratamento de efluentes, bem como a avaliação da contaminação do solo ou da água a partir de metodologias construtivas pré-determinadas e racionalizadas;
- Gestão da qualidade e desempenho dos insumos utilizados no processo construtivo, bem como eficiência energética (aspectos relacionados à iluminação natural e artificial) e consumo de água das instalações hidráulicas que demonstrem a exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de

energia e de matérias-primas. Além do uso de materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais à sua utilização final;

- Gestão dos resíduos no canteiro de obras eventualmente, de forma a minimizar sua geração e possibilitar a segregação de maneira adequada para facilitar o reuso, a reciclagem ou a disposição final em locais específicos.

A integração de todas medidas apresentadas nesse projeto de pesquisa, associadas as propostas de estudos futuros, para a HiS, a qual contempla o uso de elementos construtivos – argamassas e concretos sustentáveis – com agregados de escória de aciaria, possibilita uma VU (Vida Útil) mais longa para a edificação quando abrange materiais e sistemas construtivos de qualidade, associados à manutenção periódica da mesma no seu uso.

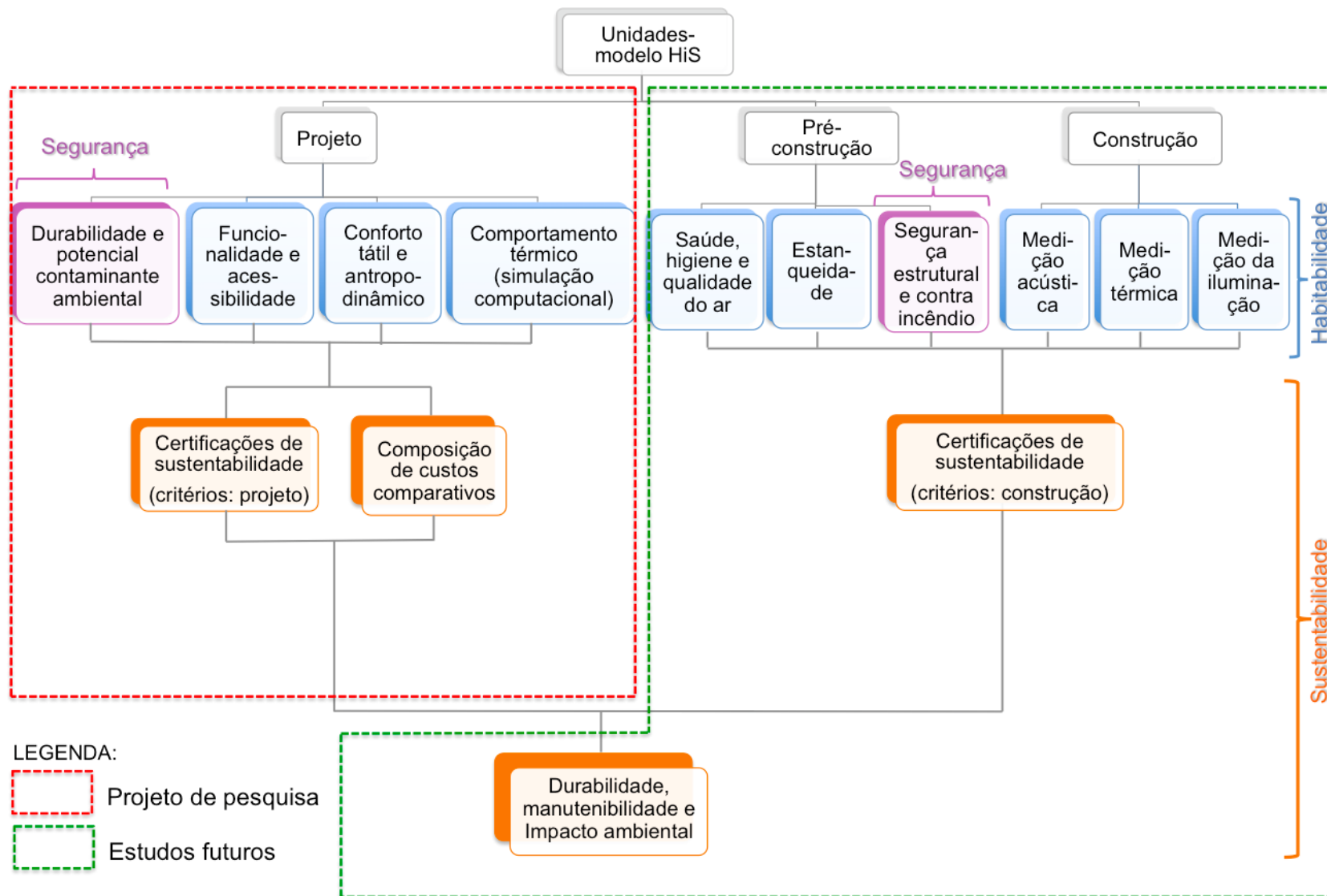


Figura 6. 1 - Plano experimental para estudos futuros

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE OAC, SILVA FJL, ANDRADE PEP, PARECY E e CARUSO GL. **Atlas eólico: Minas Gerais**. Companhia Energética de Minas Gerais, 2010. 84p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook: Fundamentals**. Atlanta, ASHRAE, 2010.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10004. Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12118. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 13279. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13.753. Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmica e com utilização de argamassa colante - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 15220. Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIATION STANDARD TEST METHOD (ASTM). C-1012. **Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution**. Estados Unidos, 1997.

ASSOCIATION STANDARD TEST METHOD (ASTM). C-426. **Standard Test Method for Linear Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units**. Estados Unidos, 2010.

BAUER, L. A. Falcão (Coord.) *et al.* **Materiais de Construção I**. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

BLACHERE, G. **Ideas about the performance Concept, a right start but..., Build International**, Rotterdam, Julho de 1970.

BONACHESKI, V.. **Alvenaria Estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso, PUC-RS. Porto Alegre: 2006.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Escola Politécnica de Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

BOSCOV, M.E. **Geotecnia Ambiental**. Ed. Oficina de Letras. São Paulo, 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. Política nacional de habitação - Cadernos 4. Novembro, 2004.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; TRIBESS, A. **Emprego do programa computacional EnergyPlus na análise de alternativas de projeto de habitação visando o conforto térmico do usuário**. In: IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 2011, Ouro Preto. Proceedings of XXXII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2011.

Caixa Econômica Federal. **Guia Caixa – Sustentabilidade Ambiental – Casa Azul – Caixa construção Sustentável – Selo Casa Azul: Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável**. 2010.

Caixa Econômica Federal. **Selo Azul da Caixa**: Disponível em: <http://www12.caixa.gov.br/portal/public/rse/home/nossos_relacionamentos/meio_ambiente/programa_construcao_su> Acessado em 02 de Janeiro de 2014.

Caixa Econômica Federal. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) – Custo referência de insumos de MG**. 2014.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Gadioli Cipolla Comunicação. Fortaleza, 2013.

Câmara da Indústria e do Comércio e FIEMG. **Guia de sustentabilidade do Setor de Artefatos do Cimento**. 2009.

Clube of Rome. **The Limits to Growth**. Disponível em: <<http://www.clubofrome.org/>>. Janeiro de 2012.

Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 307: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da União. 17 de julho de 2002.

CRISTELI, Pablyne Sant'Ana. **Certificações ambientais e suas aplicabilidades no Brasil: estudo de caso da Vila Sustentável** (monografia de graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Ouro Preto, MG, 2015.

Degiovanni, A., Maillet, D., André, S., Batsale, J. C., Moyne, C. "**Thermal Quadrupoles. Solving the Heat Equation Through Integral Transforms**", John Wiley & Sons, Ltd, 2000, ISBN 0 471 98320 9.

Degiovanni, **A. Conduction**. Institut National Polytechnique de Lorraine. INPL – ENSEM, module 02-02-003, 1997.

DORNELLAS, Kelly Almeida. **Absortância solar de edifícios opacos: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA** (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. Campinas, SP, 2008.

EDWARDS, BRIAN. **O guia básico para a sustentabilidade**. RIBA Enterprises, 2005. 2ª edição.

ELETROBRÁS, PROCEL. **Lâmpadas Fluorescentes Compactas**. 2015. Disponível em < www.eletronbras.com.br>. Acessado em 15 de setembro de 2015.

EMBRAPA. **Tecnologia Social, Fossa Séptica Biodigestora. Saúde e Renda no Campo. Brasília**: Fundação Banco do Brasil, 2010

EMBRAPA. **Fossas Sépticas Biodigestoras em Sistemas Agrícolas Familiares na Borda Oeste do Pantanal**. Disponível em < <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/FOL155.pdf>>. Acessado em 14 de setembro de 2015.

FERNANDES, Haroldo Carlos *et al.* **Desenvolvimento e avaliação de placas pré-moldadas de argamassa armada para circulação de água, visando à utilização em maternidade de suínos**. Viçosa: REVENG - Engenharia na agricultura. 2011. 395-403 p.

FRANÇA, Marcela Bruna Braga *et al.* **Argamassas de escória de aciaria elétrica para assentamento de alvenarias e revestimentos**. X Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. Fortaleza, 2013.

FRANCO, Luiza Carvalho. **Análise dos quesitos de sustentabilidade do selo LEED aplicados ao projeto do novo edifício do IPLEMG**. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura. 2012.

FROTA, Anésia Barros. **Manual do conforto térmico: arquitetura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer**. 5. Ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

Fundação Vanzolini. **Referencial técnico de certificação Edifícios habitacionais – Processo AQUA**. Agosto 2012. Versão 1.

Fundação Vanzolini. **Guia de Certificação – Processo AQUA – Construção Sustentável**. FCAV. Versão 2. 2013.

Fundação Vanzolini. **Processo AQUA**. Disponível em: <www.processoaqua.com.br/> Acessado em 02 de janeiro de 2014.

FURTADO, B. A.; NETO, V. C. L.; KRAUSE, C. **Nota Técnica N°1 – Estimativas do déficit habitacional brasileiro (2007-2011) por municípios (2010)**. Brasília, maio de 2013.

GBC Brasil. **LEED Casa**. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/?p=referencialCasasApresentacao>> Acessado em 02 de Janeiro de 2014.

GESTÃO DE COPRODUTOS. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico: 2008**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. (Nota Técnica).

GOMES, Viviane de Jesus *et al.* **Habitações sustentáveis construídas a partir de elementos construtivos produzidos com resíduos de escória de aciaria**. Florianópolis: Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto, 2011.

Governo Federal. **Rio + 20**. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/>, Brasil, Dezembro de 2011.

Green Building Council Brasil. **Referencial GBC Brasil Casa – Planilha de Pontuação do Projeto – Versão Piloto**. 2012.

GRÜNBERG, P. R. M., MEDEIROS, M. H. F., TAVARES, S. F. **Certificação ambiental de habitações: comparação entre LEED for Homes, Processo Aqua e Selo Casa Azul**. Ambiente & Sociedade, 2014. Vol.17, nº.2, p.195-214.

GRUPO DE PESQUISA RECICLOS. REC02 – **Determinação de expansibilidade de blocos de concreto através de ciclos de molhagem e secagem**. 2011.

GUISARD-RESTIVO, T. A., Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society 15-18/junho/2003 – João Pessoa - PB – Brasil**.

HABITARE - **Programa de Tecnologia de Habitação. Habitare: resultados de impacto 1995/2007**. FINEP.

HOOTON, R.D; ROGERS, C.A. **Development of the NBRI rapid mprtar bar test leading to its use in North America**. Construction and Building Materials, volume 7, número 3, 1993.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados estatísticos de 2012 do déficit habitacional**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 5 de Maio de 2014.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 6ª edição. 2011.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2010 / 2011 / 2012 / 2013**. Rio de Janeiro, 2011, 2012, 2013, 2014.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.

IPEA/PNAD. **NOTA TÉCNICA estima o déficit habitacional brasileiro. 17 de Maio de 2013**. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=18179>. Acessado em 28 de Maio de 2014.

JANUZZI, Rafael. Vital *et al.* **Estudo do comportamento mecânico de blocos produzidos com escória de aciaria elétrica visando à aplicabilidade em Alvenaria Estrutural**. Natal: Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014.

JANUZZI, Rafael. Vital. **Estudo do comportamento mecânico de blocos com escória de aciaria visando à aplicabilidade em Alvenaria**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil Curso de Graduação em Engenharia Civil, 2012.

JOHN, V.M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Tese (livre docência).102p. 2000.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projetos de edificações sustentáveis**. Bookman, 2010.

KULISCH, Daniele. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto** (monografia). Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2011.

MASUERO, Angela Borges; et. al. **Estabilização e viabilidade técnica da utilização de escória de aciaria elétrica**. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008.

MELO, Lucia Carvalho Pinto de *et al.* **Gestão de Coprodutos. Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico: 2008**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.

MENDES, J. C. **Protocolo RECICLOS #4. Determinação do calor específico**. RECICLOS: Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos. Ouro Preto, 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Dados habitacionais**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=137&Itemid=55>. Acessado em 28 de Maio de 2014.

MOURA, M. J., FIGUEIREDO, M. M. “**Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de E. globulus**”, *Silva Lusitana*, 10 (2) (2002) 207-216.

NABESHIMA, Cinthia K. Y.; ORSOLIN, Kátia; SANTOS, Rafael K. X. dos. **Análise Comparativa Entre Sistemas de Pavimentação Urbana Baseados em Concreto Asfáltico e Blocos de Concreto Intertravados (Pavers)**. 2011. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Produção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NETINGER, Ivanka; *et al.* **Utilisation of steel slag as an aggregate in concrete**. Croatia: Materials and Structures, 2011.

NOVAES, Antônio Pereira de. *et al.* **Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do Saneamento Rural e desenvolvimento da Agricultura Orgânica**. Disponível em <http://www.cnpdia.embrapa.br/menuleft_desenv_produtos/fossa.pdf> Acessado em 14 de setembro de 2015.

ONU. **Eco-92**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente/>>. Abril de 2012.

ONU-Habitat. **Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos**. Agosto, 2012.

ORDENES, Martin; *et al.*; **Transferência de calor na envolvente da edificação**. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFSC, 2008.

PAULA, D. P. *et al.* **Argamassas de escória de aciaria para assentamento de alvenarias e revestimentos**. X Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. Fortaleza, 2013.

PEIXOTO, R. A. F. *et al.* **Relatório final de Pesquisa em Ciência, Desenvolvimento e Tecnologia para aplicação de escória de aciaria como fração inerte para matrizes de cimento Portland em obras de Infraestrutura e Construção Civil. Concreto, Argamassa, Blocos de Concreto para Alvenaria, Blocos de Concreto para Pavimentação**. Ouro Preto: RECICLOS, 2012.

PEIXOTO, R. A.F.; PADULA, F.R.G. **Uso de escória de aciaria em ciclovia de pavimento rígido**. Revista Técnica 142. Janeiro, 2009.

PEIXOTO, R. A. F. *et al.* **Analysis for Application of Steel Slag in the Production of Concrete Block Paving**. 54th IFHP World Congress, Porto Alegre, 2010.

PEIXOTO, R. A. F. *et al.* **Effect of the substitution of natural aggregates for steel slag in precast Portland cement matrix.** ACI Structural and Materials Journals, 2015.

PINTO, N. O. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil / Nayara de O. Pinto e Luiz Carlos Hermes.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

PRADO, Bruna de Brito; LELIS, Viviane Frascareli; AMARO, Eliane Katayama Pricoli; MAGAGNIN, Renata Cardoso; **"A Qualidade Da Acessibilidade Espacial Em Condomínios Residenciais Multifamiliares De Baixo Custo"**, p. 320-332. In: Anais do 15º Ergodesign & Usihc [=Blucher Design Proceedings, vol. 2, num. 1]. São Paulo: Blucher, 2015.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Introdução aos processos de refino primário dos aços nos convertedores a oxigênio.** São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley M. **Coletânea Habitar - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional.** ANTAC. Porto Alegre, 2003.

RUSSELL, Peter. **Is sustainable development compatible with Western civilization?** Disponível em: <http://www.peterrussell.com/Speaker/Talks/WBA.php>. Acesso em: 12 jun. 2015.

SABBATINI, F. H. **Requisitos e Critérios Mínimos a Serem Atendidos para Solicitação de Financiamento de Edifícios em Alvenaria Estrutural Junto a Caixa Econômica Federal.** Brasília, DF, 2002.

SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. **Produção de edificações sustentáveis.** Ambiente Construído: Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 81-99, 2012.

SANTOS, Diego Haltiery dos. **Análise de blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular** (monografia). Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil Curso de Graduação em Engenharia Civil, 2013.

SANTOS, Diego Haltiery dos *et al.* **Blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para uso em alvenaria modular.** Natal: Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014.

Secretariat for The Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer & The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. **The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer**, 2000. Disponível em: <http://www.unep.org/ozone>.

SILVA, Mateus Justino *et al.* **Pavimentos Sustentáveis – Análise de viabilidade técnicoeconômica para fabricação de blocos de concreto para pavimentos permeáveis.** Florianópolis: Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto, 2011.

SHI, C. **Steel Slag: It's production, processing, characteristics and cementitious properties.** *Journal of Materials in Civil Engineering*. Maio, 2004.

Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON). **Custos unitários básicos de construção.** 2014.

SJOSTROM, E. Service life of the building. In: **Application of the performance concept in building.** CIB: Tel Aviv, 1996, v.2, p.6-1;6-11.

SMITH, D., 1996. **Characterization of Lactose by Helium Pycnometer.** In Stephens, K. (ed.), *The Microreport: News and Ideas for Decision Makers*, 2nd Quarter, 7(2) Micromeritics Instrument Corporation, USA.

SMLU. **Caracterização dos resíduos sólidos de Belo Horizonte realizada pela SLU.** Belo Horizonte, 2004.

SODRÉ, Enaile Sousa Rodrigues; RAPOSO, Myrtes; BRAIDA, Frederico; **"Acessibilidade no Ambiente Residencial: Um Estudo de Caso em um Conjunto Habitacional para População de Média e Baixa Rendas em Juiz de Fora"**, p. 368-379. In: *Anais do 15º Ergodesign & Usihc [=Blucher Design Proceedings, vol. 2, num. 1]*. São Paulo: Blucher, 2015.

SOUZA, Bárbara Ponciano de; GOMES, Viviane de Jesus; PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti. **Produção de concreto através da substituição do agregado natural por resíduo sólido de siderurgia (escória de aciaria).** Ouro Preto: XIX Seminário de Iniciação Científica - Departamento de Engenharia Civil - Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

SOUZA, Bárbara Ponciano de. **Pavimentos ecológicos permeáveis.** Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil Curso de Graduação em Engenharia Civil, 2013.

STIEF, J. N. P. **Análise das deformações, por extensometria, em concreto armado convencional e com agregados de escória de aciaria.** 130p. (Tese de Mestrado) – Engenharia Civil, Centro Federal de Educação tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

TA INSTRUMENTS. **Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity.** Disponível em: <<http://thermophysical.tainstruments.com/PDF/brochure/BROCH-ThermalConductivityDiffusivity-2014-EN.pdf>>. 2014.

THANAYA. I. N. A, **Building Blocks Incorporating Waste Materials Bound with Bitumen.** *Civil Engineering Dimension*, Vol. 12, No. 1, Março, 2010.

TRINDADE, Larissa Cristina Moraes. **Análise de alternativas de projeto de habitação visando maior eficiência energética da construção e maior conforto térmico ao usuário.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs. **Population Division World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights**. 2014.

United Nations Framework Convention on Climate Change. **Kyoto Protocol**. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Abril de 2012.

USGBC – United States Green Building Council. **The LEED Green Building Program: Spurring Growth in Sustainable Building, Design and Construction in the U.S. and Across the Globe**. 2013. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/articles/leed-facts>>. Julho de 2015.

WEBB, P.A., ORR, C., 1997. **Analytical Methods in Fine Particle Technology**. **Micromeritics Instrument Corporation**, USA, 301 pp.

World Commission on Environment and Development. **Nosso futuro comum**. 1987.

ANEXOS

ANEXO A – RESULTADOS ENSAIOS LABORATORIAIS: TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO E EMPREGO

AGREGADOS			
Análise	Parâmetro	Resultado	
Teor de metálicos	Protocolo RECICLOS #1	Agregado de escória – Aciaria LD (AE_LD): 62,5% - bruto / 0,14% - pós processado Agregado de escória – Aciaria Elétrica (AE_AE): 52,7% - bruto / 0,04% - pós processado	
Massa unitária	NBR 7251/82	Agregados miúdos: Areia natural: 1,52 g/cm ³ / AE_LD: 1,85 g/cm ³ / AE_AE: 1,86 g/cm ³ Agregados graúdos: Gnaisse: 1,40 g/cm ³ Dolomita: 1,54 g/cm ³ / AE_LD: 1,74g/cm ³ / AE_AE: 1,85g/cm ³	
Massa específica	NBR 9776/87	Agregados miúdos: Areia natural: 2,60 g/cm ³ / AE_LD: 3,03 g/cm ³ / AE_AE: 3,13 g/cm ³ Agregados graúdos: Gnaisse: 2,68 g/cm ³ Dolomita: 2,88 g/cm ³ / AE_LD: 3,32 g/cm ³ / AE_AE: 3,59 g/cm ³	
Teor de umidade	NBR 9939/87	Agregados miúdos: Areia natural: 0,20% / AE_LD: 1,40% AE_AE: 0,92% Agregados graúdos: Gnaisse: 0,30% Dolomita: 0,36% AE_LD: 0,30% AE_AE: 0,40%	
Granulometria	NBR 7217/87 e NBR 7211/09	Agregado miúdo (0-4,8)	
		Areia natural Dimensão máxima: 4,8 mm Módulo de finura: 2,50	AE_LD Dimensão máxima: 4,8 mm Módulo de finura: 2,50
		AE_AE Dimensão máxima: 9,5 mm Módulo de finura: 3,82	
		Amostra agregado graúdo (4,8-9,5)	
		Gnaisse Dimensão máxima: 25,0 mm Módulo de finura: 7,20	Dolomita Dimensão máxima: 25,0 mm Módulo de finura: 7,10
		AE_LD Dimensão máxima: 12,5 mm Módulo de finura: 6,00	AE_AE Dimensão máxima: 19,0 mm Módulo de finura: 6,10

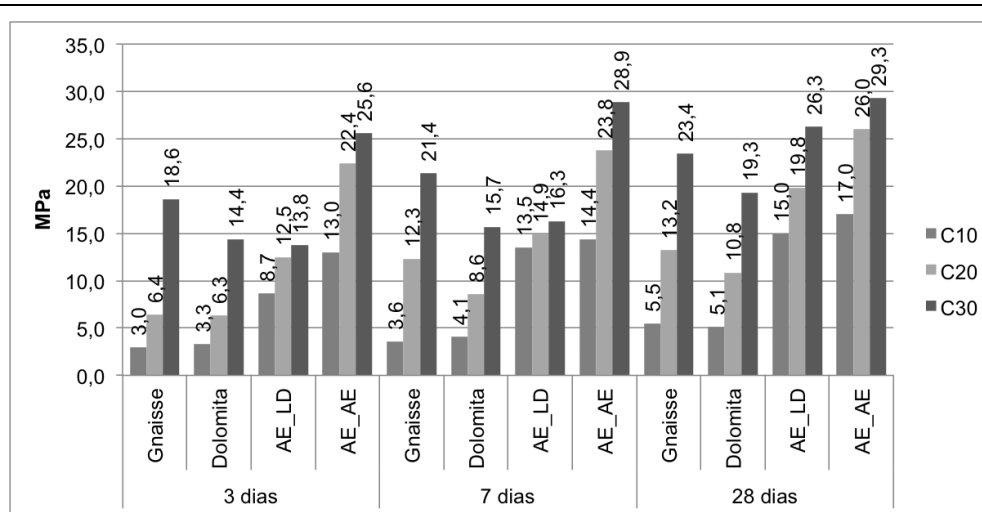
ARGAMASSA																																		
Análise	Parâmetro	Resultado	Observações																															
Dosagem	Software especializado (PAULA e PEIXOTO, 2010), método ABCP.	Traço em peso (kg)	Cal hidratada CH1 Cimento tipo CP-III																															
		<table border="1"> <tr> <td>Cimento</td> <td>Agregado</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Cimento</td> <td>Cal</td> <td>Agregado</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>6</td> </tr> </table>		Cimento	Agregado	1	3	Cimento	Cal	Agregado	1	1	6																					
Cimento	Agregado																																	
1	3																																	
Cimento	Cal	Agregado																																
1	1	6																																
Resistência à compressão	NBR 13279/2005	<table border="1"> <caption>Compressive Strength Data (Mpa)</caption> <thead> <tr> <th>Ratio</th> <th>Mortar Type</th> <th>3 dias</th> <th>7 dias</th> <th>28 dias</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1:3</td> <td>AAN</td> <td>6</td> <td>8,73</td> <td>13,7</td> </tr> <tr> <td>AAE_LD</td> <td>8,6</td> <td>13,5</td> <td>14,3</td> </tr> <tr> <td>AAE_AE</td> <td>10,69</td> <td>15,49</td> <td>19,84</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1:1:6</td> <td>AAN</td> <td>0,9</td> <td>3,1</td> <td>5,8</td> </tr> <tr> <td>AAE_LD</td> <td>1,3</td> <td>3,4</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>AAE_AE</td> <td>2,6</td> <td>4,99</td> <td>6,59</td> </tr> </tbody> </table>	Ratio	Mortar Type	3 dias	7 dias	28 dias	1:3	AAN	6	8,73	13,7	AAE_LD	8,6	13,5	14,3	AAE_AE	10,69	15,49	19,84	1:1:6	AAN	0,9	3,1	5,8	AAE_LD	1,3	3,4	7	AAE_AE	2,6	4,99	6,59	<p>As argamassas constituídas com escória de aciaria em substituição ao agregado natural, com ou sem adição de cal, apresentaram resultados de resistência à compressão superiores em relação as argamassas convencionais, para todas as idades, dosagens e adições.</p> <p>AAE_AE: Argamassa de Agregado de Escória de Aciaria Elétrica</p> <p>AAE_LD: Argamassa de Agregado de Escória de Aciaria LD</p> <p>AAN: Argamassa de Agregado Natural</p>
Ratio	Mortar Type	3 dias	7 dias	28 dias																														
1:3	AAN	6	8,73	13,7																														
	AAE_LD	8,6	13,5	14,3																														
	AAE_AE	10,69	15,49	19,84																														
1:1:6	AAN	0,9	3,1	5,8																														
	AAE_LD	1,3	3,4	7																														
	AAE_AE	2,6	4,99	6,59																														

CONCRETO MOLDADO *IN-LOCO*

Análise	Parâmetro	Resultado				Observações	
Dimensionamento de dosagem	Software especializado (PAULA e PEIXOTO, 2010), método ABCP.	Traço em peso (kg)				Cimento tipo CP-III	
			Cimento	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo		A/C
		Gnaisse					
		C10	1	5,24	7,49		1,38
		C20	1	3,47	5,43		0,99
		C30	1	2,49	4,21		0,65
		Dolomita					
		C10	1	6,23	8,9		1,38
		C20	1	4,15	6,47		0,9
		C30	1	2,97	5,04		0,68
		AE_AE					
		C10	1	4,26	5,33		0,91
		C20	1	2,76	3,86		0,48
		C30	1	1,94	2,99		0,43
		AE_LD					
		C10	1	4,26	5,33		1,75
		C20	1	2,76	3,86		1,32
		C30	1	1,94	2,99		1,21

Resistência à compressão

NBR 13279/2005



Os resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos com escória da Usina 2 foram superiores em relação ao concreto convencional (constituído agregado natural) em todas as idades e em todas as classes. Apesar do desempenho do concreto com agregado reciclado da Usina 1, nas primeiras idades (3 e 7 dias) ser inferior ao do concreto composto com agregado natural de gnaisse aos 28 dias, os resultados se aproximam da usina 2, superando o concreto feitos com agregados naturais.

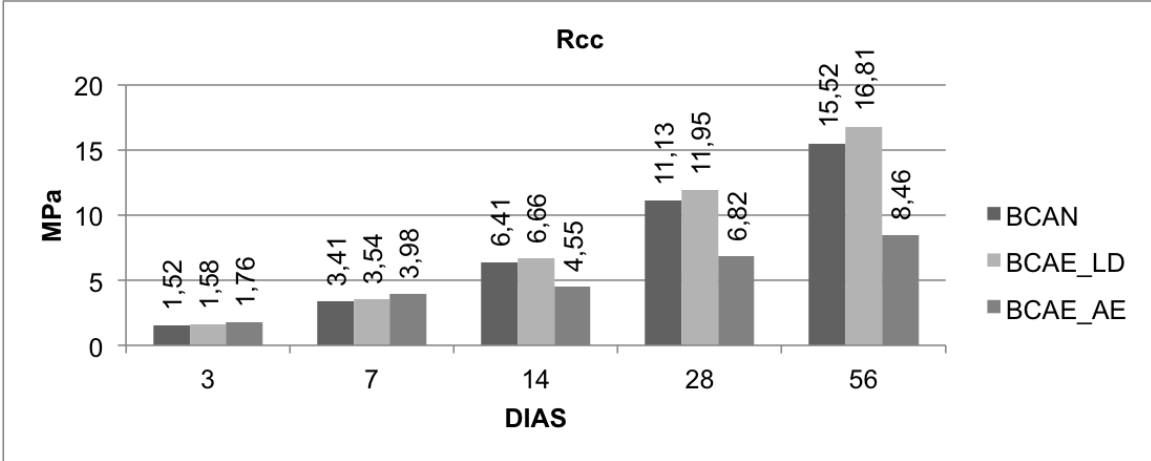
CAE_AE: Concreto de Agregado de Escória de Aciaria Elétrica

CAE_LD: Concreto de Agregado de Escória de Aciaria LD

CAN: Concreto de Agregado Natural

BLOCO DE ALVENARIA

Análise	Parâmetro	Resultado	Observações																																																	
Dimensionamento de dosagem dos blocos	Parâmetros de dosagem definidos pelo grupo de pesquisas RECICLOS	<p>Traço em peso (kg)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cimento</th> <th>Agregado Graúdo</th> <th>Agregado Miúdo</th> <th>A/C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BCAE_LD</td> <td>1,00</td> <td>2,03</td> <td>12,42</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>BCAE_AE</td> <td>1,00</td> <td>2,03</td> <td>12,42</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>BCAN</td> <td>1,00</td> <td>1,39</td> <td>12,5</td> <td>0,50</td> </tr> </tbody> </table>		Cimento	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	A/C	BCAE_LD	1,00	2,03	12,42	1,00	BCAE_AE	1,00	2,03	12,42	1,00	BCAN	1,00	1,39	12,5	0,50	<p>Cimento tipo CP-V</p> <p>BCAE_AE: Bloco de Concreto de Agregado de Escória de Aciaria Elétrica</p> <p>BCAE_LD: Bloco de Concreto de Agregado de Escória de Aciaria LD</p> <p>BCAN: Bloco de Concreto de Agregado Natural</p>																													
	Cimento	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	A/C																																																
BCAE_LD	1,00	2,03	12,42	1,00																																																
BCAE_AE	1,00	2,03	12,42	1,00																																																
BCAN	1,00	1,39	12,5	0,50																																																
Análise dimensional dos blocos	NBR 12118/06	<p>Dimensões dos blocos (mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">BCAN</th> <th colspan="3">BCAE_LD</th> <th colspan="3">BCAE_AE</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>H</th> <th>C</th> <th>L</th> <th>H</th> <th>C</th> <th>L</th> <th>H</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BCAN</td> <td>138,27</td> <td>192,70</td> <td>288,65</td> <td>139,15</td> <td>190,34</td> <td>289,09</td> <td>138,25</td> <td>192,00</td> <td>288,47</td> </tr> <tr> <td>Padrão</td> <td>140,00</td> <td>190,00</td> <td>290,00</td> <td>140,00</td> <td>190,00</td> <td>290,00</td> <td>140,00</td> <td>190,00</td> <td>290,00</td> </tr> <tr> <td>Erro (mm)</td> <td>-1,73</td> <td>2,70</td> <td>-1,35</td> <td>-0,85</td> <td>0,34</td> <td>-0,91</td> <td>-1,75</td> <td>2,00</td> <td>-1,53</td> </tr> </tbody> </table> <p>As médias para dimensões das espessuras das paredes dos blocos são: e transversal: BCAN = 28,05 / BCAA = 25,83 e longitudinal: BCAN = 28,93 / BCAA = 26,53</p>		BCAN			BCAE_LD			BCAE_AE			L	H	C	L	H	C	L	H	C	BCAN	138,27	192,70	288,65	139,15	190,34	289,09	138,25	192,00	288,47	Padrão	140,00	190,00	290,00	140,00	190,00	290,00	140,00	190,00	290,00	Erro (mm)	-1,73	2,70	-1,35	-0,85	0,34	-0,91	-1,75	2,00	-1,53	<p>Os blocos de alvenaria produzidos com agregados de escória de aciaria elétrica e blocos produzidos com agregados naturais atendem aos requisitos normativos relativamente a dimensões, mas não em relação a espessura das paredes longitudinais.</p> <p>L= Largura / H= Altura / C= Comprimento</p>
	BCAN			BCAE_LD			BCAE_AE																																													
	L	H	C	L	H	C	L	H	C																																											
BCAN	138,27	192,70	288,65	139,15	190,34	289,09	138,25	192,00	288,47																																											
Padrão	140,00	190,00	290,00	140,00	190,00	290,00	140,00	190,00	290,00																																											
Erro (mm)	-1,73	2,70	-1,35	-0,85	0,34	-0,91	-1,75	2,00	-1,53																																											
Teor de umidade e absorção de água dos blocos	NBR 9939/87 e NBR 12118/06	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BCAN</th> <th>BCAE_LD</th> <th>BCAE_AE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Teor de umidade (%)</td> <td>1,70</td> <td>3,50</td> <td>2,10</td> </tr> <tr> <td>Absorção (%)</td> <td>7,90</td> <td>5,20</td> <td>4,1 ou 4,90</td> </tr> </tbody> </table>		BCAN	BCAE_LD	BCAE_AE	Teor de umidade (%)	1,70	3,50	2,10	Absorção (%)	7,90	5,20	4,1 ou 4,90	<p>Blocos constituídos com agregado natural absorvem mais água que blocos com escória de aciaria, no entanto todos os tratamentos absorvem menos água que o limite máximo normativo admissível.</p>																																					
	BCAN	BCAE_LD	BCAE_AE																																																	
Teor de umidade (%)	1,70	3,50	2,10																																																	
Absorção (%)	7,90	5,20	4,1 ou 4,90																																																	

Expansibilidade de dos blocos	Protocolo RECICLOS	<p>Expansibilidade dos blocos (mm)</p> <table border="1" data-bbox="566 316 1675 646"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">BCAN</th> <th colspan="3">BCAE_LD</th> <th colspan="3">BCAE_AE</th> </tr> <tr> <th>CP-I</th> <th>CP-II</th> <th>CP-III</th> <th>CP-I</th> <th>CP-II</th> <th>CP-III</th> <th>CP-I</th> <th>CP-II</th> <th>CP-III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>135,1</td> <td>144,5</td> <td>140,5</td> <td>139,1</td> <td>138,8</td> <td>137,1</td> <td>139,4</td> <td>138,5</td> <td>136,9</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>135,3</td> <td>144,4</td> <td>140,8</td> <td>139,2</td> <td>138,8</td> <td>137,0</td> <td>139,5</td> <td>138,4</td> <td>137,0</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>135,2</td> <td>144,4</td> <td>140,6</td> <td>139,3</td> <td>138,7</td> <td>137,0</td> <td>139,4</td> <td>138,7</td> <td>137,0</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>135,2</td> <td>144,4</td> <td>140,7</td> <td>139,0</td> <td>138,3</td> <td>136,9</td> <td>139,4</td> <td>138,5</td> <td>137,0</td> </tr> <tr> <td>Média</td> <td>135,2</td> <td>144,4</td> <td>140,7</td> <td>139,2</td> <td>138,7</td> <td>137,0</td> <td>139,4</td> <td>138,5</td> <td>137,0</td> </tr> </tbody> </table>		BCAN			BCAE_LD			BCAE_AE			CP-I	CP-II	CP-III	CP-I	CP-II	CP-III	CP-I	CP-II	CP-III	7	135,1	144,5	140,5	139,1	138,8	137,1	139,4	138,5	136,9	14	135,3	144,4	140,8	139,2	138,8	137,0	139,5	138,4	137,0	28	135,2	144,4	140,6	139,3	138,7	137,0	139,4	138,7	137,0	56	135,2	144,4	140,7	139,0	138,3	136,9	139,4	138,5	137,0	Média	135,2	144,4	140,7	139,2	138,7	137,0	139,4	138,5	137,0	Não houve significativa expansibilidade para os blocos testados.
	BCAN			BCAE_LD			BCAE_AE																																																																	
	CP-I	CP-II	CP-III	CP-I	CP-II	CP-III	CP-I	CP-II	CP-III																																																															
7	135,1	144,5	140,5	139,1	138,8	137,1	139,4	138,5	136,9																																																															
14	135,3	144,4	140,8	139,2	138,8	137,0	139,5	138,4	137,0																																																															
28	135,2	144,4	140,6	139,3	138,7	137,0	139,4	138,7	137,0																																																															
56	135,2	144,4	140,7	139,0	138,3	136,9	139,4	138,5	137,0																																																															
Média	135,2	144,4	140,7	139,2	138,7	137,0	139,4	138,5	137,0																																																															
Resistência à compressão dos blocos	NBR 12118/06 e NBR 6136/94	 <p>Rcc</p> <table border="1" data-bbox="566 699 1713 1161"> <thead> <tr> <th>DIAS</th> <th>BCAN (MPa)</th> <th>BCAA_LD (MPa)</th> <th>BCAA_AE (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1,52</td> <td>1,58</td> <td>1,76</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>3,41</td> <td>3,54</td> <td>3,98</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>6,41</td> <td>6,66</td> <td>4,55</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>11,13</td> <td>11,95</td> <td>6,82</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>15,52</td> <td>16,81</td> <td>8,46</td> </tr> </tbody> </table>	DIAS	BCAN (MPa)	BCAA_LD (MPa)	BCAA_AE (MPa)	3	1,52	1,58	1,76	7	3,41	3,54	3,98	14	6,41	6,66	4,55	28	11,13	11,95	6,82	56	15,52	16,81	8,46	Tanto os blocos compostos com agregado natural, quanto os blocos com agregado reciclado atingiram resistência de projeto aos 14 dias de idade.																																													
DIAS	BCAN (MPa)	BCAA_LD (MPa)	BCAA_AE (MPa)																																																																					
3	1,52	1,58	1,76																																																																					
7	3,41	3,54	3,98																																																																					
14	6,41	6,66	4,55																																																																					
28	11,13	11,95	6,82																																																																					
56	15,52	16,81	8,46																																																																					

BLOCO DE PAVIMENTAÇÃO

Análise	Parâmetro	Resultado	Observações																																																	
		Traço em peso (kg) <table border="1" data-bbox="566 389 1384 549"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cimento</th> <th>Agregado Graúdo</th> <th>Agregado Miúdo</th> <th>Água</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BCAE_LD</td> <td>78</td> <td>193</td> <td>402</td> <td>44,2</td> </tr> <tr> <td>BCAE_AE</td> <td>78</td> <td>193</td> <td>402</td> <td>44,2</td> </tr> <tr> <td>BCAN</td> <td>78</td> <td>135</td> <td>295</td> <td>32,76</td> </tr> </tbody> </table>		Cimento	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	Água	BCAE_LD	78	193	402	44,2	BCAE_AE	78	193	402	44,2	BCAN	78	135	295	32,76	Cimento tipo CP-V																													
	Cimento	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	Água																																																
BCAE_LD	78	193	402	44,2																																																
BCAE_AE	78	193	402	44,2																																																
BCAN	78	135	295	32,76																																																
Análise dimensional dos blocos	NBR 12118/06	Dimensões dos blocos (mm) <table border="1" data-bbox="566 628 1693 892"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">BCAN</th> <th colspan="3">BCAE_LD</th> <th colspan="3">BCAE_AE</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>H</th> <th>C</th> <th>L</th> <th>H</th> <th>C</th> <th>L</th> <th>H</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BCAN</td> <td>99,4 2</td> <td>80,18</td> <td>198,70</td> <td>98,74</td> <td>81,08</td> <td>198,92</td> <td>100,04</td> <td>60,03</td> <td>230,01</td> </tr> <tr> <td>Padrão</td> <td>100</td> <td>80</td> <td>200</td> <td>100</td> <td>80</td> <td>200</td> <td>100,0</td> <td>80,0</td> <td>200,0</td> </tr> <tr> <td>Erro (mm)</td> <td>-0,58</td> <td>0,18</td> <td>-1,30</td> <td>-1,26</td> <td>1,08</td> <td>-1,08</td> <td>0,04</td> <td>-20,0</td> <td>30,01</td> </tr> </tbody> </table>		BCAN			BCAE_LD			BCAE_AE			L	H	C	L	H	C	L	H	C	BCAN	99,4 2	80,18	198,70	98,74	81,08	198,92	100,04	60,03	230,01	Padrão	100	80	200	100	80	200	100,0	80,0	200,0	Erro (mm)	-0,58	0,18	-1,30	-1,26	1,08	-1,08	0,04	-20,0	30,01	Os blocos para pavimentação produzidos com agregados de escória de aciaria elétrica e blocos para pavimentação produzidos com agregados naturais atendem aos requisitos normativos relativamente a dimensões das peças. L= Largura / H= Altura / C= Comprimento
	BCAN			BCAE_LD			BCAE_AE																																													
	L	H	C	L	H	C	L	H	C																																											
BCAN	99,4 2	80,18	198,70	98,74	81,08	198,92	100,04	60,03	230,01																																											
Padrão	100	80	200	100	80	200	100,0	80,0	200,0																																											
Erro (mm)	-0,58	0,18	-1,30	-1,26	1,08	-1,08	0,04	-20,0	30,01																																											
Teor de umidade e absorção de água dos blocos	NBR 9939/87 e NBR 12118/06	<table border="1" data-bbox="566 1107 1368 1246"> <thead> <tr> <th></th> <th>BCAN</th> <th>BCAE_LD</th> <th>BCAE_AE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Teor de umidade (%)</td> <td>4,37</td> <td>9,04</td> <td>3,38</td> </tr> <tr> <td>Absorção (%)</td> <td>1,30</td> <td>0,70</td> <td>0,50</td> </tr> </tbody> </table>		BCAN	BCAE_LD	BCAE_AE	Teor de umidade (%)	4,37	9,04	3,38	Absorção (%)	1,30	0,70	0,50	Blocos de pavimentação compostos com escória absorvem mais água que os blocos convencionais, embora todos estejam abaixo do limite máximo (valor adaptado).																																					
	BCAN	BCAE_LD	BCAE_AE																																																	
Teor de umidade (%)	4,37	9,04	3,38																																																	
Absorção (%)	1,30	0,70	0,50																																																	
Saturação dos blocos	NBR 7186/06	24h = BCAN: 2,15% / BCAA_LD: 4,49% / BCAA_AE: 4,51%	Os blocos com escória de aciaria																																																	

		<p>48h = BCAN: 2,20% / BCAE_LD: 5,09% / BCAE_AE: 4,99%</p> <p>72h = BCAN: 2,32% / BCAE_LD: 5,16% / BCAE_AE: 5,29%</p>	apresentaram maior índice de saturação que os blocos com agregado natural.																				
Expansibilidade dos blocos	Protocolo RECICLOS	<p>Expansibilidade dos blocos (mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BCAN</th> <th>BCAE_LD</th> <th>BCAE_AE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>104,62</td> <td>111,69</td> <td>110,07</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>104,67</td> <td>111,86</td> <td>110,04</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>104,86</td> <td>111,83</td> <td>110,07</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>104,86</td> <td>111,85</td> <td>110,09</td> </tr> </tbody> </table>		BCAN	BCAE_LD	BCAE_AE	3	104,62	111,69	110,07	7	104,67	111,86	110,04	14	104,86	111,83	110,07	56	104,86	111,85	110,09	Não houve significativa expansibilidade nos blocos constituídos com agregado natural, bem como nos blocos constituídos com as escórias.
	BCAN	BCAE_LD	BCAE_AE																				
3	104,62	111,69	110,07																				
7	104,67	111,86	110,04																				
14	104,86	111,83	110,07																				
56	104,86	111,85	110,09																				
Resistência à compressão dos blocos	NBR 12118/06	<p>Rcc</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DIAS</th> <th>BCAN (Mpa)</th> <th>BCAE_LD (Mpa)</th> <th>BCAE_AE (Mpa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>37,09</td> <td>40,06</td> <td>38,72</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>38,11</td> <td>43,21</td> <td>49,23</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>40,13</td> <td>44,02</td> <td>49,23</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>52,01</td> <td>50,01</td> <td>49,23</td> </tr> </tbody> </table>	DIAS	BCAN (Mpa)	BCAE_LD (Mpa)	BCAE_AE (Mpa)	3	37,09	40,06	38,72	7	38,11	43,21	49,23	14	40,13	44,02	49,23	56	52,01	50,01	49,23	Blocos compostos com os agregados natural e com escória atingiram resistência de projeto para sua utilização como revestimentos de vias para veículos comerciais e de linha (35 MPa) aos 3 dias de idade; ou ainda para trechos com tráfego de veículos especiais ou solicitações de abrasão notáveis (50 MPa) aos 56 dias de idade.
DIAS	BCAN (Mpa)	BCAE_LD (Mpa)	BCAE_AE (Mpa)																				
3	37,09	40,06	38,72																				
7	38,11	43,21	49,23																				
14	40,13	44,02	49,23																				
56	52,01	50,01	49,23																				

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO DA ANÁLISE DO POTENCIAL CONTAMINANTE AMBIENTAL

ECOLABOR COMERCIAL CONSULTORIA E ANÁLISES LTDA.
Rua Dr. César Castellani Jr. 569 - Casa Verde
CEP 02515 000 - São Paulo - SP - Brasil
T.55 11 3999 5111 - www.ecolabor.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 140894-0

Contratante: FUNDAÇÃO DE APOIO A EDUCAÇÃO E DESENV TECNOLÓGICO DE MG
Endereço: RUA ALPES, 533
Cidade: BELO HORIZONTE **UF:** MG
Matriz: Resíduo Industrial
Identificação Ecolabor: 477123
Data de entrada na empresa: 19/02/11
Data de emissão do relatório de ensaio: 18/03/11

DADOS DA COLETA

Coletado por: Interessado **Local / Identificação:** JM
Data: 18/2/2011

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDADE	LQ	LD	LM(1)	RESULTADOS
Certificado de Calibração	---	---	---	---	Em Anexo
AMOSTRA BRUTA					
Antimônio	mg Sb/kg	2,2	0,7	---	nd
Arsênio	mg As/Kg	3,7	1,2	---	30
Bário	mg Ba/Kg	2,1	0,7	---	6,6
Berílio	mg Be/Kg	0,4	0,1	---	nd
Cádmio	mg Cd/Kg	0,4	0,1	---	nd
Chumbo	mg Pb/Kg	2,5	0,8	---	nd
Cianeto	mg CN/Kg	0,6	0,2	250	n.d
Cobalto	mg Co/Kg	0,27	0,08	---	3,63
Cobre	mg Cu/Kg	1,1	0,4	---	9,2
Cromo	mg Cr/Kg	1,7	0,5	---	109
Cromo VI	mg Cr/Kg	0,8	0,4	---	0,8
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/Kg	0,2	0,1	---	n.d
Fluoretos	mg F/Kg	120	40	---	229
Merúrio	mg Hg/Kg	0,038	0,012	---	nd
Molibdênio	mg Mo/Kg	0,5	0,2	---	58
Níquel	mg Ni/Kg	1,0	0,3	---	11
Oleos e Graxas	%	0,5	0,2	---	n.d
pH - resíduo	---	---	---	<2,0 - >12,5	11,81
Potássio	mg K/Kg	31,2	10,4	---	1270
Prata	mg Ag/Kg	3,0	0,9	---	nd
Selênio	mg Se/Kg	0,23	0,07	---	nd
Silica	mg/Kg	0,6	0,2	---	40
Sódio	mg Na/Kg	184	58	---	187
Tálio	mg Tl/Kg	12,8	4,0	---	nd
Umidade a 80 C	%	0,3	0,1	---	2,5
Vanádio	mg V/Kg	0,5	0,1	---	68
Zinco	mg Zn/Kg	1,0	0,3	---	112
LIXIVIADO					
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	1,0	0,003
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	70	0,749
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,5	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	1,0	nd
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	5,0	0,045
Fluoretos	mg F/L	0,3	0,1	150	0,5
Merúrio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,1	nd
pH do extrato lixiviado obtido	---	---	---	---	5,31
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	5,0	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	1,0	nd
Teor de Sólidos secos, %	%	0,3	0,1	---	98
Tempo Total de Lixiviação	h	---	---	---	18
Volume dos Líquidos Obtidos	mL	---	---	---	1000



SOLUBILIZADO					
Alumínio	mg Al/L	0,059	0,019	0,2	1,57
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	0,01	nd
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	0,7	0,813
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,005	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	0,01	nd
Cianeto	mg CN/L	0,001	0,0003	0,07	0,0026
Cloretos	mg Cl/L	1,5	0,5	250	2,0
Cobre	mg Cu/L	0,0029	0,0009	2,0	0,0329
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	0,05	0,015
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/L	0,005	0,002	0,01	0,003
Ferro Total	mg Fe/L	0,062	0,019	0,3	0,019
Fluoretos	mg F/L	0,014	0,004	1,5	0,390
Manganês	mg Mn/L	0,0021	0,0007	0,1	nd
Mercurio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,001	nd
Nitratos	mg N/L	0,3	0,1	10	n.d
pH do Extrato Solubilizado	---	---	---	---	11,73
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	0,05	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	0,01	nd
Sódio	mg Na/L	0,15	0,05	200,0	7,47
Sulfatos	mg SO4/L	3	1	250	54
Surfactantes Aniônicos	mg LAS/L	0,011	0,003	0,5	n.d
Zinco	mg Zn/L	0,012	0,004	5,0	nd

Obs.

1 - LD: Limite de detecção do método

2 - LQ.: Limite Quantificação do Método.

3- LM(1) - Amostra Bruta - Limites máximos da ABNT NBR 10004:2004

Lixiviado - Limites máximos segundo anexo F da ABNT NBR 10004:2004.

Solubilizado - Limites máximos segundo anexo G da ABNT NBR 10004:2004.

4 - Os resultados encontrados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo interessado.

5 - n.d.: - não detectado

6 - As opiniões e interpretações expressas neste relatório de ensaios não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

Referências.

- USEPA/SW 846

- AWWA - APHA - WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª Edição

- MANUAL HACH

- NBR - 10.004: 2004 - Classificação de Resíduos Sólidos

- NBR - 10.005: 2004 - Ensaio de Lixiviação

- NBR - 10.006: 2004 - Ensaio de Solubilização

- NBR - 10.007: 2004 - Amostragem dos Resíduos Sólidos

Conclusão

De acordo com os ensaios realizados, caracterizamos o resíduo
 Como Classe IIA (resíduo não inerte)

JM

Código de Identificação.:A099

PARÂMETRO EM DESACORDO	ENSAIO
Alumínio	Solubilização
Bário	Solubilização

* Registro Conselho Regional de Química - 4ª Região - 9090 - F

* Certificado de Anotação de Responsabilidade - ART - N° 808/2010, 805/2010 e 807/2010.

Sandra Maria Ferreira - Gerente Técnico
 CRQ 4ª Reg. nº 004236407

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido integralmente, a reprodução em partes deve se dar somente com autorização prévia por escrito da Ecolabor.



RELATÓRIO DE ENSAIO N° 140894-1

Contratante: FUNDAÇÃO DE APOIO A EDUCAÇÃO E DESENV TECNOLÓGICO DE MG
Endereço: RUA ALPES, 533
Cidade: BELO HORIZONTE **UF:** MG
Matriz: Residuo Industrial
Identificação Ecolabor: 477129
Data de entrada na empresa: 19/02/11
Data de emissão do relatório de ensaio: 18/03/11

DADOS DA COLETA

Coletado por: Interessado **Local / Identificação:** JF
Data: 18/2/2011

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDADE	LQ	LD	LM(1)	RESULTADOS
* Certificado de Calibração	---	---	---	---	Em Anexo
AMOSTRA BRUTA					
Antimônio	mg Sb/kg	2,2	0,7	---	9,4
Arsênio	mg As/Kg	3,7	1,2	---	27
Bário	mg Ba/Kg	2,1	0,7	---	45
Berílio	mg Be/Kg	0,4	0,1	---	nd
Cádmio	mg Cd/Kg	0,4	0,1	---	nd
Chumbo	mg Pb/Kg	2,5	0,8	---	3,6
Cianeto	mg CN/Kg	0,6	0,2	250	n.d
Cobalto	mg Co/Kg	0,27	0,08	---	4,41
Cobre	mg Cu/Kg	1,1	0,4	---	26
Cromo	mg Cr/Kg	1,7	0,5	---	312
Cromo VI	mg Cr/Kg	0,8	0,4	---	2,4
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/Kg	0,2	0,1	---	n.d
Fluoretos	mg F/Kg	120	40	---	323
Mercurio	mg Hg/Kg	0,038	0,012	---	nd
Molibdênio	mg Mo/Kg	0,5	0,2	---	nd
Níquel	mg Ni/Kg	1,0	0,3	---	14
Óleos e Graxas	%	0,5	0,2	---	n.d
pH - residuo	---	---	---	<2,0 - >12,5	11,48
Potássio	mg K/Kg	31,2	10,4	---	1110
Prata	mg Ag/Kg	3,0	0,9	---	nd
Selênio	mg Se/Kg	0,23	0,07	---	nd
Silica	mg/Kg	0,6	0,2	---	31
Sódio	mg Na/Kg	184	58	---	163
Tálio	mg Tl/Kg	12,8	4,0	---	nd
Umidade a 80 C	%	0,3	0,1	---	2,4
Vanádio	mg V/kg	0,5	0,1	---	82
Zinco	mg Zn/Kg	1,0	0,3	---	183
LIXIVIADO					
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	1,0	nd
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	70	0,788
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,5	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	1,0	nd
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	5,0	0,043
Fluoretos	mg F/L	0,3	0,1	150	0,4
Mercurio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,1	nd
pH do extrato lixiviado obtido	---	---	---	---	5,63
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	5,0	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	1,0	nd
Teor de Sólidos secos, %	%	0,3	0,1	---	98
Tempo Total de Lixiviação	h	---	---	---	18
Volume dos Líquidos Obtidos	mL	---	---	---	1000



SOLUBILIZADO					
Alumínio	mg Al/L	0,059	0,019	0,2	1,31
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	0,01	nd
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	0,7	0,754
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,005	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	0,01	nd
Cianeto	mg CN/L	0,001	0,0003	0,07	0,0008
Cloretos	mg Cl/L	1,5	0,5	250	3,5
Cobre	mg Cu/L	0,0029	0,0009	2,0	0,0038
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	0,05	0,003
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/L	0,005	0,002	0,01	0,002
Ferro Total	mg Fe/L	0,062	0,019	0,3	nd
Fluoretos	mg F/L	0,014	0,004	1,5	0,3
Manganês	mg Mn/L	0,0021	0,0007	0,1	nd
Mercurio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,001	nd
Nitratos	mg N/L	0,3	0,1	10	n.d
pH do Extrato Solubilizado	---	---	---	---	11,97
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	0,05	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	0,01	nd
Sódio	mg Na/L	0,15	0,05	200,0	6,33
Sulfatos	mg SO4/L	3	1	250	8
Surfactantes Aniônicos	mg LAS/L	0,011	0,003	0,5	n.d
Zinco	mg Zn/L	0,012	0,004	5,0	nd

Obs.

1 - LD: Limite de detecção do método

2 - LQ.: Limite Quantificação do Método.

3- LM(1) - Amostra Bruta - Limites máximos da ABNT NBR 10004:2004

Lixiviado - Limites máximos segundo anexo F da ABNT NBR 10004:2004.

Solubilizado - Limites máximos segundo anexo G da ABNT NBR 10004:2004.

4 - Os resultados encontrados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo interessado.

5 - n.d.: - não detectado

6 - As opiniões e interpretações expressas neste relatório de ensaios não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

Referências.

- USEPA/SW 846

- AWWA - APHA - WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª Edição

- MANUAL HACH

- NBR - 10.004: 2004 - Classificação de Resíduos Sólidos

- NBR - 10.005: 2004 - Ensaio de Lixiviação

- NBR - 10.006: 2004 - Ensaio de Solubilização

- NBR - 10.007: 2004 - Amostragem dos Resíduos Sólidos

Conclusão:

De acordo com os ensaios realizados, caracterizamos o resíduo
 Como Classe IIA (resíduo não inerte)

JF

Código de Identificação.:A099

PARAMETRO EM DESACORDO	ENSAIO
Alumínio	Solubilização
Bário	Solubilização

* Registro Conselho Regional de Química - 4ª Região - 9090 - F

* Certificado de Anotação de Responsabilidade - ART - Nº 808/2010, 805/2010 e 807/2010.


 Sandra Maria Ferreira - Geometa Técnico
 CRQ 4ª Reg. nº 804236407

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido integralmente, a reprodução em partes deve se dar somente com autorização prévia por escrito da Ecolabor.



RELATÓRIO DE ENSAIO N° 140894-2

Contratante: FUNDAÇÃO DE APOIO A EDUCAÇÃO E DESENV TECNOLÓGICO DE MG
Endereço: RUA ALPES, 533
Cidade: BELO HORIZONTE **UF:** MG
Matriz: Resíduo Industrial
Identificação Ecolabor: 477132
Data de entrada na empresa: 19/02/11
Data de emissão do relatório de ensaio: 18/03/11

DADOS DA COLETA

Coletado por: Interessado **Local / Identificação:** P
Data: 18/2/2011

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDADE	LQ	LD	LM(1)	RESULTADOS
* Certificado de Calibração	---	---	---	---	Em Anexo
AMOSTRA BRUTA					
Antimônio	mg Sb/kg	2,2	0,7	---	11
Arsênio	mg As/Kg	3,7	1,2	---	39
Bário	mg Ba/Kg	2,1	0,7	---	3,7
Berílio	mg Be/Kg	0,4	0,1	---	nd
Cádmio	mg Cd/Kg	0,4	0,1	---	nd
Chumbo	mg Pb/Kg	2,5	0,8	---	nd
Cianeto	mg CN/Kg	0,6	0,2	250	n.d
Cobalto	mg Co/Kg	0,27	0,08	---	2,94
Cobre	mg Cu/Kg	1,1	0,4	---	7,7
Cromo	mg Cr/Kg	1,7	0,5	---	450
Cromo VI	mg Cr/Kg	0,8	0,4	---	2,2
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/Kg	0,2	0,1	---	n.d
Fluoretos	mg F/Kg	120	40	---	310
Merúrio	mg Hg/Kg	0,038	0,012	---	nd
Molibdênio	mg Mo/Kg	0,5	0,2	---	nd
Níquel	mg Ni/Kg	1,0	0,3	---	8,92
Óleos e Graxas	%	0,5	0,2	---	n.d
pH - resíduo	---	---	---	<2,0 - >12,5	11,54
Potássio	mg K/Kg	31,2	10,4	---	1130
Prata	mg Ag/Kg	3,0	0,9	---	nd
Selênio	mg Se/Kg	0,23	0,07	---	nd
Silica	mg/Kg	0,6	0,2	---	43
Sódio	mg Na/Kg	184	58	---	198
Tálio	mg Tl/Kg	12,8	4,0	---	nd
Umidade a 80 C	%	0,3	0,1	---	1,9
Vanádio	mg V/kg	0,5	0,1	---	53
Zinco	mg Zn/Kg	1,0	0,3	---	80
LIXIVIADO					
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	1,0	0,006
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	70	0,538
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,5	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	1,0	nd
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	5,0	0,011
Fluoretos	mg F/L	0,3	0,1	150	0,7
Merúrio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,1	nd
pH do extrato lixiviado obtido	---	---	---	---	5,01
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	5,0	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	1,0	nd
Teor de Sólidos secos, %	%	0,3	0,1	---	98
Tempo Total de Lixiviação	h	---	---	---	18
Volume dos Líquidos Obtidos	mL	---	---	---	1000



SOLUBILIZADO					
Alumínio	mg Al/L	0,059	0,019	0,2	0,978
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	0,01	nd
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	0,7	0,742
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,005	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	0,01	nd
Cianeto	mg CN/L	0,001	0,0003	0,07	0,0013
Cloretos	mg Cl/L	1,5	0,5	250	13
Cobre	mg Cu/L	0,0029	0,0009	2,0	0,0036
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	0,05	0,004
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/L	0,005	0,002	0,01	0,002
Ferro Total	mg Fe/L	0,062	0,019	0,3	nd
Fluoretos	mg F/L	0,014	0,004	1,5	0,290
Manganês	mg Mn/L	0,0021	0,0007	0,1	nd
Mercurio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,001	nd
Nitratos	mg N/L	0,3	0,1	10	n.d
pH do Extrato Solubilizado	---	---	---	---	12,07
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	0,05	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	0,01	nd
Sódio	mg Na/L	0,15	0,05	200,0	5,46
Sulfatos	mg SO4/L	3	1	250	10
Surfactantes Aniônicos	mg LAS/L	0,011	0,003	0,5	n.d
Zinco	mg Zn/L	0,012	0,004	5,0	nd

Obs.

1 - LD: Limite de detecção do método

2 - LQ.: Limite Quantificação do Método.

3- LM(1) - Amostra Bruta - Limites máximos da ABNT NBR 10004:2004

Lixiviado - Limites máximos segundo anexo F da ABNT NBR 10004:2004.

Solubilizado - Limites máximos segundo anexo G da ABNT NBR 10004:2004.

4 - Os resultados encontrados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo interessado.

5 - n.d.: - não detectado

6 - As opiniões e interpretações expressas neste relatório de ensaios não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

Referências.

- USEPA/SW 846

- AWWA - APHA - WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª Edição

- MANUAL HACH

- NBR - 10.004: 2004 - Classificação de Resíduos Sólidos

- NBR - 10.005: 2004 - Ensaio de Lixiviação

- NBR - 10.006: 2004 - Ensaio de Solubilização

- NBR - 10.007: 2004 - Amostragem dos Resíduos Sólidos

Conclusão

De acordo com os ensaios realizados, caracterizamos o resíduo
 Como Classe IIA (resíduo não inerte)

P

Código de Identificação.:A099

PARAMETRO EM DESACORDO	ENSAIO
Alumínio	Solubilização

* Registro Conselho Regional de Química - 4ª Região - 9090 - F

* Certificado de Anotação de Responsabilidade - ART - Nº 808/2010, 805/2010 e 807/2010.


 Sandra Maria Ferreira - Gerente Técnico
 CRQ 4ª Reg. nº 904238407

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido integralmente, a reprodução em partes deve se dar somente com autorização prévia por escrito da Ecolabor.



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 140894-3

Contratante:	FUNDAÇÃO DE APOIO A EDUCAÇÃO E DESENV TECNOLÓGICO DE MG		
Endereço:	RUA ALPES, 533		
Cidade:	BELO HORIZONTE	UF:	MG
Matriz:	Resíduo Industrial		
Identificação Ecolabor:	477133		
Data de entrada na empresa:	19/02/11		
Data de emissão do relatório de ensaio:	18/03/11		

DADOS DA COLETA

Coletado por:	Interessado	Local / Identificação:	NAT
Data:	18/2/2011		

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDADE	LQ	LD	LM(1)	RESULTADOS
* Certificado de Calibração	---	---	---	---	Em Anexo
AMOSTRA BRUTA					
Antimônio	mg Sb/kg	2,2	0,7	---	1,2
Arsênio	mg As/Kg	3,7	1,2	---	39
Bário	mg Ba/Kg	2,1	0,7	---	8,6
Berílio	mg Be/Kg	0,4	0,1	---	nd
Cádmio	mg Cd/Kg	0,4	0,1	---	nd
Chumbo	mg Pb/Kg	2,5	0,8	---	nd
Cianeto	mg CN/Kg	0,6	0,2	250	n.d
Cobalto	mg Co/Kg	0,27	0,08	---	2,19
Cobre	mg Cu/Kg	1,1	0,4	---	4
Cromo	mg Cr/Kg	1,7	0,5	---	8,8
Cromo VI	mg Cr/Kg	0,8	0,4	---	nd
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/Kg	0,2	0,1	---	0,9
Fluoretos	mg F/Kg	120	40	---	298
Mercúrio	mg Hg/Kg	0,038	0,012	---	nd
Molibdênio	mg Mo/Kg	0,5	0,2	---	nd
Níquel	mg Ni/Kg	1,0	0,3	---	8,4
Óleos e Graxas	%	0,5	0,2	---	n.d
pH - resíduo	---	---	---	<2,0 - >12,5	11,56
Potássio	mg K/Kg	31,2	10,4	---	1060
Prata	mg Ag/Kg	3,0	0,9	---	nd
Selênio	mg Se/Kg	0,23	0,07	---	nd
Silica	mg/Kg	0,6	0,2	---	37
Sódio	mg Na/Kg	184	58	---	132
Tálio	mg Tl/Kg	12,8	4,0	---	nd
Umidade a 80 C	%	0,3	0,1	---	2,0
Vanádio	mg V/kg	0,5	0,1	---	19
Zinco	mg Zn/Kg	1,0	0,3	---	72
LIXIVIADO					
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	1,0	nd
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	70	0,409
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,5	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	1,0	nd
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	5,0	0,038
Fluoretos	mg F/L	0,3	0,1	150	0,3
Mercúrio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,1	nd
pH do extrato lixiviado obtido	---	---	---	---	7,00
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	5,0	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	1,0	nd
Teor de Sólidos secos, %	%	0,3	0,1	---	98
Tempo Total de Lixiviação	h	---	---	---	18
Volume dos Líquidos Obtidos	mL	---	---	---	1000



SOLUBILIZADO					
Alumínio	mg Al/L	0,059	0,019	0,2	1,43
Arsênio	mg As/L	0,005	0,002	0,01	nd
Bário	mg Ba/L	0,006	0,002	0,7	0,602
Cádmio	mg Cd/L	0,0020	0,0006	0,005	nd
Chumbo	mg Pb/L	0,003	0,001	0,01	nd
Cianeto	mg CN/L	0,001	0,0003	0,07	0,0016
Cloretos	mg Cl/L	1,5	0,5	250	20
Cobre	mg Cu/L	0,0029	0,0009	2,0	0,0043
Cromo	mg Cr/L	0,006	0,002	0,05	nd
Fenóis (baixa conc.)	mg C6H5OH/L	0,005	0,002	0,01	0,003
Ferro Total	mg Fe/L	0,062	0,019	0,3	nd
Fluoretos	mg F/L	0,014	0,004	1,5	7,29
Manganês	mg Mn/L	0,0021	0,0007	0,1	nd
Merúrio	mg Hg/L	0,0008	0,0002	0,001	nd
Nitratos	mg N/L	0,3	0,1	10	n.d
pH do Extrato Solubilizado	---	---	---	---	12,19
Prata	mg Ag/L	0,004	0,001	0,05	nd
Selênio	mg Se/L	0,005	0,002	0,01	nd
Sódio	mg Na/L	0,15	0,05	200,0	4,52
Sulfatos	mg SO4/L	3	1	250	9
Surfactantes Aniônicos	mg LAS/L	0,011	0,003	0,5	n.d
Zinco	mg Zn/L	0,012	0,004	5,0	nd

Obs.

- 1 - LD: Limite de detecção do método
 2 - LQ.: Limite Quantificação do Método.

- 3- LM(1) - Amostra Bruta - Limites máximos da ABNT NBR 10004:2004
 Lixiviado - Limites máximos segundo anexo F da ABNT NBR 10004:2004.
 Solubilizado - Limites máximos segundo anexo G da ABNT NBR 10004:2004.

4 - Os resultados encontrados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo interessado.

5 - n.d.: - não detectado

6 - As opiniões e interpretações expressas neste relatório de ensaios não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório.

Referências.

- USEPA/SW 846
- AWWA - APHA - WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª Edição
- MANUAL HACH
- NBR - 10.004: 2004 - Classificação de Resíduos Sólidos
- NBR - 10.005: 2004 - Ensaio de Lixiviação
- NBR - 10.006: 2004 - Ensaio de Solubilização
- NBR - 10.007: 2004 - Amostragem dos Resíduos Sólidos

Conclusão

De acordo com os ensaios realizados, caracterizamos o resíduo
 Como Classe IIA (resíduo não inerte)

NAT

Código de Identificação.:A099

PARÂMETRO EM DESACORDO	ENSAIO
Alumínio	Solubilização
Fluoreto	Solubilização

* Registro Conselho Regional de Química - 4ª Região - 9090 - F

* Certificado de Anotação de Responsabilidade - ART - Nº 808/2010, 805/2010 e 807/2010.


 Sandra Maria Ferreira - Gerente Técnico
 CRQ 4ª Reg. nº 804236407

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido integralmente, a reprodução em partes deve se dar somente com autorização prévia por escrito da Ecolabor.

ANEXO C – ARTIGO CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DE HABITAÇÕES: COMPARAÇÃO ENTRE LEED FOR HOMES, PROCESSO AQUA E SELO CASA AZUL

CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DE HABITAÇÕES: COMPARAÇÃO ENTRE LEED FOR HOMES, PROCESSO AQUA E SELO CASA AZUL

PAULA REGINA MENDES GRÜNBERG¹,
MARCELO HENRIQUE FARIAS DE MEDEIROS²,
SERGIO FERNANDO TAVARES³

Introdução

Com a necessidade de mudanças no setor da construção civil, para adequação às agendas de sustentabilidade, foram desenvolvidos métodos avaliativos dos impactos ambientais das edificações. Estes métodos são importantes porque sem a determinação de parâmetros e metas não há como verificar o atendimento às questões de sustentabilidade a que os países estão sujeitos.

Muitos países já desenvolveram metodologias para avaliação e certificação ambiental das edificações, também conhecidos como selos verdes. Dentre essas se destacam: Método de Avaliação Ambiental do *Building Research Establishment* (BRE) da Inglaterra, Liderança em Design de Energia e Meio Ambiente (LEED) dos Estados Unidos, Desafio da Construção Sustentável (GBC) que pertence a um consórcio de vários países, Alta Qualidade Ambiental (HQE) da França e o Sistema de Avaliação de Eficiência Ambiental para Construção (CASBEE) do Japão.

Constatada que a realidade dos países citados é bastante distinta da brasileira, é necessário basear-se em estudos que comprovem a empregabilidade destas ferramentas no Brasil. Azevedo (2008) concluiu que os mecanismos estabelecidos por países em desenvolvimento necessitam de uma estrutura evolutiva. Bueno (2010) propõe que adaptações devem ser feitas com relação às questões geográficas, climáticas, culturais e normativas, mas também afirma "(...) que as ferramentas estudadas demonstram uma série de itens avaliativos plenamente aplicáveis a edifícios residenciais situados no cenário brasileiro e outros que ainda necessitam de adaptações".

Segundo Costa e Moraes (2012), o Brasil está experimentando um ciclo de forte expansão na indústria da construção, e as grandes construtoras perceberam que a aplicação de métodos de gestão sustentável é a única maneira de garantir que ganhos deste

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil. Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: arqpaula@yahoo.com.br

² Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: medeiros.ufpr@gmail.com

³ Departamento de Arquitetura da Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: sergioftavares@gmail.com.

ciclo possam se manter, e haverá busca incessante por melhorar o desempenho ambiental das edificações. Mas aplicar estes conceitos gera um custo que só poderá ser recuperado se houver comunicação ao usuário dos ganhos ambientais, sociais e econômicos destas soluções. A certificação é, acima de tudo, um atestado deste melhor desempenho, e os empreendimentos já enxergam nela uma ferramenta com duas grandes vantagens:

1. A certificação impulsiona o desenvolvimento da construção civil em busca de práticas mais sustentáveis, o que leva à melhora na gestão da obra, redução de consumo e de perda de materiais;
2. A certificação é um importante fator de comunicação com o usuário, pois atesta o melhor desempenho ambiental.

De acordo com Barros (2012), para a potencialização da certificação em edifícios e promoção das construções sustentáveis são necessárias algumas ações por parte das autoridades governamentais, como segue:

- Valorizar as edificações e projetos sustentáveis nos critérios de apreciação das propostas apresentadas em obras públicas;
- Criar legislações locais que por meio de incentivos (créditos fiscais e consultores patrocinados pelo governo) e exigências de requisitos mínimos de sustentabilidade para edificações, insumos e componentes, movimente toda a cadeia produtiva da construção e torne mais familiar o processo de certificação;
- Criar prêmios que possam promover e divulgar a adoção das certificações e Green buildings, melhorando a conscientização pública sobre a temática;
- Criar Institutos verdes ou redes de cooperação, para dar suporte à disseminação das edificações sustentáveis e à criação de sinergias organizacionais que objetivam a criação de redes locais de empresas da construção civil e a criação de programas de capacitação em escolas técnicas e universidades e programas de geração e difusão de novos conhecimentos.

Verifica-se então a importância do selo ambiental para melhoria da qualidade dos ambientes construídos e, principalmente, como forma de minimizar os impactos ao meio ambiente. Sendo assim, este artigo tem o objetivo de eleger o sistema de certificação ambiental mais adequado às edificações habitacionais brasileiras, dentre três pré-selecionados. A hipótese levantada é que um selo verde desenvolvido para uma realidade e localidade específicas tem melhor desempenho. Os sistemas aqui analisados e comparados estão entre os mais conhecidos e utilizados no país, sendo: (a) um método estrangeiro, LEED for Homes; (b) uma adaptação do sistema francês, Processo AQUA; (c) primeira metodologia brasileira, Selo Casa Azul.

O Brasil mantém a 4ª posição no ranking mundial de empreendimentos LEED, atrás apenas dos Estados Unidos, China e Emirados Árabes Unidos (GBC Brasil, 2012). Já o Processo AQUA certificou, até novembro de 2012, sessenta e três edificações (FCAV, 2012) e o Selo Casa Azul foi concedido à grandes obras de habitação de interesse

social, como o Complexo de Paraisópolis e Complexo Chapéu Mangueira e Babilônia (CEF, 2012).

Para análise comparativa dos três selos verdes citados, utilizou-se a técnica denominada Análise Hierárquica, método que auxilia no processo decisivo através de uma matriz de decisão, com a determinação de pesos para os critérios de avaliação.

No campo da engenharia civil, o potencial da análise hierárquica tem sido pouco explorado, porém pode-se citar exemplos de estudos que usaram esta ferramenta como instrumento de decisão, tais como: 1 – Marchezetti *et al.* (2011), no tratamento de resíduos domiciliares; 2 – Silva e Souza (2011), na seleção de caminhões coletores-compactadores de resíduos sólidos; 3 – Lisboa e Waisman (2006) e Zayed *et al.* (2008) nas decisões relacionadas a área de projeto de rodovias; 4 – Pan (2008), na seleção de métodos de construção de pontes; 5 – Lai *et al.* (2008), no projeto de obras públicas; 6 – Pereira, Medeiros e Levy (2012) e Mattana *et al.* (2012) em estudos na área de reciclagem de resíduos de construção para confecção de concretos e argamassas.

O impacto ambiental das construções

Muitas são as implicações e impactos gerados pelos edifícios no mundo todo. Na construção e operação de edificações no Brasil, tem-se no mínimo uma quarta parte da parcela de emissão de CO₂, excetuando-se a parcela relativa às queimadas. O CO₂ é o mais importante subproduto da fabricação de materiais de construção, incluindo os recursos utilizados, os efeitos causados pela extração de matéria prima e o seu processo de beneficiamento. É relevante saber que edifícios construídos em estrutura de concreto armado ou aço estrutural requerem quantidades semelhantes de energia e resultam em níveis semelhantes de emissões de CO₂ (TAVARES, 2006).

Considerar o desempenho das edificações e até mesmo das cidades é relevante considerando-se sua vida útil. Os edifícios tendem a durar mais de cinquenta anos e as infraestruturas viárias e ferroviárias até mais de cem anos. Além disso, é preciso lembrar que são grandes consumidoras de recursos. De acordo com Edwards (2008), a maior parte do melhor solo cultivável do mundo, 80%, é utilizado na construção ao invés de na agricultura. Além disso, a construção de edificações duráveis pode significar menor necessidade de investimento com sua recuperação ao longo dos anos assim como uma elevada vida útil, poupando os recursos naturais destinados ao processo de demolição e reconstrução de uma dada edificação ao final do seu tempo de serviço (MEDEIROS *et al.*, 2011). No Brasil, o imóvel tem alto valor agregado e chega a ocupar quase 70% da renda familiar para sua aquisição (IPEA, 2008). Considerando que a função da moradia é prover abrigo e conforto para o homem, é certo que aquelas que cumprem melhor seu papel serão mais valorizadas pelo mercado imobiliário. Além disso, Olgay (2006) destaca a importância de a edificação proporcionar conforto ao usuário associado com baixo custo de manutenção, reduzindo a necessidade de condicionamento mecânico através do aproveitamento dos recursos naturais. Neste sentido é importante ressaltar que, na avaliação de uma edificação em um período de cinquenta anos, os custos operacionais são cinco vezes maiores que o de projeto e construção (EDWARDS, 2008). Neste sentido, a

Tabela 1 ilustra o impacto econômico que os serviços de manutenção e reparo podem ter na economia de um país, onde verifica-se que alguns países europeus gastam por volta de 50% do que investem em construções e serviços de manutenção e reparo (UEDA e TAKEWAKA, 2007). No Brasil, dados estatísticos como estes não existem, mas os dados da Tabela 1 servem como uma indicação do quanto pode custar a manutenção e reparo de edificações para uma nação.

Tabela 1: Gastos com manutenção e reparo em países desenvolvidos (UEDA e TAKEWAKA, 2007)

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,8 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanhã	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Pounds (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Observação: Todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

Voltando à questão da sustentabilidade das edificações, além das adaptações dos sistemas de avaliação internacionais, existem iniciativas nacionais de normatização, como a série NBR ISO 14000, e muitos materiais e tecnologias sustentáveis de eficácia comprovada. Exemplo disso é a consolidação do projeto da Casa Eficiente, "(...) vitrine de tecnologias de ponta de eficiência energética e conforto ambiental para edificações residenciais" (ELETROSUL, 2004).

A intenção dos selos de certificação ambiental é que o mercado em si impulse o melhoramento ambiental, seja por seu comprometimento com o tema, seja por questões mercadológicas como competitividade. Em alguns países, a certificação "(...) deixou de ser meramente estratégia de mercado e passou a ser condição para legalização do edifício." (PICCOLI *et al.*, 2010).

Os já referidos autores expõem que, em 2007, foi criado no país, o primeiro sistema de certificação ambiental, o Referencial Técnico de Certificação: edifícios do setor de serviços, sistema Alta Qualidade Ambiental (AQUA), baseado no sistema francês NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE®. Ressaltam-se aqui também as iniciativas do Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA) e do Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal.

Piccoli *et al.* (2010) criticam as normalizações técnicas brasileiras referentes à construção civil, que tem como preocupação a forma (meio) como o produto é construído e não quanto ao seu desempenho. O efeito negativo desta característica da grande maioria das normas nacionais é a dificuldade de certificação de novos sistemas construtivos que, por serem inovadores, não tenham uma norma específica. As normas baseadas em critérios de desempenho fixam valores mínimos de eficiência do sistema construtivo, sendo plenamente possível a criação de novos sistemas de construção, desde que os limites estabelecidos como mínimos para a satisfação do usuário sejam atendidos.

No sentido de agregar o conceito de desempenho ao conjunto de normas nacionais relacionado à construção civil, foi desenvolvida a norma técnica NBR 15575, "Edifícios habitacionais até cinco pavimentos: desempenho". Essa norma objetiva garantir aos usuários o desempenho dos sistemas construtivos e não determinar como devem ser construídos, de modo que diversos sistemas construtivos, tradicionais ou novos, podem concorrer como opções de utilização nas edificações sem que as construtoras estejam fora de norma. Para isso, cada novo sistema construtivo terá que passar por uma bateria de ensaios para serem certificados e aprovados para uso corrente. Esta norma foi publicada em maio de 2008, porém, passou por um processo de adaptação das construtoras e de revisões do seu texto e entrou em vigor a partir de março de 2013 (ABNT, 2008).

Uma das iniciativas governamentais para agenda da sustentabilidade foi a criação da 1ª Lei de Eficiência Energética, Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Esta, regulamentada pelo Decreto nº 4.059 de outubro de 2001, estabelece a criação de "níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética" e a necessidade de "indicadores técnicos e regulamentação específica" também para as edificações (CARLO; LAMBERTS, 2010).

O fato é que, a importância da redução do impacto ambiental das construções é uma tendência mundial, impulsionada pelas exigências governamentais ou até por estratégias de mercado. Por um motivo ou por outro, a certificação, usando os sistemas de selos verdes, está cada vez mais em evidência e precisa ser comparada de forma criteriosa para produzir o conhecimento necessário em termos de decidir qual a opção é mais apropriada para uso no Brasil.

LEED for Homes

O sistema de certificação LEED foi criado pelo United States Green Building Council (USGBC), em 1998. É um método de classificação baseado na harmonização, ponderação de créditos (em função do impacto ambiental e da saúde humana) e regionalização. A eficiência energética e redução da emissão de CO₂ são itens considerados de maior importância neste sistema de avaliação. O selo certifica edifícios a partir de uma lista de pré-requisitos e créditos, e possui quatro níveis: Certificado, Prata, Ouro e Platina (USGBC, 2012).

O LEED for Homes, criado em 2008 especificamente para edificações residenciais, objetiva a economia de energia, água e, em consequência, a economia de recursos finan-

ceiros. Além disso, preconiza que a casa certificada tenha um ambiente mais saudável. O United States Green Building Council (USGBC) afirma que edifícios “verdes” e eficientes vendem mais e mais rapidamente que aqueles sem estes conceitos. O diferencial do LEED for Homes está no fato da quantidade final de créditos estabelecer-se de uma relação entre a área e o número de quartos. Isto porque esta analogia indica a quantidade de ocupantes da unidade habitacional. As categorias deste selo podem ser visualizadas no Quadro 1 (USGBC, 2012).

Quadro 1: Categorias LEED for Homes

Categorias LEED for Homes	
1.	Inovação e processo de projeto (<i>Innovation & Design Process</i>)
2.	Localização e ligações (<i>Location & Linkages</i>)
3.	Sítios sustentáveis (<i>Sustainable Sites</i>)
4.	Eficiência de água (<i>Water Efficiency</i>)
5.	Energia e atmosfera (<i>Energy & Atmosphere</i>)
6.	Materiais e recursos (<i>Materials & Resources</i>)
7.	Qualidade do ambiente interno (<i>Indoor Environmental Quality</i>)
8.	Conscientização e educação (<i>Awareness & Education</i>)

Fonte: Adaptado de USGBC, 2012.

O Green Building Council Brasil está desenvolvendo um selo para Casas Sustentáveis, o Referencial GBC Brasil Casa®, voltado especificamente para o mercado residencial imobiliário brasileiro. Um dos objetivos é disseminar os parâmetros sustentáveis em habitações e “(...) que buscam viabilidade econômica, criação de ambientes mais saudáveis, redução da extração de recursos naturais do ambiente e conscientização da demanda do setor residencial” (GBC Brasil, 2012).

Processo AQUA

O Referencial Técnico de Certificação francês Bâtiments Tertiaires– Démarche HQE®, elaborado por Certivéa, foi adequado para o contexto brasileiro através de um convênio de cooperação com a Fundação Vanzolini, em 2007. “A Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é definida como sendo um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou envolvendo uma reabilitação” (FCAV, 2007).

O Processo AQUA avalia o desempenho ambiental de uma construção por sua natureza arquitetônica e técnica, bem como pela gestão. Estrutura-se em dois instrumentos principais: o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e o referencial de Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). Na visão deste selo verde, a gestão da edificação, permite definir as vertentes de projeto que irão atingir e manter os níveis de qualidade ambiental (FCAV, 2007).

Na metodologia do AQUA verifica-se catorze categorias, ou conjuntos de preocupações, que são agrupadas em quatro famílias (Quadro 2). Este escopo permite avaliar edifícios majoritariamente destinados ao uso para escritórios ou escolas. As fases analisadas são a do programa de necessidades, a de projeto e a de construção. Apesar da fase de uso e operação da edificação não ser contemplada pela certificação, o Processo AQUA incorpora elementos que facilitam o desempenho ambiental após a entrega da obra (FCAV, 2007).

Quadro 2 – Categorias Processo AQUA

Categorias Processo AQUA	
Eco- construção	Relação do edifício com o entorno
	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos
	Cateiro de obra com baixo impacto ambiental
Gestão	Gestão de energia
	Gestão de água
	Gestão dos resíduos de uso e ocupação do edifício
	Manutenção – permanência do desempenho ambiental do
Conforto	Conforto higrotérmico
	Conforto acústico
	Conforto visual
	Conforto olfativo
Saúde	Qualidade sanitária dos ambientes
	Qualidade sanitária do ar
	Qualidade sanitária da água

Fonte: Adaptado de FCAV, 2007.

Os níveis que uma edificação pode obter pelo Processo AQUA são relacionados à Qualidade Ambiental do Edifício. O desempenho associado pode ser *Bom*, *Superior* ou *Excelente* (FCAV, 2007).

Selo Casa Azul

O Selo Casa Azul é uma classificação socioambiental de empreendimentos residenciais da Caixa Econômica Federal. É o primeiro sistema de certificação criado para a realidade da construção habitacional brasileira. Foi desenvolvido por uma equipe multidisciplinar em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Estadual de Campinas.

O intuito é incentivar o uso racional de recursos naturais, reduzir o custo de manutenção dos edifícios e as despesas mensais dos usuários, além da conscientização das vantagens das construções sustentáveis. O selo aplica-se a empreendimentos habitacionais financiados pela Caixa Econômica Federal e sua adesão é voluntária.

São avaliadas na metodologia deste selo verde as “soluções eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações” (CEF, 2010). A verificação é feita no momento da análise de viabilidade técnica do empreendimento e os níveis de graduação que podem ser conquistados são: *Bronze*, *Prata* e *Ouro*.

Para ter direito ao Selo Casa Azul, são avaliados cinquenta e três critérios, divididos em seis categorias, como apresenta o Quadro 3.

Quadro 3 – Categorias Selo Casa Azul

Categorias Selo Casa Azul	
1.	Qualidade urbana
2.	Projeto e conforto
3.	Eficiência energética
4.	Conservação de recursos materiais
5.	Gestão da água
6.	Práticas sociais

Fonte: Adaptado de FCAV, 2007.

Análise Hierárquica

A Análise Hierárquica (Analytic Hierarchic Process, AHP) é um método multicritério de auxílio à decisão, proposto por Saaty nos anos 1970. Esta metodologia cuida de problemas complexos de forma simplificada e permite utilizar critérios quantitativos e qualitativos em uma mesma análise. Este método baseia-se em uma unidade responsável pela tomada de decisão, que pode ser composta por um único indivíduo ou por um grupo deles, chamado de decisor (COSTA, 2002).

Para a compreensão do problema, os elementos envolvidos são organizados em níveis hierárquicos, agrupados em camadas específicas. A análise é construída em forma de esquema que relaciona objetivo, critérios e alternativas. As alternativas são as opções de solução que podem ser adotadas para o problema e são avaliadas por um conjunto de critérios. Os critérios são propriedades ou variáveis das alternativas, usados para determinar qual é a mais indicada para alcançar o objetivo (COSTA, 2002).

O resumo apresentado no Quadro 4 fornece uma visão geral do processo da AHP.

Quadro 4: Resumo do método AHP

RESUMO DO MÉTODO DE AHP	1ª etapa Seleção das alternativas	Processo As alternativas são as opções de solução para alcançar o objetivo e que serão comparadas no método da AHP.	
	2ª etapa Definição dos critérios e subcritérios	Processo Para escolha das alternativas, as mesmas são comparadas por fatores relevantes ao seu desempenho. Estes critérios são escolhidos pelo decisor. Quando algum dos fatores for muito abrangente, podem ser analisados por subcritérios, para uma avaliação mais detalhada.	
	3ª etapa Coleta de dados	Processo Nesta etapa são coletados os dados de cada alternativa referentes aos critérios estabelecidos. Estas informações geralmente são obtidas através de uma revisão bibliográfica.	
	4ª etapa Atribuição de pesos	Processo Neste momento, o decisor irá avaliar quais dos critérios e subcritérios tem uma interferência maior no desempenho das alternativas. Este procedimento é realizado comparando-se as variáveis umas com as outras e assim verificando qual delas é mais importante no resultado. Para este fim, utiliza-se escalas como a deste artigo.	Exemplo X é igualmente importante que Y 1 X é igual a moderadamente importante que Y 2 X é moderadamente importante que Y 3 X é moderada a fortemente importante que Y 4 X é fortemente importante que Y 5 X é forte a muito fortemente importante que Y 6 X é muito fortemente importante que Y 7 X é extremamente fortemente importante que Y 8 X é extremamente fortemente importante que Y 9
	5ª etapa Definição da escala de pontos	Processo De posse de todos os dados citados, o decisor estabelecerá uma escala de pontuação. No caso de existirem critérios ou subcritérios qualitativos, estes receberão valores numéricos (por exemplo). As variáveis medidas quantitativamente têm seus valores comparados de forma direta.	Exemplo Excelente 4 Ótimo 3 Bom 2 Aceitável 1 Ruim 0
	6ª etapa Matriz de decisão	Processo A comparação das alternativas é realizada em uma matriz de decisão. Nessa matriz são atribuídos os valores das variáveis de cada alternativa. No caso de existirem valores em diferentes escalas decimais, estes devem ser normalizados. Este procedimento é feito dividindo-se o valor de cada peso pelo maior número, resultando em uma escala de 0 a 1. Os dados normalizados são multiplicados pelo peso relativo, resultando na sua participação no desempenho. No método da AHP inicia-se pela matriz de decisão dos subcritérios (quando existirem). Os valores que constarão na matriz dos critérios, que seguirá a mesma lógica mencionada.	

Fonte: Adaptado de Costa, 2010.

A análise comparativa que foi realizada neste estudo faz uso desta metodologia para comparar três sistemas de certificação ambiental, que são as alternativas do processo. Os critérios avaliados neste trabalho foram baseados em investigações realizadas, principalmente por Bueno (2010), e pesquisas nos referenciais de cada selo. Destas mesmas fontes foram retirados os dados das variáveis.

Metodologia

Para avaliação das alternativas de sistema de certificação ambiental pré-selecionados (LEED for Homes, AQUA e Selo Casa Azul) utilizou-se o método da AHP. Para este estudo foram estabelecidos dois critérios: (a) Balizamento e (b) Categorias e itens.

O *Balizamento* baseia-se no estudo de Bueno (2010). A citada autora faz um estudo detalhado do Sistema LEED for Homes e AQUA. Nesta investigação, Bueno (2010) avalia os seguintes fatores: (a) aplicabilidade no contexto brasileiro; (b) pertinência para determinação de desempenho ambiental. Sendo assim, o *Balizamento* representa a porcentagem de itens de cada selo em concordância com fatores citados, conforme investigação da citada autora.

O critério *Categorias e Itens* divide-se em dois subcritérios e se referem à divisão em categorias de cada selo verde, conforme apresentado nos Quadros 1, 2 e 3, e aos itens de avaliação dos mesmos. As categorias foram avaliadas qualitativamente, pela verificação da pertinência das mesmas para avaliação de desempenho ambiental das edificações, em uma escala de excelente a ruim. Os itens foram avaliados de forma quantitativa, considerado o número dos mesmos para avaliação de uma edificação proposto em cada selo. O esquema da análise hierárquica montada detalhando os critérios, subcritérios e opções de escolha para o presente estudo é apresentado na Figura 1.

Conforme determina o método da AHP, inicia-se com a fixação de pesos para cada critério a ser avaliado. Para definição da importância entre *Balizamento* e *Categorias e Itens*, foi realizada uma pesquisa com três professores e onze mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Este grupo de indivíduos definiu os pesos para os critérios. Este procedimento foi realizado em forma de entrevista, primeiramente com uma explanação sobre o estudo e sobre os itens da avaliação. Os conceitos para cada critério podiam variar de um a nove, sendo que a soma dos dois resultava dez, ou seja, se o grau de importância dos critérios *Balizamento* e *Categorias e itens* for o mesmo, a nota seria cinco para cada um. As catorze respostas foram tabuladas, somadas e geraram as importâncias relativas conforme a Tabela 1.

Figura 1: Esquema da análise hierárquica



Tabela 1: Pesos dos critérios

	Indivíduo 01	Indivíduo 02	Indivíduo 03	Indivíduo 04	Indivíduo 05	Indivíduo 06	Indivíduo 07	Indivíduo 08	Indivíduo 09	Indivíduo 10	Indivíduo 11	Indivíduo 12	Indivíduo 13	Indivíduo 14	Total da Linha	Importância Relativa
Balizamento	5	7	5	6	5	7	6	2	3	2	3	2	6	5	64	0,457
Categorias e Itens	5	3	5	4	5	3	4	8	7	8	7	8	4	5	76	0,543
	Total Geral														140	1,000

Observação 1: importância relativa é o total da linha dividido pelo total geral.

Observação 2: Pesos definidos em pesquisa junto à mestrandos e professores do PFGECC da UFPR.

Os pesos dos subcritérios (Categorias e Itens) foram definidos utilizando uma escala de importância deliberada inicialmente por Saaty (1991) e empregada por Marchezetti *et al.* (2011). Esta escala atualmente está incorporada na ASTM E 1765/2011, que é uma norma que trata da aplicação da AHP para tomada de decisões em investimentos relacionados a construções e sistemas construtivos. A escala e a matriz de cálculo das importâncias relativas constam na Tabela 2. A avaliação é feita comparando-se um critério com o outro, pela escala indicada na Tabela 2, para definir qual tem a maior importância relativa na definição do desempenho das alternativas.

Tabela 2: Pesos dos subcritérios

Escala de julgamento					
X é igualmente importante que Y	1	Categorias	Itens	Total da linha	Importância Relativa
X é igual a moderadamente importante que Y	2				
X é moderadamente importante que Y	3				
X é moderada a fortemente importante que Y	4				
X é fortemente importante que Y	5				
X é forte a muito fortemente importante que Y	6				
X é muito fortemente importante que Y	7				
X é muito forte a extremamente fortemente importante que Y	8				
X é extremamente fortemente importante que Y	9				
Categorias	1,0	2,0	3,0	0,667	
Itens	0,5	1,0	1,5	0,333	
	Total Geral			4,5	1,000

Para avaliar a consistência de uma dada matriz de decisão de AHP, Costa (2006) relata que Saaty propôs o uso de uma operação matemática na Tabela 2. A operação consiste em dividir cada elemento de uma coluna pelo total geral desta mesma coluna. Isso gera uma nova matriz e se esta matriz for formada por colunas iguais, considera-se que a matriz é perfeitamente consistente. Foi o que ocorreu no caso da matriz de decisão da Tabela 2, de modo que pode-se considerar que ela é perfeitamente consistente.

Resultados

Com as matrizes das importâncias relativas definidas, procedeu-se à elaboração da matriz de decisão para avaliação das alternativas. Conforme a sequência do método de Saaty, primeiramente mediu-se os subcritérios. Como citado, *Categorias* refere-se às mesmas que cada selo verde avalia no processo de certificação. A escala utilizada diz respeito a valores qualitativos, de excelente a ruim, conforme indicado na Tabela 3. As notas para o conjunto de categorias usadas por cada sistema foram dadas com base na aplicabilidade e pertinência.

A avaliação dos *Itens* usados para a certificação procedeu-se de forma quantitativa. Os valores constantes na Tabela 3 para este subcritério referem-se ao número de itens que podem ser pontuados em cada selo. No método da análise hierárquica, no caso de existirem valores em escalas diferentes, estes devem ser normalizados, de modo a se obterem os resultados na escala de 0 a 1 para todos os parâmetros em avaliação. Isso viabiliza a comparação dos resultados de *Categorias* com *Itens* na matriz de decisão. Matematicamente

a normalização consiste em dividir os valores de cada linha do bloco *Valores atribuídos* da Tabela 3 pelo seu maior valor, como representado no bloco *Valores normalizados* na Tabela 3. O bloco *Nota nos subcritérios* foi obtido pela multiplicação do peso da variável (definido na Tabela 2) pelos respectivos valores normalizados. Finalmente, a linha *Total* da Tabela 3 é a soma dos valores das colunas que constam no bloco *Notas nos subcritérios*.

Tabela 3: Matriz de decisão dos subcritérios

Escala de categorias	Valores atribuídos			Valores normalizados			Peso da variável (%)	Nota nos critérios		
	Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Holmes	Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Holmes		Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Holmes
Excelente 4										
Ótimo 3										
Bom 2										
Aceitável 1										
Ruim 0										
Categorias	2	3	2	0,67	1,00	0,67	66,7	44,5	66,7	44,5
Itens	53	35	36	1,00	0,66	0,68	33,3	33,3	22,0	22,6
	Total						100	77,8	88,7	67,1

O resultado da matriz de decisão dos subcritérios (Tabela 3) mostra uma pontuação de 88,7 para o Processo AQUA, seguido de 77,8 para o Selo Casa Azul e 67,1 para o LEED for Holmes. Demonstra-se, portanto, que o Processo AQUA tem melhor desempenho que os demais considerando apenas seu conjunto de categorias e itens. É importante destacar que todas as classificações geradas neste trabalho de modo a considerar uma alternativa melhor ou pior do que outras estão vinculadas aos decisores participantes deste trabalho, ou seja, são ilustrativas do processo de escolha. Isso significa que o intuito do trabalho não é exatamente chegar a um resultado final universal, pois o produto deste trabalho é a proposição da técnica de AHP para decidir qual o melhor sistema de selo verde, podendo a escolha inclusive variar de uma empresa para outra, pois são as convicções e conhecimentos dos decisores que acabam por definir a escolha final para cada caso.

O próximo passo foi a elaboração da matriz de decisão dos critérios. Na Tabela 4 consta os resultados dos subcritérios (Tabela 3) e a avaliação do *Balçamento*. Para definição das notas deste critério baseou-se na pesquisa de Bueno (2010). A autora identificou quais dos critérios constantes no Processo AQUA e no LEED for Holmes não atendem aos quesitos citados. A mesma avaliação foi feita para o Selo Casa Azul pelos autores deste artigo. O cálculo foi realizado dividindo-se o número de critérios reprovados, ou seja, que não atendem aos quesitos, pelo total de critérios.

Conforme Bueno (2010), dos trinta e cinco itens do Processo AQUA, quatro foram reprovados (11,4%) e dos trinta e seis do LEED for Holmes, quinze não atenderam aos quesitos (41,7%). O Selo Casa Azul, que possui cinquenta e três itens, teve cinco repro-

vações (9,4%). Na Tabela 4 aparecem os valores das variáveis *Balizamento* e *Categorias e Itens*. Estes valores estão representados no bloco *Valores atribuídos* da Tabela 4, após serem submetidos a um processo de padronização, que consiste em inverter os valores, ou seja, fazer a divisão de 1 pelo respectivo número. Como exemplo, dividir 1 por 9,4 para o caso do selo Casa Azul resultando no valor de 0,106. O motivo desta manobra reside no fato de que a análise hierárquica só funciona se todos os dados apresentarem a tendência de quanto maior o valor, melhor.

Na Tabela 4 também constam os valores normalizados, os pesos relativos e o resultado da análise hierárquica, seguindo o mesmo procedimento usado nos cálculos da Tabela 3.

Na comparação dos sistemas de certificação ambiental usando o método de Análise Hierárquica, o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal teve a maior pontuação, 93,3 em uma escala de 0 a 100. Em seguida, tem-se o Processo AQUA com 92,0 e, com menor pontuação, o LEED for Homes com 51,4.

Tabela 4: Matriz de decisão dos critérios

Escala de balizamento	Valores atribuídos			Valores normalizados			Peso da variável (%)	Nota nos critérios		
	Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Holmes	Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Holmes		Selo Casa Azul	AQUA	LEED for Holmes
Porcentagem de critérios reprovados, conforme Bueno (2010), sendo o maior percentual a pior pontuação										
Balizamento	0,106	0,088	0,024	1,00	0,83	0,23	45,7	45,7	37,7	10,3
Categorias e itens	77,8	88,7	67,1	0,88	1,00	0,76	54,3	47,6	54,3	41,1
Total (Índice de desempenho)							100	93,3	92,0	51,4

O resultado evidencia que o sistema LEED for Holmes não é o mais apropriado para as condições do Brasil, principalmente pelo fato de ser um sistema de avaliação idealizado para outro país e implantado no Brasil sem ter sofrido adaptações para a realidade nacional.

Conclusão

O resultado da comparação entre os selos verdes analisados neste artigo confirma a hipótese na qual, o sistema desenvolvido para uma realidade e localidade específicas tem melhor desempenho. O sistema de certificação ambiental Selo Casa Azul teve maior nota final, sendo o mesmo desenvolvido para ser aplicado no Brasil. Em segundo lugar, com uma diferença quase irrelevante, tem-se o AQUA, adaptação de um sistema estrangeiro para a realidade brasileira. O selo LEED for Homes, que é utilizado conforme foi concebido para o contexto norte-americano, aparece com menor índice de desempenho. O resultado parece coerente e indica que a adaptação do selo AQUA para a realidade brasileira foi

feita de forma adequada e que a transferência de um sistema de certificação apropriado para o cenário de um país para outro com características diferentes (sem adaptações) não é o caminho mais aconselhável, sendo imprescindível sua adaptação.

A técnica de análise hierárquica mostrou-se apropriada para refinar a escolha de um sistema de certificação ambiental de edificações. O ponto positivo é que a metodologia é totalmente aberta para a inclusão de outros critérios, de modo que a matriz de decisão pode ser aprimorada com a evolução do conhecimento teórico e prático. Desse modo, o refinamento do processo de AHP apresentado neste trabalho é plenamente possível, e desejável, com a evolução do conhecimento.

A contribuição deste trabalho enfatiza a importância dos selos verdes de edificações, pois estes tendem a estimular ações sustentáveis na construção civil. Porém, à medida que o mercado vai sendo suprido com várias opções de certificações ambientais, torna-se necessário idealizar meios de efetuar comparações sistêmicas para a escolha entre as opções disponíveis. A AHP se mostrou como uma ferramenta útil para avaliar e decidir qual a mais adequada.

Como aprimoramento do trabalho aqui proposto, sugere-se o acréscimo dos seguintes critérios: custo do selo, economia de recursos alcançada em edifícios certificados e aplicabilidade (facilidade/dificuldade de obter o selo). Estes dados poderiam ser obtidos através de pesquisas com os envolvidos no processo de certificação e uma Avaliação Pós-Ocupação das edificações certificadas.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E-1765-11-Standard Practice for Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems. West Conshohocken, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575 – Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

AZEVEDO, N. D. Sustentabilidade do ambiente construído: aplicação à habitação de interesse social na região metropolitana do Recife. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

IPEA -Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. Boletim regional, urbano e ambiental. n.1. Brasília: Ipea. Dirur, 2008.

BARROS, A. D. M. A adoção de sistemas de avaliação ambiental de edifícios (LEED e Processo AQUA) no Brasil: Motivações, benefícios e dificuldades. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BUENO, C. Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais: análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro. Dissertação (Mestrado

em Arquitetura e Urbanismo) Escola de Engenharia da São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas e Letras – Editora e Gráfica, 2010. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br/projetos/manual-selo-casa-azul-caixa>> Acesso em 26 de novembro de 2012.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF), 2012. Imprensa, *release*. Disponível em <http://www1.caixa.gov.br/imprensa/imprensa_release.asp?codigo=6911973&tipo_noticia=53> Acesso em 26 de novembro de 2012.

CARLO, J., LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios - parte 1: método prescritivo. Revista Ambiente Construído, v.10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

COSTA, H. G. Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. Niteroi, RJ: H. G. Costa, 2002.

COSTA, H. G. Auxílio Multicritério à Decisão: método AHP ABEPRO, 2006.

DALLA COSTA, E., MORAES, C. S. B. Construção Civil e a Certificação Ambiental: Análise comparativa das certificações LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e AQUA (Alta Qualidade Ambiental). In: XIV ENGEMA Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2012, São Paulo/SP. Anais. São Paulo: FEA/USP - FGV, 2012.

EDWARDS, B. O guia básico para sustentabilidade. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

ELETROSUL - Centrais Elétricas S.A., 2004. Casa Eficiente. Disponível em <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>>. Acesso em 13 de outubro de 2011.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI (FCAV). Referencial Técnico de Certificação: Edifícios do setor de serviços – Processo AQUA. 2007. Disponível em <<http://pqa.pgr.mpf.gov.br/licitacoes-verdes/sustentabilidade-e-compras-publicas/certificacao%20Aqua.pdf/view>> Acesso em 3 de dezembro de 2012.

GREEN BUILDING CONCIL BRASIL (GBCBrasil). Disponível em <<http://www.gbcbrazil.org.br>> Acesso em 30 de novembro de 2012.

LAI, Y., WANG, W., WANG, H. AHP and simulation-based budget determination procedure for public building construction projects. Automation in Construction, v. 17, n. 5, p. 623-632, 2008.

LISBOA, M. V., WAISMAN, J. Multicriteria analysis in the selection of urban highway alignment alternatives with application of the Analytic Process. An environmentally sustainable approach. In: URBAIN TRANSPORT, XII, 2006, Praga. Anais. Praga: ANTAC, 2006.

MARCHEZETTI, A. L., KAVISKI, E., BRAGA, M. C. B. Aplicação do método de AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

- MATTANA, A. J., MEDEIROS, M. H. F., SILVA, N. G., COSTA, M. R. M. M. C. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, out./dez. 2012.
- MEDEIROS, M. H. F., ANDRADE, J. J. O., HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. Ied.São Paulo: IBRACON, 2011, v. I, p. 773-808.
- OLGYAY, V. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.
- PAN, N. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method. *Automation in Construction*, v. 17, n. 8, p. 958-965, 2008.
- PEREIRA, E., MEDEIROS, M. H. F., LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: um aplicação de análise hierárquica. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, jul./set. 2012.
- PICCOLI, R., KERN, A., GONZÁLEZ, M., & HIROTA, E. A certificação ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção. *Revista Ambiente Construído*, v.10, n.3, p. 69-79, jul./set. 2010.
- SAATY, T. L. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy Process. *Behaviormetrika*, v. 29, p. 1-9, 1991.
- SILVA, F. J. A., SOUZA, R. O. AHP na seleção de caminhões coletores-compactadores de resíduos sólidos. *Acta Scientiarum Technology*, v. 33, n. 3, p. 259-264, 2011.
- TAVARES, S. F. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- UEDA, T., TAKEWAKA, K. Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. *Structural Engineering International*, v. 4, p. 359-366, 2007.
- UNITED STATES GREEN BUILDING CONCIL (USGBC), 2012. Disponível em <<http://www.usgbc.org>> Acesso em 30 de novembro de 2012.
- ZAYED, T., AMER, M., PAN, J. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. *International Journal of Project Management*, v. 26, n. 4, p. 408-419, 2008.

Submetido em: 16/06/13.

Aceito em: 01/11/13.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS FECHAMENTOS: ELEMENTOS CONVENCIONAIS

Elementos convencionais – sistema de piso

Localização	Especificação	Tipo	Densidade ρ (kg/m ³)	Calor Específico c (KJ/(Kg.K))	Condutividade térmica λ (W/(m.K))
Circulações Estar Cozinha Serviço Banhos Quartos	Laje de concreto de 10 cm de espessura, impermeabilizada, com revestimento de cerâmica PEI5, atomizado, 31 x 31 cm, na cor cinza claro, assentado com argamassa colante impermeável com 4 mm de espessura e massa de rejunte com 3 mm de espessura na cor gelo.	Concreto moldado <i>in-loco</i>	2400	1,00	1,75
		Argamassa	2100	1,00	1,15
		Cerâmica	1800	1,00	0,90

Elementos convencionais – sistema de vedação

Localização	Especificação	Tipo	Densidade ρ (kg/m ³)	Calor Específico c (KJ/(Kg.K))	Condutividade térmica λ (W/(m.K))
Circulações (interna e externa) Varanda Estar Quartos	Alvenaria em bloco de concreto vazado de 14x19x29x2,5cm (larg. x alt. x comp. x esp.) chapiscada e revestida até ao teto com reboco fino e pintura com tinta latex na cor branco gelo.	Bloco de concreto	2400	1,00	1,75
		Argamassa	2100	1,00	1,15
Cozinha Serviço Banhos	Alvenaria em bloco de concreto vazado de 14x19x29x2,5cm (larg. x alt. x comp. x esp.) chapiscada, emboçada e revestida com azulejos (20 x 20cm), cor branca, rejuntados com cimento flexível branco.	Bloco de concreto	2400	1,00	1,75
		Argamassa	2100	1,00	1,15
		Cerâmica	2000	1,05	0,90

Elementos convencionais – sistema de cobertura

Localização	Especificação	Tipo	Densidade ρ (kg/m³)	Calor Específico c (KJ/(Kg.K))	Condutividade térmica λ (W/(m.K))
Banhos Quartos Circulações	Laje em concreto moldado <i>in-loco</i> , impermeabilizada, revestimento com terra (15 cm de espessura) e vegetação tipo são carlos, sem forro nos cômodos. Internamente rebocada aparente, com Pintura Latex Branco Neve.	Concreto moldado <i>in-loco</i>	2400	1,00	1,75
		Terra argilosa seca	1700	0,84	0,52
Cozinha Serviço Estar	Laje em concreto moldado <i>in-loco</i> , impermeabilizada aparente, sem forro nos cômodos. Internamente rebocada aparente, com Pintura Latex Branco Neve.	Concreto moldado <i>in-loco</i>	2400	1,00	1,75

APÊNDICE B – DIMENSÕES DE MOBILIÁRIO E CIRCULAÇÃO

Compartimento	Mobiliário			Circulação [larg. mínima] unidade: cm	
	Móvel ou equipamento	Dimensões [larg. x prof.] unidade: cm		NBR 15575/2013	HiS
		NBR15575/2013	HiS		
Sala de estar	Sofá 2 lugares com braço	120 x 70	120 x 70	240	329
	Poltrona com braço	80 x 70	80 x 70		
	Armário TV	80 x 50	80 x 50		
	Mesa redonda 4 lugares	D= 95	D= 95		
Cozinha	Geladeira	70 x 70	70 x 70	150 85 (entre equipamentos)	235 101 (entre equipamentos)
	Pia	120 x 50	150 x 60		
	Fogão	55 x 60	55 x 60		
	Gabinete	Não especificado	100 x 40		
	Apoio	Opcional	100 x 40		
Área de serviço	Tanque	52 x 53	60 x 55	50	Não aplica
	Máquina de lavar	60 x 65	60 x 65		
Banho	Lavatório	39 x 29	50 x 45	110 40 (entre equipamentos)	185 118 (entre equipamentos)
	Vaso sanitário (caixa acoplada)	60 x 70	60 x 70		
	Box quadrado	80 x 80	80 x 80		
Quarto de casal (1)	Cama	140 x 190	140 x 190	50 (entre mobiliários)	66 (entre mobiliários)
	Armário	150 x 50	150 x 50		
	Criado	50 x 50	50 x 50		
Quarto de solteiro (2)	Cama	80 x 190	90 x 190	50 (entre mobiliários)	52 (entre mobiliários)
	Armário	120 x 50	180 x 50		
	Criado	50 x 50	50 x 50		
	Mesa estudo	80 x 60	80 x 60		

APÊNDICE C – RESULTADOS TABELA DOS CONFORTO TÉRMICO

MATERIAIS AE													
Inverno – módulo 1													
Zona Bioclimática	Te,min	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	9,7	12.75	12.32	11.12	10.64	12.83	12.43	11.17	10.71	12.91	12.54	11.22	10.78

MATERIAIS AE													
Inverno – módulo 2													
Zona Bioclimática	Te,min	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	9,7	12.36	12.68	10.94	10.90	12.49	12.75	11.03	10.94	12.61	12.82	11.11	10.99

MATERIAIS AE													
Verão – módulo 2													
Zona Bioclimática	Te,max	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	31,9	27.93	28.11	28.68	29.01	28.12	28.20	28.81	29.06	28.31	28.28	28.94	29.11

MATERIAIS AE													
Verão – módulo 1													
Zona Bioclimática	Te,max	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	31,9	27.67	28.21	28.56	29.06	27.78	28.33	28.63	29.13	27.89	28.45	28.69	29.20

MATERIAIS LD													
Inverno – módulo 1													
Zona Bioclimática	Te,min	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	9,7	13.01	12.64	11.41	10.91	13.08	12.75	11.46	10.98	13.16	12.87	11.51	11.06

MATERIAIS LD													
Inverno – módulo 2													
Zona Bioclimática	Te,min	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	9,7	12.64	13.00	11.24	11.17	12.77	13.07	11.33	11.21	12.89	13.14	11.41	11.25

MATERIAIS LD													
Verão – módulo 2													
Zona Bioclimática	Te,max	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	31,9	27.67	27.83	28.45	28.74	27.87	27.91	28.58	28.79	28.05	27.99	28.71	28.83

MATERIAIS LD													
Verão – módulo 1													
Zona Bioclimática	Te,max	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	31,9	27.41	27.91	28.34	28.78	27.53	28.03	28.41	28.85	27.63	28.15	28.47	28.91

MATERIAIS CONVENCIONAIS													
Inverno – módulo 1													
Zona Bioclimática	Te,min	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	9,7	12.19	11.75	10.98	10.39	12.23	11.8	11.0	10.41	12.27	11.85	11.03	11.44

MATERIAIS CONVENCIONAIS													
Inverno – módulo 2													
Zona Bioclimática	Te,min	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	9,7	11.46	12.51	10.47	10.95	11.51	12.55	10.51	10.97	11.56	12.6	11.54	11.0

MATERIAIS CONVENCIONAIS													
Verão – módulo 2													
Zona Bioclimática	Te,max	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	31,9	28.97	28.2	29.5	28.93	29.24	28.33	29.7	29.02	29.5	28.46	29.89	29.10

MATERIAIS CONVENCIONAIS													
Verão – módulo 1													
Zona Bioclimática	Te,max	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h		Caso 1 Com sombr. 1 ren/h		Caso 2 Com sombr. 5 ren/h	
		Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala
3	31,9	28.14	28.83	28.89	29.41	28.32	29.08	29.01	29.58	28.5	29.33	29.12	29.76