



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



OBTENÇÃO DA ZONA DE CONFORTO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Ouro Preto, julho 2016



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



OBTENÇÃO DA ZONA DE CONFORTO UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Autora: Denise de Souza Cerqueira Nascimento

Orientador: Henor Artur de Souza

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

Ouro Preto, julho 2016

N244o Nascimento, Denise de Souza Cerqueira.
Obtenção da zona de conforto utilizando redes neurais artificiais [manuscrito]
/ Denise de Souza Cerqueira Nascimento. - 2015.
152f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Construção metálica. 2. Arquitetura e clima. 3. Redes neurais (Computação). 4. Ouro Preto (MG) - Clima. 5. Edificações. I. Souza, Henor Artur de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.014

**OBTENÇÃO DA ZONA DE CONFORTO UTILIZANDO REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS**

AUTORA: DENISE DE SOUZA CERQUEIRA NASCIMENTO

Esta tese foi apresentada em sessão pública e aprovada em 29 de julho de 2016, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Henor Artur de Souza, D. Sc. – UFOP (Presidente)



Prof. Adriano Pinto Gomes, D. Sc. – IFMG



Prof. Eduardo Leite Krüger, D. Sc. – UTFPR



Prof. Gertrudes Aparecida Dandolini, D. Sc. – UFSC



Prof. Maria Akutsu, D. Sc. – IPT

Existe um tempo certo para cada coisa, momento oportuno para cada propósito debaixo do sol: tempo de nascer, tempo de morrer; tempo de plantar, tempo de colher.

Eclesiastes 31,2

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permitiu e capacitou para concluir mais esta etapa.

Ao querido amigo e professor Henor, que sempre foi mais que um orientador nesta longa jornada.

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

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

Aos colegas dos programas de pesquisa que auxiliaram na coleta de dados e em especial à Françoise pelo apoio e amizade neste longo período.

À minha família que me apoiou e suportou a ausência neste longo período. E aos familiares que torceram por mim.

Aos amigos que contribuíram de alguma maneira para que não desistisse e me apoiaram.

Obrigada a todos.

RESUMO

A demanda e investimento do governo nacional para a melhoria da educação superior têm resultado em ampliações e reformas de caráter emergencial nas Universidades Federais para atender ao aumento no número de abertura de vagas com a criação de novos cursos. Com esta demanda emergente, as edificações escolares foram implantadas sem levar em consideração aspectos geográficos, humanos e construtivos que interferem drasticamente no desempenho humano nestes ambientes. Diante do retorno negativo dos usuários nos novos prédios construídos no Campus Universitário Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto, principalmente na Escola de Medicina e na Escola de Minas, o objetivo deste trabalho é obter zona de conforto utilizando redes neurais artificiais em ambientes naturalmente ventilados, considerando as condições climáticas da cidade de Ouro Preto, Minas Gerais. Com a utilização da metodologia da Avaliação Pós-Ocupação foi possível verificar as variáveis subjetivas da atual situação de uso das edificações, porém suas análises de resultados têm-se demonstrado inconsistentes com alguns métodos apresentados. E na tentativa de gerar dados cada vez mais próximos da realidade é que foi escolhido para análise de dados o método das Redes Neurais Artificiais – Inteligência Artificial, que são modelos computacionais inspirados pelo comportamento do neurônio biológico que são capazes de realizar o aprendizado de máquina, bem como o reconhecimento de padrões nos dados. Para utilização das redes neurais foram necessários os dados subjetivos coletados a partir da Avaliação Pós-Ocupação e também os condicionantes climáticos coletados por equipamentos no ambiente interno e externo. O método foi obtido pelas seguintes etapas: classificação dos dados; divisão dos grupos; definição das variáveis de entrada que determinaram os pesos e variáveis de saída e treinamento da rede com neurônios intermediários. Os resultados obtidos apresentam uma zona de conforto para temperatura – entre 22,3°C e 24,5°C, e para umidade - entre 57% e 73%. Considerando-se os dados de acordo com as estações do ano e realizando a média de seus resultados a faixa de conforto altera significativamente para temperatura – entre 16,6°C e 22,8°C e também para umidade – entre 39% e 99%. Com este resultado é possível projetar e adequar edificações inseridas nesta condição climática, adaptando-as mais próximas a esta zona de conforto a fim de que o ambiente seja um agregador positivo no aprendizado no aluno.

Palavras chave: Zona de conforto, edificações de ensino, redes neurais, condições climáticas de Ouro Preto.

ABSTRACT

The demand and investment of the national government for the improvement of education have resulted in extensions and reforms emergency in the Federal Universities to attend to the increase in the number of opening of vacancies with the creation of new courses. With this emerging demand, the school buildings were implanted without taking into account geographical, human and constructive aspects that interfere drastically in the human performance in these environments. Faced with the negative feedback from users in the new buildings built at the Morro do Cruzeiro University Campus of the Federal University of Ouro Preto, especially in the Medical School and the School of Mines, the objective of this work is to obtain a zone of comfort using artificial neural networks in natural environments ventilated, considering the climatic conditions of the city of Ouro Preto, Minas Gerais. Using the Post-Occupancy Evaluation methodology, it was possible to verify the subjective variables of the current use situation of the buildings, but their analysis of results has been shown to be inconsistent with some of the presented methods nowadays. In the attempt to generate data closer and closer to reality, the method of Artificial Neural Networks - Artificial Intelligence, which are computational models inspired by the behavior of the biological neuron that are capable of performing machine learning, was chosen for data analysis, as well as the recognition of patterns in the data. For the use of the neural networks it was necessary collected the subjective data from the post-occupancy evaluation and also the climatic conditions collected by equipment in the indoor and outdoor environment. The method was obtained by the following steps: classification of the data; Division of groups; Definition of the input variables that determined the weights and variables of output and training of the network with intermediate neurons. The results obtained show a comfort zone for temperature - between 22.3°C and 24.5°C, and for humidity - between 57% and 73%. Considering the data according to the seasons and averaging their results, the comfort range changes significantly for temperature - between 16.6°C and 22.8°C and also for humidity - between 39% and 99%. With this result it is possible to design and adapt buildings inserted in this climatic condition, adapting them closer to this comfort zone so that the environment is a positive aggregator in student learning.

Keywords: Comfort zone, educational buildings, neural networks, climatic conditions of Ouro Preto (MG – Brazil).

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Diagrama de conforto térmico	40
Figura 2.2 - PMV em função PPD	43
Figura 3.1 – Representação em diagrama em blocos do sistema nervoso	51
Figura 3.2 - Neurônio Biológico	52
Figura 3.3 - Neurônio artificial	53
Figura 3.4 - Redes <i>feedforward</i> de camadas simples	56
Figura 3.5 – Redes <i>feedforward</i> de camadas múltiplas	56
Figura 3.6 – Redes Recorrentes	57
Figura 3.7 – Aprendizagem supervisionada	58
Figura 3.8 – Aprendizagem não supervisionada	59
Figura 3.9 – Aprendizagem pom reforço	60
Figura 3.10 – Ilustração rede <i>Perceptron</i>	60
Figura 3.11 – Ilustração rede <i>Adaline</i>	61
Figura 3.12 – Ilustração de rede <i>Perceptron</i> multicamadas	62
Figura 4.1 – Diferentes equações de conforto para diferentes climas (a) Campos do Jordão – dia de janeiro e (b) Fortaleza – dia de julho	66
Figura 4.2 – Diferentes equações de conforto para diferentes climas a) Campos do Jordão – dia de janeiro e (b) Fortaleza – dia de julho	66
Figura 4.3 – Oscilação horária de dias	67
Figura 4.4 – PMV e AMV em Chongqing, China	69
Figura 4.5 – PMV Instrumental x PMV Questionário	72
Figura 4.6 – PMV Instrumental x T_o	72
Figura 4.7 – Conjuntos nebulosos: “frio”, “quente” e “frio e quente”	74
Figura 4.8 – Conjunto nebuloso de situação detectada pra o item ventilação	77
Figura 4.9 – Conjunto dos efeitos globais com os pontos dos valores determinísticos	77
Figura 5.1 – Aplicação da Avaliação Pós-Ocupação	84
Figura 5.2 – Interface <i>nmTool</i>	86
Figura 5.3 – Configurações da rede	87
Figura 5.4 – Ilustração da rede neural	88
Figura 5.5 – Treinamento da Rede	88
Figura 5.6 – Equipamentos de coleta dos condicionantes térmicos	91
Figura 5.7 – Unidades Fixas (a) Sala de Mestrandos Escola de Minas e (b) Sala da administração Escola de Medicina	91

Figura 5.8 – Localização do suporte metálico em sala de aula (a) Foto suporte metálico em sala e (b) Posicionamento do suporte metálico em planta	92
Figura 5.9 – Aparelhos utilizados para as unidades móveis (a) termômetro de globo (b) psicrômetro	93
Figura 6.1 – Expansão da educação superior no país	95
Figura 6.2 – Escola de Minas – Centro de Ouro Preto	97
Figura 6.3 – Escola de Minas – Morro do Cruzeiro	97
Figura 6.4 – Escola de Medicina – Morro do Cruzeiro	99
Figura 6.5 – Escola de Medicina	101
Figura 6.6 – Escola de Minas – Térreo	102
Figura 6.7 – Escola de Minas – 1º pavimento	102
Figura 7.1 – Amostra gênero	104
Figura 7.2 – Vestimenta	105
Figura 7.3 – Adaptação – tirar ou colocar vestimenta	105
Figura 7.4 – Iluminação das salas	105
Figura 7.5 – Movimentação do ar	105
Figura 7.6 – Satisfação	106
Figura 7.7 – Conforto do ambiente	106
Figura 7.8 – Sensação térmica	106
Figura 7.9 – Sensações nas últimas horas	107
Figura 7.10 – Dados inseridos para aprendizado da rede não supervisionada	111
Figura 7.11 – Montado a rede não supervisionada	112
Figura 7.12 – Saída rede supervisionada	113
Figura 7.13 – Saída rede supervisionada	113
Figura 7.14 – Criação da nova rede	115
Figura 7.15 – Distribuição dos dados – entrada e saída	116
Figura 7.16 – Distribuição dos dados – saída de 11 variáveis	117
Figura 7.17 – Diagrama inicial da rede – 11 saídas	117
Figura 7.18 – Treinamento da rede	118
Figura 7.19 – Resultado parcial da rede	119
Figura 7.20 – Distribuição dos dados – 7 saídas	120
Figura 7.21 – Diagrama inicial da rede – 7 saídas	120
Figura 7.22 – nnstart	121
Figura 7.23 – Função <i>Pattern</i> – seleção de dados	122
Figura 7.24 – Determinação de neurônios na camada oculta	123

Figura 7.25 – Resultado com 10 neurônios na camada oculta	123
Figura 7.26 - Resultado com 10000 neurônios na camada oculta	124
Figura 7.27 – Modelo da rede	125
Figura 7.28 – Zona de conforto para cidade de Ouro Preto	128
Figura 7.29a – Resultado Fontanella (2009)	128
Figura 7.29b – Resultado Faria (2013)	128
Figura 8.1 – Zona de conforto de acordo com média das estações	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Normas relacionadas ao conforto térmico	18
Quadro 2.1 – Diferentes aspectos de conforto	38
Quadro 2.2 – Características com a aplicação das redes neurais	50
Quadro 4.1 – Comparativo entre o modelo PMV e Adaptativo	68
Quadro 4.2 – Principais formas de modelagem de sistemas complexos	74
Quadro 4.3 – Comparativo dos tipos de incerteza	79
Quadro 5.1 – Etapas da avaliação pós-ocupação	84
Quadro 6.1 – Materiais utilizados na construção da Escola de Medicina	100
Quadro 6.2 – Materiais utilizados na construção da Escola de Minas	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Índice de resistência térmica para vestimentas	32
Tabela 2.2 – Fluxos Metabólicos	34
Tabela 2.3 - Escala de sensação térmica de Fanger	41
Tabela 3.1 – Funções de ativação	54
Tabela 4.1 – Dados físicos do ambiente analisado	69
Tabela 4.2 – Medidas de incerteza aplicadas aos dados da avaliação pós-ocupação por item avaliado	80
Tabela 5.1 – Posição dos equipamentos para medições do ambiente	91
Tabela 7.1 – Média dos gêneros	104
Tabela 7.2 – Dados de entrada	114
Tabela 7.3 – Vestimenta	117
Tabela 7.4 – Escala de sensação térmica	117
Tabela 7.5 – Funções <i>nnstart</i>	121
Tabela 7.6 – Testes da rede	124
Tabela 7.7 – Dados de acordo com as estações do ano	129
Tabela 8.1 – Resultados de acordo com as estações do ano	133

TABELA DE GRÁFICOS

Gráfico 7.1 – Média temperatura 2013	108
Gráfico 7.2 – Média temperatura 2014	108
Gráfico 7.3 – Média umidade 2013	108
Gráfico 7.4 – Média umidade 2014	108
Gráfico 7.5 – Temperatura Escola de Minas	109
Gráfico 7.6 – Temperatura Escola de Medicina	109
Gráfico 7.7 – Umidade Escola de Minas	109
Gráfico 7.8 – Umidade Escola de Medicina	109
Gráfico 7.9 – Resultado Zona de Temperatura	126
Gráfico 7.10 – Resultado Zona de Umidade	127
Gráfico 7.11 – Resultados de Inverno	130
Gráfico 7.12 – Resultados da Primavera	130
Gráfico 7.13 – Resultados do Verão	131
Gráfico 7.14 – Resultados do Outono	132

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Objetivos	22
1.1.1. Objetivo geral	22
1.1.2. Objetivos específicos	22
1.2. Motivação	22
1.3. Metodologia	24
1.4. Organização do Trabalho	24
2. ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ESCOLARES	26
2.1. Conforto térmico	29
2.2. Iluminação Natural	30
2.3. Parâmetros subjetivos	31
2.3.1. Vestimenta	31
2.3.2. Tipo de Atividade	33
2.4. Parâmetros ambientais	34
2.4.1. Temperatura do ar (T_{ar})	34
2.4.2. Umidade relativa (ϕ)	35
2.4.3. Velocidade do ar (V_{ar})	36
2.4.4. Temperatura Radiante Média (\bar{T}_r)	37
2.5. Índices de Conforto Térmico	38
2.5.1. Temperatura Efetiva (TE)	39
2.5.2. Diagrama Bioclimático de Olgyay	40
2.5.3. O índice PMV e PPD de Fanger	41
2.5.4. Temperatura Efetiva Padrão (TEP)	44
2.5.5. Zona de Conforto Térmico de Givoni	44
2.5.6. Modelo Reformulado do PMV por Fanger e Toftum	45
2.5.7. Modelo de Conforto Adaptativo	45
2.5.8. Modelo de Humphreys	46
2.5.9. Modelo de deDear e Brager – ASHRAE 55:2010	47
2.5.10. Modelo de Auliciems	47
3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL – REDES NEURAIS	48
3.1. Redes Neurais	49
3.1.1. Neurônios biológicos	50
3.1.2. Neurônios artificiais	52

3.1.3. Funções de ativação	54
3.1.4. Arquitetura de redes	55
3.1.4.1. Redes <i>feedforward</i> de camadas simples	55
3.1.4.2. Redes <i>feedforward</i> de camadas múltiplas	56
3.1.4.3. Redes Recorrentes (<i>feed-backward</i>)	57
3.1.5. Aprendizagem das redes	57
3.1.5.1. Aprendizagem supervisionada	58
3.1.5.2. Aprendizagem não supervisionada	59
3.1.5.3. Aprendizagem por reforço	59
3.1.6. Rede <i>Perceptron</i> – uma camada	60
3.1.7. Rede <i>Adaline</i>	61
3.1.8. Rede <i>Perceptron</i> múltiplas camadas	62
3.1.9. Redes neurais e conforto térmico	63
4. ESTUDOS DE CASO – REVISÃO	65
4.1. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo	65
4.2. Modelo teórico de conforto térmico adaptativo – Voto Médio Previsto Adaptado aPMV	67
4.3. Análise adaptativa de conforto térmico em salas de aula de escola superior: correlação entre dados experimentais e modelos matemáticos	70
4.4. A teoria de sistema nebuloso e as informações subjetivas de conforto ambiental	73
4.5. A inferência nebulosa aplicada à análise de dados na avaliação pós-ocupação	75
4.6. Considerações sobre a utilização de medidas de incerteza em dados de percepção do morador	78
5. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	82
5.1. Avaliação Pós-Ocupação	82
5.1.1. Aplicação da avaliação pós-ocupação	80
5.2. MATLAB para Redes Neurais	85
5.3. Ferramentas da <i>toolbox nnstart</i>	89
5.4. Obtenção dos condicionantes climáticos	90
6. OBJETO DE ESTUDO	94
6.1. Reestruturação acadêmica	94
6.2. Implementações em função do REUNI na UFOP	96
6.2.1. Escola de Minas	96
6.2.1.1. Obras realizadas na Escola de Minas	97
6.2.2. Escola de Medicina	98

6.3.	Características termofísicas de fechamentos	99
6.3.1.	Características térmicas de fechamentos – Escola de Medicina	100
6.3.2.	Características térmicas de fechamentos – Escola de Minas	101
6.4.	Considerações climáticas locais e propriedades térmicas	103
7.	ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS E DISCUSSÃO	104
7.1.	Avaliação Pós-Ocupação	104
7.2.	Dados climáticos	107
7.3.	Redes Neurais	110
7.3.1.	Modelo de aprendizagem não supervisionada	111
7.3.2.	Modelo de aprendizagem supervisionada	113
7.3.3.	Criando a rede	115
7.3.3.1.	Tentativa com 11 saídas	116
7.3.3.2.	Tentativa de 7 saídas com camada intermediária	119
7.4.	Realização de classificação por estações do ano	128
7.4.1.	Inverno	129
7.4.2.	Primavera	130
7.4.3.	Verão	131
7.4.4.	Outono	131
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
8.1.	Recomendações Futuras	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
	APÊNDICES	148
	APÊNDICE 1 - Questionário de percepção do ambiente térmico	148
	APÊNDICE 2 – Algoritmo utilizado para criação da rede neural	149

1. INTRODUÇÃO

As instituições públicas de ensino no país desde 1997 passaram por um processo de adaptação e redimensionamento por meio de verbas e incentivo do Governo Federal. A necessidade de agilidade na ampliação e limpeza no canteiro de obras fez com que a escolha da tipologia construtiva fosse de rápida montagem e industrializada, reduzindo ao máximo a utilização da obra artesanal e imprevisível. Na maioria dos casos a estrutura metálica foi a escolha preferida e pertinente devido às inúmeras vantagens construtivas do material. O que não é devidamente observado, juntamente com esta aplicação, é a escolha correta dos sistemas de fechamento de tais edificações de acordo com o uso e as condições climáticas do local de inserção.

Por se tratar de ambientes voltados para o ensino e aprimoramento intelectual dos indivíduos, é necessário que estes espaços sejam adequados para que não se interfira na qualidade de compreensão dos usuários/pesquisadores. Conforme constatado nas salas de aula por Fontanella (2009), quando o ambiente é considerado mais frio, há o aumento da presença de calafrios, e quanto o ambiente fica mais quente, aumenta-se a desatenção e a impaciência.

Segundo Roaf e Nicol (2009), os arquitetos têm muito que aprender com a análise da eficiência energética das edificações, conforto e com o estudo de prédios vernaculares. Por outro lado, as autoridades nacionais e locais podem descobrir – a partir de um estudo das edificações e da compreensão dos efeitos dos padrões climáticos em climas já existentes – como dar avisos e auxiliar as comunidades que estão lidando com condições inesperadas.

Considerando espaços destinados ao ensino, onde as condições do ambiente devem estar confortáveis e não devem interferir no nível de concentração do aluno/professor, é necessária a observância e aplicação das sugestões de conforto dos ambientes pelas normas ainda no processo de projeto edificações. No Quadro 1.1 podem-se observar alguns órgãos normativos e suas especificidades.

Quadro 1.1 – Normas relacionadas ao conforto térmico

NORMA	ESPECIFICAÇÕES
ISO 7730 (ISO, 2006)	<i>Ambientes térmicos moderados – Determinação dos Índices de PMV e PPD e especificações das condições de conforto térmico.</i> Esta norma especifica um método para determinar a sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas e apresenta condições de conforto térmico aceitáveis para ambientes termicamente controlados (câmaras climatizadas).
ISO 7726 (ISO, 1998)	<i>Ambientes térmicos – Instrumentos e métodos para as medições das quantidades físicas.</i> Esta norma apresenta quais características os equipamentos de medições de conforto térmico devem atender, bem como métodos para a utilização dos equipamentos para a medição dos parâmetros ambientais.
ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013)	<i>Condições do ambiente térmico para ocupação humana</i> Esta norma apresenta os fundamentos de termorregulação humana e conforto para a elaboração e operação de projetos e aplicações de conforto dos ocupantes da edificação. Apresenta ainda um método para determinar as condições de conforto levando em consideração a adaptação humana.
NBR 15575 (ABNT, 2013)	<i>Desempenho de edificações habitacionais</i> Esta norma apresenta diretrizes para condições térmicas no interior da edificação melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão, que propiciem conforto térmico no interior da edificação, no dia típico de inverno.

Considerando que o foco da qualidade do projeto deve ser primeiramente o usuário e a atividade a ser exercida, existe ainda, uma busca multidisciplinar para se encontrar o nível de satisfação do usuário mais próximo do ideal. A constante busca em qualidade de vida e ideais do ser humano faz com que diversas áreas se aprofundem em pesquisas sobre o assunto, e pode-se dizer que a grande complexidade é o resultado de qualidade dos dados subjetivos em geral adquiridos de medições e questionários.

O estudo sobre comportamento e espaço vem sendo discutido massivamente como princípio ideal para a harmonia física e psíquica do ser humano. Como exemplo, na área da psicologia, Bechtel e Churchman (2001) defendem a revolução contínua do pensamento de como o ambiente e a psicologia se interagem, analisando o comportamento humano em meio ao ambiente em busca de melhorias. Outro exemplo é na área de engenharia e na arquitetura, onde se defendem em pesquisas e publicações em congressos a geração de indicadores de qualidade do ambiente construído, e a necessidade de maiores pesquisas e publicações da metodologia de avaliação pós-ocupação do ambiente construído defendido por Kowaltowski e Moreira (2008), Elali (2008) e Ornstein e Ono (2011), Villa e Ornstein (2013), dentre outros.

Ornstein e Romero (1992) afirmam que a avaliação pós-ocupação é metodologia fundamentada em informações coletadas de maneira sistemática junto aos usuários dos ambientes a serem construídos ou já executados. Os resultados diagnosticados podem corrigir problemas antes mesmo da execução da obra e também podem auxiliar em projetos de melhorias em ambientes construídos a pequeno, médio ou longo prazo.

Com o intuito de determinar e qualificar cada vez mais o conforto ao ambiente, bem como de se expandir o uso de novos materiais e tecnologias, como o aço, estudos relacionados à ocupação de edificações tem aumentado (SOUZA et al., 2007; BASTOS; SOUZA, 2007; NASCIMENTO, 2009; SOUZA; FONTANELLA, 2011).

Nos dias atuais, há também pesquisas voltadas para se compreender as construções metálicas, seu processo construtivo e ocupacional. Os estudos buscam entender as edificações atuais e seu desempenho no conforto do usuário, quais materiais se adaptam melhor ao aço e suas vantagens (BASTOS; SOUZA, 2007; CAMPOS; SOUZA, 2012; NASCIMENTO; SOUZA, 2012; RIBAS 2013; GOMES; SOUZA; TRIBESS, 2013). Porém, ainda há deficiência na divulgação desses resultados para que se possa reduzir possíveis erros e implantar possíveis melhorias encontradas.

Além da não observância de estudos anteriores relacionados às edificações estruturadas em aço, a falta de informação em relação aos condicionantes climáticos locais, no Brasil, é decorrente da não obrigatoriedade do arquiteto projetista na concepção do projeto. Este profissional deveria ser o responsável pela captação do diagnóstico das necessidades do usuário que irá habitar tal edificação, para gerar o programa arquitetônico (atividade analítica que descreve o contexto conforme o projeto vai operar, e de que forma deverá responder com base nos anseios do usuário). A partir da necessidade de organizar o conhecimento pertinente ao problema a ser resolvido pelo projetista, o programa arquitetônico depende da participação do cliente e do usuário para conduzir o processo. A inclusão da diversidade de opiniões e percepções amplia a base de conhecimento disposta no programa (KOWALTOWSKI; MOREIRA, 2008).

Se a eficiência global do ambiente construído é um fator importante a ser considerado no projeto/construção de qualquer edificação e o seu desempenho global está relacionado ao conforto interno que oferece aos usuários, também contribui para o

desempenho da edificação um projeto arquitetônico que aproveita de forma eficiente as condições climáticas locais, associando-as à finalidade para a qual a edificação será utilizada, reduzindo ao máximo o consumo de energia e otimizando os usos dos recursos naturais.

Vale ressaltar que o conforto do ambiente não está relacionado apenas com os condicionantes climáticos e usuários. Vários estudos têm demonstrado a importância de se avaliar, juntamente com estes parâmetros, as possibilidades de adaptação dos usuários, ou seja, de que maneira ou quais possibilidades os usuários podem se adaptar para tornar o ambiente confortável. A avaliação do modelo adaptativo vem sendo estudado e aplicado, por Nicol e Humphreys (2002), deDear e Brager (2002), Hoof e Hensen (2007), Yao, Li e Liu (2009), Orosa e Oliveira (2011), dentre outros, em diversas áreas, com o intuito de aprimorar as expectativas e resultados de conforto mais próximos da realidade e já foi inserido na norma ASHRAE 55 em 2010 (SILVA; GHISI; LAMBERTS, 2016).

Os estudos adaptativos são de relevância nos resultados finais de índices/zonas de conforto, pois possibilitam uma zona maior de tolerância ao conforto, o que de fato acontece na realidade. A possibilidade de adaptação durante um desconforto momentâneo no interior de um ambiente pode positiva ou negativamente classificar o ambiente como confortável ou não confortável. A classificação final vai depender de quais parâmetros o avaliador está considerando para análise.

Além da importância das pesquisas de conforto ambiental em pré-projetos (dimensionamento mínimo, implantações, etc.) é de suma relevância para o êxito da construção a especificação do usuário ao profissional da concepção com aquilo que lhe é importante para seu bem estar durante sua moradia ou permanência no ambiente construído. A satisfação do usuário deverá ser analisada como uma possibilidade deste se posicionar criticamente frente à nova tecnologia, na medida em que mantém o espaço por ela produzido e que, finalmente, ao se apropriar deste espaço, possa também avaliar positiva ou negativamente como esta nova cultura construtiva afeta a relação espaço x comportamento (BASTOS; SOUZA, 2005).

Uma vez que as condições de conforto interno interferem na qualidade das atividades desenvolvidas em um ambiente construído, Fanger (1972), explica que as condições de conforto térmico são influenciadas pela atividade desenvolvida pelo indivíduo, sua vestimenta e além das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor e de massa entre o corpo e o ambiente.

É de suma relevância avaliar as condições de conforto térmico em espaços destinados ao ensino porque eles podem afetar diretamente na inteligibilidade do usuário (seja pelo aspecto acústico, térmico ou luminoso). Deveria ser papel do arquiteto, o prever e minimizar interferências climáticas e do entorno de um modo geral para que elas se tornem desprezíveis a ponto de não interferir no desempenho do aprendizado do usuário. Kowaltowski (2011) ressalta ainda que o arquiteto, ao definir espaços e usos da instituição escolar, pode influenciar a definição do conceito de ensino na escola. Por esta razão, cabe ao arquiteto o conhecimento dos aspectos pedagógicos, uma vez que eles refletem o tipo de atividade que as escolas vão desenvolver e, conseqüentemente, são elementos essenciais à definição do programa de necessidades de cada edificação escolar.

O desempenho térmico de um ambiente depende da combinação de vários fatores, dentre os quais se destacam o posicionamento do edifício e suas dependências, a escolha e execução de cobertura, paredes, pisos, tetos e esquadrias e até a especificação de equipamentos e instalações, que são possíveis geradores de ruído e/ou fontes de calor (KINSLER et al. 1982 *apud* SALES; SOUZA; NEVES, 2001).

Sendo um dos objetivos de projetistas e usuários obterem um ambiente interno confortável independente das condições climáticas externas e do entorno, com o mínimo de consumo de energia artificial, tanto para a questão do microclima, quanto para a questão da iluminação no interior, deve-se considerar que a temperatura interna de um edifício é primordialmente influenciada pelos parâmetros climáticos externos, representados pela radiação solar e pela temperatura externa, e também pelas cargas internas, ou seja, pelas atividades humanas, lâmpadas e equipamentos (AKUTSU, 1998).

Porém, a realidade atual brasileira tem gerado contextos que diferem de metodologias de adequação de projeto ao meio ideal. A atual demanda e investimento do governo na melhoria da educação tem resultado em ampliações e reformas em caráter de emergência para atender ao número de abertura de vagas necessárias, criação de novos cursos e desconsiderando completamente o contexto pedagógico e climático necessário para atividades de ensino.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Obter zona de conforto utilizando redes neurais artificiais em ambientes naturalmente ventilados.

1.1.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, para o levantamento de dados, tomando como estudo de caso as novas edificações das Escolas de Minas e de Medicina da UFOP, propôs-se:

- ✓ realizar avaliações da satisfação dos usuários nestas edificações;
- ✓ realizar medições *in loco* dos parâmetros climáticos, internos (temperatura, velocidade e umidade relativa do ar e temperatura de globo), e externos (temperatura e umidade relativa do ar);
- ✓ gerar zona de conforto térmico a partir do tratamento dos dados utilizando inteligência artificial - redes neurais.

1.2. Motivação

O presente trabalho se faz relevante, pois as diretrizes climáticas indicadas para a cidade de Ouro Preto em normas nacionais não se aplicam devido à constante mudança climática que ocorrem na cidade durante 24 horas. A tentativa de se obter zonas de conforto específicas para o lugar auxiliaria como dado inicial em pesquisas de conforto e, conseqüentemente, na proposição de estratégias arquitetônicas mais coerentes com a realidade local.

Pretende-se também avaliar o nível de satisfação dos usuários por meio da avaliação pós-ocupação e analisar se as condições térmicas do interior dos ambientes interferem nas atividades desenvolvidas.

A escolha da Escola de Minas foi para dar continuidade na pesquisa de satisfação térmica por Fontanela (2009), que apresentava pequena faixa de conforto com base em entrevistas por meio de questionários. A escola de Medicina foi escolhida especialmente por haver indícios apontados na pesquisa de Silva (2012), e por meio de entrevistas informais realizadas com funcionários e professores, de ser uma edificação termicamente desconfortável e algumas salas não são utilizadas em dias quentes, pois se apresentam termicamente desconfortáveis para a atividade de ensino.

Para Ornstein e Ono (2011), uma parte das pesquisas sobre conforto térmico apresenta como resultado a comparação entre os levantamentos de campo (medições de conforto e verificações sobre as percepções dos usuários) e as normas prescritivas e ou de desempenho existentes, confundindo atitudes necessárias a consultores no cotidiano da prática profissional com a contribuição efetiva que a pesquisa acadêmica poderia originar. Tal contexto tem gerado uma grande quantidade de estudos de caso no campo da avaliação pós-ocupação cujos resultados são diagnósticos repetitivos, muitas vezes sem contribuições de fato para a evolução da pesquisa do tema e sua aplicabilidade para a qualidade do projeto.

Para que estes resultados não se tornem repetitivos e sem contribuições no campo de pesquisa da avaliação pós-ocupação, deve-se tratar os dados subjetivos utilizando um modelo computacional matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes – Redes Neurais. Esta rede é um modelo inspirado na estrutura neural artificial que pode ter centenas ou milhares de unidades de processamento que adquirem conhecimento por meio da experiência (treinamento da rede).

É importante ressaltar que os dados obtidos por meio dos usuários, considerados subjetivos, é de suma relevância na análise térmica de um ambiente, porque é a partir da vivência e da possibilidade de adaptação do usuário que se tem a noção mais exata de como o ambiente se comporta termicamente, de que forma pode ser adaptado e até onde

ele é tolerável ou incomoda. Estes dados são importantes porque permitem, também, gerar índices de conforto térmico adequados para locais específicos.

1.3. Metodologia

Foram realizadas medições das condições térmicas no interior das salas de aula, observando as diretrizes de normas referentes às tipologias e estratégias de coleta desses dados.

Para a coleta de dados dos condicionantes térmicos, sejam eles internos ou externos, foram utilizados equipamentos de medições simultaneamente e coletados no período de um ano. As normais externas foram adquiridas pela estação meteorológica local, pertencente ao Núcleo de Pesquisa de Conforto da Escola de Minas (NUPECON) da UFOP. Já as medições internas, onde foram aferidos os condicionantes climáticos de temperatura (°C), umidade relativa (%) e velocidade do ar (m/s) e a temperatura de globo, foram coletados a partir de sensores interligados ao aparelho *Data Logger* ALMEMO 2890-9 (ALMEMO, 2003), onde são armazenados os dados.

Já com os dados coletados nas medições internas e os dados subjetivos adquiridos por meio dos questionários, foi possível treinar a rede para que gere uma média de conforto para umidade e temperatura. Esta zona de conforto foi importante para se determinar a média indicada para edificações escolares para cidade de Ouro Preto para proposição de estratégias de melhorias quando necessário.

1.4. Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em 8 capítulos. No Capítulo 1, faz-se uma explicação geral do problema a ser analisado e uma definição do estudo de caso. Neste capítulo encontram-se também os objetivos e motivação determinando a relevância do estudo de conforto ambiental em ambientes escolares e uma rápida introdução do modo de abordagem a ser utilizada na pesquisa.

No Capítulo 2 faz-se uma breve revisão do conforto ambiental, normas nacionais e internacionais direcionadas às edificações escolares.

No Capítulo 3 faz-se uma breve revisão sobre inteligência artificial – redes neurais como maneira de conhecimento prévio do assunto e um histórico de alguns índices de conforto térmico.

No Capítulo 4 apresentam-se os estudos de casos com aplicações de metodologias similares às escolhidas para o presente trabalho a fim de verificar quais métodos vêm sendo aplicado no atual cenário de pesquisa científica.

No Capítulo 5 descreve-se a metodologia utilizada, bem como as estratégias de abordagem e para aplicação de questionários aos usuários. São apresentados os aparelhos para a coleta dos dados climáticos e o período das medições. Neste capítulo também é descrito um pouco do software utilizado para aplicação da nova metodologia.

No capítulo 6 descreve-se o contexto das universidades, e um breve histórico das unidades escolhidas para o estudo de caso. São descritas suas edificações, o sistema construtivo e suas tipologias.

No capítulo 7 apresentam-se as análises e tratamento dos dados e os resultados obtidos de acordo com métodos e a metodologia aplicada. Neste capítulo é descrito quais são as etapas para aplicação da nova metodologia para obtenção da zona de conforto térmico.

No capítulo 8 se faz uma consideração final a respeito da pesquisa realizada com base nos resultados obtidos, ressaltando seus resultados e indicações de pesquisas futuras para continuidade do trabalho.

2. ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES ESCOLARES

É perceptível na história da evolução a luta para o homem conseguir sobreviver em locais frios, e a arquitetura cumprir o papel de “abrigo climático”. Para os povos das regiões frias, defender-se do inverno rigoroso significava a diferença entre viver e morrer. Em todos os climas, as construções vernáculas aproveitam habilmente os recursos disponíveis para criar soluções construtivas adequadas às necessidades específicas. Isto se verifica tanto nas geladas regiões polares quanto nas regiões mais tórridas dos trópicos (ROAF; NICOL, 2009).

Com o passar do tempo, as construções, sejam elas residenciais, comerciais ou industriais, passaram a adotar como estratégia de projeto materiais e técnicas construtivas que sejam rápidas e práticas para construção de edificações. A funcionalidade e a dinâmica ocupacional passaram a ser segundo plano nos projetos, abrindo um distanciamento entre o espaço construído e a funcionalidade.

As discussões a respeito das alterações climáticas mundiais e suas consequências vêm sendo massivamente questionadas desde o fim da década de 1960. Com o distanciamento da observância dos condicionantes climáticos e de que maneira eles interferem nas edificações, houve um crescente aumento na insatisfação do usuário frente às construções cada vez mais distantes das suas necessidades.

Pode-se considerar que o início do programa de pesquisa para reavaliar os conceitos de conforto foi em 1950 pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE). Após anos de estudo foi adotado o índice de conforto determinado por Fanger em 1972 que formulou uma equação de conforto térmico para ambientes controlados e que correlaciona a sensação térmica com a atividade metabólica do corpo humano. Este índice determinou três requisitos de conforto: que o corpo humano vive em constante balanço térmico com o ambiente, que a temperatura média da pele pode ser um indicativo de conforto, e que existe uma taxa preferencial para o conforto, dada em função da taxa metabólica. Fanger (1972) elaborou também as relações entre o denominado PMV – Predicted Mean Vote (voto

médio previsto) e PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied (percentagem de pessoas insatisfeitas) (RUAS, 2001).

Em meados da década de 1980, as previsões simuladas pelos cientistas sobre o aquecimento global começaram a demonstrar uma estreita semelhança entre as medições das mudanças climáticas que estavam de fato acontecendo, com uma clara evidência do aumento das temperaturas e da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. A expressiva escala de problemas que a humanidade e o planeta poderiam vir a enfrentar se o clima tivesse realmente mudado, mais do que sua variabilidade natural permitisse, começou a se manifestar no dinheiro gasto no pagamento de seguros por eventos climáticos. O número de mortes em eventos relacionados com o clima e no deslocamento de espécies e no surgimento de desertos aumentou ao redor do mundo (ROAF; NICOL, 2009).

O Instituto Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) foi criado em 1998 pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Organização meteorológica Mundial (WMO - *World Meteorological Organization*), com o objetivo de produzir informação científica sobre as mudanças climáticas e suas consequências potenciais nos aspectos ambientais, econômicos e sociais. Verifica-se com os dados divulgados que, nos dias atuais, a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera está superior aos limites encontrados no início do século XIX, conseqüentemente houve um aumento significativo no aumento da temperatura da superfície da terra (ROSSI, 2012).

Segundo Roaf e Nicol (2009), muitas das mudanças climáticas que ocorrerão nos próximos 30-40 anos já foram determinadas pelas emissões históricas e devido à inércia no sistema climático. Portanto, deve-se adaptar em certo grau às mudanças climáticas ainda que sejam reduzidas muitas das emissões futuras.

Estas alterações climáticas interferem não apenas nas cidades e edificações existentes e suas condições de conforto, mas também interferem significativamente no modo de adaptação dos usuários. Interferem também nas diretrizes de normas que precisam

constantemente de revisão, a fim de adaptar tanto as novas normas climatológicas quanto também as novas estratégias de conforto térmico.

As temperaturas internas em edificações naturalmente condicionadas são determinadas principalmente pelas temperaturas externas, a forma e o sistema de fechamento da edificação e o modo como esta é usada, e é possível definir valores limites para as temperaturas internas nos quais os sistemas passivos de condicionamento conseguiriam ser eficazes nos climas atuais e futuros, para diferentes regiões (ROAF; NICOL, 2009).

Em edificações expostas à radiação solar direta constante e sem proteção, os limites de temperatura interna irão depender do comportamento termofísico da envoltória e da temperatura externa e pode exigir simulações complexas e variadas para a previsão de desempenho em diferentes situações climáticas (GOMI; CASTILLA; VISIOLI, 2016; YAO et al., 2016).

Juntamente com as questões físicas das edificações atuais, é necessário também que se compreenda a dinâmica e comportamento dos usuários, possibilidades de adaptação, suas respostas culturais e subjetivas, e se formulem novos métodos de compreensão, análise e racionalização destes resultados, para que estes se tornem quantitativos e mais próximos da realidade. É a partir da quantificação lógica dos dados subjetivos que é possível prever e determinar construções mais confortáveis e que atendam melhor as necessidades do usuário.

É necessário então, cada vez mais, que profissionais voltados para a área da construção civil sejam capacitados a implantar estratégias de controle climático interno, preferencialmente natural, para serem amenizados ou evitados tais problemas. E o entendimento da realidade atual não se restringe a busca apenas na área física, mas que também sejam integrados fatores subjetivos para a tentativa do êxito.

Vale ressaltar que esta pesquisa não irá englobar análise e ponderações a respeito das questões arquitetônicas de disposição, quais práticas de metodologias de ensino estão sendo empregadas e as condições ergonômicas dos mobiliários. O propósito da pesquisa é relacionar os parâmetros climáticos com as sensações dos usuários e tipologia construtivas.

Roaf e Nicol (2009) ainda ressaltam que a qualidade de vida das sociedades futuras, dentro e ao redor das edificações depende, em grande parte, da qualidade das decisões que se toma sobre a localização e tecnologia da construção, a forma e elaboração do ambiente construído e os estilos de vida que se adota. As construções em que se irá morar daqui a 20 ou 50 anos serão, na maioria, aquelas que se ocupa ou estão sendo construídas hoje e, dessa forma, estas escolhas, hoje, devem se fundamentar nessas descrições de um futuro provável, porque elas são a melhor chance que se tem de planejar edificações que serão de alguma maneira, pelo menos apropriadas para o mundo em transformações rápidas.

A seguir são apresentados alguns conceitos e revisões dos parâmetros relacionados ao conforto térmico até os dias atuais. São apresentados parâmetros e índices de conforto térmicos já utilizados em pesquisas de conforto e quais os parâmetros de análises.

2.1. Conforto térmico

Os primeiros estudos sobre conforto térmico datam do início do século passado. As condições de conforto térmico estão diretamente ligadas à atividade desenvolvida pelo indivíduo, à sua vestimenta e às variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor e de massa entre o corpo e o ambiente.

Roaf e Nicol (2009) ressaltam que os usuários de qualquer edificação responderão ao ambiente térmico em três níveis:

- por meio de mudanças fisiológicas inconscientes – suores, tremores, tensão muscular e alterações no fluxo sanguíneo;
- por meio de respostas no comportamento – conscientes, como no acréscimo ou na remoção de roupas, ou semi-conscientes, como as mudanças na postura ou o deslocamento para um lugar mais confortável.
- utilizando controles oferecidos pela edificação que ocupam, alguns deles sem o uso de energia – abrindo janelas, fechando cortinas ou persianas – e outros que exigem o uso dos controles mecânicos da edificação – ventiladores, aquecedores e condicionadores de ar.

Pode-se dizer que o conforto térmico é de suma importância em projetos de edificações porque é essencial para que o usuário se sinta satisfeito, determina a quantidade de energia a ser utilizada e possibilita um ambiente favorável ao bom desempenho das atividades.

Para que seja considerado um ambiente termicamente confortável é necessário que haja equilíbrio nas trocas de calor e de massa entre o corpo e o meio, que haja condições de adaptação fisiológica e que os fatores ambientais estejam dentro do limite desejado de acordo com a atividade e o usuário. Como sua definição está diretamente ligada a determinantes fisiológicos e psicológicos, o conforto térmico é considerado individual e subjetivo sendo, portanto, variável. Os fatores físicos podem ocorrer por convecção de calor e de massa, radiação térmica, e condução de calor e de massa, além do tipo de vestimenta e da atividade exercida. Já os fatores ambientais que influenciam são: a velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura radiante média.

Deve-se considerar que o conforto térmico caracteriza-se por avaliações subjetivas que são influenciadas por fatores pessoais, psicológicos, hora do dia, condições físicas, comportamento, clima, raça, idade, sexo, grau de estresse (PARSONS, 2000; MORS et al., 2011). As principais normas internacionais usadas para avaliar os ambientes em relação ao conforto térmico são a ISO 7730-2005 e ASHRAE 55-2013 (RUPP et al., 2015).

2.2. Iluminação Natural

A luz é essencial para a visão, desempenhando importante papel nas respostas não visuais, influenciando o estado de alerta, humor e ritmos circadianos, além de afetar processos fisiológicos como a termoregulação, com isso, atuando no conforto térmico (KULVE et al., 2016). Nos tempos atuais a construção civil evoluiu para projetos que minimizam o consumo de energia (ACOSTA; CAMPANO; MOLINA, 2016). O uso adequado de iluminação natural é essencial para reduzir o consumo de energia artificial e proporcionar maior conforto visual (MARCH; RADARSKY; SMITH, 2012; ACOSTA; CAMPANO; MOLINA, 2016). Para que isso aconteça é necessário que as janelas permitam que a luz natural penetre nas construções (XIONG; TZEMPELIKOS,

2016). Uma janela projetada adequadamente melhora o conforto térmico e produz economia significativa de energia em relação à iluminação (LI, 2010; DAS; PAUL, 2015).

O design das janelas não é baseado somente nas condições de iluminação natural, elas devem ser projetadas pensando, também, no conforto térmico (STAVRAKAKIS et al., 2012), onde o seu desenho é primordial no aquecimento e ventilação das construções (XIONG; TZEMPELIKOS, 2016). Locais com ventilação deficiente contribuem para níveis elevados de poluentes ambientais, como o CO₂, o que ocasiona problemas de saúde (MACNAUGHTON et al., 2016). Além disso, a ativação do sistema nervoso central por causa do estresse diminui a capacidade de memorizar, na tomada de decisão e na produtividade (STARCKE; BRAND, 2012; SATISH et al., 2012).

2.3. Parâmetros subjetivos

2.3.1. Vestimenta

Item importante a ser analisado na pesquisa de conforto térmico, a vestimenta equivale à resistência térmica da roupa (I_{cl}) interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor e de massa por convecção. A vestimenta funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre.

A roupa serve como uma barreira térmica e de umidade entre o corpo e o ambiente externo (WANG; PENG; SHI, 2016) desempenhando papel de vital importância na termoregulação, alterando a transferência de calor e umidade para o ambiente (DING et al., 2011; AFZAL et al., 2014). Trabalhos realizados por Ding et al. (2011) e Cubric, Skenderi e Havenith (2013) mostram que as propriedades físicas do tecido, como permeabilidade ao ar, espessura, e características do design, como área de cobertura, aberturas, entre outras, tem impacto sobre a resistência evaporativa das roupas. Além disso, condições ambientais, movimentos corporais e postura podem afetar a resistência evaporativa das roupas (BELGHAZI et al., 2005; CARAVELLO et al., 2008; WANG et al., 2012). Quando condições climáticas externas superam as necessidades corporais

ideais, algumas roupas específicas são usadas para fornecer as demandas corporais ideais e assim melhorar a sensação de conforto térmico (AFZAL et al., 2014). O costume social, necessidades culturais e clima regional desempenham papel importante no estilo de roupa usada o que muitas vezes leva a pessoa a usar uma roupa inadequada para as condições climáticas naquele momento, gerando uma sensação de desconforto em relação ao clima. Em graus variados, a roupa influencia o estresse em relação ao calor e essa exposição diminui o desempenho de trabalho da pessoa (CARAVELLO et al., 2008; UDAYRAJ; DAS; ALAGIRUSAMY, 2016).

A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra, do ajuste ao corpo, e deve ser medida por meio das trocas secas relativas a quem usa. Sua unidade é o *clo*, originada de *clothes*, onde, $1\text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} = 1$ (terno completo). Na Tabela 2.1 mostram-se alguns valores de (I_{cl}) que representa o índice de resistência térmica para algumas peças de roupa.

Tabela 2.1 – Índice de resistência térmica para vestimentas

VESTIMENTA	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA TÉRMICA ($\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$)
Meia calça	0,10
Meia fina	0,03
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Cuecão longo	0,10
Camiseta de baixo	0,09
Camisa de baixo mangas compridas	0,12
Camisa manga curta	0,15
Camisa fina mangas compridas	0,20
Camisa manga comprida	0,25
Camisa flanela manga comprida	0,30
Blusa com mangas compridas	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Vestido grosso manga comprida	0,40
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Calça flanela	0,28
Sapatos	0,04

Fonte: Adaptado da ISO 7730 (ISO, 2006)

Em climas secos (desertos), onde se atinge temperaturas elevadas, poder-se-ia pensar que a ausência de roupas poderia garantir condições mais confortáveis para os habitantes destas regiões. No entanto, em climas secos, vestimentas adequadas podem manter a umidade advinda do organismo pela transpiração e evitar a desidratação. A vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor.

2.3.2. Tipo de Atividade

Outro fator importante no processo de análise do conforto térmico é o tipo de atividade desenvolvida no local.

No processo metabólico o homem produz energia interna a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular) e o restante é liberado na forma de calor. A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico executado (RUAS, 1999). Em geral, os valores das atividades são dados na unidade Met: $1 \text{ Met} = 58,2 \text{ W} / \text{m}^2$ ou $50 \text{ kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$. A unidade Met representa a energia produzida no tempo por unidade de área superficial do corpo, sendo assim ela é variável com as características físicas das pessoas.

O homem é um ser homotérmico, isto é, pode manter dentro de certos limites a temperatura corporal interna relativamente constante, independente da temperatura ambiente. Portanto, deverá haver permanente e imediata eliminação do excesso de calor produzido para que a temperatura do corpo possa ser mantida constante. O controle da temperatura corporal é realizado por um sistema chamado de termorregulador que comanda, por meio da vasodilatação e vasoconstrição, a quantidade de sangue que circula na superfície do corpo, possibilitando, respectivamente, maior ou menor troca de calor com o meio. Um adulto normal possui em média uma superfície corporal de $1,8 \text{ m}^2$, homens possuem $1,93 \text{ m}^2$ e mulheres $1,65 \text{ m}^2$ (CIUHA; MEKIAVIC, 2016). Assim esse adulto em conforto térmico com uma atividade de 1 Met terá uma perda de calor de cerca de 105 W.

Considerando que o calor gerado pelo corpo humano depende da atividade exercida, podem-se observar na Tabela 2.2 algumas taxas de atividades metabólicas para atividades comuns.

Tabela 2.2 – Fluxos Metabólicos

ATIVIDADES	FLUXOMETABÓLICOS	
	W/m ²	met
Deitado, reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório)	70	1,2
Atividade leve em pé (balconista, trabalho doméstico, em máquinas)	93	1,6
Atividade média em pé (balconista, trabalho doméstico, em máquinas)	116	2,0
Andando em nível: 2 km/h	110	1,9
Andando em nível: 3 km/h	140	2,4
Andando em nível: 4 km/h	165	2,8
Andando em nível: 5 km/h	200	3,4

Fonte: Adaptado da ISO 7730 (ISO, 2006)

2.4. Parâmetros Ambientais

2.4.1. Temperatura do ar (T_{ar})

A temperatura do ar é uma das principais variáveis do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, por meio do processo de convecção de calor, complementada pelos outros mecanismos termoreguladores. O calor é produzido pelo corpo por meio do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a camada mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

A temperatura do ar, chamada de temperatura de bulbo seco, T_{BS} , costuma ser medida com a temperatura de bulbo úmido por meio do psicrômetro giratório. A temperatura de bulbo úmido é medida com um termômetro semelhante ao usado para medir a T_{BS} , porém com um tecido no bulbo do termômetro de forma que a umidade seja considerada. Este par forma o psicrômetro giratório, ou par psicrométrico. O giro

manual do psicrômetro, que pode ser substituído por um pequeno ventilador, visa retirar a umidade excessiva do tecido que envolve o bulbo de forma que T_{BU} possa ser medida sob os efeitos naturais da perda de calor para evaporação da água do tecido. Assim, a T_{BU} é sempre menor que T_{BS} .

Para o conforto, é interessante conhecer também a temperatura operativa. A temperatura operativa resume as perdas da temperatura do corpo, que está submetido a um ambiente real com efeitos desiguais por todos os lados, ou seja, leva em conta as trocas de calor por convecção com o ar e por radiação térmica com as superfícies do ambiente. A temperatura operativa é uma temperatura teórica que provoca uma perda de calor equivalente a todos os fenômenos que provocam esta perda caso o corpo estivesse em um ambiente imaginário submetido apenas a uma temperatura homogênea.

2.4.2. Umidade relativa (ϕ)

A umidade é caracterizada pela quantidade de vapor d'água contido no ar. Este vapor se forma pela evaporação da água, processo que supõe a mudança do estado líquido ao gasoso, sem modificação da sua temperatura.

O ar, a uma determinada temperatura, somente pode conter certa quantidade de vapor de água. Quando se chega a esse valor máximo diz-se que o ar está saturado. Ultrapassado este limite, ocorre a condensação, no qual o vapor excedente passa ao estado líquido, provocando o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação. Estes processos dão lugar a uma forma particular de transferência de calor: um corpo perde calor por evaporação, que será ganho por aquele no qual se produz a condensação.

A umidade do ar, conjuntamente com a velocidade do ar, intervém na perda de calor por evaporação da pele. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada sob a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração) é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas.

À medida que a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas por convecção e radiação, o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Quanto maior a umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor. Isto mostra a

importância de uma ventilação adequada. Porém, quando a temperatura do ar é superior a da pele, a pessoa estaria ganhando calor por convecção. Mas, ao mesmo tempo se produz um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera as perdas por evaporação. No momento em que o balanço começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas se ganharia calor, a umidade do ar torna-se importante. Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz a pessoa começar a ganhar mais calor assim que a temperatura do ar seja superior a da pele. No caso em que o ar está seco, as perdas continuam ainda com as temperaturas mais elevadas.

A baixa umidade proporciona conforto tanto para as pessoas que estão em movimento como para aquelas que estão paradas, isso acontece devido à rápida evaporação do suor (TSUTSUMI et al., 2007). Em regiões tropicais tem-se a necessidade de remover a umidade excessiva do interior dos ambientes, essa umidade elevada reduz a eficiência de resfriamento por evaporação (AFLAKI et al., 2015), além disso, a alta umidade favorece o crescimento de fungos (ABDUL-WAHAB et al., 2015), bronquites (WOLKOFF; KJAERGAARD, 2007) e poluentes dos materiais usados na construção (ABDUL-WAHAB et al., 2015). Porém, baixo nível de umidade provoca redução da mucosa do nariz e dos olhos, levando a irritação e desconforto (TSUTSUMI et al., 2002).

A ventilação natural é a melhor forma para atingir níveis confortáveis de umidade e temperatura no interior das construções (AFLAKI et al., 2015). Diferentes tipos de ventilação natural são usados na arquitetura em regiões tropicais para diminuir as altas temperaturas e umidades (SIEW et al., 2016). Na China, recomenda-se que a umidade relativa esteja entre 40-80% no verão e de 30-60% no inverno (ABDUL-WAHAB et al., 2015). Na América do norte a umidade adequada é de 30-80% no verão e 30-55% no inverno para o Canadá (FEDERAL PROVINCIAL ADVISORY COMMITTEE, 1989) e 40-60% no verão e 30-60% no inverno para os Estados Unidos (ASHRAE).

2.4.3. Velocidade do ar (V_{ar})

A velocidade do ar, que costuma ser abaixo de 1m/s, ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura

no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

Há vários tipos de anemômetros para medição da velocidade do ar, como o anemômetro do tipo hélice, sônico, fio quente, entre outros.

A velocidade do vento influencia as perdas convectivas de calor e evaporação do corpo humano, influenciando as condições de conforto térmico (MCYINTRE, 1978). Cândido et al. (2010) avaliando salas de aula universitárias em Maceió chegou a conclusão que a velocidade do mínima do ar requerida é de 0,4 m/s para 26 °C e 0,9 m/s para temperaturas em torno de 30 °C. A introdução de correntes de ar com velocidades mais elevadas nas salas pode ser considerado como desejável, velocidades mais altas removem o calor sensível e latente do corpo de modo que se restaure o conforto térmico (CÂNDIDO et al., 2010).

2.4.4. Temperatura Radiante Média (\bar{T}_r)

A temperatura radiante média representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação térmica é igual ao ambiente real não uniforme. Por se tratar da temperatura média das superfícies de um ambiente, o seu valor pode ser maior ou menor que a temperatura do ar.

Para a obtenção da \bar{T}_r , utiliza-se o termômetro de globo. Este termômetro é uma esfera metálica, pintada de preto, medindo aproximadamente 15cm, com um sensor de temperatura no centro.

Para calcular a \bar{T}_r são consideradas as seguintes variáveis: T_a temperatura do ar, T_g temperatura de globo, D diâmetro do globo e ϵ_g emissividade do material. Para ventilação natural, a velocidade do ar também é considerada, conforme equação:

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 \times \sqrt{|t_g - t_a|} \times (t_g - t_a) - 273} \quad (2.1)$$

onde, t_g é a temperatura de termômetro de globo (°C); t_a é a temperatura do ar (°C).

2.5. Índices de Conforto Térmico

Diferentes índices de conforto térmico são usados para avaliar os efeitos do clima em humanos, além de serem usados, entre outros, na saúde (ARAÚJO, 2012), mitigação de impactos ambientais (MÜLLER; DRALLE; THOMPSON, 2014) e na arquitetura (NIKOLOPOULOU E STEEMERS, 2003). Em humanos, os efeitos climáticos podem ser matematicamente representados por índices de conforto térmico, que são baseados na percepção mental de satisfação e dados meteorológicos. Temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, normalmente são usadas para determinar índices de conforto térmico (BRÖDE et al., 2012). Com isso, foram desenvolvidos diferentes índices de conforto térmico para ambientes internos e externos (EPSTEIN; MORAN, 2006). A escolha de um índice, geralmente, é feita com base na simplicidade e na aplicabilidade (PROVENÇAL et al., 2016). Porém, devem ser consideradas as limitações dos índices, que em muitos, baseia-se na simplificação das interações que ocorrem entre o corpo humano e o clima, que determinam a sensação térmica (BATISTA et al., 2016).

Estes índices foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados conforme mostrado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Diferentes aspectos de conforto

ASPECTOS	CONCEITOS
Índices biofísicos	Baseiam-se nas trocas de calor e de massa entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor e de massa que dão origem a esses elementos
Índices fisiológicos	Baseiam-se nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do vento
Índices subjetivos	Baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Fonte: Adaptado de ROAF; NICOL (2009).

De forma geral, estes índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta do indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais pela maioria dos indivíduos.

As pesquisas para determinação desses índices de conforto térmico são analisadas sob a abordagem do modelo de balanço térmico (para ambientes controlados, onde são analisadas as trocas térmicas entre o corpo e o entorno) e o modelo adaptativo (análise de conforto em situações reais no ambiente construído). Em construções, como exemplo de índices usados para avaliar o conforto térmico tem-se o *Predicted Mean Vote* (PMV), *Percent of People Dissatisfied* (PPD), *Percentage outside Thermal Comfort Zone* (POS), *Comfort Indoor Degree Hours* (CIDH), *Indoor Environmental Quality* (ICQ), Diagrama bioclimático de Olgyay, Nova Temperatura Efetiva (TE*), Zona de Conforto Térmico de Givoni, Modelo de deDear e Brager, Modelo de Humphreys e Modelo de Auliciens (NGUYEN; REITER, 2012; RUPP; GHISI, 2014; YILDIZ, 2015; SINGH; MAHAPATRA; TELLER, 2015; ATTIA; CARLUCCI, 2015; SILVA; GHISI; LAMBERTS 2016; SAKELLARIS et al., 2016; ALMEIDA; RAMOS; FREITAS, 2016; ROSENFELDER et al., 2016; CETIN; MANUEL; NOVOSELAC, 2016). Para ambientes externos os índices mais usados são o PET (Physiologically Equivalent Temperature) e UCTI (Universal Thermal Climate Index) (LAI et al., 2014; RUTTY; SCOTT, 2015; HUANG; LIN; LIEN, 2015; NIU et al., 2015; PERKINS; DEBBAGE, 2016; SALATA; GOLASE; VOLLARD, 2016; WATANABE; ISHII, 2016)

Para que se tenha um breve conhecimento de alguns tipos de índices de conforto térmico, a seguir são apresentados alguns dos mais conhecidos e utilizados.

2.5.1. Temperatura Efetiva (TE)

A temperatura efetiva é proposta como um critério de avaliação de conforto térmico baseado no estudo de respostas de conjunto de pessoas que trabalhavam em ambientes diferentes considerando as combinações de temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade de ar (HOUGHTEN; YAGLOU, 1923 citado por MONTEIRO, 2008). Esse índice é calculado marcando-se a temperatura de bulbo seco ou de globo medida à

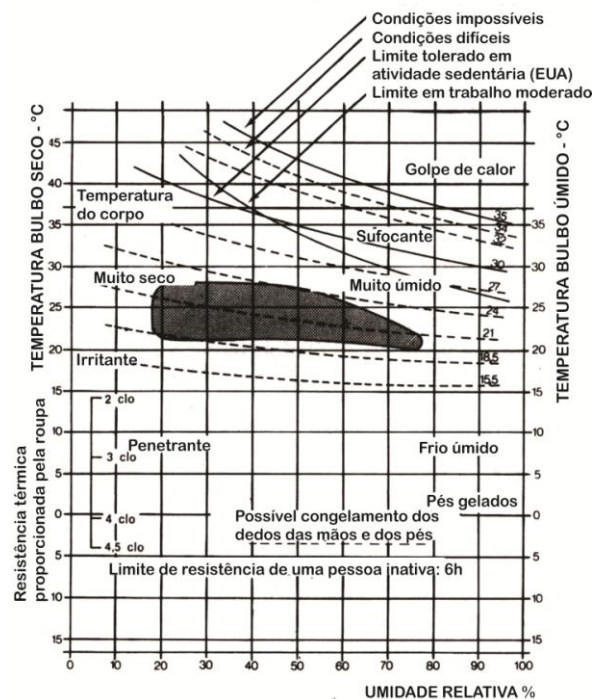
esquerda e a temperatura de bulbo úmido a direita. A interseção desta linha com a linha que representa a velocidade do ar deve coincidir com a zona de conforto térmica determinada.

Este índice de conforto subestima o efeito da umidade em situações de baixas temperaturas. Não leva em consideração a troca de calor por radiação térmica e não possui um fator para avaliação de metabolismo total para exposições de calor em condições distintas de conforto térmico.

2.5.2. Diagrama Bioclimático de Olgay

Este diagrama foi o primeiro a ser desenvolvido pelos irmãos Olgay (1963), onde foram representados em uma carta os parâmetros de conforto térmico, considerando os dados do clima externo para a proposição de estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. Esta carta, conforme mostrado na Figura 2.1, possibilita então estabelecer uma zona de conforto térmico para edificações, correlacionando a temperatura de bulbo seco, a umidade relativa, a velocidade do ar e a radiação térmica (OLGYAY, 1963).

Figura 2.1 – Diagrama de conforto térmico



Fonte: adaptado de IZARD; GUYOT, 1983.

Há que se considerar este estudo por ser o pioneiro na pesquisa de conforto térmico, porém este modelo apresenta limitações, pois desconsidera as características físicas da edificação. Este método representa somente as estratégias de ganho solar, ventilação e resfriamento evaporativo.

2.5.3. O índice PMV e PPD de Fanger

Na grande maioria das pesquisas sobre índice de conforto térmico no Brasil, o modelo para a determinação mais utilizado é o índice PMV/PPD.

Este método, que é utilizado pela ISO 7730 (2006), proposto por Fanger (1972), é utilizado para avaliar o conforto térmico no interior de ambientes com condições térmicas controladas. Considerado um dos mais completos índices de conforto, considerando sua grande aplicação em pesquisas e referências em normas, pois analisa a sensação de conforto em função das variáveis como: temperatura e umidade relativa do ar interno, velocidade do ar, temperatura radiante média, a partir da temperatura de globo, tipo de atividade exercida e tipo de vestimenta. Faz uma relação das 6 (seis) variáveis com o voto médio previsto (PMV) e deste com a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD).

O PMV é baseado, por meio de extensos experimentos, em um modelo estático de transferência de calor e de massa, calibrado a partir de um grande número de pessoas numa câmara climática, por meio da escala conforme mostrado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Escala de sensação térmica de Fanger

ESCALA	3	2	1	0	-1	-2	-3
SENSAÇÃO TÉRMICA	Muito Quente	Quente	Levemente Quente	Neutro	Levemente Frio	Frio	Muito Frio

Fonte: Adaptado da ISO 7730 (ISO, 2006)

Esta abordagem procura captar as respostas das pessoas ao ambiente térmico em termos de transferência de calor e de massa do ambiente físico e da fisiologia. O modelo de balanço térmico indica que a sensação térmica está intimamente relacionada com a carga térmica sobre o efeito dos mecanismos do sistema termoregulador humano. As variáveis consideradas mais importantes são os níveis de atividades, a resistência

térmica da roupa, temperatura do ar, velocidade relativa do ar e a umidade relativa do ar do ambiente.

Para calcular o PMV, as normas ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) e ISO 7730 (ISO, 2006), determinam as seguintes expressões:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,0036 \cdot M) + 0,028]. \quad (2.2)$$

$$\begin{cases} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ \quad \{-1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M(34 - T_{ar})\} \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{roupa} [(T_{roupa} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] - f_{roupa} \cdot h_c (T_{roupa} - T_{ar}) \end{cases} \quad (2.3)$$

$$T_{roupa} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{roupa} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{roupa} [(T_{roupa} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] + f_{roupa} \cdot h_c \cdot (T_{roupa} - T_{ar})\} \quad (2.4)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} & \text{para } 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} & \text{para } 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (2.5)$$

$$f_{roupa} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{roupa} & \text{para } I_{roupa} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{roupa} & \text{para } I_{roupa} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (2.6)$$

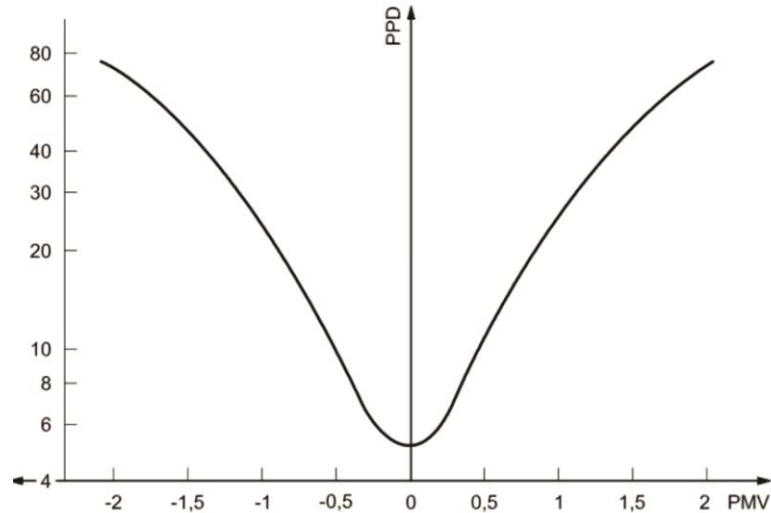
onde M é o fluxo metabólico (W/m^2), sendo $1 \text{ MET} = 58,2 \text{ W/m}^2$; W é a potência mecânica eficaz por unidade de área (W/m^2); I_{roupa} é o isolamento da roupa ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), sendo $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$; f_{roupa} é o fator de superfície do vestuário; T_{ar} é a temperatura do ar (°C); \bar{T}_r é a temperatura radiante média (°C); V_{ar} é a velocidade relativa do ar (m/s); p_a é a pressão parcial de vapor da água (P_a); h_c é o coeficiente de transferência de calor convectivo ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); T_{roupa} é a temperatura superficial da roupa (°C).

Este índice deve ser usado apenas para valores entre -2 e $+2$, pois acima destes limites ter-se-ia aproximadamente mais de 80% das pessoas insatisfeitas, como se pode perceber na curva mostrada na Figura 2.2.

Observa-se pela curva mostrada na Figura 2.2 que sempre haverá uma percentagem de insatisfeitos, em torno de 5% na condição de neutralidade térmica (conforme escala de sensação térmica utilizada como referência). Desse modo, devido as diferenças

individuais é difícil especificar exatamente um ambiente térmico que satisfaça a todos. Segundo a norma ISO 7730 (ISO, 2006), um ambiente é considerado termicamente aceitável quando $PPD < 10\%$, ou seja, $-0,5 < PMV < +0,5$.

Figura 2.2 - PMV em função PPD



Fonte: ISO 7730 (ISO, 2006)

Já percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) é um índice que estabelece uma previsão quantitativa do percentual de pessoas insatisfeitas termicamente quando sentem muito calor ou muito frio. Para efeitos da norma ISO 7730 (ISO, 2006), pessoas termicamente insatisfeitas são aquelas que reportam sentir-se muito quente, quente, frio ou muito frio sobre a sensação térmica na escala de 7 pontos conforme apresentado na Tabela 2.3.

Após o cálculo do PMV, calcula-se o PPD por meio da Equação (2.7), ou por meio da curva mostrada na Figura 2.2:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (2.7)$$

Por se tratar de dados gerados a partir de uma câmara climática (condições controladas), onde são desprezadas as condições climáticas reais, principalmente a temperatura do ar e a umidade, e também as possibilidades de adaptação dos usuários, este modelo foi criticado e vários autores verificaram que as normas ISO 7730 (ISO, 2006) e ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) não se aplicam a todos em ambientes com estresse térmico (muito quente ou muito frio) e propuseram algumas soluções para melhorar estas normas.

Desde a década de 1990 foram estudados vários outros modelos que levaram em conta situações em ambientes reais, naturalmente ventilados, para verificar as condições de conforto e dentre eles estão os estudos de Nicol e Humphreys (1973), Auliciems e Szokolay (1997) deDear e Brager (2002).

2.5.4. Temperatura Efetiva Padrão (TEP)

Conforme descrito por Lima et al. (2005), este índice foi desenvolvido a partir da nova Temperatura Efetiva, TE*, por Nishi e Gagge em 1977¹, podendo ser aplicado em várias situações, mesmo sob condições não uniformes de pressão atmosférica.

A definição desse novo índice considera um ambiente controlado, similar a um real, ao nível do mar, com 50% de umidade relativa, pessoas em atividade sedentária (1,1 met) e resistência das vestimentas de 0,6 clo. Szokolay (2004) adota esse índice em conjunto com a equação do modelo adaptativo de Auliciems (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997) para definir a zona de conforto na carta psicrométrica.

2.5.5. Zona de Conforto Térmico de Givoni

A Zona de Conforto Térmico de Givoni (1976) foi desenvolvida a partir de pesquisas realizadas em Israel, EUA e Europa, considerando as expectativas de temperatura interna em edificações sem ar condicionado. A zona de conforto é demarcada na carta psicrométrica, com diferenciação para países em desenvolvimento de clima quente. Também são demarcadas zonas de estratégias bioclimáticas para o controle das condições de conforto no ambiente interno, como: ventilação diurna, massa térmica com e sem ventilação noturna e resfriamento evaporativo direto e indireto, este último por meio de aberturas na cobertura (LIMA et al. 2005).

Com este diagrama é possível verificar se soluções arquitetônicas são adequadas ou não ao clima do lugar e quais estratégias bioclimáticas podem ser adotadas para se obter um melhor índice de conforto a partir de um melhor desempenho da edificação frente ao clima e ao seu entorno.

¹ NISHY, Y.; GAGGE, A. P. Effective temperature scale useful for hypobaric and hyperbaric environments. *In* Av. Space Env. Med. 48, 97-107, 1977.

2.5.6. Modelo Reformulado do PMV por Fanger e Toftum

Lima et al. (2005) relatam que ao reconhecerem as críticas feitas ao índice PMV, Fanger e Totfum (2002) desenvolveram um fator de correção a ser aplicado sobre esse índice, passando a chamá-lo de modelo reformulado do PMV. Estes autores argumentam que as diferenças encontradas entre a sensação térmica em uma situação real e a estimada pelo índice ocorrem em função das expectativas de seus ocupantes. Normalmente estes têm vivido em ambientes internos e externos quentes durante gerações e estariam mais adaptados aos ambientes com temperaturas mais elevadas.

Fanger e Toftum (2002) explicam que em edifícios não climatizados, em climas quentes, os ocupantes podem sentir o calor como sendo menos termicamente estressante do que o PMV prevê. A principal razão é a baixa expectativa, embora a taxa metabólica que é estimada consideravelmente elevada também pode ajudar a explicar a diferença. No modelo reformulado é introduzida uma extensão do modelo PMV que inclui um fator de expectativa para utilização em edifícios não climatizados em climas quentes.

Considerando a adaptabilidade de indivíduos acostumados em climas quentes tendem a se adaptar às condições ambientais realizando suas atividades em menor intensidade. Os autores observam que o modelo atual é consideravelmente mais flexível, podendo estimar a temperatura de neutralidade entre 10°C e 35°C, dependendo das outras cinco variáveis e que o modelo apresenta bons resultados mesmo sob pequenas variações comuns em ambientes internos.

2.5.7. Modelo de Conforto Adaptativo

A suposição fundamental da aproximação do adaptável é expressa pelo princípio adaptativo, isto é, se uma mudança acontecer e produzir desconforto, as pessoas reagem de modo a restabelecer a situação confortável (NICOL; HUMPHREYS, 2002).

Este princípio foi aplicado em pesquisas de campo administradas em uma gama de ambientes e assim legitima muitas análises de pesquisas de conforto, dentre elas pode-se citar Humphreys (1976, 1978), Auliciems e deDear (1986), Nicol e Humphreys (2002) e deDear e Brager (2002).

Os modelos de conforto adaptativo são pensados para situações onde as pessoas têm a possibilidade de se adaptar ao ambiente (como por exemplo, ajustar as roupas, abrir ou fechar janelas para modificar o fluxo do ar no ambiente), e assim, proporcionam zonas de conforto térmico substancialmente maiores do que as normas racionais, possibilitando o dimensionamento de equipamentos de aquecimento/arrefecimento com menor potencial, originando menores consumos energéticos.

No modelo adaptativo, é proposta uma equação de regressão que relaciona a temperatura interior de conforto com a temperatura média mensal exterior. Uma das aplicações destas normas adaptativas é a possibilidade de preverem a temperatura interior de conforto a partir da temperatura exterior, sendo muito útil para se avaliar soluções passivas de aquecimento/arrefecimento para o edifício (SILVA, 2006).

As principais críticas aos modelos adaptativos recaem principalmente sobre a qualidade dos dados coletados e a desconsideração das quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade e ventos) e as duas variáveis pessoais (vestimenta e metabolismo) (FANGER; TOTFUM, 2002).

2.5.8. Modelo de Humphreys

Nicol e Humphreys (1973) foram os primeiros a propor um modelo adaptativo, onde definiram que a aproximação racional para o conforto térmico busca explicar as respostas das pessoas ao ambiente térmico em termos de transferência de calor pelos aspectos físicos e fisiológicos.

Humphreys e Nicol (2000) apresentaram a evidência de que a temperatura de conforto (T_c) em edifícios naturalmente ventilados depende diretamente da temperatura externa mensal (T_o), tão estável quanto os dados apresentados por Humphreys nos anos 1970 e na base de dados da ASHRAE de 1998. A equação de conforto pode ser descrita da seguinte maneira:

$$T_c = 13,5 + 0,54T_o \quad (2.8)$$

2.5.9. Modelo de deDear e Brager – ASHRAE 55:2010

Proposto por deDear e Brager (2002), a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) incorporou em 2010 a abordagem adaptativa em seu modelo. Para ambientes ventilados naturalmente foi considerado a temperatura de bulbo seco, T_o , em vez do índice, TE, que foi proposto originalmente na primeira publicação, tornando o cálculo mais simples. Assim a temperatura de conforto T_{comf} ou T_c é representada assim:

$$T_{comf} = 0,31 T_o + 17,8 \quad (2.9)$$

Assim, os limites de conforto para edificações naturalmente ventiladas são definidos por $T_{comf} \pm 2,5^\circ\text{C}$ para 90% de pessoas satisfeitas e $T_{comf} \pm 3,5^\circ\text{C}$ para 80% de usuários satisfeitos, em atividades leves (1, 1-1,4 met) e usando uma vestimenta de 0,7 clo no verão.

2.5.10. Modelo de Auliciems

Auliciems (1981) considera tanto as respostas fisiológicas para parâmetros internos medidos por meio de instrumentos quanto às expectativas dos ocupantes, baseadas em determinantes climáticos e culturais. Assim como em outros trabalhos sua equação traz a temperatura de neutralidade (T_n) variando em função da temperatura média mensal externa (T_o) (LIMA et al., 2005):

$$T_n = 17,6 + 0,31T_o \quad (2.10)$$

3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - REDES NEURAIAS

Pode-se dizer que a Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação e da engenharia de computação que procura reproduzir, por meios computacionais, capacidades para raciocinar, planejar, resolver problemas, armazenar conhecimento, perceber e adaptar-se ao meio, aprender.

Para McCarthy (2004), a Inteligência Artificial pode ser expressa como a combinação da ciência e da engenharia de fazer máquinas inteligentes e é necessário conceber e construir programas de computador sofisticados, que tenham a capacidade de fazer o computador compreender a inteligência humana ou agir de forma parecida ao ser humano.

É a habilidade de reconhecer e criar padrões relevantes para algum fim. Dentre os as diversas maneiras de aplicação computacional da Inteligência Artificial, pode-se destacar os seguintes modelos (informação verbal) ²:

- Sistemas Especialistas - Capturam, emulam e distribuem habilidade.

Estes sistemas são criados pelos chamados engenheiros do conhecimento, que são “*coded by hand*”. Eles entrevistam especialistas e tentam compreender como os especialistas resolvem seus problemas e emulam isso na máquina.

Os sistemas tem conjunto de regras que também podem ser objetos que se relacionam de determinada maneira e a memória do trabalho dos fatos, que podem ser armazenados em um banco de dados, e a partir daí o sistema pode solicitar informações adicionais em tempo real.

- Modelos *Bayesianos*

São construídos por modelos baseados em fundamentos matemáticos da lógica Bayesiana, construídos por meio de um sistema que lida com lógica probabilística. A função de determinar a probabilidade dos eventos futuros, baseado em ocorrências passadas semelhantes.

² Neil Jacobstein, co-Chair of the AI and Robotics track at Singularity University. Executive Program at the NASA Ames Research Center in Mountain View, CA. November, 2009.

- HTM – *Hierarchical Temporary Memory*

Sistema utilizado para reconhecimento de padrões, com base no mecanismo cerebral de recompensa. Os modelos HTM organizados hierarquicamente descobrem padrões especiais e temporais durante uma sequência de tempo.

- Redes Neurais – *Neural Networks*

Similar a um modelo simplificado de conexões de multicamadas de neurônios e interneurônios. Não necessariamente seguem a maneira que o cérebro implementa. É uma abordagem de dados estatísticos não lineares para padronizar o reconhecimento.

É utilizado para modelar relações complexas entre entradas e saídas para encontrar padrões nos dados na rede multicamada com base nos dados de treinamento. Eles são receptivos a *hardware* e algoritmos de processamento paralelo.

- Algoritmos genéricos – métodos de soluções de problemas que simula a seleção evolutiva

São muito poderosos na realização de tarefas específicas e podem criar um padrão de aptidão. Os sistemas podem dar notas para o desempenho de cada solução em uma simulação, e aí os códigos podem ser gerados aleatoriamente, podem-se variar os parâmetros.

Dentre os modelos apresentados, a Rede Neural será o modelo adotado para aplicação desta pesquisa, pois neste modelo é indicado para aplicação quando se possui uma quantidade significativa de dados a serem analisados.

3.1. Redes Neurais

Para Silva, Spatti e Flauzino (2010), redes neurais artificiais são modelos computacionais inspirados no sistema nervoso dos seres vivos. Possuem a capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento (baseado em informações) e podem ser definidas como conjuntos de unidade de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais, que são interligados por um grande número de interconexões (sinapses artificiais), sendo estas representadas por vetores/matrizes de pesos sinápticos.

Pode-se dizer que estes modelos computacionais foram formulados para terem o desenvolvimento e comportamento de maneira semelhante ao neurônio humano. A estrutura individual dos neurônios, a topologia de suas conexões e o comportamento conjunto desses elementos de processamento naturais formam a base para o estudo das redes neurais artificiais (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2011). A seguir no Quadro 2.2 podem-se verificar as características mais relevantes envolvidas com aplicação de redes neurais artificiais.

Quadro 2.2 – Características com a aplicação das redes neurais

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
Adaptação por experiência	São ajustadas a partir da apresentação sucessiva de exemplos (padrões, amostras, medidas) relacionados ao comportamento do processo, possibilitando a aquisição do conhecimento por experimentação.
Capacidade de aprendizado	Por intermédio da aplicação de um método de treinamento da rede, essa é capaz de generalizar o conhecimento adquirido, possibilitando estimar soluções que eram até então desconhecidas.
Habilidade de generalização	Após o processo de treinamento da rede, essa é capaz de generalizar o conhecimento adquirido, possibilitando estimar soluções que eram até então desconhecidas.
Organização de dados	A rede é capaz e realizar sua organização interna visando possibilitar o agrupamento de padrões que apresentam particularidades em comum.
Tolerância a falhas	Devido ao elevado nível de interconexões entre os neurônios artificiais, a rede neural torna-se um sistema tolerante a falhas quando parte de sua estrutura interna é sensivelmente corrompida.
Armazenamento distribuído	O conhecimento a respeito do comportamento de determinado processo dentro da arquitetura neural é realizada de forma distribuída entre as diversas sinapses de seus neurônios artificiais, permitindo então um incremento da robustez da arquitetura frente a eventuais neurônios que se tornaram inoperantes.
Facilidade de prototipagem	A implementação da maioria das arquiteturas neurais pode ser facilmente, dependendo da especificidade da aplicação, prototipada em <i>hardware</i> ou em <i>software</i> , pois, após o processo de treinamento, os seus resultados são normalmente obtidos por algumas operações matemáticas elementares.

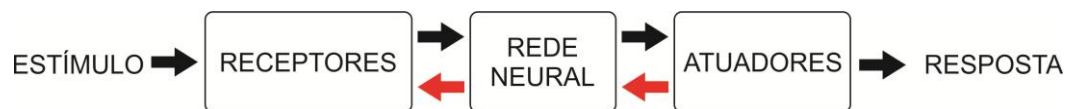
Fonte: adaptado de SILVA; SPATTI; FLAUZINO; 2010.

3.1.1. Neurônios biológicos

Para compreender o comportamento dos neurônios biológicos é importante analisar antes o comportamento do cérebro humano.

Segundo Haykin (2008), o sistema nervoso humano pode ser visto como um sistema de três estágios, como mostrado na Figura 3.1. O centro do sistema é o *cérebro*, representado pela *rede neural (nervosa)*, que recebe continuamente a informação, percebe-a e toma decisões apropriadas. Dois conjuntos de setas são mostrados na figura. Aquelas que apontam da esquerda para a direita indicam a transmissão para *frente* do sinal portador da informação, por meio do sistema. As setas apontando para direita indicam a presença de *realimentação* no sistema. Os *receptores* convertem estímulos do corpo humano ou do ambiente externo em impulsos elétricos que transmitem informação para rede neural (cérebro). Os *atuadores* convertem impulsos elétricos gerados pela rede neural em respostas discerníveis como saídas do sistema.

Figura 3.1 – Representação em diagrama em blocos do sistema nervoso



Fonte: Adaptado de ARBIB, 1987 *apud* HAYKIN, 2008.

O cérebro humano possui em torno de 10^{11} neurônios e cada um desses neurônios é responsável pelo processamento (reconhecimento de padrões e relacioná-los), armazenamento e interpretação de observações.

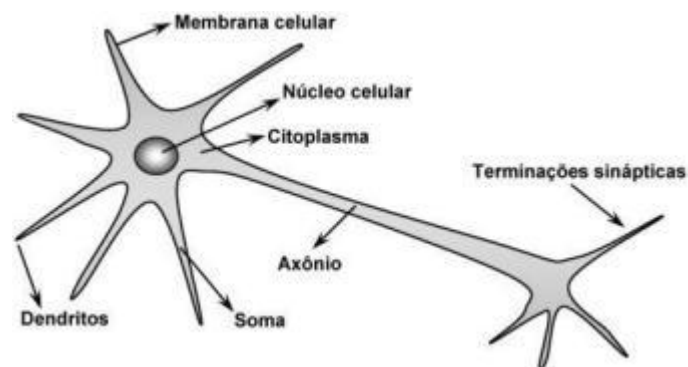
Para Braga, Carvalho, e Ludemir (2011), as redes neurais artificiais tentam reproduzir as funções das redes biológicas, buscando implementar seu comportamento funcional e sua dinâmica. É importante, contudo, observar as similaridades entre esses dois tipos de sistemas, tanto para que se possa entender melhor o sistema nervoso quanto para buscar ideias e inspirações para a pesquisa em neurocomputação. Como características comuns pode-se citar que estes dois sistemas são baseados em unidades de computação paralela e distribuída que se comunicam por meio de conexões sinápticas, possuem detentores de características, redundância e modularização das conexões.

Pode-se dizer que o neurônio natural é um sistema biológico com conjunto de entradas chamadas sinapses. A partir dos impulsos elétricos, sinais pulsados que chegam por meio das sinapses, o neurônio consegue fazer uma combinação, linear ou não linear, das intensidades de alguma informação, que são representadas pela frequência dos impulsos

e também pelo sincronismo dos impulsos. E por meio da combinação de informações, quando um mínimo de excitação é excedido, esse neurônio gera um único pulso que sai por uma única saída que é chamada de axônio. E o axônio possui terminações que comunicam com outros neurônios.

De acordo com Silva, Spatti e Flauzino (2010), o neurônio pode ser dividido em três partes principais: dendritos, no corpo celular (também conhecido como soma) e no axônio. Os dendritos são constituídos por vários finos prolongamentos que formam a árvore dendrital (Figura 3.2). A função dos dendritos é captar, de forma contínua, os estímulos vindos de outros neurônios (conectores). O corpo celular é incumbido de processar informações advinda dos dendritos a fim de produzir um potencial de ativação que indicará se o neurônio poderá disparar um impulso elétrico ao longo de seu axônio. E o axônio é constituído por um único prolongamento, cuja missão é conduzir os impulsos elétricos para outros neurônios.

Figura 3.2 - Neurônio Biológico



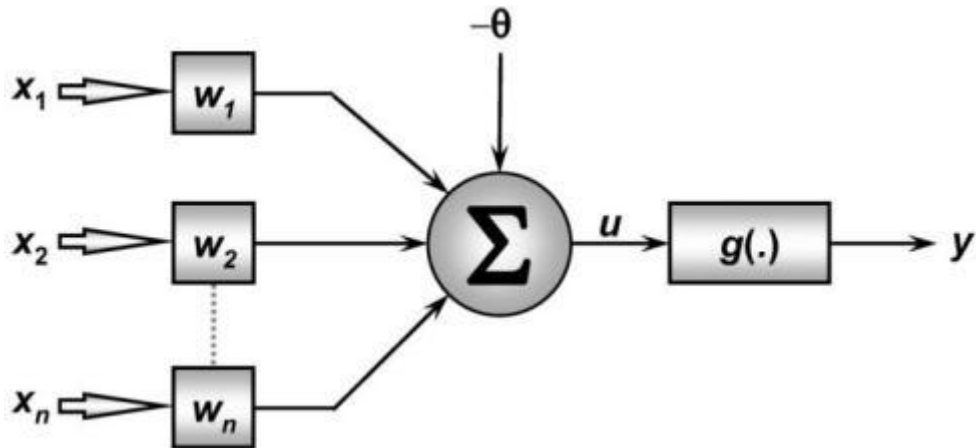
Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO; 2010

3.1.2. Neurônios artificiais

Já o modelo de neurônio artificial, proposto por McCulloch e Pitts (*apud* BRAGA; CARVALHO; LUDEMIR, 2011), é uma simplificação do que se sabia na época a respeito do neurônio biológico. Sua descrição matemática resultou em um modelo com n terminais de entrada (dendritos) que percebem os valores x_1, x_2, \dots, x_n (que representam as ativações dos neurônios anteriores) e apenas um terminal de saída y (representando o axônio). Para representar o comportamento das sinapses, os terminais de entrada do neurônio têm pesos acoplados w_1, w_2, \dots, w_n , cujos valores podem ser

positivos ou negativos, dependendo das sinapses correspondentes serem inibitórias ou excitatórias. O efeito de uma sinapse particular i no neurônio pós-sináptico é dado por $x_i w_i$. Os pesos determinam “em que grau” o neurônio deve considerar sinais de disparo que ocorrem naquela conexão. Uma descrição do modelo está ilustrada na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Neurônio artificial



Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010

Conforme resumido por Oliveira (2005), sendo o neurônio uma unidade de processamento de informação fundamental para a operação de uma rede neural, pode-se identificar três elementos básicos em seu modelo:

- **Sinapse:** Conexão caracterizada por um “peso” ou “força própria”. Uma sinapse m , que está conectada a um neurônio k , recebe um sinal x_m que por sua vez é multiplicado pelo peso sináptico w_{km} . No caso de modelagem de neurônios artificiais, os valores dos pesos podem ser também negativos se as sinapses forem inibitórias, ou positivos, se as sinapses forem excitatórias. Os pesos sinápticos têm a função de determinar a importância dos sinais de determinada região.
- **Somador:** Combinador linear, que realiza o somatório das entradas do neurônio, ponderadas pela ação dos respectivos pesos sinápticos.
- **Função de Ativação:** Função que restringe a amplitude do sinal de saída ao condicionar a ativação do sinal à ultrapassagem de um determinado limiar pelo valor da soma ponderada das entradas. Os intervalos típicos de normalização de saída são $[0,1]$ e $[-1,1]$.

Complementarmente, tem-se as bias, que tem aplicação externa e tem a capacidade de aumentar ou diminuir a entrada da função de ativação.

3.1.3. Funções de Ativação

As funções de ativação variam de problema para problema e possuem pontos cujas derivadas de primeira ordem são inexistentes. Dentre elas pode-se citar conforme Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Funções de Ativação (continua)

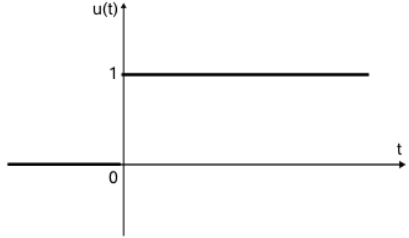
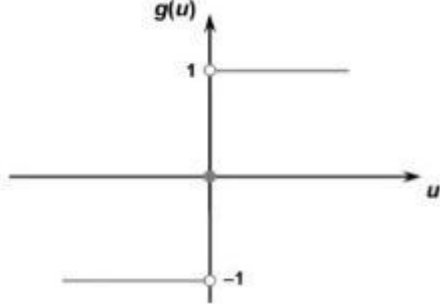
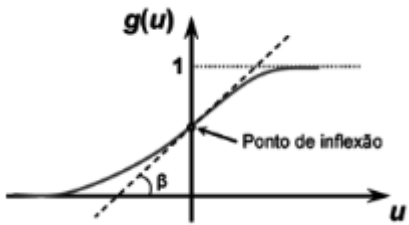
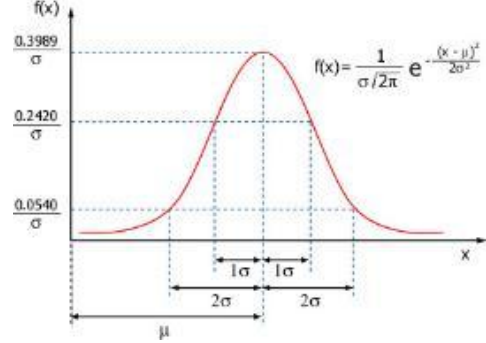
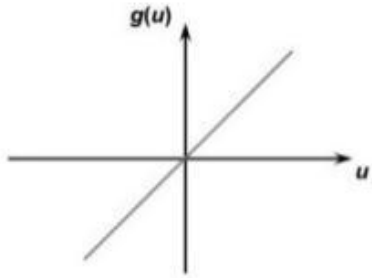
a) Função degrau		$g(u) = \begin{cases} 1 & \text{se } U \geq 0 \\ 0 & \text{se } U < 0 \end{cases}$
b) Função degrau bipolar		$g(u) = \begin{cases} 1 & \text{se } U > 0 \\ 0 & \text{se } U = 0 \\ -1 & \text{se } U < 0 \end{cases}$ <p>Ou</p> $g(u) = \begin{cases} 1 & \text{se } U \geq 0 \\ -1 & \text{se } U < 0 \end{cases}$
c) Função logística		$g(u) = \frac{1}{1 + e^{-\beta u}}$ <p>$e = 2,718281$ (número de Euler)</p> <p>$\beta =$ constante de inclinação</p>
Quanto mais crescente β , maior a tendência da função se aproximar do eixo.		

Tabela 3.1 – Funções de Ativação (conclusão)

<p>d) Função Gaussiana</p>		$g(u) = e^{-\frac{(u-c)^2}{2\sigma^2}}$ <p>$e = 2,718281$ (número de Euler) $\sigma =$ desvio padrão $C =$ centro da função gaussiana</p>
<p>Sinais fora do desvio padrão tendem ao sinal de saída 0.</p>		
<p>e) Função Linear</p>		$g(u) = u$ <p>$g(u)$ recebe o valor de U e o libera como resultado.</p>

3.1.4. Arquitetura das Redes

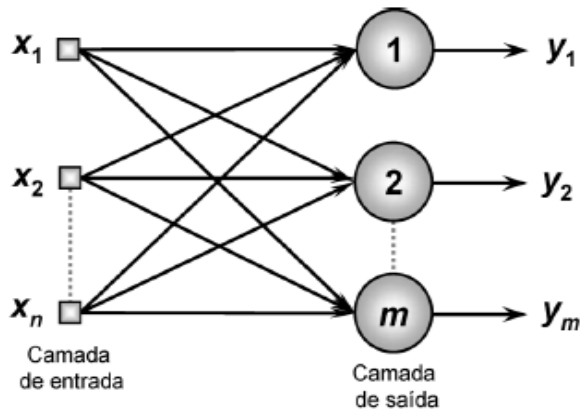
Silva; Spatti; Flauzino (2010) descrevem que a arquitetura de uma rede neural artificial define a forma como os seus diversos neurônios estão arranjados, ou dispostos, uns em relação aos outros. Estes arranjos são essencialmente estruturados por meio do direcionamento das conexões sinápticas dos neurônios. Dependendo da escolha da rede, poderá se ter diversidades de resultados tais como: número de camadas, número de nós, tipo de conexões entre os nós e a topologia da rede.

As principais arquiteturas de redes artificiais são: as redes *feedforward* de camada simples, redes *feedforward* de camadas múltiplas, redes recorrentes.

3.1.4.1. Redes *feedforward* de camadas simples

Para este tipo de rede tem-se apenas uma camada de entrada e uma camada de neurônios, que é a própria camada de saída, conforme mostrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Redes *feedforward* de camadas simples

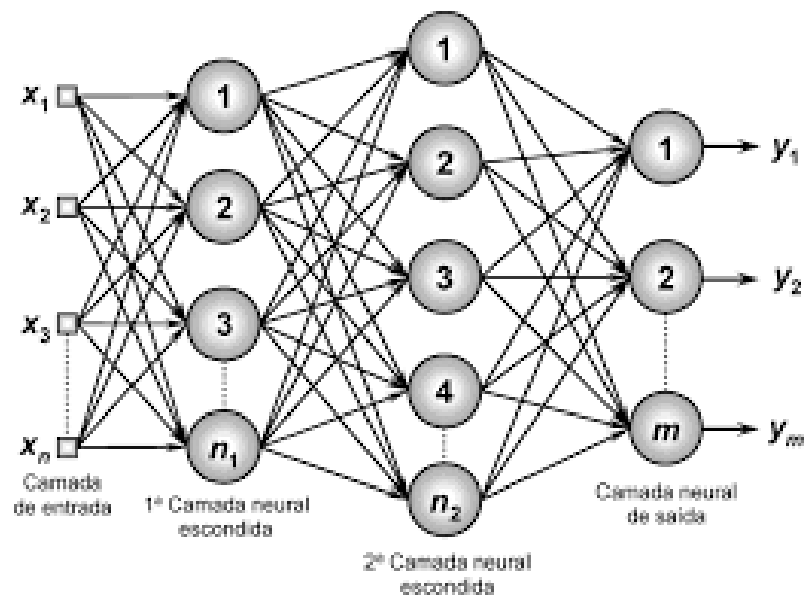


Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO (2010)

3.1.4.2. Redes *feedforward* de camadas múltiplas

Conforme mostrado na Figura 3.5, as redes de múltiplas camadas, como define Rezende (2003), cada camada tem uma função específica. A camada de saída final recebe os estímulos da camada intermediária e constrói a resposta global para o padrão de ativação fornecido pelos nós de fonte da camada de entrada. As camadas intermediárias ou camadas ocultas funcionam como extratoras de características, codificando por meio de seus pesos as características apresentadas nos padrões de entrada, fazendo com que a rede crie uma representação própria do problema, com mais riqueza e complexidade.

Figura 3.5 – Redes *feedforward* de camadas múltiplas



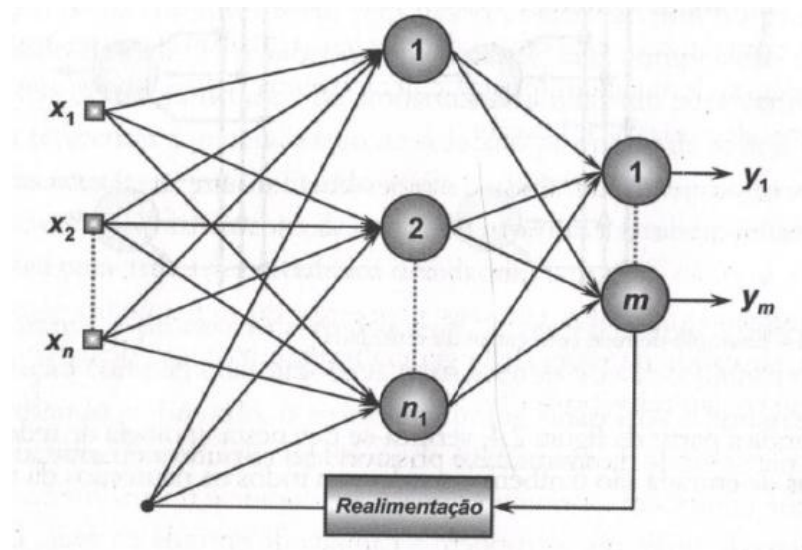
Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO (2010)

Entre os principais tipos de redes com arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas se encontra o *Perceptron* multicamadas (*multilayer Perceptron* – MLP) e as redes de base radial (*radial basis function* – RBF).

3.1.4.3. Redes Recorrentes (*feed-backward*)

Conforme descrito por Oliveira (2005) redes recorrentes são redes que possuem pelo menos um laço de realimentação, como está ilustrado na Figura 3.6. A presença de laços de realimentação tem um impacto profundo na capacidade de aprendizagem da rede e no seu desempenho devido ao seu comportamento dinâmico. Além disso, os laços de realimentação envolvem o uso de ramos particulares compostos de elementos de atraso unitário, o que resulta em um comportamento dinâmico não-linear, quando se admite que a rede neural tenha unidades não-lineares.

Figura 3.6 – Redes Recorrentes



Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO (2010)

3.1.5. Aprendizagem das redes

Considerando Braga, Carvalho, e Ludemir (2011), uma das características mais importantes das redes neurais artificiais é sua capacidade de aprender por meio de exemplos. O conhecimento é adquirido em função do ajuste de intensidades das conexões entre os neurônios. A etapa de cada aprendizado de uma rede consiste em um

processo iterativo de ajuste de parâmetros da rede, os pesos das conexões, que guardam, ao final do processo, o conhecimento que a rede adquiriu do ambiente externo.

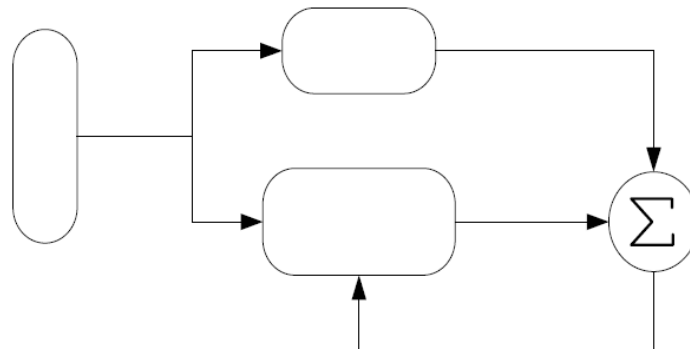
Basicamente pode dizer que, para treinamento da rede neural, existem basicamente três tipos: a aprendizagem supervisionada (treinamento supervisionado), a aprendizagem não supervisionada (treinamento não supervisionado) e aprendizagem por reforço.

3.1.5.1. Aprendizagem supervisionada

Cada amostra de treinamento é composta pelos sinais de entradas e suas correspondentes saídas. Obrigatoriamente é necessário determinar qual será a saída. Sempre haverá uma resposta correta para cada amostra apresentada em suas entradas.

Um dos algoritmos mais utilizados para treinamento supervisionado é o algoritmo de retropropagação ou *Backpropagation*, conforme mostrado Figura 3.7.

Figura 3.7 – Aprendizagem supervisionada



Fonte: OLIVEIRA (2005)

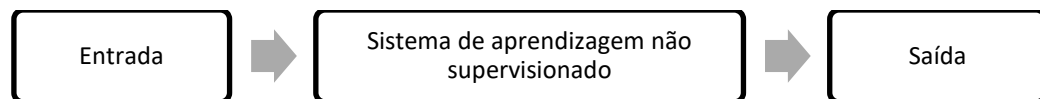
De acordo com Haykin (2008), basicamente, a aprendizagem por retropropagação de erro consiste de dois passos por meio das diferentes camadas da rede: um passo para frente, a propagação, e um passo para trás, a retropropagação. No passo para frente, um padrão de atividade (vetor de entrada) é aplicado aos nós sensoriais da rede e seu efeito se propaga pela rede, camada por camada. Finalmente, um conjunto de saídas é produzido como a resposta real da rede. Durante o passo de propagação os pesos sinápticos da rede são todos fixos. Durante o passo para trás, por outro lado, os pesos sinápticos são todos ajustados de acordo com uma regra de correção de erro.

Especificamente, a resposta real da rede é subtraída de uma resposta desejada (alvo) para produzir um sinal de erro. Este sinal de erro é então propagado para trás por meio da rede, contra a direção das conexões sinápticas – vindo daí o nome de “retropopagação de erro” (*error back-propagation*). Os pesos sinápticos são ajustados para fazer com que a resposta real da rede se mova para mais perto da resposta desejada, em um sentido estatístico.

3.1.5.2. Aprendizagem não supervisionada

Diferente do treinamento supervisionado, neste caso não existe saída desejada. A própria rede deve se auto-organizar em relação as particularidades existentes entre os elementos componentes do conjunto total de amostras, identificando subconjuntos (*clusters*) que contenham similaridades, conforme Figura 3.8. Os pesos sinápticos e limiares dos neurônios da rede são então ajustados pelo algoritmo de aprendizado de forma a refletir esta representação internamente dentro da própria rede (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Figura 3.8 – Aprendizagem não supervisionada



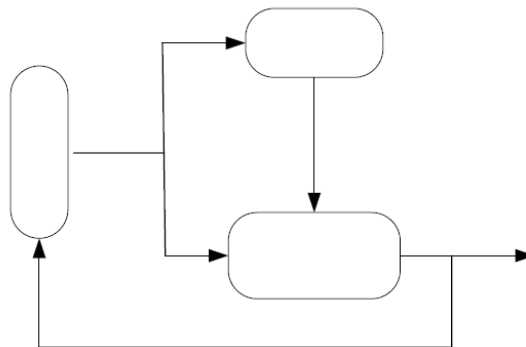
3.1.5.3. Aprendizagem por reforço

Segundo Oliveira (2005), pode se dizer que, na aprendizagem por reforço, apesar de não haver professor indicando as respostas esperadas para os estímulos do ambiente, este paradigma fornece base para que haja interação da rede com o ambiente, desenvolvendo a habilidade para realização das tarefas a partir dos resultados de sua própria experiência, caracterizando assim um problema de aprendizagem baseado em comportamento. Esse paradigma é adequado quando se consideram problemas para situações dinâmicas, em que é muito complexo reunir um conjunto satisfatório de pares entrada-saída para treinamento. Dessa maneira, a rede aprende a tomar boas decisões a partir da observação de seu próprio comportamento e melhora suas ações por meio de um mecanismo de reforço. Esse tipo de aprendizagem é inspirado na aprendizagem infantil humana. Uma criança costuma realizar ações aleatórias e, de acordo com as

respostas de seus pais (elogio ou reclamação), aprende quais daquelas ações são boas e quais são ruins.

A aprendizagem por reforço é utilizada quando não se conhece o ambiente a ser analisado ou quando se tem exemplos de comportamento e pode ser definido conforme mostrado na Figura 3.9.

Figura 3.9 – Aprendizado por reforço

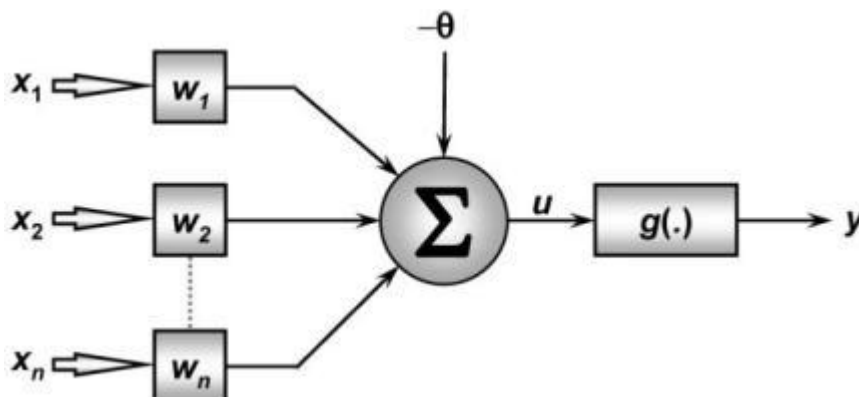


Fonte: OLIVEIRA, (2005)

3.1.6. Rede *Perceptron* - uma camada

Pode-se dizer que a rede *Perceptron* é criada por múltiplos neurônios lineares discriminadores. Foi idealizado por Rosenblatt e tinha como propósito se assemelhar com a retina humana e uma de suas aplicações eram identificar padrões geométricos. Na Figura 3.10 pode-se observar a ilustração da rede *Perceptron*.

Figura 3.10 – Ilustração da rede *Perceptron*



Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO (2010)

onde tem-se:

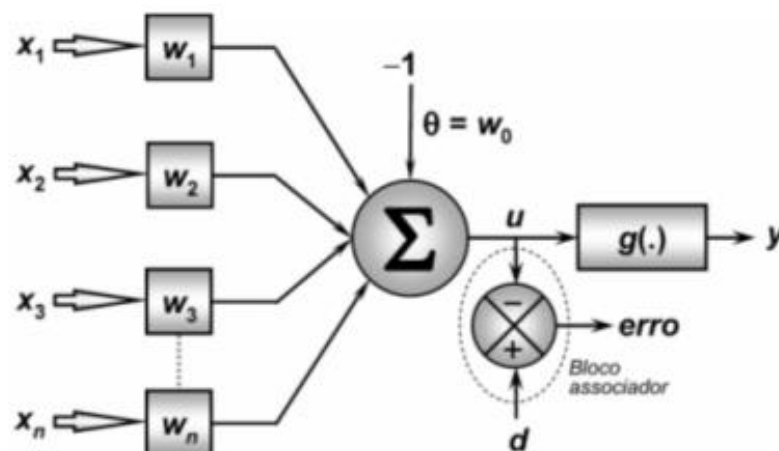
$\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ sinais de entrada;
 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ pesos sinápticos;
 $\{\Sigma\}$ função agregadora;
 $\{g(\cdot)\}$ função de ativação;
 $\{u\}$ potencial de ativação;
 $\{y\}$ sinais de saída.

Conforme descrito por Haykin (2008), o objetivo da rede *Perceptron* é classificar corretamente um conjunto de estímulos aplicados externamente em duas classes. Todavia estas duas classes deverão estar suficientemente separadas entre si, de tal forma que se consiga desenhar um hiperplano como fronteira de decisão.

3.1.7. Rede Adaline

Os modelos do *Perceptron* e do *Adaline* diferem entre si pelo algoritmo empregado para treinamento (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2011). O algoritmo de treinamento do *Adaline*, denominado Algoritmo do Mínimo Quadrado Médio, popularmente conhecido como Regra Delta, deu origem ao algoritmo de retropropagação ou *Backpropagation*, para *perceptrons* de múltiplas camadas. O modelo *Adaline*, conforme mostrado na Figura 3.11, também se diferencia do *perceptron* pelo fato de que o erro de saída é calculado em relação à sua saída linear e não em relação à sua saída não linear, como no perceptron (OLIVEIRA, 2005).

Figura 3.11 – Ilustração rede Adaline



Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO (2010)

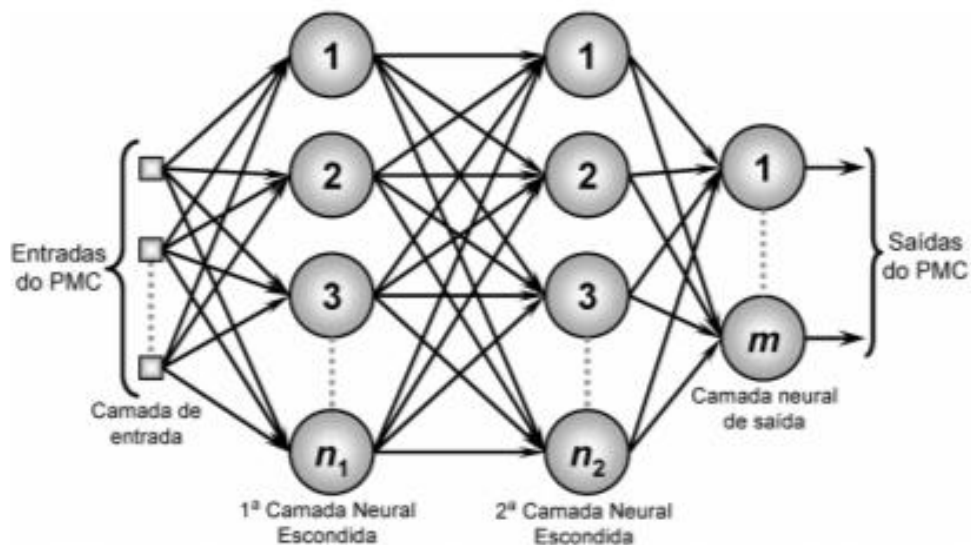
A principal aplicação para a rede *Adaline*, conforme Figura 3.11, se destina a sistemas de chaveamento de circuitos telefônicos, que tem como base a ideia de obter um ponto mínimo por meio de um processo iterativo local com um conjunto de treinamento por vez.

3.1.8. Rede *Perceptron* múltiplas camadas

O *Perceptron* de Múltiplas camadas pertence à arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas, cujo treinamento é de forma supervisionada. Nestas redes existe pelo menos um neurônio em uma camada intermediária (ou escondida), situada entre a camada de entrada e saída.

Na Figura 3.12 pode-se observar a rede *perceptron* de camadas múltiplas (ou multicamadas) e verificar a existência de mais de uma camada de neurônios.

Figura 3.12 – Ilustração de rede *Perceptron* multicamadas



Fonte: SILVA; SPATTI; FLAUZINO (2010)

Para Silva, Spatti e Flauzino (2010) as redes *Perceptron* de camadas múltiplas são ainda caracterizadas pelas elevadas possibilidades de aplicações em diversos tipos de problemas relacionados com as mais diferentes áreas do conhecimento, sendo também consideradas uma das arquiteturas mais versáteis quanto à aplicabilidade. Entre essas potenciais áreas têm-se os destaques:

- Aproximação universal de funções;
- Reconhecimento de padrões;
- Identificação e controle de processos;
- Previsão de séries temporais;
- Otimização de sistemas.

3.1.9. Redes neurais e conforto térmico

A inteligência artificial vem sendo usada para melhorar o controle do ambiente térmico no interior de construções. A Rede Neural Artificial (RNA) é um modelo computacional que artificialmente reproduz os processos biológicos do sistema nervoso central humano (MCCULLOCH; PITTS, 1943, apud BRAGA; CARVALHO; LUDEMIR, 2011). A RNA tem mostrado sua aplicabilidade como estratégia de controle térmico em construções.

Diversos trabalhos mostram que as estratégias fundamentadas em RNA fornecem condições térmicas mais confortáveis com reduzida probabilidade de arrefecimento ou de superaquecimento. Yang, Yeo e Kim (2003) utilizando uma rede neural artificial conseguiram prever quando o sistema de aquecimento de um prédio deveria ser ligado ou desligado, a fim de proporcionar maior conforto térmico para as pessoas. Morel et al. (2007) utilizaram três modelos de redes neurais para prever a temperatura exterior, radiação solar e temperatura interior e conseguiram com que um sistema de aquecimento doméstico fosse ligado nas horas de maior desconforto térmico, melhorando a eficiência energética. Lee et al. (2002) com base no conforto térmico desenvolveram um modelo de rede neural para controlar um sistema de aquecimento sobre o piso. Três modelos de redes neurais artificiais foram desenvolvidos para condicionar a temperatura interna do ar, umidade e PMV de uma residência por meio dos sistemas de aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação, proporcionando melhor satisfação térmica em edifícios residenciais (MOON; KIM, 2010).

Resultados obtidos por Macas et al. (2014) mostram que a rede neural melhora as previsões de conforto térmico em edifícios comerciais. Moon e Kim (2010) concluíram que o controle da temperatura com base na rede neural artificial é capaz de manter a

temperatura interna em edifícios mais confortável e de forma mais estável. Vários modelos de RNA foram desenvolvidos para prever a temperatura média diária interna e umidade relativa do ar em salas de aula em Izmir, Turquia e com esses modelos foi possível observar com antecedência condições de conforto térmico, aquecimento, ventilação e tamanho do sistema de ar condicionado (ÖZBALTA et al., 2012).

Trabalhos com redes neurais demonstram que elas são uma ferramenta poderosa para a previsão da sensação térmica, mas é preciso que recebam um elevado conjunto de dados para que sejam treinadas.

4. ESTUDOS DE CASO - REVISÃO

Como exemplos de estudos de caso, foram selecionadas algumas pesquisas realizadas em edifícios nacionais e internacionais, com o objetivo de mostrar a importância da variação do método de análise de desempenho térmico de ambientes e do conforto térmico dos usuários.

4.1. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo

Roriz (2003) sintetiza observações práticas e modelos teóricos sobre as sensações térmicas humanas. Alguns dos modelos atualmente mais aceitos consideram a capacidade humana de adaptação ao meio, reforçando a antiga teoria que, no interior de edificações, as preferências térmicas das pessoas variam em função das condições climáticas.

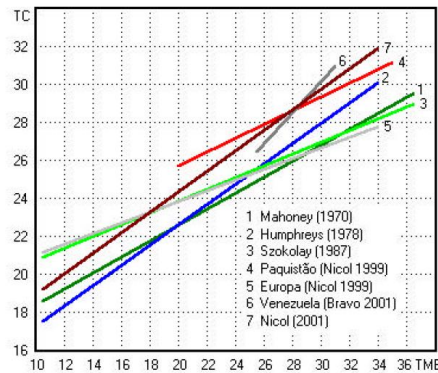
As diferentes equações de conforto conforme Figura 4.1 confirmam a necessidade de serem desenvolvidos estudos de campo em cada região climática, principalmente nas zonas tropicais.

Nicol e Humphreys (2002) indicam que enquanto não se disponha dos resultados de pesquisas específicas para zonas tropicais, recomendam a equação de Humphreys, por ser baseada em dados obtidos em diversas partes do mundo.

$$T_c = 11,9 + 0,534 \bar{T}_o \quad (4.1)$$

onde, T_c é a temperatura média confortável em ambiente interior (ou temperatura neutra, T_N) e \bar{T}_o é a temperatura média mensal do ambiente exterior. Oscilações nas temperaturas internas não causam desconforto desde que não ultrapassem metade das oscilações externas (NICOL; HUMPHREYS, 2002).

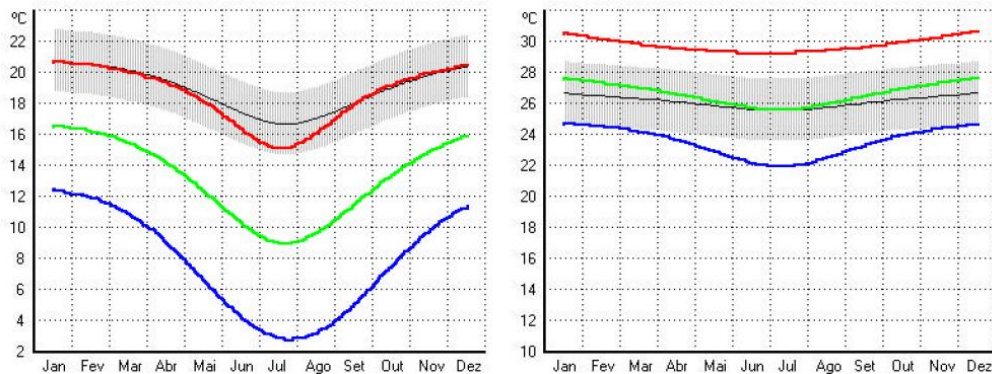
Figura 4.1 – Diferentes equações de conforto para diferentes climas



Fonte: RORIZ, 2003

Roriz (2003) aplicou a equação de Humphreys às médias mensais nas cidades de Campos do Jordão (SP) e Fortaleza (CE), conforme apresentado na Figura 4.2 (a) e (b).

Figura 4.2 – Diferentes equações de conforto para diferentes climas



(a) Campos do Jordão – dia de janeiro

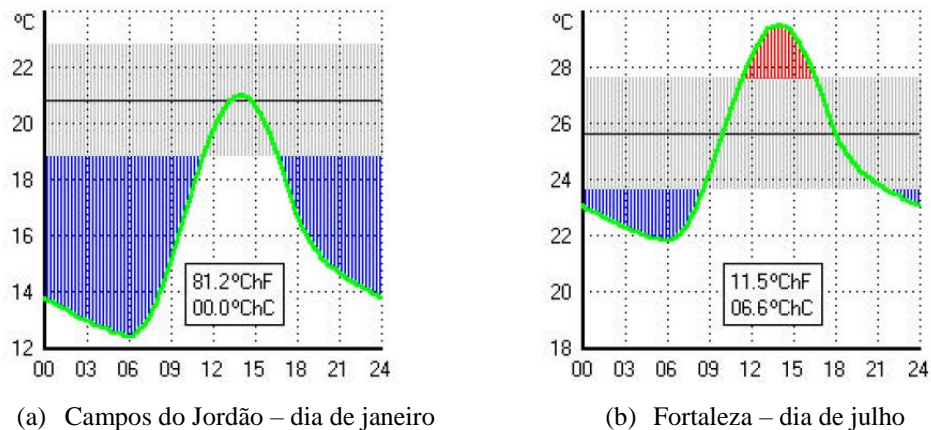
(b) Fortaleza – dia de julho

Fonte: RORIZ, 2003

Roriz (2003) relata que ao analisar os casos das duas cidades, observa-se que, por exemplo, em janeiro as temperaturas de conforto podem variar em 9,5°C, desde 19°C em Campos do Jordão, e até 28,5°C em Fortaleza. Entre os meses de junho e julho a variação é ainda maior, aproximadamente entre 15 e 27,5°C.

Foram apresentadas, conforme apresentado na Figura 4.3 (a) e (b), para as mesmas cidades de Campos do Jordão e Fortaleza, as curvas de oscilação horária de dias cujas temperaturas variam no intervalo das normais climatológicas, ou seja, entre as médias de mínimas e as médias de máximas. Foram ainda calculados os graus-hora totais acumulados de frio ou calor.

Figura 4.3 – Oscilação horária de dias



Fonte: RORIZ, 2003

Considerando a curva mostrada na Figura 4.3, as conclusões não parecem realistas com a atual situação climática das duas cidades. Segundo este método, em Fortaleza, os habitantes deveriam sentir 11,5 graus Fahrenheit-hora de calor em um dia que apresenta as menores temperaturas do ano e os habitantes de Campos do Jordão deveriam sentir 81,2 graus Fahrenheit-hora de frio em um dia de verão. Este resultado foi devido a aplicação de limites constantes para o dia inteiro.

Nota-se que além de representar potencialmente um maior detalhamento do conceito de zona de conforto, um modelo de variação horária dos limites confortáveis teria outras vantagens, algumas delas relacionadas aos estudos sobre adequação climática de edificações.

4.2. Modelo teórico de conforto térmico adaptativo – Voto Médio Previsto Adaptado aPMV

Este modelo teórico de conforto térmico adaptativo apresentado por Yao, Li e Liu (2009) é embasado na teoria “caixa preta”, que leva em consideração fatores como cultura clima, adaptações sociais, psicológicos e comportamentais, que têm impacto sobre os sentidos utilizados para detectar o conforto térmico. Este modelo foi chamado de Voto Médio Previsto Adaptado – aPMV, e explica que, por meio da aplicação do conceito de cibernética, o fenômeno do voto médio previsto possuem mais pessoas insatisfeitas do que o voto médio real em edifícios naturalmente ventilados.

Conforme mostrado no Quadro 4.1, os autores fazem um paralelo entre o modelo de balanço de calor do PMV e a abordagem adaptativa.

Quadro 4.1 – Comparativo entre o modelo PMV e Adaptativo

MODELO	CONCEITO	DEBATE
PMV	O modelo de balanço de calor indica que a sensação térmica está intimamente relacionada com a carga térmica sobre os mecanismos termorreguladores do corpo humano. Variáveis que influenciam: atividade exercida, resistência térmica da roupa, temperatura do ar, velocidade relativa do ar, umidade relativa do ar e temperatura das superfícies.	Os condicionantes climáticos do ambiente real diferem significativamente de um ambiente controlado.
Adaptativo	O princípio adaptativo é que se ocorrer mudança de temperatura no interior da edificação de modo a produzir desconforto, as pessoas reagem de modo que tendem a restaurar seu conforto.	Não leva em consideração os parâmetros ambientais de velocidade do ar, temperatura do ar interno, umidade relativa do ar e temperatura radiante média.

Fonte: Adaptado de YAO; LI; LIU (2009).

Segundo análise dos autores, no modelo de Fanger, o sistema termorregulador do organismo humano vai criar um equilíbrio térmico interior de acordo com as alterações das variáveis ambientais. Já o modelo adaptativo conclui que, quando um ocupante sente desconforto no ambiente, procura fazer adaptações comportamentais, incluindo abordagens tecnológicas e ambientais, para alcançar o seu próprio conforto térmico. Na teoria da adaptação, a auto regulação psicológica adaptativa desempenha um papel significativo na determinação das sensações térmicas do ser humano.

Com base nesta análise, os autores propõem o aPMV, que pode ser utilizado para indicar um grupo de voto de sensação térmica das pessoas, tendo como base as adaptações psicológicas e comportamentais. Semelhante ao “estado estacionário” a adaptação fisiológica é contida dentro de uma “caixa preta”, mas os estímulos psicológicos e comportamentais dão um *feedback* adaptativo (negativo), tais como colocar/retirar roupas, abrir/fechar janelas, ligar/desligar equipamento de ventilação artificial.

O objetivo da pesquisa de campo foi descobrir as discrepâncias entre os resultados, obtidos por meio de questionários, entre o voto médio real (AMV) e o PMV calculado

com base na equação de Fanger, e também descobrir o coeficiente de adaptação “λ” para a área de Chongqing, na China, utilizando a equação:

$$aPMV = \frac{PMV}{1 + \lambda \times PMV} \quad (4.2)$$

Considerando a hipótese de

$$\delta = T_m - T_n \quad (4.3)$$

definiu-se no caso T_m maior que T_n para condições quentes $\lambda = K_\delta / (T_m - T_n) > 0$, e T_m menor que T_n para condições frias $\lambda = K_\delta / (T_m - T_n) < 0$.

Com base nas considerações de pesquisa de campo da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), foram observados roupas, atividades e a escala de sensação térmica e umidade, e por último o fluxo de ar. Na Tabela 4.1 mostra-se o ambiente geral do local estudado.

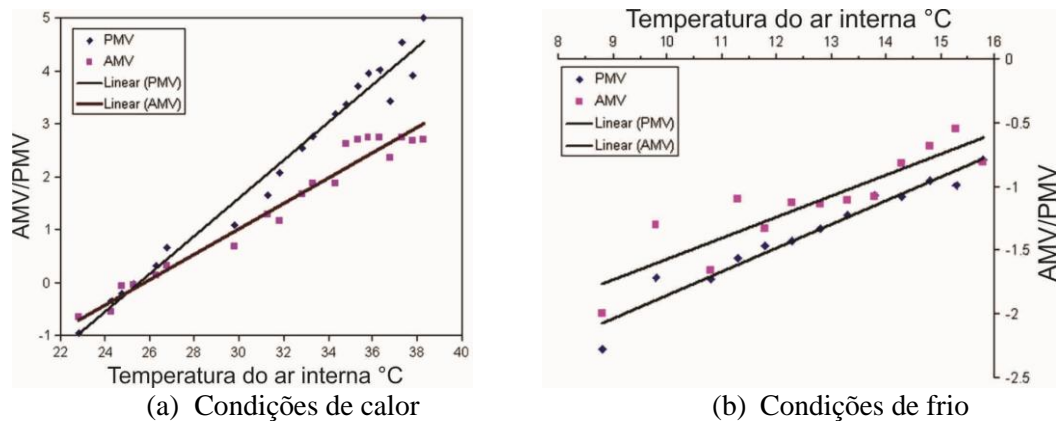
Tabela 4.1 – Dados físicos do ambiente analisado

	Máx.	Mín.	Média	Erro padrão
Temp. interna °C	38,1	8,8	22,0	8,32
Temp. externa °C	39,2	4,8	19,7	10,43
Velocidade Ar interna m/s	0,53	0,01	0,1	0,11
Umidade interna %	96,0	42,0	79,5	11,46

Fonte: Adaptado de YAO; LI; LIU (2009).

Analisando os resultados mostrados na Figura 4.4 (a) e (b) observa-se que para o mesmo nível de temperatura interna do ar, o PMV é maior do que o AMV no verão e é menor do que o AMV no inverno. Este fenômeno pode estar relacionado ao fato dos ocupantes terem a possibilidade de adaptação para alcançarem o conforto térmico.

Figura 4.4 – PMV e AMV em Chongqing, China



Fonte: Adaptado de YAO; LI; LIU (2009).

A partir dos dados obtidos em sala de aula da Universidade de Chongqing, conforme ilustrado no Tabela 4.1, obtiveram-se os seguintes resultados: em condições quentes foram coletados 20 conjuntos de dados onde $\lambda=0,293$, conforme mostrado na equação 3.4, e para condições de frio foram coletados 16 conjuntos de dados onde $\lambda=-0,125$, conforme mostrado na equação 3.5.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{20}(Y_i - X_i)}{20} = 0,293 \quad (4.4)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{16}(Y_i - X_i)}{16} = -0,125 \quad (4.5)$$

considerando $x = 1/PMV$ e $y = 1/AMV$

Considerando este modelo teórico aPMV, os autores sugerem que será útil aplicá-lo em edifícios considerando o clima local, hábitos culturais e sociais de comportamento e estilo de vida, etc. Também poderá ser útil para o estudo em conjunto da temperatura de conforto térmico dinâmico, que é um dos principais fatores que afetam o consumo de energia do edifício. O estudo de campo em Chongqing derivou o coeficiente de adaptação “ λ ” para o clima quente e frio na China. Pode ser utilizado como referência para o método de avaliação do conforto térmico de edifícios neste domínio.

4.3. Análise adaptativa de conforto térmico em salas de aula de escola superior: correlação entre dados experimentais e modelos matemáticos

Considerando os numerosos estudos de avaliação de modelos adaptativos para conforto térmico em edificações e para estabelecer índices quantitativos para condições de conforto, Buratti e Ricciardi (2008) desenvolveram uma pesquisa em salas de aula da universidade de *Perugia* e de *Pavia*, na Itália com o intuito de encontrar uma correlação experimental entre os dados obtidos por meio dos equipamentos e pelas respostas subjetivas dos usuários.

Os dados experimentais foram coletados em salas de aulas da universidade de diferentes características arquitetônicas, posições geográficas, dimensões, capacidade, sistemas de ventilação e exposição solar. As medições ocorreram durante as estações de outono, inverno e primavera do ano de 2004 e 2005.

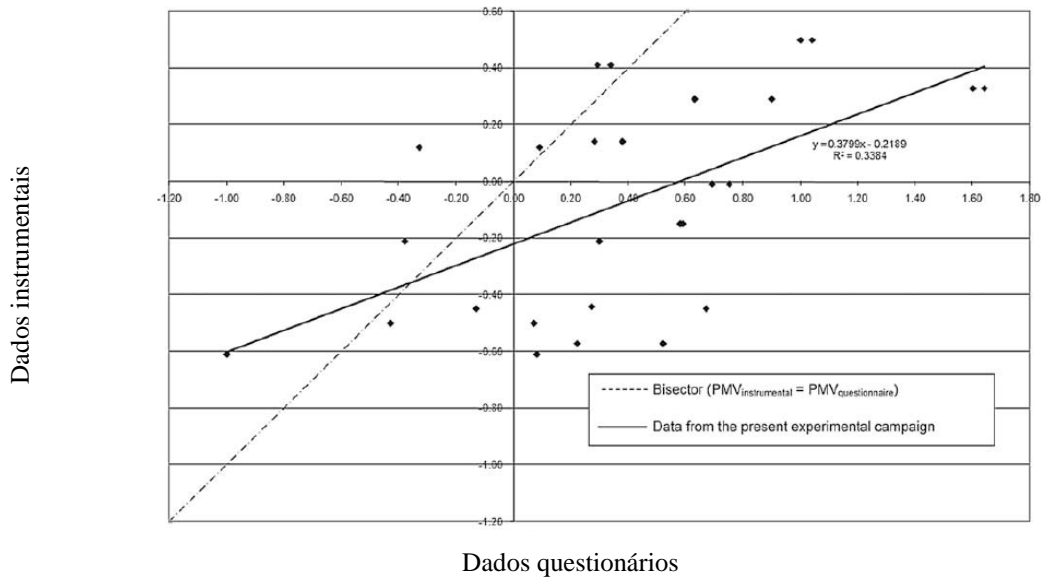
Os pontos de medições foram escolhidos considerando posições dos estudantes na sala de aula e a colocação em zonas mais aglomeradas e próximas das janelas. Os dados eram coletados a cada 20s. Já os dados subjetivos foram obtidos por meio de questionários onde foram também inseridas perguntas de possibilidades adaptativas.

Os resultados obtidos pelos autores mostraram situações adequadas para a estação de outono dentro das salas de aula, levando em conta a resistência térmica da vestimenta (valor calculado considerando as respostas obtidas pelos questionários respondidos). De fato os valores encontrados de PMV estão dentro do intervalo de -0,5 a +0,5, recomendados pela norma ISO 7730 (ISO, 2006), exceto em duas pesquisas de 2/12/2004, onde os valores foram encontrados acima do limite (PMV = 0,6 e PMV = -0,78). Na situação de inverno também houve resultados acima do limite indicado nas datas de 04 e 08/03/2005 (PMV = 0,64 e PMV = -0,65 respectivamente). Os condicionantes artificiais de aquecimento foram eficazes para a manutenção do conforto no inverno, porém na primavera somente a ventilação natural não foi suficiente para propor uma situação de conforto térmico aceitáveis para os estudantes nas salas de aula.

Uma outra análise teórica dos dados experimentais encontrados foi realizada utilizando o modelo *Wray*, conforme Figura 4.5. Este modelo procura calcular uma temperatura equivalente uniforme T_{eu} , para valores ótimos de conforto térmico e a temperatura uniforme T_u , para valores reais. A diferença entre os valores ótimos e reais foi correlacionada com os índices tradicionais PMV e PPD, quando apontados para avaliar a viabilidade de aproximação do modelo com os procedimentos tradicionais propostos por Fanger.

Conforme mostrado na Figura 4.5, observa-se que o resultado do modelo *Wray* foi de 4,11%, o que se aproxima do PPD de Fanger, que é de 5%. Outro resultado significativo foi a correlação entre T_o e T_{eu} . Houve coincidência de resultados, possibilitando então substituir o T_o pelo T_{eu} .

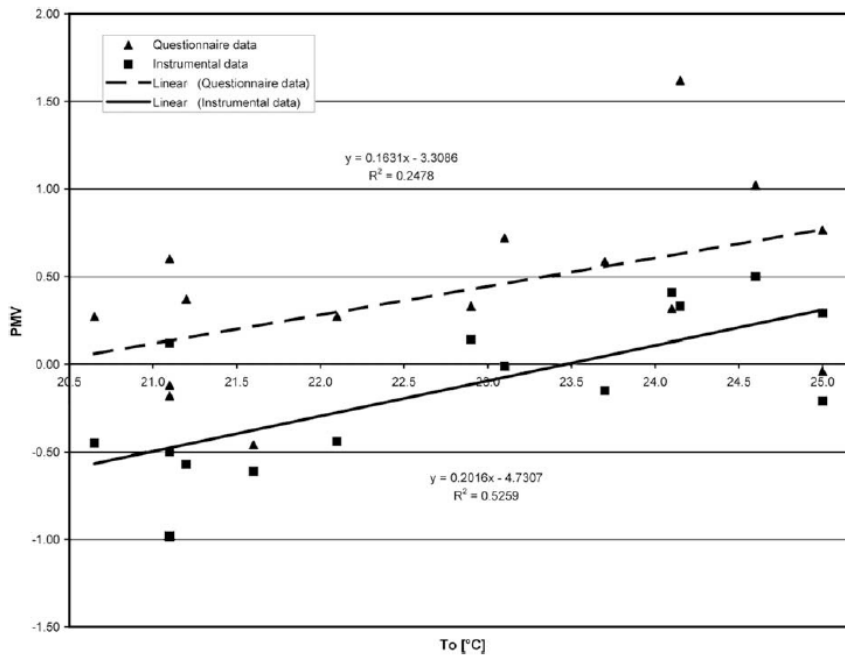
Figura 4.5 – PMV Instrumental x PMV Questionário



Fonte: BURRATI; RICCIARDI (2008).

Na Figura 4.6 são apresentados os resultados das respostas entre os questionários (PMV) e a T_o . A inclinação das curvas resultantes obtidas pode ser considerada semelhante, e a diferença entre as respostas é de $0,5^\circ$ sobre os dados aferidos. Isto confirma a relação positiva de pesquisa utilizando-se o PMV e o modelo Wray.

Figura 4.6 – PMV Instrumental x T_o



Fonte: BURRATI; RICCIARDI (2008).

4.4. A teoria de sistema nebuloso e as informações subjetivas de conforto ambiental

Para Cheng (1999a), o conforto ambiental é uma área de estudo diretamente ligada com a interação do homem com o seu meio, e é comum se deparar com problemas que envolvem levantamento, modelagem e análise com base nas manifestações de seus usuários ou intuição de especialistas. Durante o projeto conceitual, por exemplo, os dados disponíveis são muitas vezes escassos. O julgamento, mesmo que subjetivo, de especialistas é fundamental na resolução dos problemas mal-definidos (*ill-defined*). Na análise qualitativa de conforto ambiental e avaliação comportamental em um estudo de avaliação pós-ocupação, as informações expressas por meio de declarações verbais apresentam “vagueza” (*fuzziness*) própria da linguagem nebulosa (*fuzzy*), cuja modelagem por meio da matemática clássica e estatística não é a mais adequada.

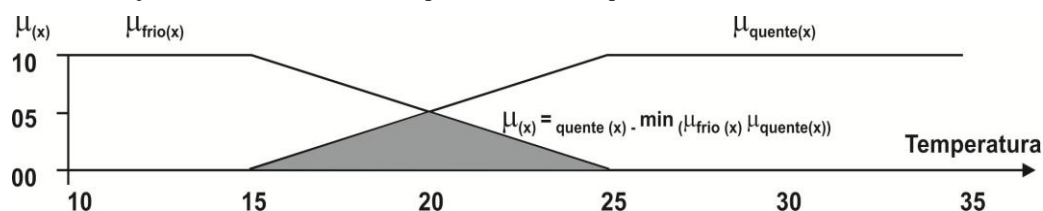
Para suprir as deficiências da matemática clássica determinística e estatística no processamento de informações subjetivas de linguagem natural, de natureza vaga ou nebulosa, não determinística nem aleatória, Zadeh 1965 *apud* Cheng (1999a), revisou a teoria clássica de conjuntos e postulou a Teoria de Conjunto Nebuloso (*Fuzzy Set Theory*).

A Teoria de Conjunto Nebuloso (*Fuzzy Set Theory*) consiste numa extensão de Teoria Clássica dos Conjuntos. De acordo com a teoria clássica, um elemento x pode adquirir somente um dos dois estados bem distintos em relação a um conjunto (*crisp set* ou *binary set*) “ $A: x \in A$ ou $x \notin A$ ”, porque o ‘contorno’ do conjunto precisa ser bem definido e a base lógica é binária: verdadeiro ou falso. Daí fica claro uma das principais características da matemática clássica: exatidão. No caso de conjunto nebuloso proposto o ‘contorno’ não precisa ser muito bem definido.

Pode existir uma região de transição onde se encontram elementos que pertencem parcialmente ao conjunto nebuloso. Por causa disso, a definição de um conjunto nebuloso \tilde{A} é feita sempre pelo par $(X, \mu_{\tilde{A}}(x))$ onde $\mu_{\tilde{A}}(x)$ é função de pertinência (*membership function*). O valor de $\mu_{\tilde{A}}(x)$, definido no intervalo fechado $[0,1]$, expressa o grau que um elemento x pertence ao conjunto nebuloso \tilde{A} . Por isso é adequado modelar

conceitos subjetivos, por exemplo: “frio” e “quente”. Intuitivamente, a temperatura abaixo de 15°C pode ser considerada “fria” e acima de 25°C “quente”. Entre as duas temperaturas existe uma transição. Adotando uma variação linear, a temperatura de 20°C seria um estado intermediário, “mais ou menos frio”, cujo grau de pertinência em relação ao conceito de “frio” é de 50%, conforme mostrado na curva apresentada na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Conjuntos nebulosos: “frio”, “quente” e “frio e quente”



Fonte: CHENG, 1999^a.

O estudo dos conjuntos nebulosos provê meios de representar e manipular matematicamente os índices qualitativos ou julgamentos subjetivos, muito usados em estudo de conforto ambiental, e resolver racionalmente os problemas de avaliação. Conforme mostrado no Quadro 4.2 são apresentadas três formas principais de modelagem de sistemas complexos por meio da teoria.

Quadro 4.2 – Principais formas de modelagem de sistemas complexos

Método	Descrição
Relação nebulosa	O sistema é descrito em uma matriz de relações nebulosas, que relaciona as entradas x_i e as saídas y_j . Os valores indicam um grau de pertinência do par (x_i, y_j) . O diagnóstico é feito determinando as causas usando a matriz e os sintomas observados.
Proposição nebulosa SE~NÃO~SENÃO~	A entrada e saída do sistema é relacionada na forma de proposições nebulosas do tipo SE~NÃO~SENÃO~. Ao invés de equações governantes impossíveis de serem formuladas ou resolvidas, recorre ao julgamento de especialistas na forma de proposições condicionais.
Matemática clássica por meio do princípio de extensão	Em um sistema em que a matemática clássica (equações governantes e condições de contorno) do fenômeno a ser estudado é conhecido, consegue-se ‘fuzzificá-lo’ e realizar investigações das situações em que um ou vários dos parâmetros ou variáveis de entrada são nebulosas. É particularmente adequada ao estudo de fenômenos determinísticos com variáveis de natureza subjetiva.

Considerando que em estudos de conforto ambiental é comum se deparar com problemas que envolvem informações subjetivas, a matemática nebulosa entende o escopo da aplicação da matemática definido ao mal-definido. As matemáticas clássica, estatística e nebulosa se desenvolveram com a investigação dos fenômenos

determinísticos e nebulosos. Possuem suas características próprias e áreas de atuação bem definidas. São complementares e não conflitantes entre si.

Para Cheng (1999a) muito mais do que simples absorção e aplicação de um novo conhecimento, a utilização da teoria, num sentido mais amplo, requer uma mudança de valores, de superar a crença sobre os resultados quantitativos e precisos, e reconhecer a importância da interpretação qualitativa e vaga. Segundo este raciocínio é preciso questionar sobre a validade das soluções dos problemas expressos na forma de valores exatos.

4.5. A inferência nebulosa aplicada à análise de dados na avaliação pós-ocupação

Cheng (1999b) propôs uma metodologia que consiste em modelar, por meio da Teoria de Sistema Nebuloso (TSN), um sistema onde é possível inserir conhecimento de especialista da área de avaliação pós-ocupação e utilizá-lo na análise dos resultados obtidos por meio de questionários aplicados nos levantamentos em campo. Essa análise refere-se aos possíveis efeitos que determinadas modificações poderiam causar nos ambientes em estudo. A inserção de conhecimento especialista é feita por regras do tipo: SE~ENTÃO~SENÃO~. E a análise é feita por meio do mecanismo de inferência nebulosa.

Como exemplo pode-se citar: para uma das modificações M em estudo, SE acontecer a situação 1 e ... e a situação n ENTÃO esta modificação M tem como efeito W no ambiente. Outro exemplo: SE ventilação estiver X e iluminação estiver Y e temperatura estiver Z ENTÃO produz efeito W no local.

Na metodologia proposta pode-se modelar matematicamente as alternativas de um questionário de avaliação pós-ocupação interpretando as alternativas para as respostas como sendo variáveis linguísticas:

$$\tilde{A} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (4.6)$$

onde, \tilde{A} é o conjunto de rótulos que representa as possíveis alternativas para uma determinada pergunta do questionário para o ambiente construído. x_1, x_2, \dots, x_n são os rótulos, ou seja, valores apresentados como opções de respostas aos usuários no questionário.

Para ilustrar a aplicação da metodologia, foram utilizados dados de uma pesquisa de campo já realizada em um edifício de serviços no centro da cidade de São Paulo. Seu enfoque foi centrado na situação dos ambientes de trabalho frente a inúmeros fatores ambientais. Escolheu-se como objeto do estudo os itens relacionados a iluminação, temperatura e ventilação. As modificações consideradas no estudo são: instalação de brises e colocação de condicionador de ar.

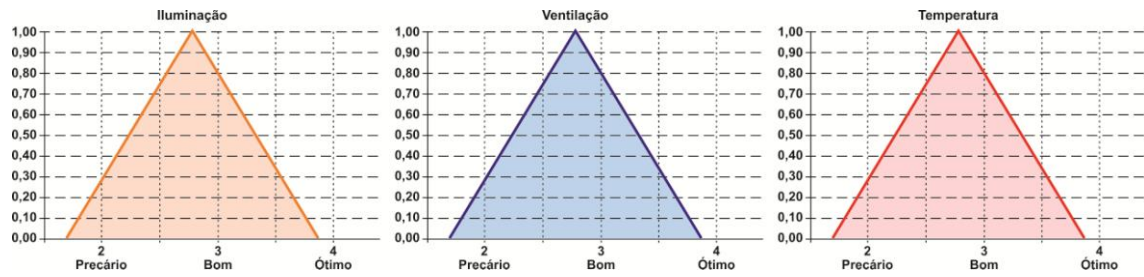
A partir dos dados escolhidos foram definidos:

- Três conjuntos de rótulos de alternativas, um para cada item:
 - $\tilde{A}_{iluminação} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\};$
 - $\tilde{A}_{temperatura} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\}$ e
 - $\tilde{A}_{ventilação} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\};$
- Um conjunto de rótulos para cada modificação considerada:
 - $\tilde{B}_{instalação\ de\ brises} = \{\text{Muito Piora (MP), Pouco Piora (PP), Pouca Melhora (PM), Muito Melhora (MM)}\}$
 - $\tilde{B}_{instalação\ de\ ar\ cond.} = \{\text{Muito Piora (MP), Pouco Piora (PP), Pouca Melhora (PM), Muito Melhora (MM)}\}$

Deste modo, as regras de inferência puderam ser estruturadas em duas matrizes de três dimensões, uma para cada modificação em estudo, de 4x4x4 células cada. As regras foram delineadas com base numa pesquisa de opinião entre pesquisadores da área.

Conforme mostrado na Figura 4.8, foi definido um conjunto nebuloso de situação detectada para cada item com base nos parâmetros estatísticos das respostas obtidas dos questionários da avaliação pós-ocupação.

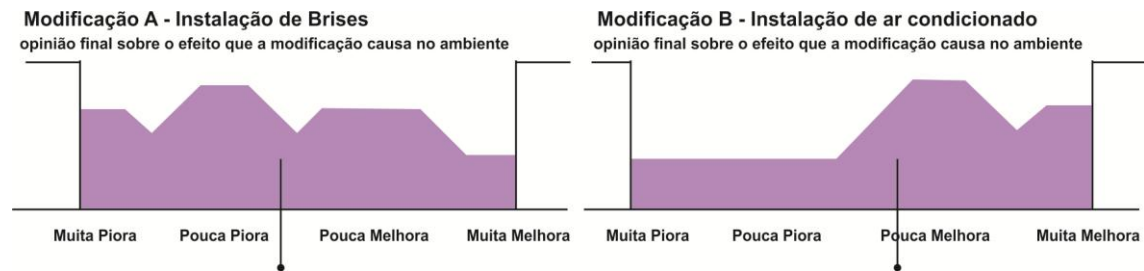
Figura 4.8 – Conjunto nebuloso de situação detectada pra o item ventilação



Fonte: CHENG, 1999b.

Aplicando a inferência de Mandani chegou-se a um efeito global para cada uma das modificações. Fazendo a ‘desfuzzyficação’ obteve-se os valores determinísticos, conforme mostrado na Figura 4.9.

Figura 4.9 – Conjunto dos efeitos globais com os pontos dos valores determinísticos



Fonte: adaptado de CHENG, 1999b.

Pode-se observar que a modificação referente à instalação de brises não interfere significativamente na situação apresentada, o resultado determinístico ficou entre ‘Pouca Piora’ e ‘Pouca Melhorar’ quando analisado o estado geral do ambiente. A modificação referente à instalação de ar condicionado, por sua vez, resultou em ‘pouca melhora’ ao conforto do ambiente. Sendo assim, das duas modificações analisadas, a que menos interfere no ambiente estudado e não possui acréscimo de gastos mensal é a instalação de brises.

Pode-se considerar que esta metodologia abre uma abordagem alternativa e adequada para as pesquisas de avaliação pós-ocupação no tratamento das respostas dos questionários. Além disso, com a modelagem das alternativas dos questionários em variáveis linguísticas e com a geração de conjuntos de regras para inferência nebulosa é possível estender a análise de avaliação pós-ocupação para estudar o impacto de cada modificação na melhoria do ambiente e, portanto, auxiliar na tomada de decisões.

4.6. Considerações sobre a utilização de medidas de incerteza em dados de percepção do morador

Considerando que a avaliação pós-ocupação faz o uso frequente de questionários de opinião dos usuários para identificar os pontos positivos e negativos, para que posteriormente o pesquisador desenvolva soluções a curto, médio e longo prazo, há que se levar em consideração a maneira como estes dados são analisados por se tratarem de respostas subjetivas, podendo ser influenciadas ou não.

É de considerável importância a questão que diz respeito às incertezas relativas as afirmativas dos usuários, mesmo quando se utiliza questionários de múltipla escolha. Essas incertezas podem ser vistas tanto sob o ponto de vista da vagueza dos conceitos apresentados, como bom, ruim ou regular, como pela não especificidade da resposta sobre um determinado elemento quando tratadas no âmbito coletivo.

Moraes e Abiko (2006) analisam a adequação de algumas medidas de incerteza na análise de dados de avaliação pós-ocupação, no sentido de agregar mais informação aos resultados e diminuir as incertezas nas afirmações; como consequência poder afirmar com maior segurança os pontos positivos e negativos de um projeto. Foram utilizados dados já coletados em outra pesquisa, visto que o objetivo principal é analisar as medidas propostas.

Os autores consideraram três tipos de incerteza: vagueza (*fuzziness*), não-especificidade e conflito. Enquanto a vagueza é um tipo de incerteza inerente à linguagem humana, residente na incapacidade, ou inabilidade, de tornar claro ou preciso algumas propriedades de determinados conjuntos (tratada exclusivamente na teoria dos subconjuntos *fuzzy*), a não-especificidade está relacionada a inabilidade humana para discriminar qual, entre várias alternativas, é a real, ou verdadeira, em uma dada situação e o conflito está presente sempre que se está diante de algum tipo de discrepância ou inconsistência numa dada informação ou evidência.

Enquanto a vagueza não pode ser reduzida por se tratar de uma deficiência da linguagem humana ou de determinada definição, ambos a não-especificidade e o conflito podem ser reduzidos por observações adicionais, experimentos, ou outras ações

relevantes de produção de informação. No Quadro 4.3 apresentam-se os três tipos de incertezas, conceitos e suas equações.

Quadro 4.3 – Comparativo dos tipos de incerteza

TIPO DE INCERTEZA	CONCEITO	EQUAÇÃO
Medida de vagueza	É uma função definida nos conjuntos dos números reais positivos, onde para cada subconjunto <i>fuzzy</i> é associado um número real não negativo que expressa o grau de vagueza do subconjunto.	$\hat{f}(A) = 1 - \frac{\sum_{x \in X} 2A(x) - 1 }{ X }$
Medida de não-especificidade	Pode ser encontrada em situações, nas quais se expressa incerteza por meio de conjuntos clássicos (<i>crisp</i>). A medida de não-especificidade será menor quanto maior for a frequência de apenas uma das alternativas, ou seja, se há um conceito predominante, a não-especificidade é baixa.	$U(A) = \frac{1}{h(A)} \int_0^{h(A)} \log ^{\alpha} A d\alpha$
Medida de conflito	É definida para uma função de distribuição de probabilidade arbitrária p em X , onde $p(x)$ será a frequência de cada conceito, como nas outras medidas.	$S(p) = - \sum_{x \in X} p(x) \log_2 p(x)$

Os dados obtidos são apresentados na Tabela 4.2. Para a análise foram adotados dois grupos de incerteza, alta e baixa. Os valores abaixo de 50% serão considerados de baixa incerteza, do contrário alta incerteza. Considerando a medida de vagueza destacam-se os seguintes itens avaliados: tamanho da cozinha (Ruim), qualidade do material das portas e janelas (Ruim), conforto devido à iluminação natural (Bom) e segurança contra roubo (Ruim).

Aplicando-se o mesmo critério para a medida de não-especificidade destaca-se: tamanho da cozinha (Ruim), qualidade do material do piso (Ruim), qualidade do material das portas e janelas (Ruim), qualidade das instalações de água e elétricas (Bom), conforto devido à ventilação na sala (Bom), conforto devido à iluminação natural (Bom), segurança contra roubo (Ruim) e resposta aos odores (Bom).

Já a medida de conflito, não conseguiu detectar nenhum conceito predominante. Uma explicação possível para este fato é o grau de sofisticação da escala. Pelo fato de haverem apenas três alternativas, a precisão da resposta pode ser considerada pequena, influenciando nesse caso a medida de conflito.

Tabela 4.2 – Medidas de incerteza aplicadas aos dados da avaliação pós-ocupação por item avaliado*

Item	Conceito			Medida de Vagueza	U-Incerteza	Entropia Shannon
	Ruim	Regular	Bom			
Tamanho						
Sala	42,9%	14,3%	42,9%	66,7%	75,7%	90,9%
Quartos	25,0%	35,7%	39,3%	66,7%	80,8%	98,4%
Cozinha	64,3%	14,3%	21,4%	47,6%	29,0%	81,4%
Banheiro	48,6%	14,3%	37,1%	66,7%	59,3%	90,9%
Qualidade do material						
Piso	51,4%	20,0%	28,6%	64,8%	49,2%	92,7%
Paredes	37,1%	20,0%	42,9%	66,7%	71,9%	95,3%
Teto	42,9%	20,0%	37,1%	66,7%	71,9%	95,3%
Portas e janelas	62,9%	22,9%	14,3%	49,5%	31,5%	82,7%
Qualidade das instalações						
Água	37,1%	2,9%	60,0%	53,3%	41,0%	70,7%
Esgoto	48,6%	8,6%	42,9%	66,7%	62,5%	83,9%
Elétrica	28,6%	11,4%	60,0%	53,3%	37,2%	83,3%
Conforto						
Temperatura no verão	42,9%	20,0%	37,1%	66,7%	71,9%	95,3%
Temperatura no inverno	34,3%	31,4%	34,3%	66,7%	97,2%	99,7%
Ventilação da sala	17,1%	25,7%	57,1%	57,1%	39,7%	88,3%
Ventilação dos quartos	35,7%	21,4%	42,9%	66,7%	70,7%	96,5%
Ventilação da cozinha	35,7%	28,6%	35,7%	66,7%	92,7%	99,7%
Ventilação do banheiro	34,3%	20,0%	45,7%	66,7%	63,7%	95,3%
Iluminação natural	5,7%	11,4%	82,9%	22,8%	11,4%	51,7%
Ruído externo	40,0%	14,3%	45,7%	66,7%	66,9%	91,5%
Segurança						
Estrutural	28,6%	28,6%	42,9%	66,7%	66,9%	98,4%
Período de chuva	45,7%	14,3%	40,0%	66,7%	66,9%	91,5%
Contra roubo	71,4%	8,6%	20,0%	38,1%	22,1%	70,0%
Respostas						
Umidade	34,3%	22,9%	42,9%	66,7%	70,0%	97,2%
Infiltração	45,7%	20,0%	34,3%	66,7%	63,7%	95,3%
Odores	37,1%	5,7%	57,1%	57,1%	44,8%	77,6%

*Entropia de Shannon: medida de incerteza de uma dada distribuição de probabilidade

Fonte: MORAES; ABIKO, 2006

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4.2 vê-se que a medida de não especificidade, U-incerteza, é a que tem representado melhor a variação dos conjuntos-avaliação, identificando os itens que possuem uma maior frequência do mesmo conceito na resposta.

Com relação às medidas, recomenda-se a aplicação da medida de não especificidade, visto que esta conseguiu detectar os pontos positivos e negativos da avaliação, com baixa incerteza, bem como aponta aqueles itens que merecem um maior cuidado nas afirmações, antes feitas com base nas médias e desvio-padrão.

Concluindo, as medidas de incerteza possuem algumas vantagens em relação às medidas clássicas utilizadas. Pode-se destacar: a independência da escala utilizada, onde se pode trabalhar desde a escala nominal até a escala de razões, sem necessidade de suposições ou adequações; a medida resultante pode ser normalizada facilmente, pois os intervalos de variação são bem definidos, proporcionando assim uma leitura uniforme e de fácil comparação. Por fim, estas medidas contribuem no sentido de agregar mais informação nas conclusões obtidas a partir de uma avaliação pós-ocupação.

5. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Para atingir o objetivo da obtenção da zona de conforto o desenvolvimento do trabalho engloba a metodologia de avaliação pós-ocupação, comumente utilizada para a coleta de dados subjetivos, e para a conversão destes dados em valores aproximados da realidade foi utilizado a simulação computacional por meio de modelo matemático Redes Neurais Artificiais – Inteligência Artificial.

5.1. Avaliação Pós-Ocupação

Ornstein e Roméro (2003) definiram que avaliação pós-ocupação, diz respeito a uma série de métodos e técnicas que diagnosticam fatores positivos e negativos do ambiente no decorrer do uso, a partir da análise de fatores socioeconômicos, de infraestrutura e superestrutura urbanas dos sistemas construtivos, conforto ambiental, conservação de energia, fatores estéticos, funcionais e comportamentais, levando em consideração o ponto de vista dos próprios avaliadores, projetistas e clientes, e também dos usuários. Mais do que isso, a avaliação pós-ocupação se distingue das avaliações clássicas de desempenho formuladas nos laboratórios dos institutos de pesquisa, pois considera fundamental também aferir o atendimento das necessidades ou o nível de satisfação dos usuários, sem minimizar a importância da avaliação de desempenho físico ou clássica. Nesse sentido, a avaliação pós-ocupação tem grande validade pois faz análises, diagnósticos e recomendações a partir dos objetos de uso, *in loco*, na escala e tempo reais.

Neste contexto, pode-se considerar que avaliação pós-ocupação é um complexo sistema de averiguação do nível patológico das construções (sejam comerciais, residenciais ou industriais) e também, principalmente, o comportamento do usuário diante destes ambientes. Por meio de observações, estudos e medições realizados na estrutura das edificações se descobrem quais os pontos positivos e negativos. Já a análise comportamento x ambiente é mais completa, pois levam em conta o ponto de vista do usuário, quanto aos seus desejos e anseios e o ponto de vista do pesquisador quanto a sua percepção versus a análise técnica pelo tratamento de dados (NASCIMENTO, 2009).

Este tipo de avaliação vem sendo consideravelmente utilizado em pesquisas de campo no país a fim de verificar cada vez mais possíveis erros e acertos na implantação de projeto.

Para Ornstein e Ono (2011), uma parte das pesquisas apresenta como resultado a comparação entre os levantamentos de campo (medições de conforto e verificações sobre as percepções dos usuários) e as normas prescritivas e ou de desempenho existentes, confundindo atitudes necessárias a consultores no cotidiano da prática profissional com a contribuição efetiva que a pesquisa acadêmica poderia originar. Tal contexto tem gerado uma grande quantidade de estudos de caso no campo da avaliação pós-ocupação cujos resultados são diagnósticos repetitivos, muitas vezes sem contribuições de fato para a evolução da pesquisa do tema e sua aplicabilidade para a qualidade do projeto.

Dentre as lacunas, defendidas por Ornstein e Ono (2011), em pesquisas a serem preenchidas com elementos inovadores potenciais está a sugestão do aperfeiçoamento estatístico e introdução de novas técnicas de análises dos dados, dentre elas, a inteligência artificial, nos procedimentos de avaliação pós-ocupação aplicados em estudos de caso de grande complexidade física e múltiplos usuários: estádios, hospitais, aeroportos e assim por diante. Existem alguns trabalhos em andamento seguindo esta linha, dentre eles podem ser citados Ching (1999a e 1999b), Moraes, (2008), Matos (2007).

5.1.1. Aplicação da avaliação pós-ocupação

Para a aplicação da metodologia de avaliação pós-ocupação num geral são realizadas as seguintes etapas conforme mostrado no Quadro 5.1.

Para a coleta de dados subjetivos, são aplicados questionários, conforme apresentados no APÊNDICE 1. Os questionários não possuem identificação pessoal, contendo questões relacionadas aos aspectos físicos individuais e suas considerações a respeito da sensação de conforto no momento de suas respostas.

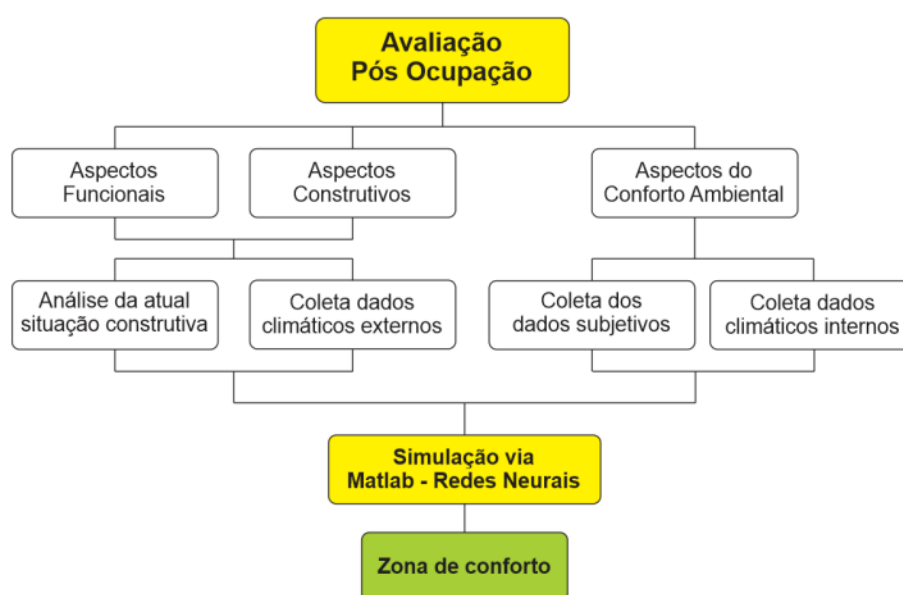
Considerando a ferramenta base da avaliação pós-ocupação os questionários para verificação dos dados subjetivos, foram reformulados utilizando como base os questionários desenvolvidos por Ornstein e Romero (1992), Fontanella (2009) e Nascimento (2009).

Quadro 5.1 – Etapas da avaliação pós-ocupação

ETAPA	DESENVOLVIMENTO
Avaliação dos aspectos funcionais	Vistorias técnicas junto à edificação educacional, formulação e aplicação do questionário a profissionais e usuários.
Avaliação dos aspectos construtivos	Análise do estado atual da construção, dos componentes estruturais, da qualidade dos fechamentos e cobertura, existência de patologias.
Avaliação do conforto ambiental	Verificação da satisfação do usuário em relação a conforto do ambiente, a partir da aplicação de questionários e medições de parâmetros térmicos <i>in loco</i> .

Os questionários foram aplicados em salas de aula no momento do uso, onde eram distribuídos aproximadamente após uma hora de permanência em sala de aula. No momento do preenchimento das respostas pelos alunos, foram aferidos, por meio de sensores, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar e a temperatura de globo no interior dos ambientes. Com estes dados foi possível estimar por meio das redes neurais uma zona de conforto mesclando as respostas subjetivas dos questionários e os dados técnicos ambientais coletados no momento da aplicação dos questionários, conforme demonstrado no fluxograma mostrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Aplicação da Avaliação Pós-Ocupação



5.2. MATLAB para Redes Neurais

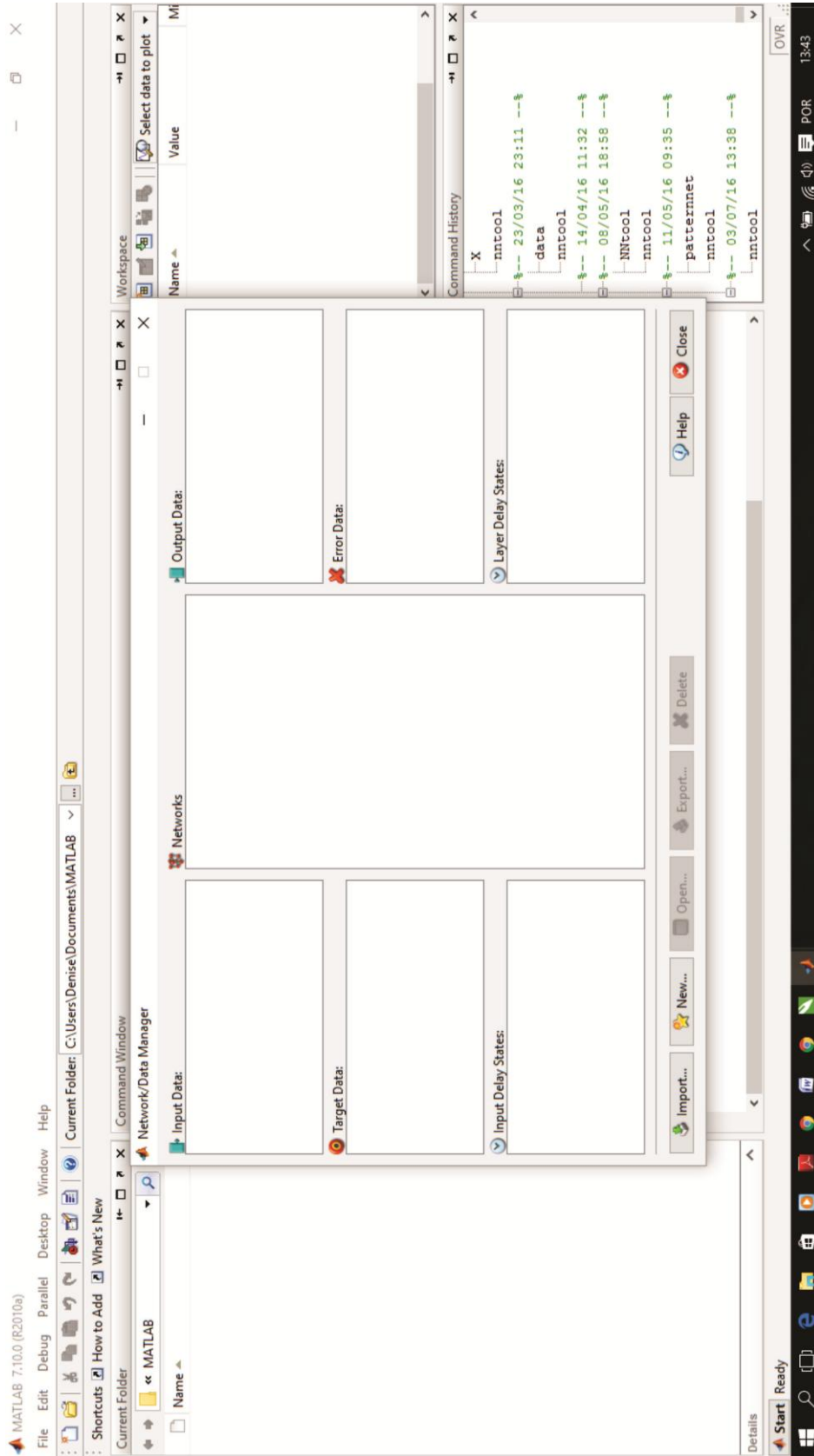
Considerando que foi escolhido para aplicação o modelo matemático de redes neurais – *Perceptron*. Para sua aplicação, foram coletados os dados subjetivos por meio de questionários aplicados em salas de aula. Estes dados foram tabulados e quantificados de maneira que possibilitasse a sua leitura racional pela rede neural. Como ferramenta de análise geral destes dados foi utilizado o programa computacional MATLAB.

O programa MATLAB é uma ferramenta muito utilizada em computação numérica em diversas áreas científicas e tem se tornado um ambiente efetivamente utilizado em engenharia para realizar cálculos matemáticos, desenvolver algoritmos, modelagem e simulação. O MATLAB está dotado de um sistema iterativo e uma linguagem de programação. Além das bibliotecas para cálculos aritméticos básicos, o MATLAB ainda oferece um grande número de ferramentas especializadas para resolução de problemas em áreas específicas, tais como estatística, programação linear, sistemas de controles, procedimentos de sinais, simulação dinâmica (SIMULINK) dentre diversas outras aplicações (SHAW; SIMÕES, 2007).

O MATLAB, que é disponível em diferentes sistemas operacionais, também dispõe de diversas bibliotecas ou ferramentas (*toolboxes*) para aplicações específicas, como por exemplo, Redes Neurais, *Lógica Fuzzy*, Otimização de Sistemas, Cálculo Simbólico, Processamento de Sinais e outras.

Para as aplicações desta ferramenta em redes neurais a utilização do toolbox se dá por meio da interface gráfica (*nnTool*), conforme apresentado na Figura 5.2. Esta interface permite a análise racional de dados subjetivos considerando as entradas subjetivas devidamente ponderadas obedecendo a sequência racional da rede neural escolhida para esta pesquisa (Rede *Perceptron* de Múltiplas Camadas): dados de entrada > pesos > neurônio > camada oculta > resultados.

Figura 5.2 – Interface nnTool



Os padrões (dados de entrada e de saída) e a arquitetura da rede são definidos de acordo com a tela mostrada na Figura 5.3 e pode-se visualizar a rede pressionando o botão *view*, conforme apresentado na Figura 5.4.

Figura 5.3 – Configurações da rede

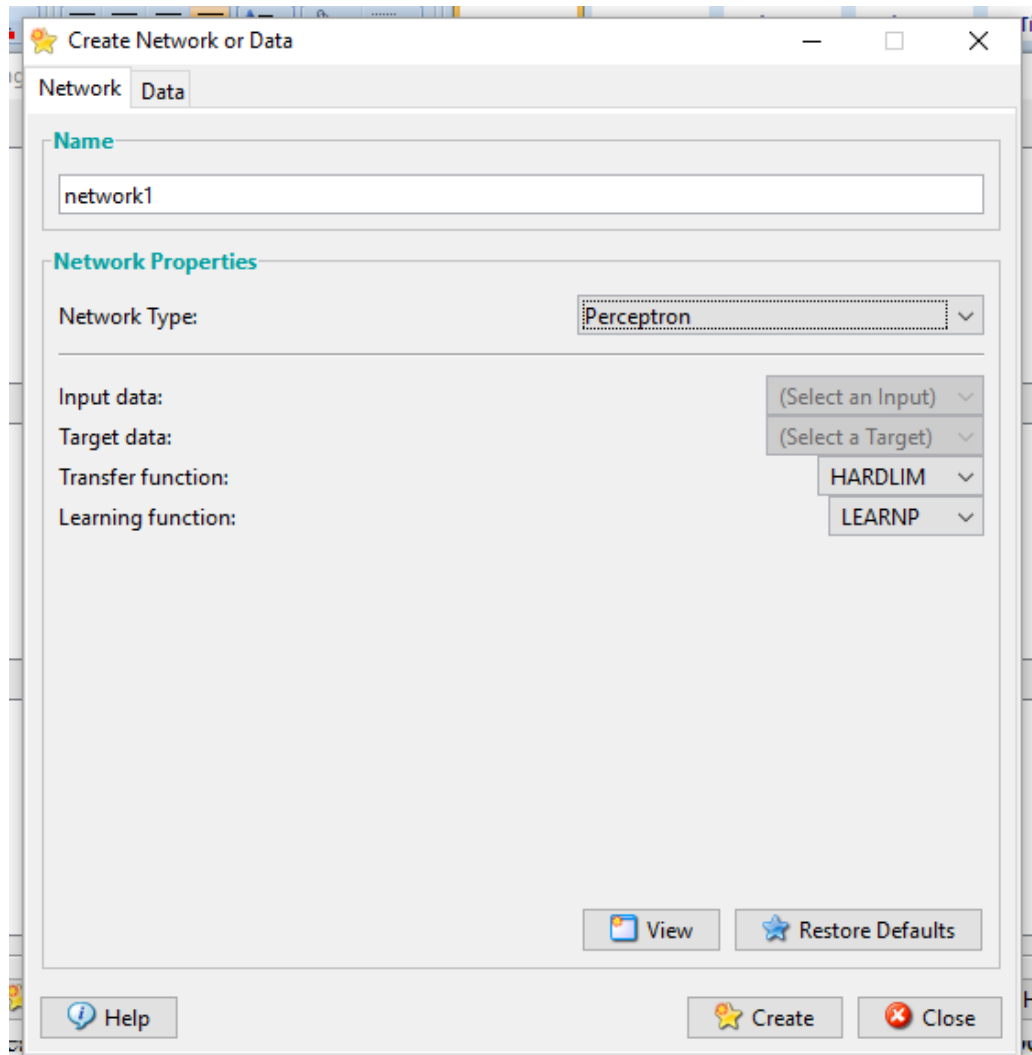
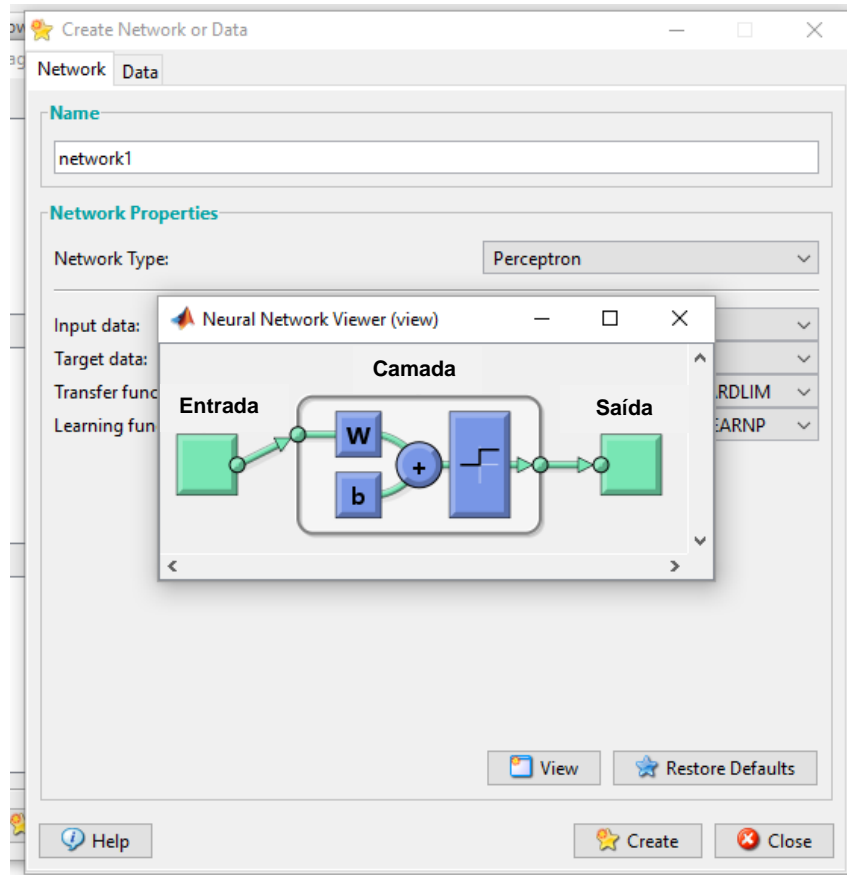
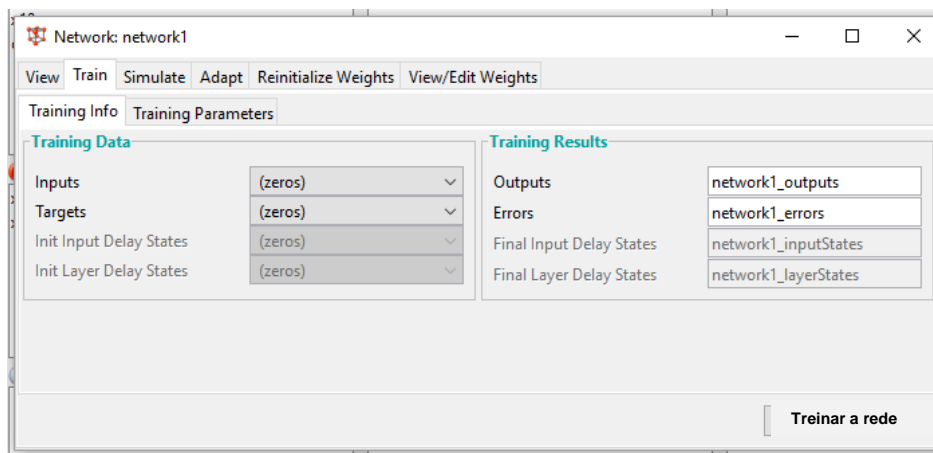


Figura 5.4 – Ilustração da rede neural



Após a criação da rede, passa-se para a fase de treinamento conforme mostrado na Figura 5.5. Nesta etapa é que se determina cada parâmetro de treinamento, tais como dados de validação e teste, número de épocas, valores dos pesos ou bias, etc. Para iniciar o processo de treinamento pressiona-se o botão *Train Network*.

Figura 5.5 – Treinamento da Rede



5.3. Ferramentas da *toolbox nstart*

A *toolbox* de redes neurais do MATLAB, a *nstart*, fornece funções e aplicativos para a modelagem de sistemas não-lineares complexos, que não são facilmente modelados com uma equação de forma fechada. Este conjunto de ferramentas suporta a aprendizagem supervisionada com *feedforward*, base radial, e redes dinâmicas. Ele também suporta o aprendizado não supervisionado, com mapasauto-organizáveis e camadas competitivas. Com a caixa de ferramentas que você pode criar, treinar, visualizar e simular redes neurais. Entre as ferramentas podemos destacar as seguintes:

- *Fitting Tool* (Ferramenta de Ajuste) – *nftool*:

Segundo a ferramenta de ajuda do MATLAB, nesta ferramenta a rede neural é usada para mapear um conjunto de dados de entradas numéricas e um conjunto de alvos numéricos. Exemplos deste tipo de problema incluem a estimativa de preços de casas através de variáveis de entrada, tais como taxa de imposto, relação aluno/professor em escolas locais e taxa de criminalidade; estimar os níveis de emissões de motores baseados em medições de consumo de combustível e velocidade; ou prever o nível de gordura corporal de um paciente com base em medições de corpo.

- *PatternRecognition Tool* (Ferramenta de Reconhecimento de padrões) – *nprtool*:

Em problemas de reconhecimento de padrões, uma rede neural é necessária para classificar as entradas em um conjunto de categorias-alvo. Por exemplo, reconhecer o vinhedo que uma garrafa de vinho específica veio, com base na análise química; ou classificar um tumor como benigno ou maligno, com base na uniformidade do tamanho da célula, espessura de aglutinados e mitose.

- *Clustering Tool* (Ferramenta de Agrupamento) – *nctool*:

Em problemas de agrupamento, usa-se rede neural para agrupar os dados por similaridade. Por exemplo, a segmentação do mercado feito por agrupamento de pessoas de acordo com seus padrões de compra; mineração de dados que podem ser feito dividindo os dados em subconjuntos relacionados; ou análise bioinformática, como agrupamento de genes com padrões de expressão relacionados.

- *Time Series Tool* (Ferramenta de Série Temporal) –*ntstool*:

A previsão é um tipo de filtragem dinâmica, em que os valores anteriores de uma ou mais séries de tempo são utilizados para prever valores futuros. Redes neurais dinâmicas, que incluem linhas de atraso aproveitadas, são utilizadas para a filtragem não-linear e para a previsão.

Existem muitas aplicações para a previsão. Por exemplo, um analista financeiro pode querer prever o valor futuro de uma ação, título ou outro instrumento financeiro. Um engenheiro pode querer prever o fracasso iminente de um motor a jato.

Modelos preditivos também são usados para identificação de sistemas (ou modelagem dinâmica), no qual são construídos modelos dinâmicos de sistemas físicos. Estes modelos são importantes para a análise, simulação, monitoramento e controle de uma variedade de sistemas, incluindo sistemas de produção, processos químicos, robótica e sistemas aeroespaciais.

5.4. Obtenção dos condicionantes climáticos

Para a coleta dos dados climáticos foram utilizados aparelhos para medições externas e simultaneamente foram coletados dados das condições internas (temperatura, umidade, velocidade do ar e temperatura de globo). Os dados foram coletados no período de julho de 2013 até setembro de 2014 e armazenados dados diários captados no intervalo de 30 em 30 minutos.

Conforme dito anteriormente, os condicionantes externos foram obtidos por meio da estação meteorológica local instalada na UFOP, conforme mostrado na Figura 5.6. Já os dados internos foram coletados de duas maneiras: unidades fixas e unidades móveis.

Para coleta de dados no interior dos ambientes foram instalados sensores em suporte metálico onde estão interligados os sensores que medem a temperatura (°C), umidade relativa (%) e velocidade do ar (m/s) e a temperatura de globo (°C). Estes sensores estão interligados ao aparelho *Data Logger*, onde são armazenados os dados coletados no período de 30 em 30 minutos.

Figura 5.6 – Equipamentos de coleta dos condicionantes térmicos



A temperatura interna do ar foi medida usando sensores em três alturas diferentes seguindo a recomendação da norma ISO 7726 (ISO, 1998), conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Posição dos equipamentos para medições do ambiente.

Coeficiente de Ponderação						
	Ambiente homogêneo		Ambiente heterogêneo		Altura recomendada	
Posição	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S	Sentado	De pé
Cabeça			1	1	1,1 m	1,7 m
Abdômen	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Calcanhar			1	1	0,1 m	0,1 m

Fonte: ISO 7726:1998

Nas duas unidades fixas, foram coletados dados ininterruptamente, durante um ano, sendo uma na sala de mestrandos no prédio da Escola de Minas e outra na sala da administração no prédio da Escola de Medicina, conforme mostrado na Figura 5.7 (a) e (b).

Figura 5.7 – Unidades Fixas



a) Sala de Mestrandos – Escola de Minas



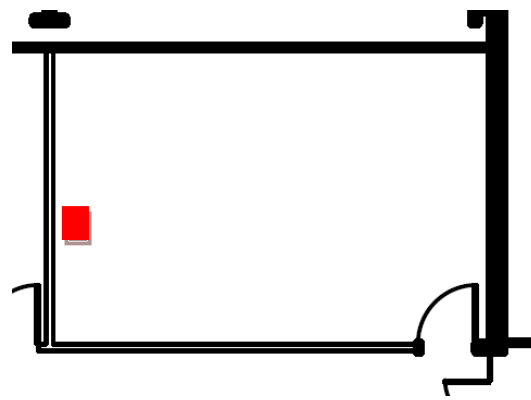
(b) Sala da administração – Escola de Medicina

Nesta coleta fixa foi possível aferir as condições climáticas do ambiente de todas as estações, sendo possível a verificação dos períodos mais críticos. O posicionamento do suporte metálico foi instalado na parte posterior da sala, sendo um pouco descentralizado conforme mostrado na Figura 5.8 (a) e (b). O período de permanência da coleta era em média 2 horas e meia.

Figura 5.8 – Localização do suporte metálico em sala de aula



(a) – Foto suporte metálico sala



(b) – Posicionamento do suporte em planta

Conforme mostrado na Figura 5.9 as unidades móveis são coletas semanais, em salas de aula variadas nas Escolas de Minas e de Medicina. São utilizados o psicrômetro e o termômetro de globo, para coleta da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa e a temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), respectivamente. Neste caso, o responsável pela coleta dos dados e aplicação dos questionários coloca os equipamentos de coleta em cima da mesa durante todo o período de permanência em sala de aula. A orientação é que seu posicionamento seja no mesmo local em que a unidade fixa foi instalada.

Estas coletas também foram realizadas no período de um ano, duas vezes por semana, no período da manhã e tarde (nos períodos em que a sala de aula estivesse ocupada). Durante a aferição das condições climáticas, foram distribuídos questionários de avaliação pós-ocupação para os alunos presentes. Estes dados serviram como base para a análise dos dados subjetivos de sensação térmica dos usuários.

Na coleta dos dados móveis houve interrupções em semanas de feriados prolongados, férias e greve. Foi possível coletar dados de todas as estações, porém com lacunas devido a ausência dos alunos.

Figura 5.9 – Aparelhos utilizados para as unidades móveis



a) Termômetro de globo



b) Psicrômetro

6. OBJETO DE ESTUDO

O Brasil passou por uma readequação e reestruturação da infraestrutura e na qualificação dos profissionais das Universidades Federais. Este investimento foi realizado pela necessidade da recuperação e manutenção das unidades existentes e também devido a atual demanda do mercado por mão de obra qualificada. Em 2007 foi então implantado o programa REUNI, que é um programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais, que tem como principal objetivo ampliar o acesso e permanência na educação superior.

Com o REUNI, o Governo Federal adotou uma série de medidas para retomar o crescimento do ensino superior público, acadêmica e pedagógica da rede federal de educação superior. A ampliação e a readequação da infraestrutura física das universidades federais constituem alguns dos componentes para o alcance dos objetivos do Programa REUNI.

6.1. Reestruturação Acadêmica e Inovação

A preocupação com a qualidade da oferta, para além da ampliação do número de vagas na educação superior pública, levou o REUNI a atuar em outras cinco dimensões: reestruturação acadêmico-curricular; inovação pedagógica; mobilidade intra e inter institucional; compromisso social das universidades, e articulação entre graduação, pós-graduação e os demais níveis educacionais.

Nesse sentido, das 53 universidades federais que aderiram ao REUNI, 26 apresentaram projetos com componentes de inovação, os quais podem ser agrupados em cinco tipos:

- Formação em ciclos (geral, intermediário, profissional ou de pós-graduação);
- Formação básica comum (ciclo básico ou por grandes áreas);
- Formação básica em uma ou mais das Grandes Áreas: Saúde, Humanidades, Engenharias e Licenciaturas;
- Bacharelados Interdisciplinares em uma ou mais das Grandes Áreas: Ciências, Ciências Exatas, Ciência e Tecnologia, Artes, Humanidades, Saúde;
- Bacharelados com dois ou mais itinerários formativos.

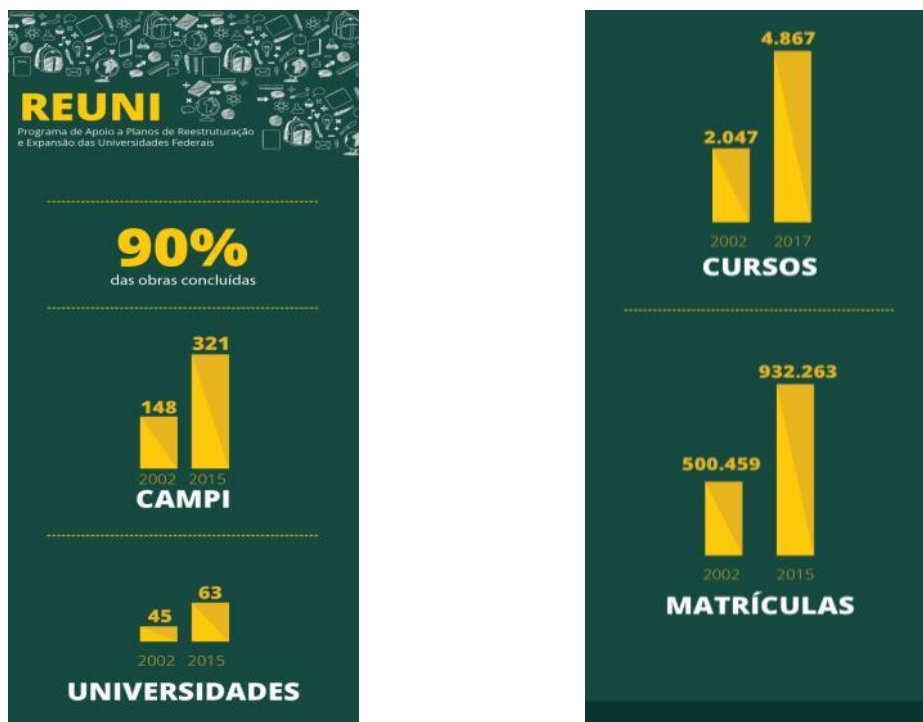
As inovações acadêmicas e pedagógicas desdobram-se em ações e estratégias descritas nos Planos de Reestruturação e se materializam não só por meio de investimentos diretos do programa, mas por um conjunto de programas associados.

Com o aumento da oferta de novas vagas, as universidades federais passaram a receber um contingente significativo de novos estudantes, muitos deles oriundos de escolas públicas e em classes socioeconômicas desfavorecidas.

Segundo o portal do Ministério da Educação (MEC), desde o início das Universidades Federais, 1808, até o ano de 2002, havia no país 148 campus universitários federais. Até o fim do ano de 2015 foram instalados mais 173 novos campus e 20 novas universidades em todo o país. Com estas novas implantações houve um acréscimo de 431.804 na oferta das vagas. A previsão é de que em 2017 a oferta de cursos chegue a 4.867.

Na Figura 6.1 pode-se observar os comparativos do crescimento das universidades com o programa Reuni.

Figura 6.1 – Expansão da educação superior no país



Fonte: PORTAL DO BRASIL, 2016

6.2. Implementações em função do REUNI na UFOP

O Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, em Ouro Preto, recebeu boa parte dos novos alunos admitidos na Universidade via expansão a partir do projeto REUNI. Assim, além das salas de aulas, salas de professores e laboratórios, também foi necessário um novo restaurante universitário. Atualmente o sistema de bibliotecas ainda é constituído por seis bibliotecas espalhadas nos diversos prédios do campus, mas há previsão de construção de uma Biblioteca Central.

6.2.1. Escola de Minas

A Escola de Minas de Ouro Preto foi inaugurada em 12 de outubro de 1876. A cidade de Ouro Preto era descrita pelo ilustre fundador da Escola, o cientista Claude Henri Gorceix, em relatório enviado ao Imperador Dom Pedro II da seguinte maneira:

"Em muito pequena extensão de terreno pode-se acompanhar a série quase completa das rochas metamórficas que constituem grande parte do território brasileiro e todos os arredores da cidade se prestam a excursões mineralógicas proveitosas e interessantes".

A expansão da Universidade Federal de Ouro Preto para atendimento às metas do REUNI compreende a implementação de várias obras em três campi diferentes: no Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, no Campus de Mariana e no Campus de João Monlevade. Essas obras destinam-se a abrigar a expansão dos cursos já existentes e implementação dos novos cursos criados. Foram previstas instalações para abrigar toda a parte administrativa necessária, para salas de aulas, laboratórios e para a infraestrutura de apoio às atividades novas.

A Escola de Minas é composta pelos seguintes departamentos: (a) de Engenharias: Ambiental, de Controle e Automação, Civil, Metalúrgica e de Materiais, de Minas, de Produção, Administração e Economia, e de Geologia; (b) de Arquitetura, bem como seus laboratórios e biblioteca.

Estes departamentos estão divididos em dois campi: um no centro da cidade de Ouro Preto e o outro no Bairro Morro do Cruzeiro, o qual é o foco desta pesquisa, conforme ilustrado nas Figuras 6.2 e 6.3.

Figura 6.2 – Escola de Minas – Centro de Ouro Preto



Figura 6.3 – Escola de Minas – Morro do Cruzeiro



O prédio da Escola da Minas trata-se de uma edificação estruturada em aço, que teve sua obra iniciada no final do ano de 1994, sendo inaugurada em julho de 1996. A primeira parte da obra foi construída para atender aos departamentos de Engenharia Civil, Geologia e de Controle e Automação, e a nova expansão foi construída para adequar à maior demanda dos cursos em funcionamento e também instalar o curso de Arquitetura e Urbanismo.

6.2.1.1. Obras realizadas na Escola de Minas

A unidade acadêmica denominada Escola de Minas é responsável pelos cursos de engenharia instalados no Campus Universitário do Morro do Cruzeiro. Ela possui

instalações na região central da cidade de Ouro Preto e no Campus Universitário do Morro do Cruzeiro. Esse campus possui prédios em dois locais distintos, sendo um para os cursos de Engenharia de Minas e Geológica e outro, a sua sede, para as demais modalidades de engenharia.

Na Escola de Minas, com o projeto REUNI foram criados os cursos de Arquitetura, Engenharia Mecânica, ambos com entradas semestrais, sendo uma entrada diurna (período da tarde) e outra entrada noturna, intercaladas. Também foram criadas novas turmas noturnas dos cursos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Produção que passaram a ter entradas semestrais. Além desses, os cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Geológica, Engenharia de Minas, Engenharia Civil e Engenharia Metalúrgica e de Materiais tiveram o número de vagas ampliadas no seu número de alunos.

A ampliação do número de alunos por turma implicou na construção de novas salas de aulas com maior capacidade e da fusão de salas já existentes para turmas pequenas. Parte das salas já existentes estava dimensionada para 25 e 30 lugares. Desse modo houve a necessidade da construção de novas salas de aulas, tanto para os cursos novos quanto para as ampliações dos que já existem, em número de vagas por turma. Assim foram construídos dois blocos para salas de aula e um bloco para os novos laboratórios demandados. Com as construções, algumas salas de aulas pequenas e laboratórios de informática atualmente existentes foram transformados em ambientes administrativos para receber os novos docentes e para as novas estruturas administrativas necessárias.

6.2.2. Escola de Medicina

A Escola de Medicina (Figura 6.4) foi construída no ano de 2009 para atender exclusivamente ao Departamento de Medicina com salas de aula, laboratórios, ambientes da administração.

A necessidade de se construir com agilidade e padronização fez com que o sistema estrutural escolhido fosse o aço.

Figura 6.4 – Escola de Medicina – Morro do Cruzeiro



6.3. Características termofísicas de fechamentos

O sistema de fechamento é um dos mais importantes no processo construtivo como um todo, pois está diretamente ligado à imagem e ao conforto de qualquer edificação. Percebeu-se, com o passar dos anos, que sua racionalização pode resultar em redução de custos e desperdícios nos demais subsistemas, como esquadrias, instalações e revestimentos. Para se chegar a um processo eficiente na construção metálica e industrializada como um todo é preciso desenvolver sistemas complementares que funcionem e sejam aceitos pelos usuários e pela comunidade técnica (BARROS, 1999).

A associação da estrutura metálica à alvenaria convencional não implica na ocorrência de problemas de compatibilidade, mas se as diferenças não forem consideradas em pontos específicos durante as etapas de concepção, projeto e construção, fatalmente os problemas aparecerão. Nesse caso, as patologias mais comuns são as trincas geradas pelas diferentes movimentações da estrutura e da alvenaria.

Segundo Castro (1999), um dos grandes problemas da estrutura metálica é a dificuldade em se fazer um fechamento estanque e ao mesmo tempo resistente. O fato de a estrutura ser mais flexível, dos elementos terem uma seção transversal mais complexa e do aço possuir uma superfície pouco rugosa e pouco porosa leva os projetistas e construtores a adotarem soluções não convencionais para evitar a ocorrência de problemas na construção.

Além dos problemas técnicos para a construção e execução do fechamento de edificações em aço, encontra-se também a dificuldade ou a irrelevância dada às características físicas dos materiais escolhidos pertinentes às condições climáticas do local onde a edificação será inserida.

6.3.1. Características térmicas de fechamentos – Escola de Medicina

No Quadro 6.1 podem-se observar os materiais construtivos utilizados. Na parte exterior há uma vegetação rasteira inserida para conter os cortes, alguns coqueiros e os acessos são de cimento. Todos os ambientes internos possuem janelas para o exterior, com possibilidade de abrir/fechar, porém sem nenhuma proteção para a iluminação (*insulfilme* ou *backouts*).

Quadro 6.1 – Materiais utilizados na construção da Escola de Medicina

ELEMENTOS	MATERIAIS
Sapata/Embasamento	Concreto armado executado <i>in loco</i>
Estrutura	Metálica aparente – aço carbono, pintado na cor verde
Fechamento externo	Alvenaria convencional (tijolo e cimento), com reboco em cimento e pintura branca.
Fechamento interno	Áreas molhadas, salas e laboratórios – alvenaria convencional Áreas administrativas – painéis de fórmica na cor bege
Aberturas	Esquadrias de alumínio e vidro incolor 6mm
Cobertura	Estrutura em aço e cobertura em telha de fibrocimento
Piso	Cimento queimando – cor clara

Construída para atender a demanda diurna do curso de medicina, a edificação apresentou problema de conforto desde sua inauguração. Em dias mais quentes (pode-se considerar primavera e verão), a edificação quase não é utilizada no período da tarde, pois a maior fachada está posicionada a oeste. Por não possuir nenhum tipo de tratamento de isolamento térmico, apenas as características termofísicas do material implantado, a edificação absorve a radiação solar na maior fachada em quase todo o período considerado crítico (12:00 às 16:00 horas). E além do aquecimento, o posicionamento atual da edificação no período da tarde causa ofuscamento e impossibilita o uso de atividades como projeção de imagens, recurso este importante para o curso.

As salas críticas são as do térreo são de 101 até 106 e alguns laboratórios de informática. E no 1º piso, as salas críticas são de 201 até 206.

Mesmo com tentativas simples de amenizar o desconforto conforme mostrado na Figura 6.5, o desconforto térmico, causado pelo aquecimento devido ao acúmulo de radiação direta, e o desconforto luminoso, causado pela exposição direta da luz solar, fez com que o curso mudasse algumas de suas atividades para o período da noite.

Figura 6.5 – Escola de Medicina



6.3.2. Características térmicas de fechamentos – Escola de Minas

No Quadro 6.2 apresenta-se o sistema de fechamento da Escola de Minas. Observa-se pela descrição que o sistema de fechamento do prédio da Escola de Minas difere do utilizado na Escola de Medicina. A Escola de Minas possui suas menores fachadas voltadas à orientação leste-oeste o que é positivo devido ao fato de ser uma menor porção de fachada absorvendo a radiação direta. E nas fachadas orientadas a norte, foram instalados brises horizontais infinitos, com lâminas de 15 cm e espaçamento entre as lâminas de 10 cm.

Dentre as salas pesquisadas, que se podem destacar por problemas de insolação constante e aquecimento direto são de 17 até 23 no térreo e 22 até 28 no 1º. Piso.

Quadro 6.2 – Materiais utilizados na construção da Escola de Minas

ELEMENTOS	MATERIAIS
Sapata/Embasamento	Concreto armado executado <i>in loco</i>
Estrutura	Metálica aparente – aço carbono, pintado na cor
Fechamento externo	Tijolo cerâmico aparente, assentados na menor dimensão.
Fechamento interno	Áreas molhadas, salas e laboratórios – alvenaria convencional Áreas administrativas, salas e laboratórios – painéis de fórmica na cor bege
Aberturas	Esquadrias de alumínio e vidro incolor 6mm
Cobertura	Estrutura em aço e cobertura em telha de fibrocimento
Piso	Cimento queimado – cor escura

Todos os ambientes internos possuem janelas para o exterior, com possibilidade de abrir/fechar, e também são providos de algum tipo de proteção para a iluminação (*blackouts*, persianas ou *insulfilme*).

Na Figura 6.6 pode-se observar a localização das salas de aula escolhidas no piso térreo e na Figura 6.7 estão as unidades escolhidas no 1º pavimento para simulação.

Figura 6.6 – Escola de Minas - Térreo

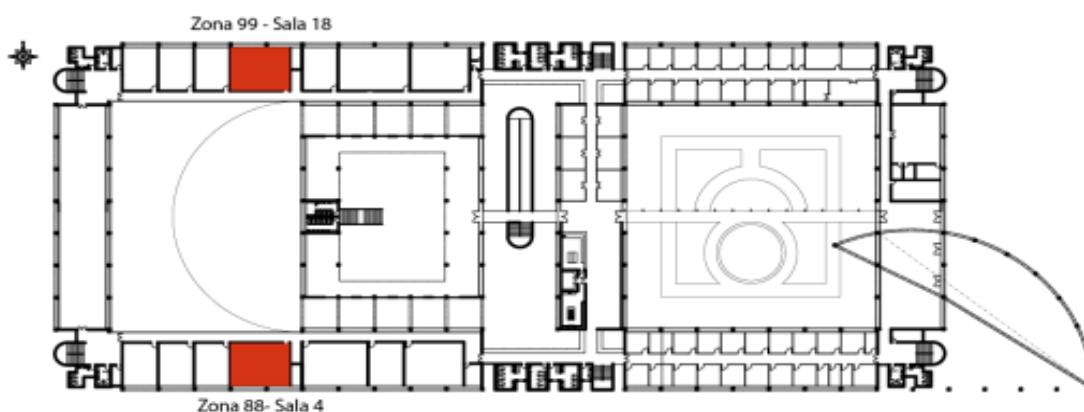
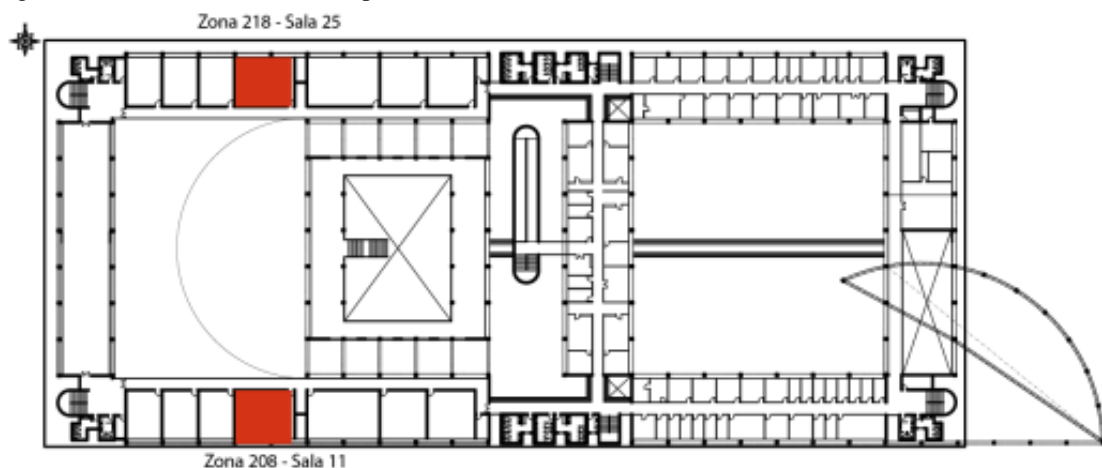


Figura 6.7 – Escola de Minas – 1º pavimento



6.4. Considerações climáticas locais e propriedades térmicas

Com o intuito de se determinar as classificações climáticas do país a norma NBR 15220 (ABNT, 2005) propõe o zoneamento bioclimático, dividindo o território brasileiro em oito zonas homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que auxiliam no desempenho térmico das edificações, por meio de sua melhor adequação climática.

A demanda por energia para a garantia do conforto ambiental depende diretamente das condições climáticas e das características física do ambiente construído. A incorporação dos conceitos de desempenho nos projetos de edificações visando um equilíbrio entre o clima e o espaço construído é fundamental para que se proporcione um consumo racional e sustentável da energia disponível, tendo em vista contribuir para a diminuição dos efeitos negativos ao meio ambiente, em escala mundial e crescente, observados em decorrência do grande consumo energético pelos diversos setores da atividade humana (AKUTSU, 2011).

Um dos fatores principais para se alcançar níveis altos de eficiência energética das edificações é a adequação da edificação ao clima local. Isto significa que os componentes da envoltória, cobertura, paredes, janelas, portas e piso, devem possuir determinadas características térmicas e geométricas que, quando expostos ao clima, apresentem resposta térmica tal que propicie condições térmica adequadas ao conforto térmico dos ocupantes. Quando este for insatisfatório, devem demandar o menor consumo possível de energia pelo sistema de ar condicionado, o qual deve ser escolhido também visando as características da edificação e do seu uso, tendo em vista não somente a sua eficiência energética, como o conforto final dos usuários (AKUTSU, 2011).

Pode-se dizer então que os fechamentos escolhidos em uma edificação devem levar em consideração, além das questões de preço e beleza, as características físicas e químicas do material. É a partir destas características que pode-se analisar se o material escolhido é adequado térmica e acusticamente para a edificação escolhida levando em considerações as condições climáticas e de ruído do local.

7. ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS E DISCUSSÃO

São demonstrados aqui todos os resultados obtidos nesta pesquisa de acordo com os métodos previamente apresentados. Os dados foram coletados por meio de pesquisas aos usuários e equipamentos específicos.

7.1. Avaliação Pós-Ocupação

Durante um ano foram aplicados questionários em salas de aula na Escola de Minas e na Escola de Medicina, na cidade de Ouro Preto, com o intuito de obter dados para análise numérica por meio de redes neurais.

Antes de apresentar tais dados, é válido ressaltar que foram entrevistadas mais de 1.200 pessoas que tiveram aula nos dois prédios durante o período de coleta de dados, dentre os quais 53% da população é do gênero feminino, conforme mostrado na Figura 7.1. E na Tabela 7.1 observam-se algumas médias dos gêneros.

Figura 7.1 – Amostra gênero

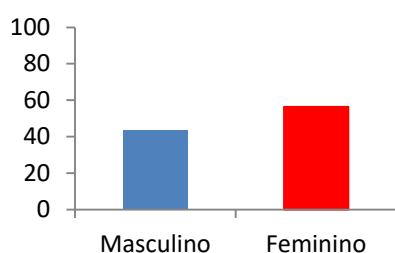


Tabela 7.1 – Média dos gêneros

Idade Homem	24
Idade Mulher	22
Peso Homem	72 kg
Peso Mulher	55 kg
Altura Homem	1,72 m
Altura Mulher	1,59 m

Como a pesquisa é direcionada ao conforto do ambiente, foi perguntado (APÊNDICE 1) o tipo de roupa que estavam vestindo e se havia sido realizada alguma mudança (adaptação) no momento da entrevista (vestido ou tirado roupas). Observa-se pela Figura 7.2 que 53% dos entrevistados estavam usando roupas leves e que apenas em torno 20% dos entrevistados fazem alguma adaptação na vestimenta (tiram ou vestem alguma peça para que se sintam mais confortáveis), Figura 7.3.

Nas salas de aula, conforme mostrado na Figura 7.4, a maioria dos entrevistados (80%) considera a iluminação de boa a ótima.

Figura 7.2 - Vestimenta

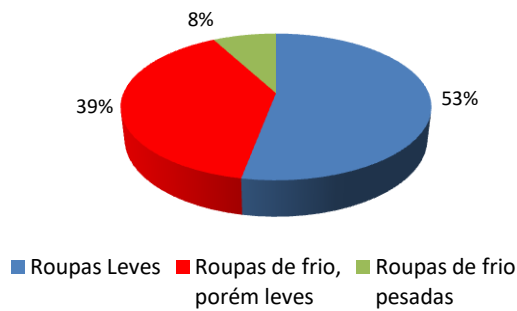
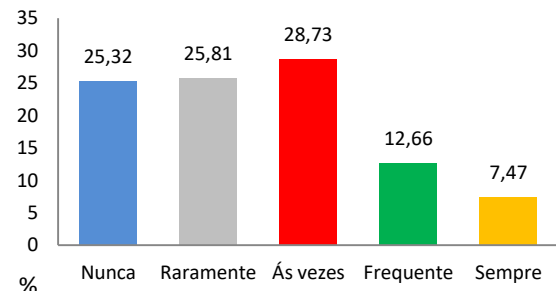


Figura 7.3 – Adaptação – tirar ou colocar vestimenta



Deve-se considerar neste caso a iluminação artificial junto a natural, porque em 85% do tempo de uso das salas, a iluminação artificial está acionada. Quanto à ventilação, 59% consideram a movimentação do ar no interior dos ambientes de bom a muito bom, conforme mostrado na Figura 7.5.

Figura 7.4 – Iluminação das salas

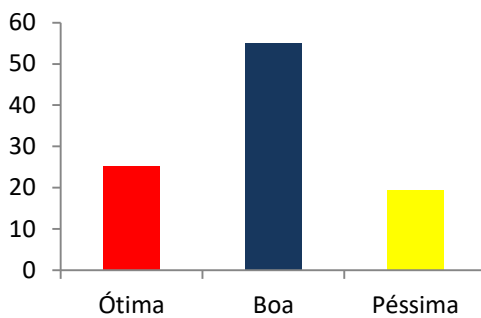
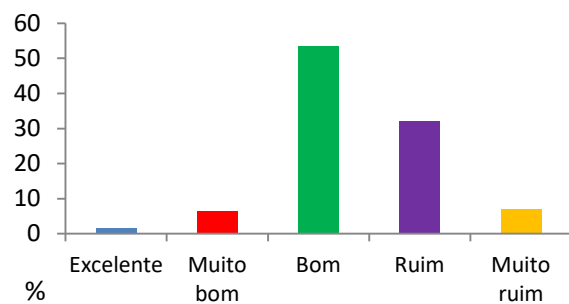


Figura 7.5 – Movimentação do ar



A alta porcentagem de entrevistados satisfeitos com a iluminação se deve a associação da luz natural com a artificial. Isto quer dizer que quando a iluminação natural não é o suficiente, o fato de poderem adaptar com a iluminação artificial, fazendo com que o número de satisfeitos com a iluminação seja elevado. Em contato com alguns entrevistados que sinalizaram que a iluminação estava péssima, segundo eles, a iluminação natural deveria ser o suficiente para iluminar a sala, considerando que as aulas são em sua maioria no período da manhã e tarde. O fato de utilizarem a iluminação artificial durante o dia representa um desperdício de energia, completaram.

Nota-se que num geral, os entrevistados estão se sentindo confortáveis com a situação interna, observa-se pelos resultados mostrados na Figura 7.6 que 72% dos entrevistados

estão satisfeitos com as condições gerais e que 57% acham o ambiente confortável, conforme apresentado na Figura 7.7.

Figura 7.6 - Satisfação

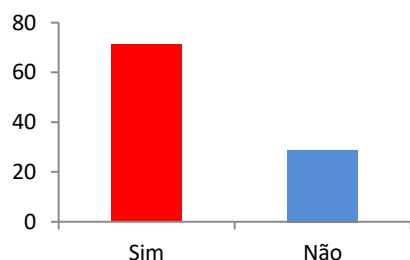
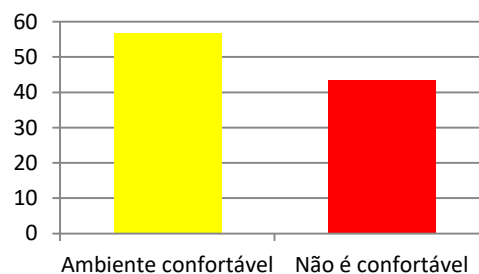
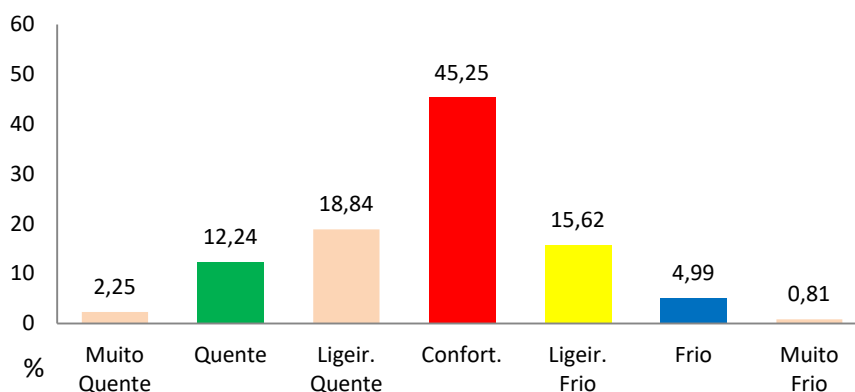


Figura 7.7 – Conforto do ambiente



E a partir dos resultados apresentados na Figura 7.8, observa-se que a maioria acha que o ambiente está confortável (45%), 20,6% opinaram que o ambiente estava de ligeiramente frio a frio, 21% consideraram que o ambiente estava de ligeiramente quente a quente.

Figura 7.8 – Sensação térmica

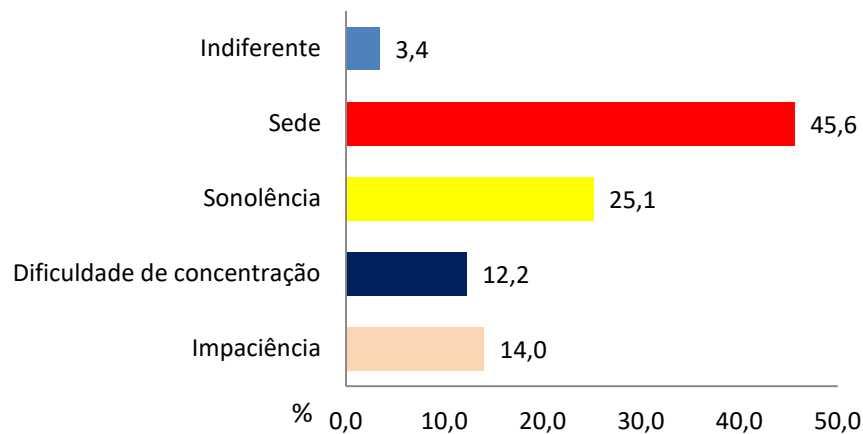


Mesmo com a maioria julgando o ambiente como confortável, foi questionado também como o entrevistado estava se sentindo após sua permanência dentro das salas de aula. Pode-se observar pelos resultados mostrados na Figura 7.9 que 12,2% têm dificuldade de concentração, 14% tem impaciência, 25,1% tem sonolência, 45,6% estavam com sede e apenas 3,4% se mostraram indiferentes, que não sentiam nada diferente do momento em que entraram na sala de aula. Considerando que a dificuldade de concentração e impaciência podem estar diretamente ligada às condições térmicas do

ambiente, pode-se dizer que 26,2% foram de alguma maneira, afetados pelas condições do ambiente.

Considerando o indicativo da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), que é considerado confortável se o resultado final até 20% de insatisfeitos e da norma ISO 7730 (ISO, 2006) que considera o limite máximo para um ambiente ser confortável é que tenha no máximo 10% de pessoas insatisfeitas, pode-se dizer que no estudo de caso apresentado o resultado final, 26,2% está acima do esperado para se classificar um ambiente confortável.

Figura 7.9 – Sensações nas últimas horas



7.2. Dados climáticos

Conforme já mencionado na metodologia, os dados climáticos externos foram coletados a partir da estação meteorológica da universidade e os dados climáticos internos foram coletados por sensores instalados nas salas de aula, sendo dois pontos fixos (um em cada escola) e vários pontos móveis (salas escolhidas aleatoriamente para verificação das condições ambientais desta pesquisa).

Nas condições climáticas externas, pode-se observar pelos resultados apresentados no Gráfico 7.1 que em 2013 houve uma variação na temperatura máxima de 19° a 25°C e a mínima variando entre 11°C e 19°C. Já no ano de 2014, mostrado no Gráfico 7.2 a temperatura máxima variou de 18°C a 24°C e a mínima oscilou entre 11°C e 17°C.

Gráfico 7.1 – Média temperatura 2013

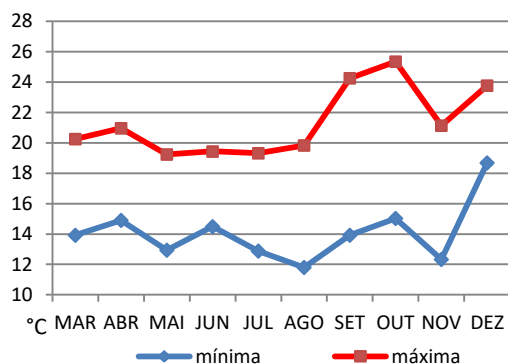
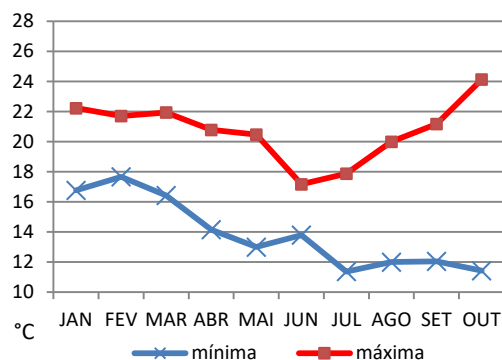


Gráfico 7.2 – Média temperatura 2014



Quanto à umidade, nota-se pelos dados apresentados no Gráfico 7.3 que em 2013, houve uma variação de 50% a 100%. E em 2014, conforme dados mostrados no Gráfico 7.4, a oscilação da umidade externa foi de 35% a 100%.

Gráfico 7.3 – Média umidade 2013

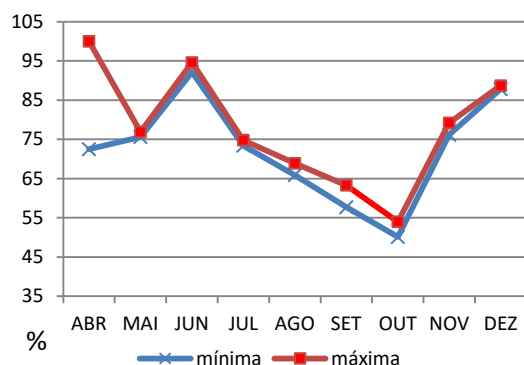
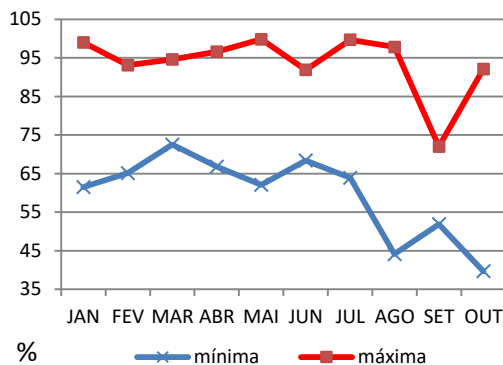


Gráfico 7.4 – Média umidade 2014



Pode-se dizer que a região é predominantemente úmida, pois durante a maior parte do ano (nov à set/2013 e jan à jul/2014) a umidade relativa do ar esteve de no mínimo 55%, dentro dos ideias recomendados pela ANVISA.

Para as condições climáticas internas das salas de aula, pode-se notar nos resultados apresentados nos Gráficos 7.5 e 7.6 que a temperatura interna das salas, nos dois prédios estudados, manteve-se maior que a externa em quase todo o período de pesquisa, exceto no mês de Outubro de 2013. Considerando a indicação da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), ou seja, o intervalo de 19°C a 28°C, os ambientes se mostraram mais frios que o indicado para o tipo de uso nos meses de julho a outubro do ano de 2013.

Gráfico 7.5 – Temperatura Escola de Minas

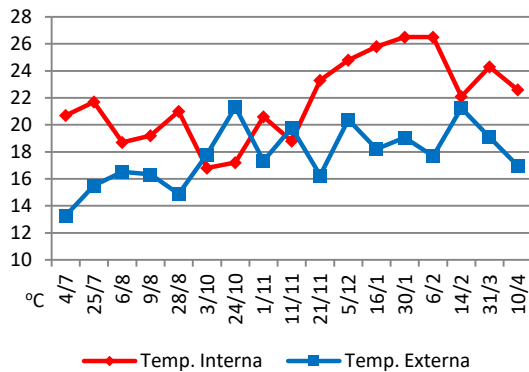
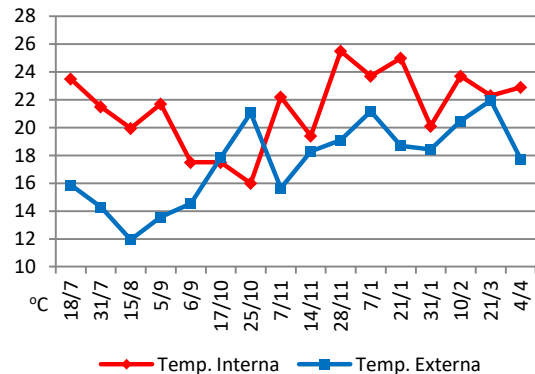


Gráfico 7.6 – Temperatura Escola de Medicina



Ainda sobre as condições internas, avaliando-se a umidade conforme resultados obtidos nos Gráficos 7.7 e 7.8, nota-se que a umidade interna, em ambas as escolas, oscilou de 50% à 75%. Considerando a indicação da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), que a faixa de conforto em relação a umidade é de 50% à 65%, nota-se que a umidade interna em alguns momentos passou de 65%, chegando a 75%. Estes 10% a mais não chega a causar grande desconforto, mas para atingir diretrizes de norma seria necessária a remoção da umidade excessiva no interior das salas.

Gráfico 7.7 – Umidade Escola de Minas

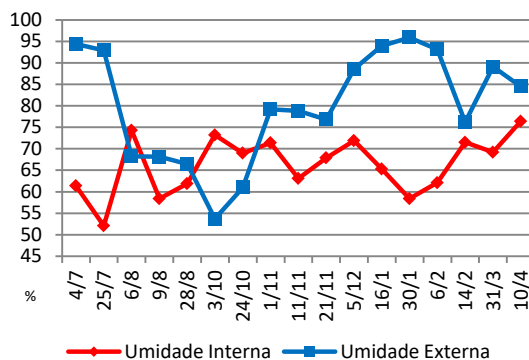
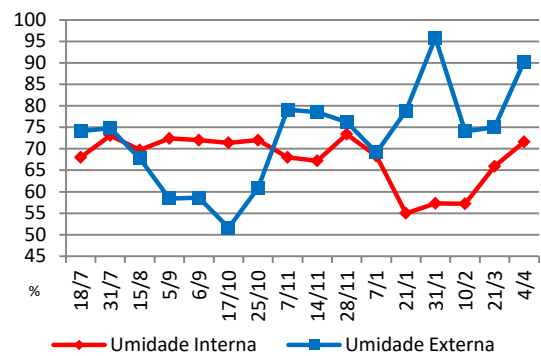


Gráfico 7.8 – Umidade Escola de Medicina



Positivamente pode-se considerar a princípio que o sistema construtivo possui um desempenho adequado quanto à umidade, pois ele mantém a umidade interna dentro do indicado, mesmo quando a umidade externa está elevada, como é o caso de janeiro de 2014, chegando a 95%.

Foi observado que a temperatura interna é maior do que a temperatura externa, isso pode indicar uma má circulação do ar. De acordo com a ASHRAE 55 a velocidade do ar

não pode ser maior que 0,8 m/s. A circulação do ar é um requisito fundamental na construção de edifícios, além disso, a velocidade do vento exterior afeta a circulação do ar no interior e conseqüentemente a temperatura (RUPP et al., 2015; ABDUL-WAHAB et al., 2015). A falta de variação térmica entre o dia e a noite, alta umidade e céu nublado são variáveis que reduzem a transferência de calor, além de reter o calor no interior das construções, o que leva ao desconforto térmico (AFLAKI et al., 2015), o que pode explicar o observado neste trabalho.

A umidade no presente trabalho oscilou entre 50 a 75%, ultrapassando os valores tidos como ideais pela norma ASHARE 55 que é de 50-60% de umidade. Baixas umidades possuem efeitos positivos na sensação de conforto isso ocorre devido à maior evaporação do corpo humano (TSUTSUMI et al., 2007). Estes autores relatam que no Japão, para construções maiores que 3.000 m², a umidade relativa do ar deve ser mantida entre 40-70%. A ASHRAE 62-2001 recomenda a umidade entre 30-60%.

7.3. Redes Neurais

Os dados processados para esta análise foram os resultados dos questionários aplicados a usuários de salas das Escolas de Medicina e de Minas da UFOP e também os dados climáticos coletados por equipamentos internos e externos.

Conforme informado previamente, os questionários foram aplicados em salas de aula das Escolas de Medicina e de Minas da UFOP, duas vezes por semana (no período na manhã e tarde), durante um ano. Durante a aplicação dos questionários, que eram distribuídos aos alunos após 1 hora de aula, foram aferidas também as condições climáticas no interior das salas. As coletas dos questionários respondidos e dos dados climáticos no interior das salas duravam aproximadamente 2 horas.

Este método foi utilizado para se atingir o objetivo da pesquisa que é de gerar uma zona de conforto de temperatura e umidade para a cidade de Ouro Preto, considerando os parâmetros objetivos (dados climáticos) e subjetivos (dados usuários). Por meio destes parâmetros foram gerados as análises na interface do MATLAB utilizando a modelagem das redes neurais.

Os dados dos questionários exprimem a sensação térmica dos entrevistados e possuem grande variabilidade devido à subjetividade apresentada nas respostas. O maior desafio encontrado foi o de “ensinar” à máquina (o modelo da rede neural) como modelar essa sensação térmica baseado em dados do ambiente e características individuais, e poder, então, definir classes de conforto de temperatura e umidade.

Para teste foram verificados dois tipos de redes: as redes de modelo não supervisionados e a rede de modelo supervisionada. A seguir serão apresentados os resultados das duas escolhas.

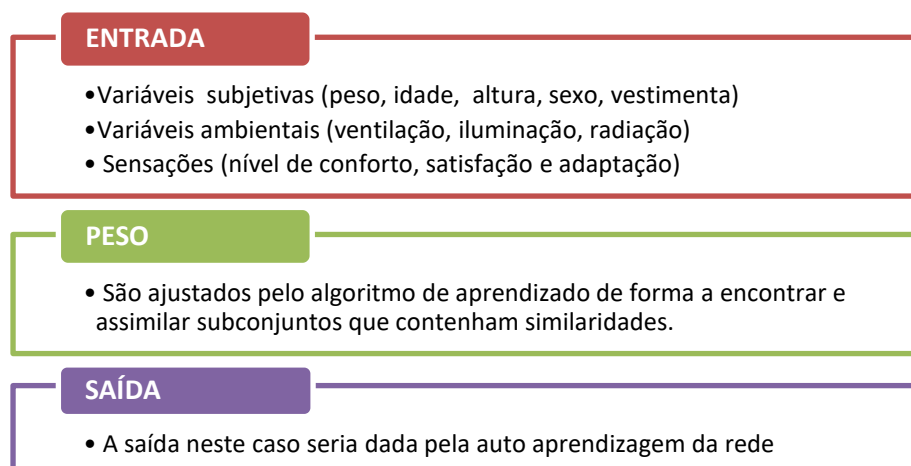
Após os testes de alguns tipos de rede, considerando não supervisionada, supervisionada de uma camada e supervisionada de várias camadas, a rede escolhida foi a supervisionada - *Perceptron* de Multicamadas devido ao grande quantitativo de dados coletados para a pesquisa.

7.3.1. Modelo de aprendizagem não supervisionada

Antes de determinar qual modelo de rede seria escolhido, foi testado primeiro o modelo de aprendizagem não supervisionada, onde se determina a entrada e o sistema se auto-organiza para encontrar um padrão de saída.

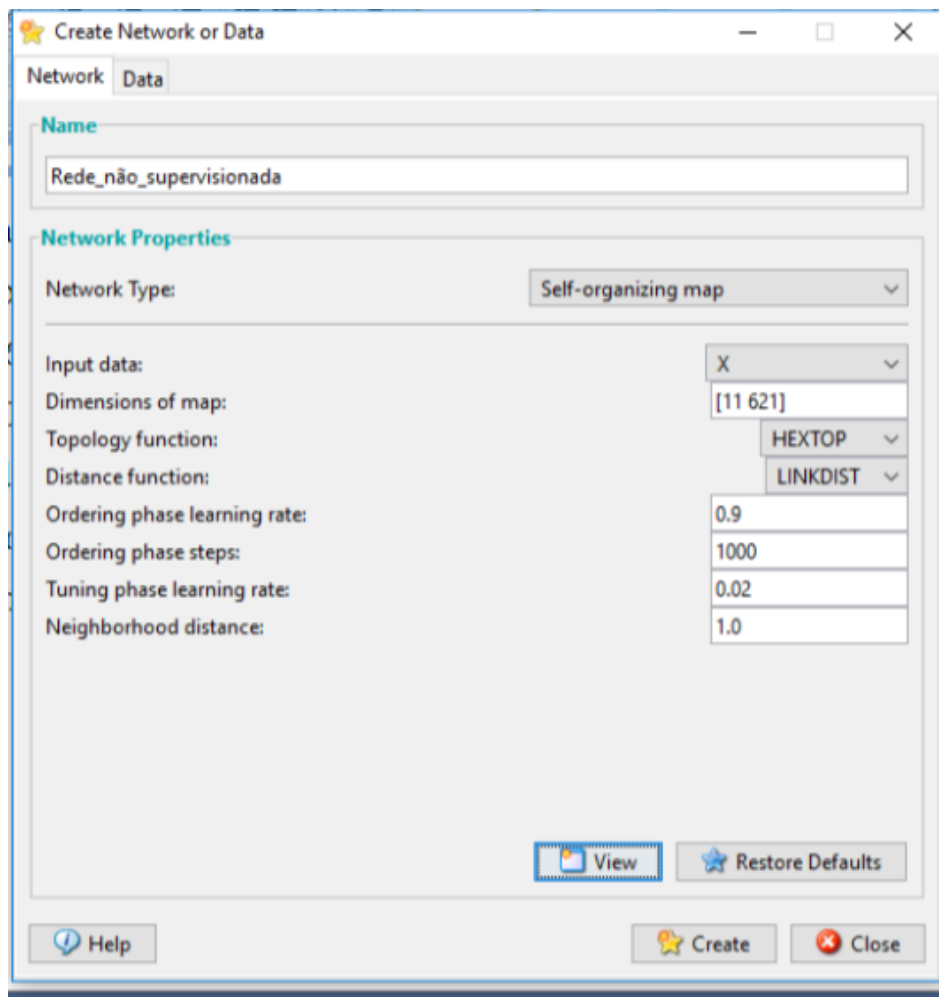
Para este teste, foram utilizadas todas as variáveis coletadas a partir dos questionários, conforme mostrado Figura 7.10.

Figura 7.10 – Dados inseridos para aprendizado da rede não supervisionada



Utilizando o programa MATLAB, ferramenta nntool, foi criada uma rede para analisar os dados do modelo não supervisionado (*self organizing maps* – SOM). Conforme Figura 7.11, foi selecionado, na plataforma nntool, o tipo de rede <Self organizing maps>. No item *dimensions of maps*, foi considerado como dimensão do mapa [11 621] (onze colunas para entradas e 621 linhas de respostas).

Figura 7.11 – Montando a rede não supervisionada



A partir da inserção destes dados no programa, foi possível treinar a rede e iniciar o mapeamento, porém os resultados obtidos não tiveram êxito, pois não apresentaram classes bem definidas, mesmo quando alternando o tipo de saída do resultado, conforme mostrado nas Figuras 7.12 e 7.13.

Pode-se dizer que neste caso, utilizando o modelo não supervisionado, o erro encontrado (ou o agrupamento de classes não teve êxito) foi originado de entradas iguais que resultam em saídas diferentes.

Figura 7.12 – Saída rede não supervisionada

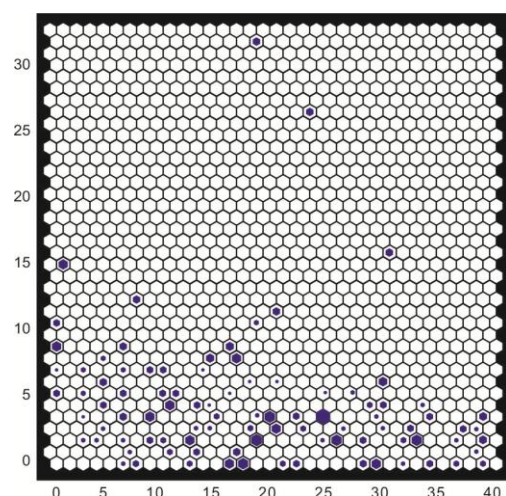
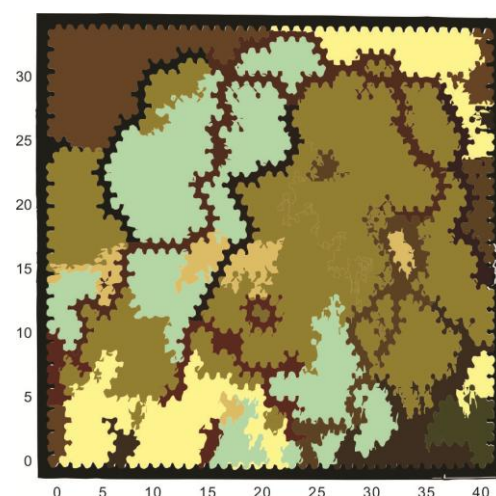


Figura 7.13 – Saída rede não supervisionada



7.3.2. Modelo de aprendizagem supervisionada

Após o teste com a rede não supervisionada e não encontrar um padrão aceitável de saída, optou-se por testar a rede pelo modelo de aprendizagem supervisionada.

Para concepção da rede a ser construída e treinada, foram necessários determinar quais seriam as entradas, os pesos sinápticos que auxiliam no treinamento da rede, os neurônios e as saídas.

Como variáveis de entrada foram utilizadas: a temperatura e a umidade aferidas nas salas e percepções do ambiente. Já os dados inseridos para os pesos, considerados para os testes da rede supervisionada, foram os dados físicos (índice de massa corpórea – IMC, o sexo e vestimenta) (APÊNDICE 4). Para encontrar o valor de IMC de cada usuário, foi utilizado o seguinte cálculo:

$$\text{IMC} = \text{PESO (kg)} \times \text{ALTURA}^2 \text{ (m)} \quad (7.1)$$

Para tabular os dados de entrada foram necessários também codificar as respostas para variáveis que pudessem ser interpretadas pelo programa. A umidade e temperatura mantiveram os valores e medidas da mesma maneira em que foram coletadas. Já os demais dados subjetivos foram transformados em escadas de -1 0 e 1 (quando mais de uma resposta possível) e 0 e 1 (quando apenas duas possíveis respostas. Exemplo: sim e não).

A partir da tabulação destes dados de entrada, foi elaborada uma tabela de dados com estes valores para serem inseridos na rede neural para definição de quais seriam realmente os dados relevantes de entrada e também o treino, conforme exemplificado na Tabela 7.2. Após esta tabulação, os dados foram importados para a plataforma nntool para montagem da rede no campo *<input data>*.

As considerações para inserção e tabulação dos dados foram:

- Os valores de temperatura variam em graus Celsius;
- Os valores da coluna de umidade foram dados em valores percentuais;
- Para as roupas, foi utilizada uma escala de três valores, onde -1 significa “roupas de frio pesadas”, 0 significa “roupas de frio, porém leves” e 1 significa “roupas leves”;
- Os valores para sexo foram 1 para feminino, e 0 para masculino;

Tabela 7.2 – Dados de entrada

Temp	Umid	Roupa	Sexo	IMC
20,7	61,4	-1	1,00	23,80
20,7	61,4	0	1,00	23,94
23,5	68	0	1,00	19,96
23,5	68	1	0,00	25,40
21,7	68	-1	0,00	22,15
21,7	68	0	0,00	20,59
21,5	52,1	1	0,00	22,96
21,5	52,1	0	1,00	22,83
19,2	58,4	0	1,00	19,98
19,2	58,4	0	0,00	27,06
19,94	69,7	0	1,00	22,32
19,94	69,7	1	0,00	25,95
21	61,9	0	0,00	21,50
21	61,9	0	1,00	23,80
17,2	74,3	-1	1,00	22,96
17,2	74,3	1	0,00	21,30
17,2	74,3	0	1,00	23,53

Os valores de idade dos entrevistados não foram utilizados, pois a faixa de idade é pequena, e a inserção de demasiados dados faz com que o resultado seja insatisfatório.

Os valores de “movimentação do ar”, “sensação de conforto”, “se desenvolve bem a tarefa” e “se há algum desconforto” não foram utilizados no treino da rede neural, devido à grande subjetividade apresentada, e devido ao fato de serem variáveis de saída

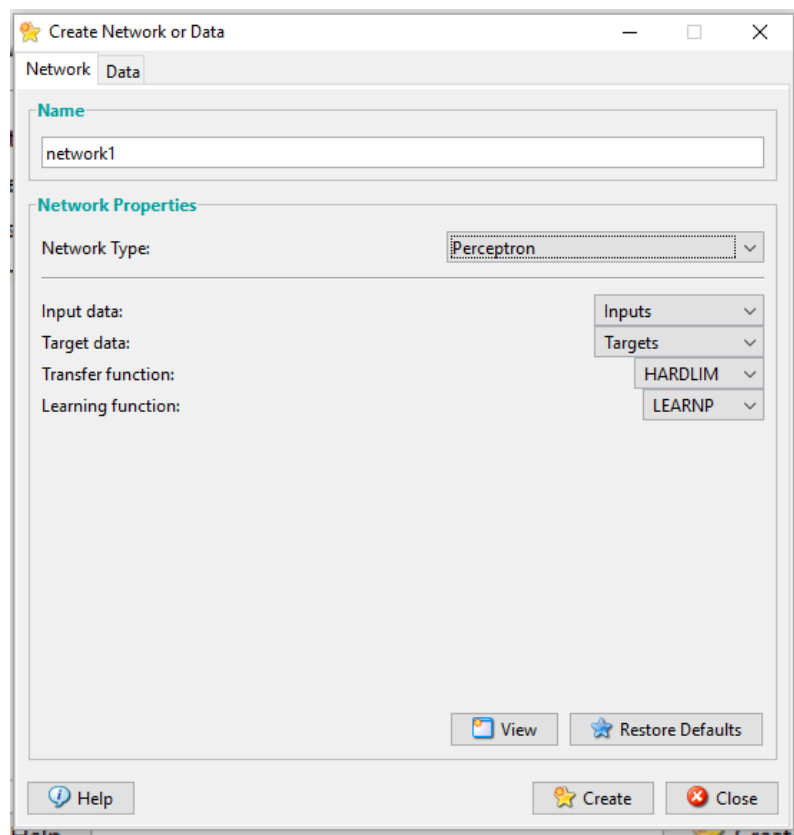
que não são as escolhidas para inicialmente como as que seriam corrigidas para melhorar o conforto. Dessa forma, estas foram utilizadas para apresentar somente dados estatísticos.

7.3.3. Criando a rede

A ferramenta utilizada na rede de reconhecimento de padrões foi a *Perceptron* de Múltiplas Camadas, que é uma rede neural realimentada de múltiplas camadas que pode ser treinada para classificar entradas de acordo com classes-alvo. O importante foi definir um parâmetro inicial para que a rede concentrasse o resultado, mantendo um padrão lógico e racional. No APÊNDICE 2 estão os comandos criados para simulação da rede neural.

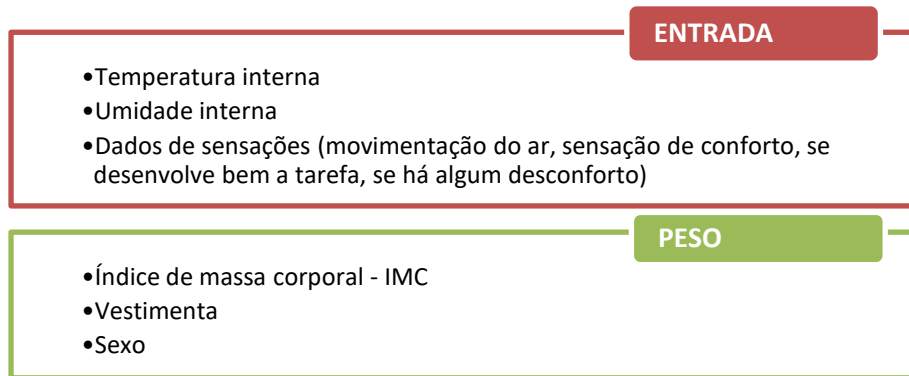
Utilizando o *software* MATLAB, após selecionada a *toolbox* por meio da interface gráfica nnTool, iniciou-se o trabalho de importação dos dados para criação de uma nova rede. Pode-se observar na Figura 7.14 a interface para criação da nova rede.

Figura 7.14 – Criação da nova rede



Conforme previamente definido, a Figura 7.15 ilustra como ficaram as distribuições das variáveis de entrada e os pesos da rede. Estes são os dados considerados de entrada (*input data*).

Figura 7.15 – Distribuição dos dados – entrada e saída



Para determinar quais seriam os dados de saída, foram testadas duas situações, conforme demonstrado a seguir.

Para o treinamento da rede foram separados 2 grupos de dados. O primeiro grupo com 450 dados seriam para testar a rede. O segundo grupo com 171 dados seriam para confirmar se o resultado da rede seria satisfatório. Este segundo grupo foi utilizado somente no grupo de 7 variáveis de saída, pois foi a tentativa mais próxima do que se esperava neste trabalho.

7.3.3.1. Tentativa com 11 saídas

Para os dados de saída, nesta tentativa foram utilizadas as variáveis da escala térmica de sensação (quente, muito quente, ligeiramente quente, confortável, ligeiramente frio, muito frio, frio), e as variáveis de vestimenta (roupas de frio pesadas, roupas de frio, porém leves e roupas leves), preenchidos conforme as respostas foram dadas pelos entrevistados, em cada ambiente específico – total de 11 saídas. No caso das variáveis da escala de sensação térmica atribuiu-se o valor 1 à classe respondida pelo entrevistado e o valor 0 para as demais classes não assinaladas. E para as variáveis de vestimenta foram considerados -1 à classe respondida “roupa de frio pesada”, o valor 0 para “roupa

de frio porém leves e o valor 0 para “roupas leves. Nas Tabelas 7.3 e 7.4 podem ser observados como foram considerados os dados de saída.

Tabela 7.3 - Vestimenta

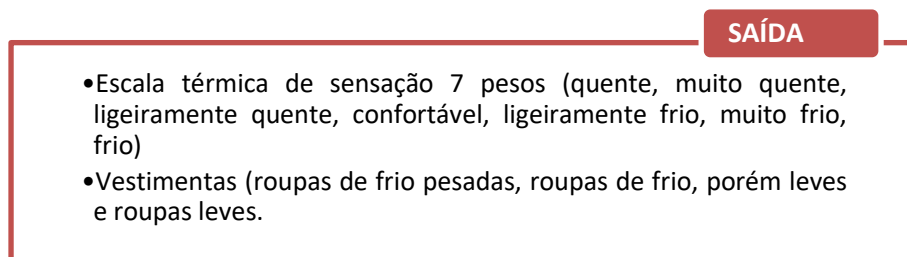
FRIO PESADA	FRIO LEVES	LEVES
-1		
	0	
		+1
		+1
	0	
	0	

Tabela 7.4 – Escala de sensação térmica

MUITO FRIO	FRIO	LIGEIR. FRIO	CONFOR T.	LIGEIR. QUENTE	QUENTE	MUITO QUENTE
0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0

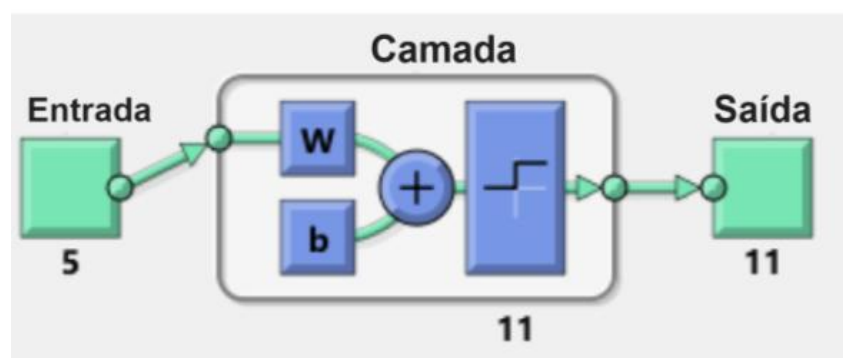
Na Figura 7.16 pode-se verificar a definição os dados de saída considerando 11 variáveis.

Figura 7.16 – Distribuição dos dados – saída de 11 variáveis



Lançando estes dados no programa MATLAB, pode-se observar nas Figuras 7.17 e 7.18 a modulação da rede.

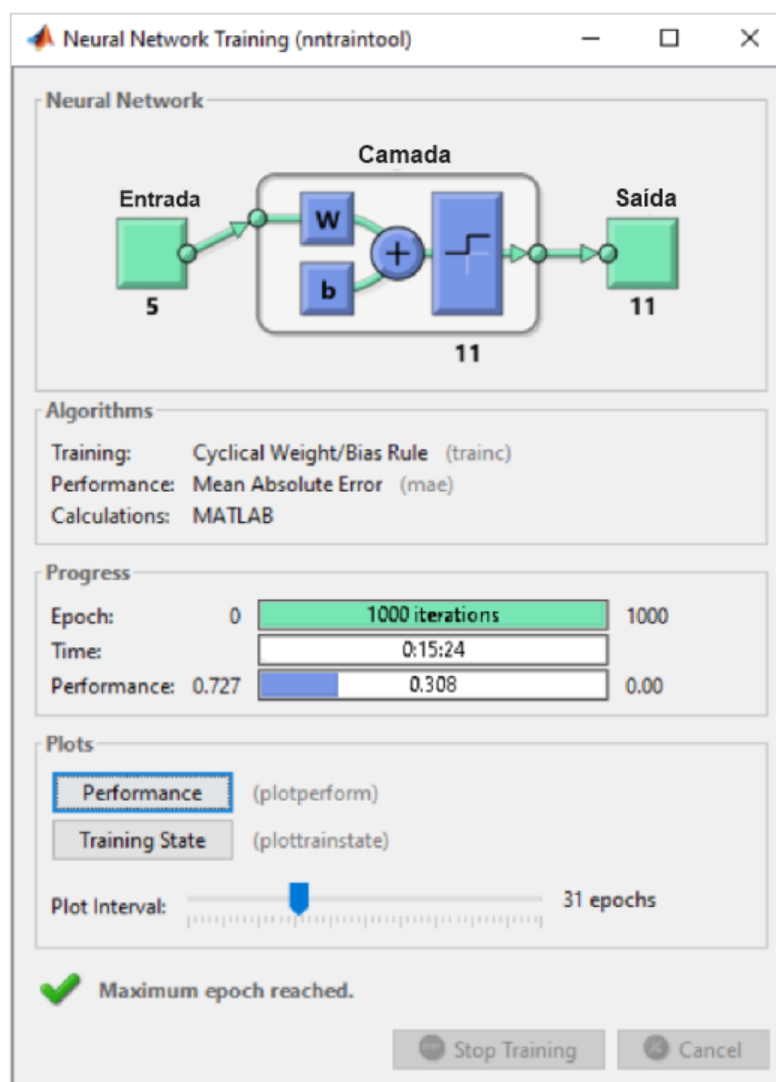
Figura 7.17 – Diagrama Inicial da Rede – 11 saídas



Para treinamento da rede, ainda na interface do MATLAB, na aba de treino, são selecionadas as variáveis de entrada e de saída novamente, e realizado o treino

novamente, ao se clicar em “Train Network”. Na Figura 7.18 pode-se exemplificar o treinamento da rede.

Figura 7.18 – Treinamento da rede

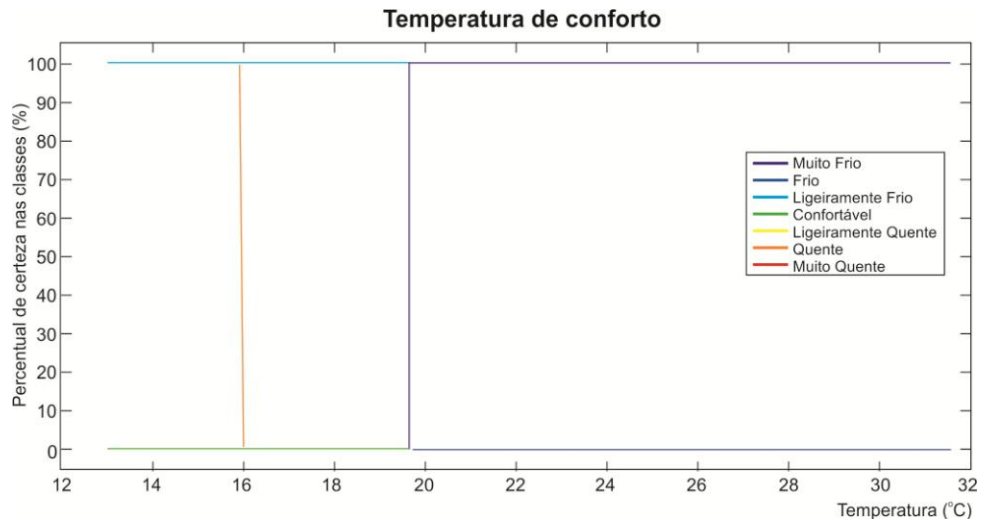


Com a simulação desta rede, pode-se observar na Figura 7.19 o gráfico gerado pelo programa de acordo com os dados inicialmente inseridos.

Com os resultados obtidos, foi possível observar que a rede neural *Perceptron* apresentou saturação, isto é, os valores ou foram 0% ou 100% de certeza em cada classe. Ainda foi possível observar nos valores gerados que para uma amostra de entrada a rede pode apresentar duas classes de saída, o que não é satisfatório para o

resultado final desta pesquisa. Sendo assim, fez-se necessário encontrar outra ferramenta para a classificação desejada.

Figura 7.19 – Resultado parcial da rede



Ainda foi possível observar nos valores gerados que para uma amostra de entrada a rede pode apresentar duas classes de saída, o que não é satisfatório para o resultado final desta pesquisa.

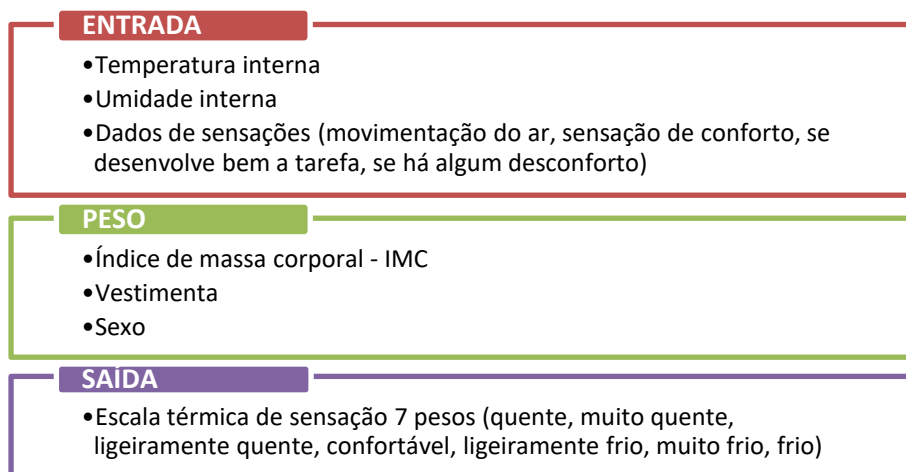
7.3.3.2. Tentativa de 7 saídas com camada intermediária

Nesta tentativa de determinar quais seriam as saídas da rede, optou-se pelas variáveis da escala térmica de sensação (quente, muito quente, ligeiramente quente, confortável, ligeiramente frio, muito frio, frio), preenchidos conforme as respostas foram dadas pelos entrevistados, em cada ambiente específico - 7 saídas. Para as variáveis de escala térmica mantiveram-se os valores de entrada onde, atribuiu-se o valor 1 à classe respondida pelo entrevistado e o valor 0 para as demais classes não assinaladas. Na Tabela 7.4 podem ser observados como foram considerados os dados de saída.

Além da alteração nas variáveis de saída também foi testado aqui a inserção de uma camada intermediária na rede. As camadas intermediárias, ou camadas ocultas, funcionam como extratoras de características, codificando por meio de seus pesos as características apresentadas nos padrões de entrada, fazendo com que a rede crie uma representação própria do problema, com mais riqueza e complexidade.

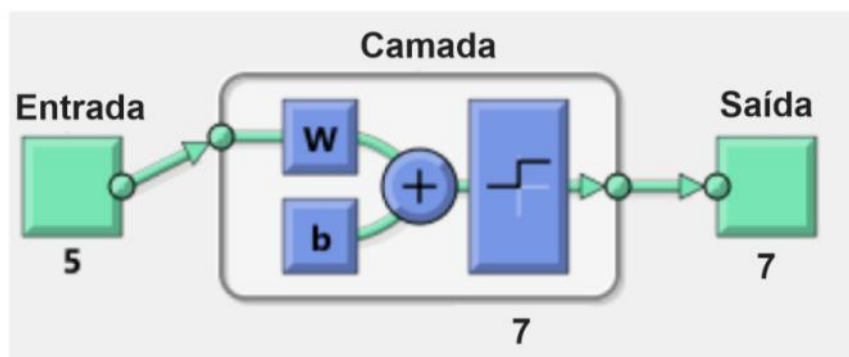
Na Figura 7.20 é possível verificar então a estrutura final da rede e quais dados foram utilizados para as variáveis de entrada, peso e saída.

Figura 7.20 – Distribuição dos dados – 7 saídas



Depois de criada a rede é exibida, e representada pelo diagrama conforme mostrado na Figura 7.21. É possível verificar a princípio as 5 variáveis de entrada e as 11 de saída.

Figura 7.21 – Diagrama inicial da rede – 7 saídas



Para treinamento da rede, ainda na interface do MATLAB, na aba de treino, são selecionadas as variáveis de entrada e de saída novamente, e realizado o treino novamente, ao se clicar em “*Train Network*”.

Além de reduzir a quantidade de variáveis de saída, optou-se aqui em inserir uma camada oculta de neurônios na rede para ampliar a precisão dos resultados.

Após uma breve pesquisa na bibliografia básica e na ferramenta de ajuda do MATLAB, pôde-se verificar que a possibilidade de se adicionar uma camada de neurônios

intermediários à rede *Perceptron*, entre a entrada e a camada de neurônios de saída. Segundo Haykin (2001), a função dos neurônios ocultos é intervir entre a entrada externa e a saída da rede de uma maneira útil, tornando a rede capaz de extrair estatísticas de ordem elevada. Para adicionar esta função o MATLAB disponibiliza a ferramenta *nnstart*, conforme mostrado Figura 7.22. Esta ferramenta disponível é composta por 4 funções de redes neurais e suas aplicações podem ser conferidas na Tabela 7.5.

Figura 7.22 – *nnstart*

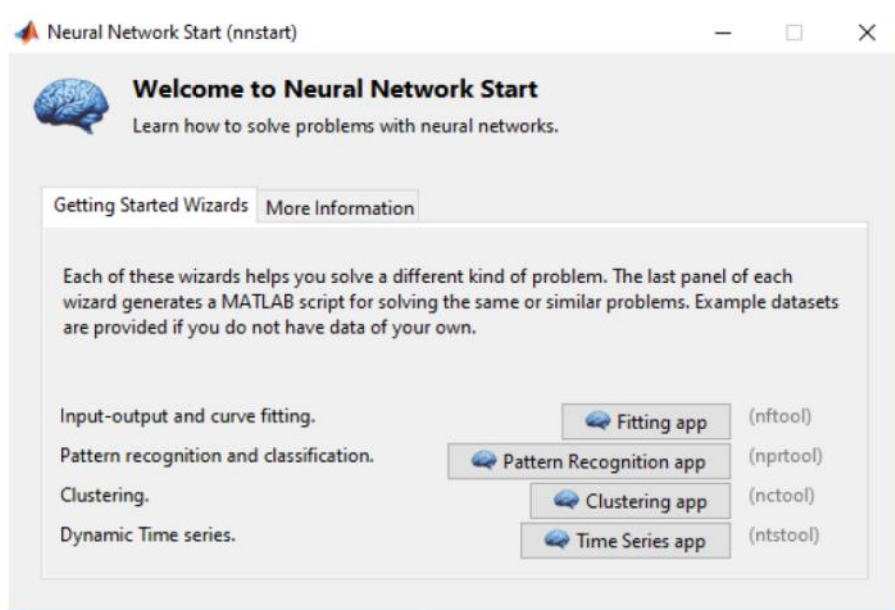


Tabela 7.5 – Funções *nnstart*

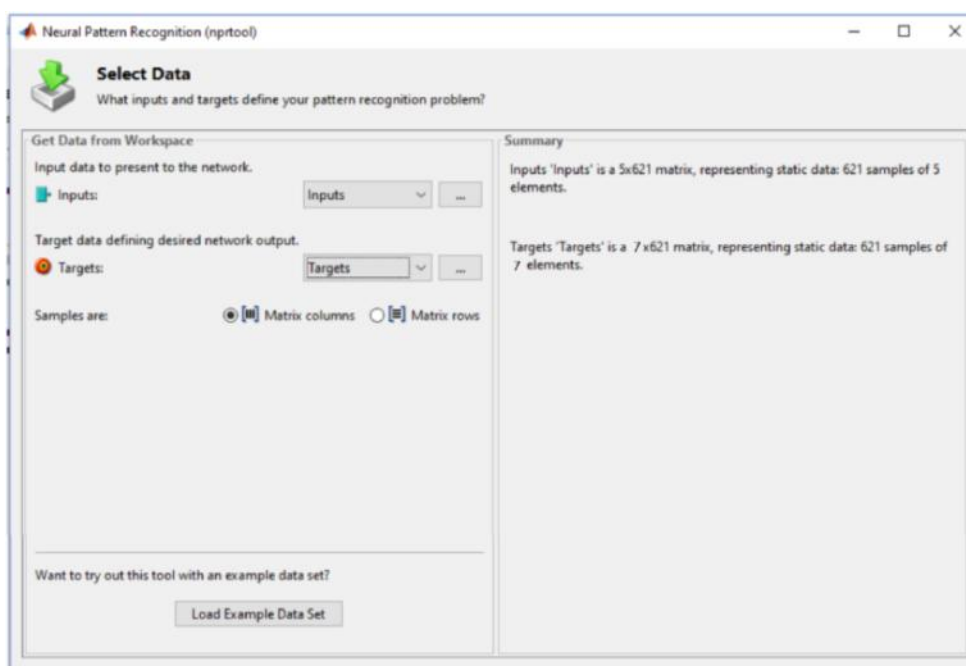
Nome do aplicativo	Nome da função	Aplicação
Fitting app	Nftool	Adequação de curvas
Pattern Recognition app	Nprtool	Reconhecimento e classificação de padrões
Clustering app	Nctool	Agrupamento não supervisionado
Time Series app	ntstool	Aprendizado dinâmico ao decorrer do tempo

De acordo com a ferramenta de ajuda do MATLAB, deve-se usar essa função para melhores resultados em sistemas não-lineares, ao invés da *perceptron*, uma vez que esta última somente pode resolver problemas simples. A não linearidade apresentada se deve à subjetividade.

A função escolhida para continuidade do treinamento da rede é a *patternnet*, que é uma rede neural de reconhecimento de padrões similar à rede *Perceptron* de múltiplas camadas. Segundo a ferramenta de ajuda do MATLAB, deve-se usar essa função para melhores resultados em sistemas não-lineares, ao invés da *perceptron*, uma vez que esta última somente pode resolver problemas simples. A não linearidade apresentada se deve à subjetividade.

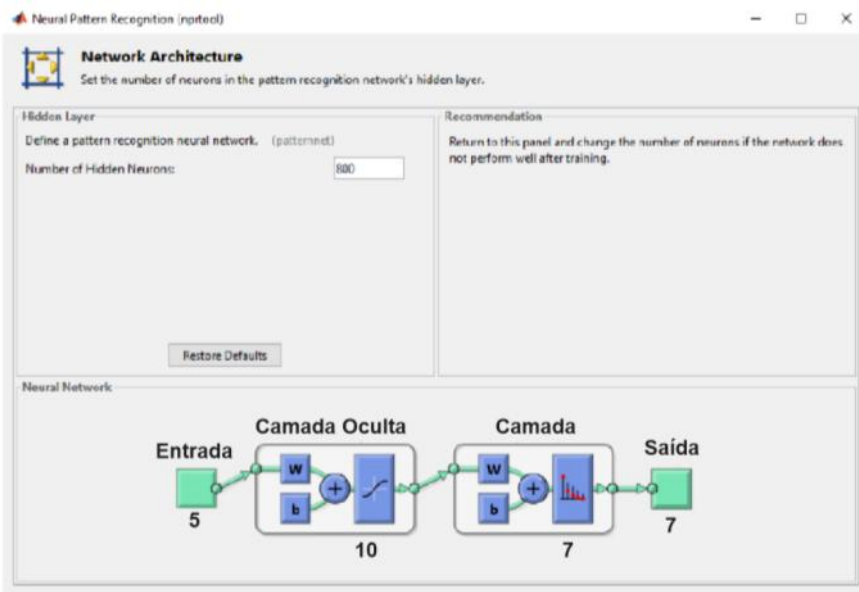
Após a seleção da função *patternnet*, o próximo passo é a seleção de dados, conforme mostrado na Figura 7.23. As variáveis de entrada e de saída são inseridas nessa etapa. Nota-se que à direita é exibida a quantidade de amostras, e quantos elementos estão contidos em cada amostra. Neste caso, são 621 amostras (quantidade de questionários respondidos pelos alunos validados) de 5 elementos de entrada e 7 elementos de saída.

Figura 7.23 – Função Pattern – seleção de dados



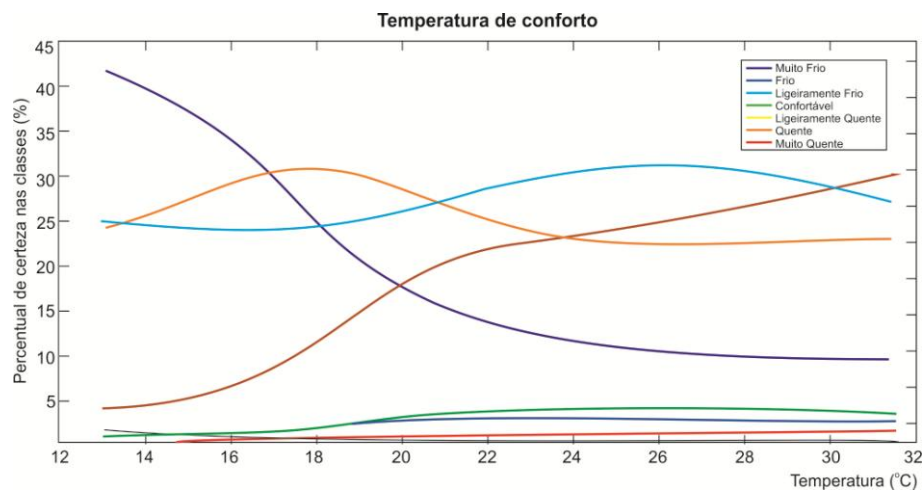
A próxima etapa é a determinação da quantidade de neurônios que serão inseridos na camada oculta, conforme mostrado na Figura 7.24. Foram realizados alguns testes para certificar quantos neurônios seriam adequados para a rede montada.

Figura 7.24 – Determinação de neurônios na camada oculta



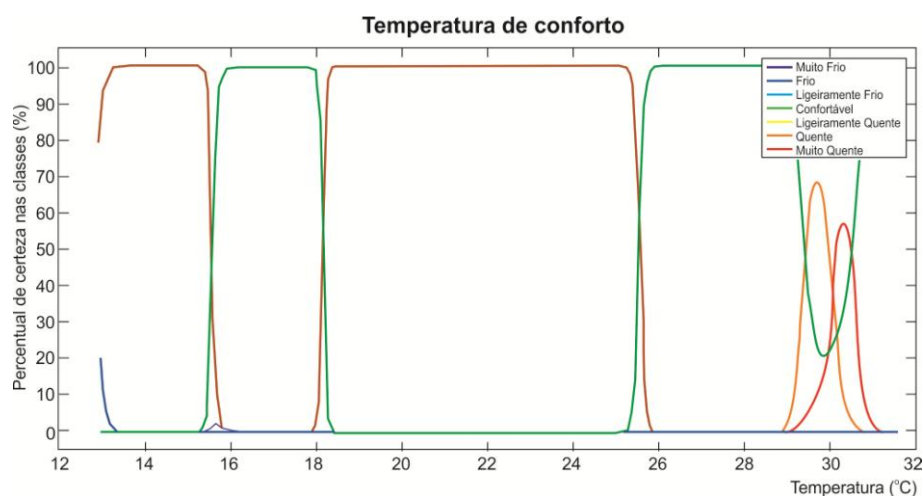
Pode-se observar na Figura 7.25 um resultado na rede neural considerando 10 neurônios na camada oculta. Considera-se aqui que este resultado apresenta um baixo valor de certeza para cada classe, sendo necessárias outras simulações com quantitativos diferentes de neurônios na camada intermediária.

Figura 7.25 – Resultado com 10 neurônios na camada oculta



Conforme ilustrado na Figura 7.26, foram utilizados como teste 10.000 neurônios na camada oculta. Pode-se verificar pelo gráfico que houve novamente uma saturação dos resultados apresentados, e os valores são insatisfatórios para se classificar com certeza as saídas.

Figura 7.26 - Resultado com 10000 neurônios na camada oculta



Foram realizados vários testes na tentativa de encontrar a quantidade ideal de neurônios na camada intermediária. Na Tabela 7.6 pode-se verificar os principais testes. Ao se realizar outros testes com valores entre 10 e 10000, o melhor resultado obtido foi ao fazer uso de 800 neurônios inseridos na camada oculto.

Tabela 7.6 – Testes da rede (continua)

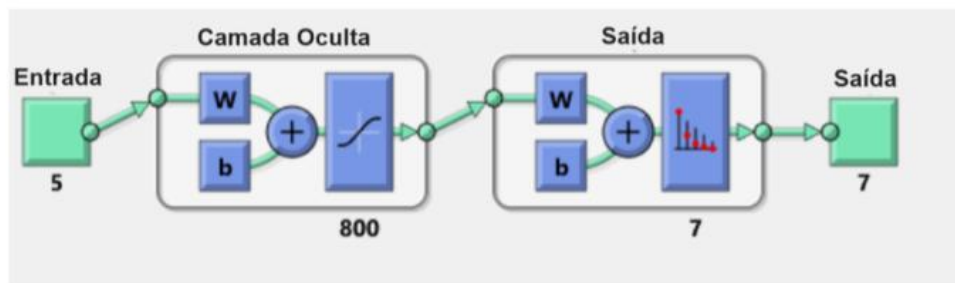
	Função do Matlab utilizada	Quantidade de neurônios na camada intermediária	Dados de entrada	Dados de saída	Erro encontrado	Atende?
1	SOM	-	Temperatura/ Umidade/Roupa/ Sexo/IMC/Idade	-	Classificação não possível em métodos não supervisionados	Não
2	perceptron	-	Temperatura/ Umidade/Roupa/ Sexo/IMC/Idade	Sensação térmica/ vestimenta	Saturação	Não
3	patternnet	10	Temperatura/ Umidade/Roupa/ Sexo/IMC/Idade	Sensação térmica/ vestimenta	Imprecisão na classificação	Não
4	patternnet	10000	Temperatura/ Umidade/Roupa/ Sexo/IMC	Sensação térmica	Saturação	Não
5	patternnet	100	Temperatura/ Umidade/Roupa/ Sexo/IMC	Sensação térmica	Imprecisão na classificação	Não
6	patternnet	5000	Temperatura/ Umidade/Roupa/ Sexo/IMC	Sensação térmica	Saturação	Não

Tabela 7.6 – Testes da rede (conclusão)

	Função do Matlab utilizada	Quantidade de neurônios na camada intermediária	Dados de entrada	Dados de saída	Erro encontrado	Atende?
7	patternnet	200	Temperatura/Umidade/Roupa/Sexo/IMC	Sensação térmica	Imprecisão na classificação	Não
8	patternnet	2000	Temperatura/Umidade/Roupa/Sexo/IMC	Sensação térmica	Saturação	Não
9	patternnet	500	Temperatura/Umidade/Roupa/Sexo/IMC	Sensação térmica	Imprecisão na classificação	Não
10	patternnet	1000	Temperatura/Umidade/Roupa/Sexo/IMC	Sensação térmica	Saturação	Não
11	patternnet	800	Temperatura/Umidade/Roupa/Sexo/IMC	Sensação térmica	-	Sim

Após os testes, pode-se verificar na Figura 7.27 o modelo final da rede, considerando 5 variáveis de entrada e 7 variáveis de saída e 800 neurônios na camada intermediária.

Figura 7.27 – Modelo da rede



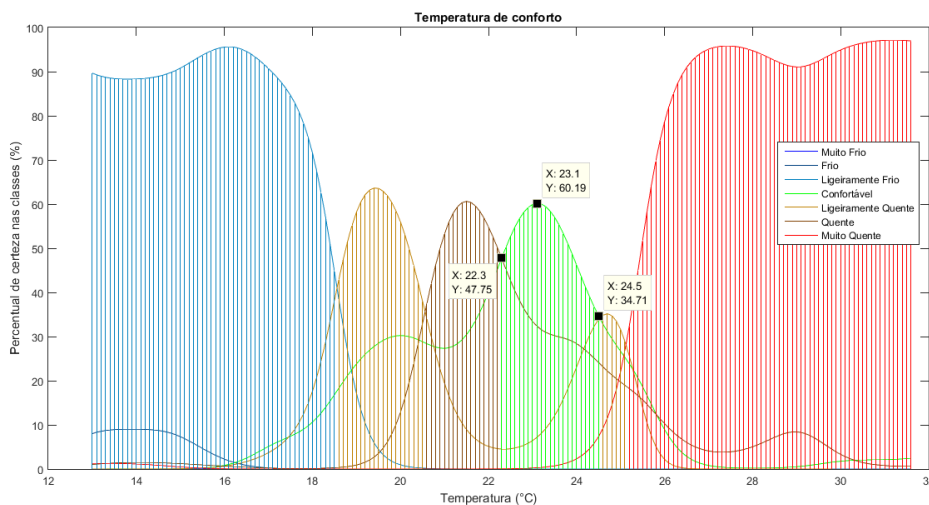
Depois de realizado o treinamento da rede, foi necessário conferir sua eficácia. O teste foi realizado utilizando valores específicos das variáveis de entrada, baseado em definições estatísticas e alterações das variáveis principais. Ao se utilizar esses valores específicos, a rede passa a responder com menos erros, pois passa a responder de acordo com valores próximos dos que utilizou durante o aprendizado. Sendo assim, o IMC utilizado foi o valor médio dos entrevistados, a saber, 22,64, o sexo e as roupas foram mais utilizados, isto é, os de maior incidência entre os entrevistados (conforme demonstrado no Gráfico 6.1 a maioria foi o sexo feminino e no Gráfico 6.2 maior utilização de roupas leves).

Para o teste de temperatura, a umidade utilizada foi a média das medições aferidas durante a aplicação dos questionários, que foi 66% no interior das salas.

O teste foi realizado em um processo iterativo, utilizando a variação da temperatura desde o menor valor aferido nas amostras anuais (13°C) até o maior valor (31,6°C), com intervalos de 0,1°C. Ao plotar o gráfico da escala de temperatura em relação à certeza de cada classe foram gerados os dados mostrados no Gráfico 7.9.

Nota-se que a zona de conforto em relação a temperatura no interior do ambiente, levando em consideração os entrevistados e os dados climáticos, ficou entre 22,3° e 24,5°. Ainda analisando o Gráfico 7.9 é possível observar que ao plotar o resultado, o gráfico mostra os pontos mínimo (22,3°C), médio (23,1°C) e máximo (24,5°C) que os usuários descreveram como sendo os limites de conforto térmico. Quando à umidade neste caso nota-se os pontos demonstrando a mínima 34,71%, a média 44,75% e a máxima confortável de 60,19%.

Gráfico 7.9 – Resultado Zona de Temperatura



Alguns erros gerados pela subjetividade podem ser facilmente observados no gráfico, pois as faixas de sensação de alta temperatura estão em uma região de temperatura mais baixa que a de conforto. Esse erro se dá basicamente por dois fatores:

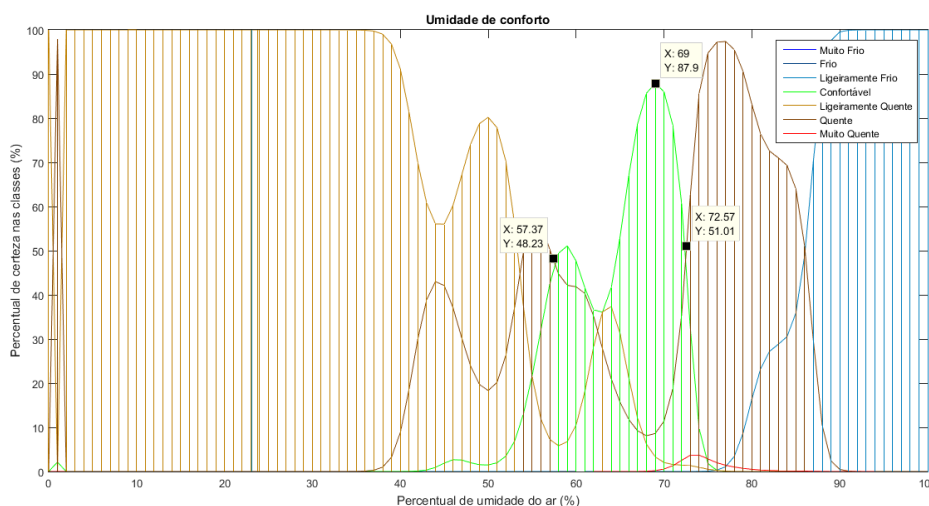
- Os entrevistados dão a mesma resposta sob condições diferentes. Exemplo: Um diz que está confortável com 20 °C e outro diz que está confortável com 30°C.

- Os entrevistados dão respostas diferentes sob as mesmas condições. Exemplo: Duas pessoas de mesmo porte físico, sexo e vestimentas dizem que está quente ou frio no mesmo ambiente.

Para o teste de umidade, foi utilizado o valor de temperatura de conforto com maior percentual de certeza, conforme demarcado no Gráfico 7.10 de 23,1°C, e variada a umidade de 0 a 100%, variando de 1% em 1%. De acordo com estas variáveis foram gerados os dados mostrados no Gráfico 7.10.

Nota-se pelos resultados que a zona de umidade gerada como confortável, com base nos dados inseridos (dados coletados a partir dos questionários aplicados e climáticos aferidos no interior dos ambientes), está entre 57% até 72%.

Gráfico 7.10 – Resultado Zona de Umidade



Com base nas informações das zonas de conforto da umidade e temperatura, gerados pela rede neural, pode-se criar um gráfico único da zona de conforto para cidade de Ouro Preto, conforme mostrado na Figura 7.28.

Comparando a zona de conforto obtida nesta pesquisa, com dados coletados durante o período de um ano, com a zona de conforto obtida por Fontanella (2009) utilizando o método estatístico Probit, conforme mostrado na Figura 7.29a e o obtido por Faria (2013) utilizando o cálculo das médias da temperatura operativa e da umidade relativa e partir destas o desvio padrão, conforme mostrado na Figura 7.29b, nota-se que a

variação na ferramenta de tratamento de dados não alterou significativamente a faixa de conforto final.

Figura 7.28 – Zona de conforto para cidade de Ouro Preto

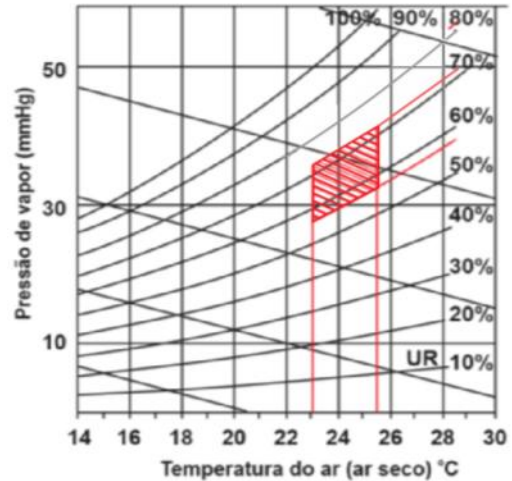
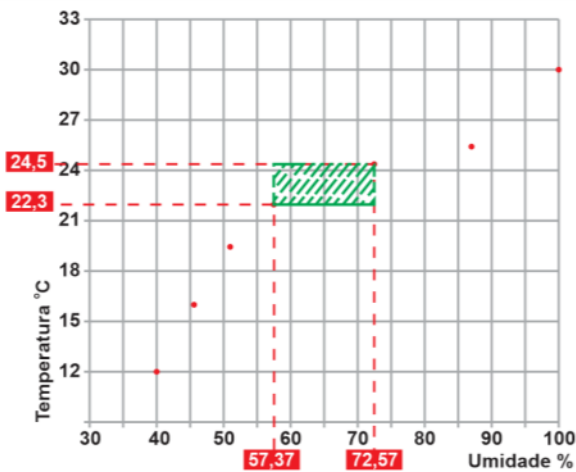


Figura 7.29a – Resultado Fontanella (2009)

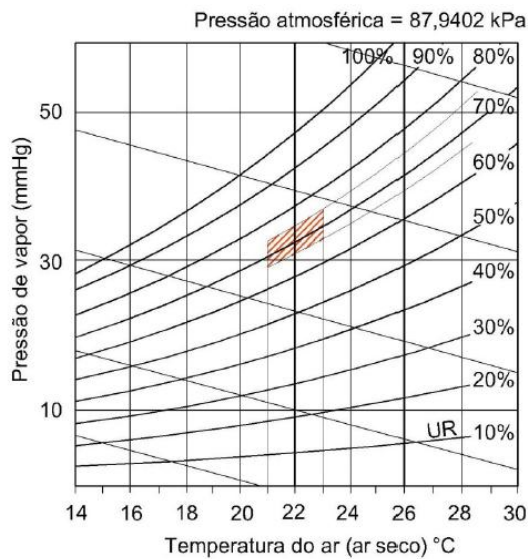
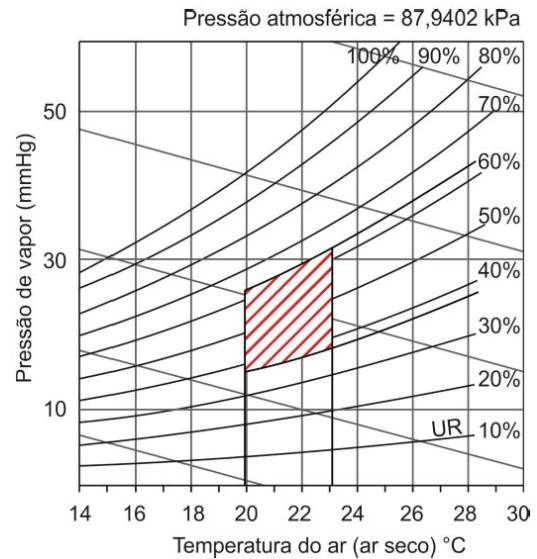


Figura 7.29b – Resultado Faria (2013)



7.4. Realização de classificação por estações do ano

Uma vez realizado o treino da rede neural utilizando todas as respostas obtidas nos questionários aplicados, optou-se por treinar redes neurais de acordo com as estações do ano, para obter faixas mais variadas e amplas.

O primeiro passo a ser realizado é separar as amostras a partir das datas de aplicação dos questionários, conforme mostrado na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 – Dados de acordo com a estação do ano

Estação	INVERNO									
Data	04/jul	18/jul	25/jul	31/jul	09/ago	15/ago	28/ago	05/set	06/set	TOTAL
Questionários respondidos	22	29	56	2	16	1	12	8	31	177

Estação	PRIMAVERA											
Data	03/out	17/out	24/out	25/out	01/nov	07/nov	11/nov	14/nov	21/nov	28/nov	05/dez	TOTAL
Questionários respondidos	1	43	8	9	36	21	20	4	30	53	12	237

Estação	VERÃO										
Data	07/jan	16/jan	21/jan	24/jan	30/jan	31/jan	06/fev	07/fev	10/fev	14/fev	TOTAL
Questionários respondidos	49	35	9	4	9	15	16	2	16	7	162

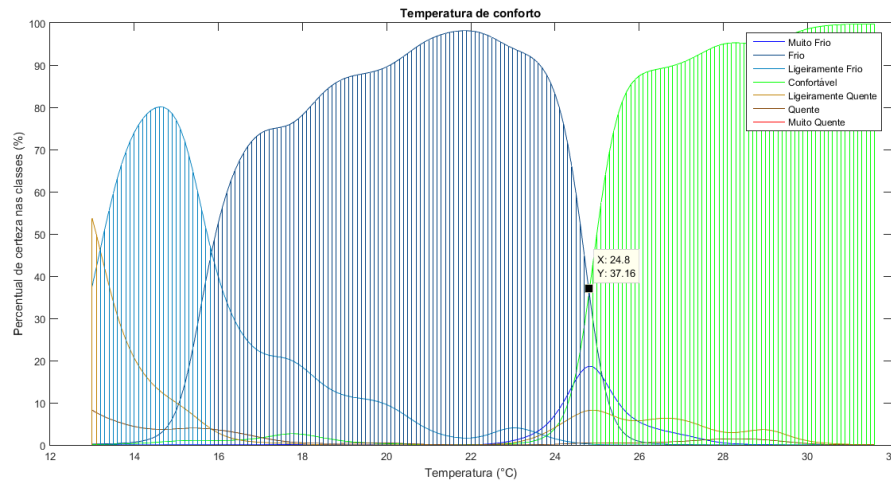
Estação	OUTONO					
Data	21/mar	28/mar	31/mar	04/abr	10/abr	TOTAL
Questionários respondidos	11	2	17	6	9	45

Foram um total de 621 questionários entregues e 100% respondidos, sendo coletados em 9 dias distintos no inverno, 11 dias distintos na primavera, 10 dias distintos no verão e 6 dias distintos no outono. A seguir serão apresentados os dados de acordo com cada estação do ano, considerando 177 dados para o inverno, 237 dados para a primavera, 162 dados para o verão e 45 dados para o outono.

7.4.1. Inverno

Pode-se observar no Gráfico 7.11 que ficou evidente a predominância das classes mais frias. O resultado mais satisfatório mostra que qualquer valor de temperatura ambiente acima de 24,8°C já é considerado satisfatório.

Gráfico 7.11 – Resultados no inverno

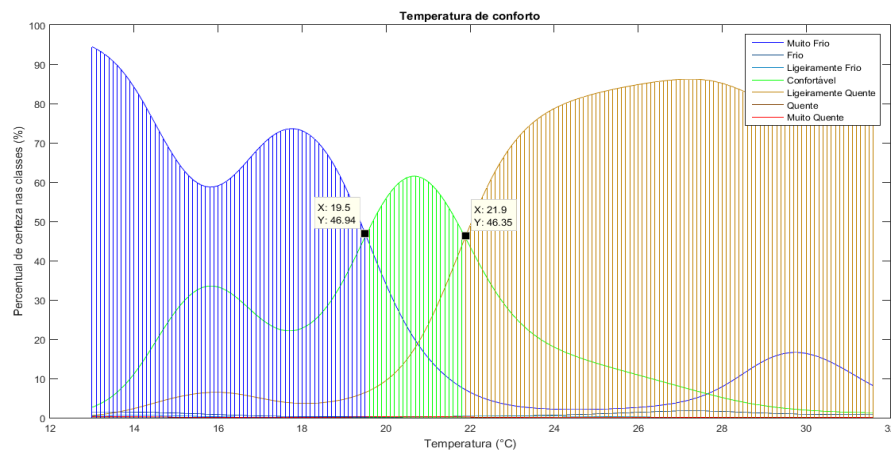


Observa-se também que a partir de 37,2% de umidade já apresentam-se situações de conforto no interior dos ambientes.

7.4.2. Primavera

Por ser uma estação de temperaturas amenas, a classificação não foi realizada de forma simples, pois não apresenta grandes variações de sensações. O resultado mais satisfatório retornou uma faixa estreita, localizada entre 19,5°C e 21,9°C, conforme mostrado no Gráfico 7.12.

Gráfico 7.12 – Resultados na primavera

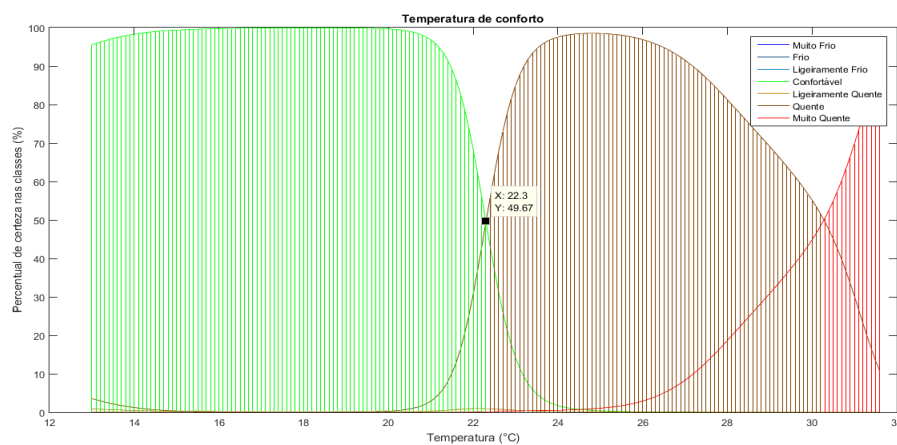


Mesmo sendo uma faixa estreita, ainda sim é maior se considerarmos a zona de conforto criada com todos os dados desconsiderando as estações do ano. O mesmo pode-se observar com a umidade que amplia sua faixa de conforto a partir de 46,35% até 60%.

7.4.3. Verão

Conforme apresentado no Gráfico 7.13, a estação de temperaturas mais quentes apresentou, também, maior incidência das classes de temperaturas mais quentes durante os treinos realizados. Segundo o melhor resultado obtido, quaisquer valores de temperatura abaixo de 22,3°C no ambiente já seria satisfatório para os usuários das salas, provavelmente porque a temperatura externa se encontrava em patamares mais altos.

Gráfico 7.13 – Resultados no verão



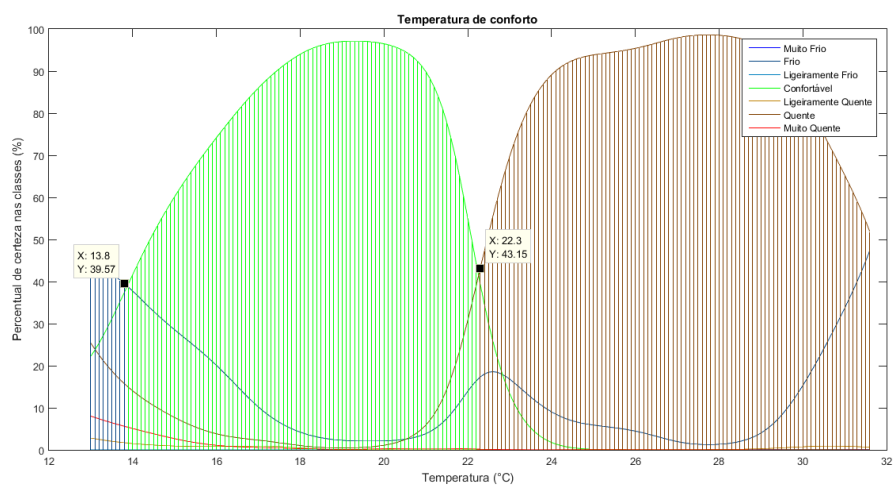
Quanto à umidade, nota-se que a partir de 49,67% já encontram-se situações de conforto no interior dos ambientes.

7.4.4. Outono

A estação que apresentou maiores erros na hora de treinar a rede foi o outono. Isso se deve, em grande parte, à pouca quantidade de dados obtidos nessa época do ano. Conforme mostrado no Gráfico 7.14, os 45 dados colhidos não suficientes para fazer com que as classes apresentassem limites bem definidos. O fato de os valores terem sido colhidos no início da estação, isto é, próximo ao verão, fez com que predominassem as classes de sensação mais quente.

Nesta estação do ano, nota-se que a umidade restringe a uma faixa de conforto que varia entre 39,57% e 98%. Ao contrário da temperatura, que estende sua área de conforto entre 13,8°C e 22,3°C.

Gráfico 7.14 – Resultados no outono



Os dados obtidos nas simulações, apesar de demonstrarem a lógica esperada para as estações do ano, expuseram algumas incertezas. Além da subjetividade, que faz com que a rede apresente falhas, a quantidade de dados colhidos também é essencial para um bom desempenho da rede neural, tendo em vista que quanto maior for a quantidade, melhor será a percepção de preferências individuais e de pequenos grupos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho pode-se observar a importância de se aprofundar na análise e tratamento de dados subjetivos, muitas vezes adquiridos por meio de questionários e entrevistas, para que os resultados finais possam ser compreendidos e interpretados como dados racionais e objetivos.

Como foi demonstrado nesta pesquisa na revisão bibliográfica, nota-se que cada vez mais pesquisas estão voltadas a interpretar e racionalizar os desejos dos usuários e que à medida que se aproxima as análises da realidade existe a possibilidade da criação de ambientes e espaços (ou mesmo correção) mais condizentes com a realidade do uso e mais próximos do conforto desejado.

Pode-se observar também que a integração de demais áreas de pesquisa, neste caso a inteligência artificial e simulação numérica, é significativamente positiva para a evolução da pesquisa como um todo.

Foi possível, a partir desta integração, gerar uma zona de conforto térmico para sala de aulas na cidade de Ouro Preto com base em dados climáticos reais (quantitativos) e dados coletados via questionários (subjetivos). Com o uso de redes neurais via simulações MATLAB, obteve-se então a zona de conforto de temperatura que está entre 22,3°C e 24,5°C e para umidade compreendida entre 57,37% até 72,57%.

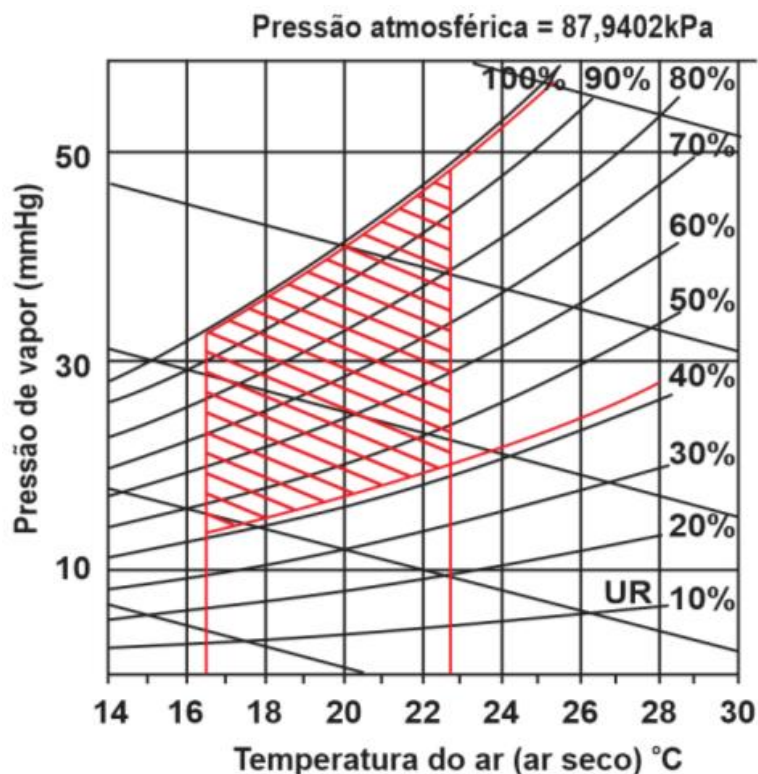
Porém, se observados os dados apresentados de acordo com as estações do ano que a zona de conforto altera significativamente. Conforme mostrado na Tabela 8.1 pode-se observar as variações de acordo com as estações.

Tabela 8.1 – Resultados de acordo com as estações

ESTAÇÃO	TEMPERATURA CONFORTÁVEL	UMIDADE CONFORTÁVEL
Inverno	Acima de 24,8°C	37% até 99%
Primavera	19,5°C até 21,9°C	49% até 99%
Verão	Em 22,3°C	46% até 100%
Outono	13,8°C até 22,3°C	39,5% até 98%

De acordo com os dados obtidos em função das estações, se considerarmos uma média das mínimas e uma média das máximas, tanto da temperatura quanto da umidade, teremos uma faixa de conforto de temperatura entre 16,6°C e 22,8°C e uma faixa de conforto de umidade entre 43% e 99%. Na Figura 8.1 pode-se observar a faixa de acordo com a média das estações.

Figura 8.1 – Zona de conforto de acordo com a média das estações



Esta grande alteração na zona de conforto deve-se a possibilidade de adaptação dos usuários diante da condição climática exposta. É possível também que, quando analisados caso a caso, situação a situação, verifica-se uma maior tolerância em relação a temperatura interna, variando de acordo com as condições externas.

Com este resultado é possível projetar e adequar edificações inseridas nesta condição climática, adaptando-as mais próximas a esta zona de conforto a fim de que o ambiente seja um agregador positivo no aprendizado no aluno. E se for considerado a situação de acordo com a estação do ano, o que é uma possibilidade devido às alternativas de adaptação dos usuários, a variação nas possibilidades de fechamento e adequações térmicas serão ainda maiores devido a sua maior zona de conforto.

8.1. Recomendações Futuras

Recomenda-se então, a partir desta pesquisa, que seja contínua a busca por desvendar nas pesquisas maneiras de tornar quantitativos os dados subjetivos adquiridos por meio de pesquisa a usuários.

A sugestão então é de que se utilize este método de pesquisa para se encontrar zonas de conforto principalmente em locais de condições climáticas extremas (seja muito frio ou muito quente). Vale ressaltar que é importante ter pesquisas específicas em situações específicas e extremas porque os usuários expostos a condições climáticas diferentes, ou mesmo em condições climáticas iguais, mas em locais distintos, sempre possuem características de adaptações e culturais diferentes.

Dentre os vários estudos adicionais, sugere-se:

- Criação de novos modelos de simulação utilizando redes neurais não supervisionadas;
- Criação de modelos de inteligência artificial que aprimorem os resultados obtidos por Avaliação Pós Ocupação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-WAHAB, S. A.; EM, S. C. F.; ELKAMEL, A.; AHMADI, L.; YETILMEZSOY, K. A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. **Atmospheric Pollution Research**, v. 6, n. 5, SEP, p. 751-767. 2015.

ACOSTA, I.; CAMPANO, M. A.; MOLINA, J. F. Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces. **Applied Energy**, v. 168, APR, p. 493-506. 2016.

AFLAKI, A.; MAHVUDDIN, N.; MAHMOUD, Z. A. C.; BAHARUM, M. R. A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. **Energy and Buildings**, v. 101, AUG, p. 153-162. 2015.

AFZAL, A.; HUSSAIN, T.; MOHSIN, M.; RASHEED, A.; Ahmad, S. Statistical models for predicting the thermal resistance of polyester/cotton blended interlock knitted fabrics. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 85, NOV, p. 40-46. 2014.

AKUTSU, M. Conforto ambiental e eficiência energética no ambiente construído. *Revista Brasileira de Eficiência Energética*, v. 1, p. 1, 2011.

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico em edificações no Brasil**. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ALMEIDA, R. M. S. F.; RAMOS, N. M. M.; FREITAS, V. P. Thermal comfort models and pupils' perception in free-running school buildings of a mild climate country. **Energy and Buildings**, v. 111, JAN, p. 64-75. 2016.

ALMEMO Manual for all ALMENO measuring instruments. 2003, version 5, 4th revised edition. Publisher: Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Germany, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS **ANSI/ASHRAE 140**: Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. ASHRAE. Atlanta, 2001. 91p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.

ARAÚJO, R. R. O conforto térmico e as implicações na saúde: uma abordagem preliminar sobre os seus efeitos na população urbana de São Luís – MA. **Cadernos Pesquisa - UFMA**, São Luís, v. 19, n. 3, p. 49 - 58 set./dez. 2012.

ARBIB, M. A. Brains, Machines and Mathematics, 2ª Ed, New York: Springer-Verlag, 1987 apud HAYKIN, S. **Redes Neurais, princípios e práticas**. Tradução: Paulo Martins Engel. São Paulo, Bookman, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, p. 7, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho de Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro, p. 283, 2013.

ATTIA, S.; CARLUCCI, S. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. **Energy and Buildings**, v. 102, SEP, p. 117-128. 2015.

AULICIEMS, A. Towards a psychophysiological model of thermal perception. **Int J Biometeorology**, Vol .25, pp.109-122. 1981.

AULICIEMS, A.; de DEAR, R. Air conditioning in Australia. I Human thermal factors, **Architectural Science Review**, v. 29, p. 67-75, 1986.

AULICIEMS, A.; S. V. SZOKOLAY. **Thermal Comfort**. Brisbane, Qld.: PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture The University of Queensland. 1997.

BARROS, M. M. S. B. O desafio da implantação de inovações tecnológicas no sistema produtivo das empresas construtoras. **In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: vedações verticais**, São Paulo. Anais. EPUSP, p. 249-285, 1999.

BASTOS, M. A. R.; SOUZA, H. A. Da necessidade de informação e conhecimento para um consumo consciente: a visão crítica de usuários de edificações que incorporam técnicas e componentes construtivos inovadores. **In: Encontro Nacional e Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2007, Ouro Preto - MG. Anais IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, 2007.

BASTOS, M. A. R.; SOUZA, H. A. O Usuário versus a cadeia produtiva do espaço edificado. **In: Simpósio Brasileiro e I Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção**, 4, 2005, Porto Alegre. Anais ... IV SIBRAGEC - I ELAGEC: ANTAC, 2005.

BATISTA, T. B. et al. Priming and stress under high humidity and temperature on the physiological quality of *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 seeds. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 1, p. 123-127, 2016.

BECHTEL, R.; CHURCHMAN, A. **Handbook of environmental Psychology**. Danvers: John Wiley & Sons, Inc, 2001.

BELGHAZI, K.; ELABBASSI, E. B.; TOURNEUX, P.; LIBERT, J. P. Assessment of whole body and regional evaporative heat loss coefficients in very premature infants

using a thermal mannequin: Influence of air velocity. **Medical Physics**, v. 32, n.3, NOV, p. 752-758. 2005.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F. de; LUDERMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2ª Ed., Rio de Janeiro, LTC, 2011.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI - a case study in southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, Ohio, v. 56, p. 471 - 480, 2012.

BURATTI, C.; RICCIARDI, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. **Energy and Buildings**, v.44, n.6, JUN, p.674-678. 2008.

CAMPOS, H. C., SOUZA, H. A. Avaliação pós-ocupação de edificações em *light steel framing* **In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. ENTAC: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora: TecArt Editora Ltda., v.1. 2012.**

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J. LAMBERS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, JAN, p. 222-229. 2010.

CARAVELLO, V.; MCCULLOUGH, E. A.; ASHLEY, C. D.; BERNARD, T. E. Apparent evaporative resistance at critical conditions for five clothing ensembles. **European Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 2, SEP, p. 361-367. 2008.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos Edifícios em Estruturas Metálicas. Ouro Preto, 190p.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP,1999.

CETIN, K. S.; MANUEL, L.; NOVOSELAC, A. Effect of technology-enabled time-of-use energy pricing on thermal comfort and energy use in mechanically-conditioned residential buildings in cooling dominated climates. **Building and Environment**, v. 96, FEB, p. 118-130. 2016.

CHENG, L. Y. A inferência nebulosa aplicada à análise de dados na avaliação pós-ocupação. **In. V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, Ceará, v.1. 1999b.**

CHENG, L. Y. A teoria de sistema nebuloso e as informações subjetivas de conforto ambiental. **In. V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, Ceará, v.1. 1999a.**

CIUHA, U.; MEKIAVIC, I. B. Regional thermal comfort zone in males and females. **Physiology & Behavior**, v. 161, JUL, p. 123 – 129. 2016.

CUBRIC, I. S.; SKENDERI, Z.; HAVENITH, G. Impact of raw material, yarn and fabric parameters, and finishing on water vapor resistance. **Textile Research Journal**, v. 83, n. 12, AUG, p. 1215-1228. 2013.

DAS, A.; PAUL, S. K. Artificial illumination during daytime in residential buildings: Factors, energy implications and future predictions. **Applied Energy**, v. 158, NOV, p. 65-85. 2015.

de DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v.34, n.6, JUL, p.549-561. 2002.

DING, D.; TANG, T.; SONG, A.; MCDONALD. Characterizing the performance of a single-layer fabric system through a heat and mass transfer model—part II: thermal and evaporative resistances. **Textile Research Journal**,v. 80, n. 14, JUL, p. 1488-1497. 2011.

ELALI, G. A. **A área das relações pessoa-ambiente e algumas de suas contribuições para a APO.** in XII Encontro Nacional do Ambiente Construído. 9/2008. Fortaleza. Anais eletrônicos... Fortaleza, 2008.

EPSTEIN, Y; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, 44, 388-398, 2006.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering.** Nova York: McGraw-Hill, 1972.

FANGER, P. O.; TOTFUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 533-536, 2002.

FEDERAL–PROVINCIAL ADVISORY COMMITTEE. Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality: A Report of the Federal–Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Ottawa, Ontario, 23 p. 1989.

FONTANELLA, M. S. **Percepção do Ambiente Térmico: Preferências subjetivas e conforto térmico.** 2009. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** Londres: Elsevier, 1976.

GOMES, A. P; SOUZA, H. A.; TRIBESS, A. Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil. **Applied Thermal Engineering**, v. 52, p. 84-89, 2013.

GOMI, D.; CASTILLA, M. M.; VISIOLI, A. An efficient modeling for temperature control of residential buildings. **Building and Environment**, v. 103, JUL, p. 86-98. 2016.

HAYKIN, S. **Redes Neurais, princípios e práticas**. Tradução: Paulo Martins Engel. São Paulo, Bookman, 2008.

HOOF, J. van; HENSEN, J. L. M. Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones. **Building and Environment**, v.42, p.156-170. 2007.

HOUGHTEN, F. C.; YAGLOU, C. P. Determining lines of equal comfort. **ASHVE Transactions**, 29, p. 163-169, 1923, citado por MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 2008. 382 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HUANG, K. T.; LIN, T. P.; LIEN, H. C. Investigating thermal comfort and user behaviors in outdoor spaces: A Seasonal and spatial perspective. **Advances in Meteorology**, Article 423508. 2015.

HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Journal of the Institute of Heating and Ventilating Engineers**, v. 44, p. 5-27, 1976.

HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors, Building Research and Practice. **Journal of CIB**, v. 6, p. 92-105, 1978.

HUMPHREYS, M.A. and NICOL, J.F. Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies **ASHRAE Transactions** 206(2) pp 485-492. 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities. Genebre, 1998.

IZARD, J.; GUYOT, A. **Arquitetura Bioclimática**. México: Ediciones G. Gili. S.A. 1983.

KINSLER, L. E; et al. **Fundamentals of Acoustics**.3.ed. New York: Jhon Wiley & Sons, 1982 apud SALES, U. C.; SOUZA, H. A.; NEVES, F. A. Interfaces entre Sistemas de Vedação e Estruturas Metálicas, Problemas Reais. **Téchne**, São Paulo, v ago, n. 53, p.98-102, 2001.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1. 272p. 2011.

- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. C. O programa de necessidades e a importância da APO no processo de projeto. **In:** XII Encontro Nacional do Ambiente Construído. 9/2008. Fortaleza. Anais eletrônicos... Fortaleza, 2008.
- KULVE, M.; SCHELLEN, L.; SCHLANGEN, L. J. M.; LICHTENBELT, W. D. V. The influence of light on thermal responses. **Acta Physiologica**, v. 216, n. 2, FEB, p. 163-185. 2016.
- LAI, D.; GUO, D.; HOU, Y.; LIN, C.; CHEN, Q. Studies of outdoor thermal comfort in northern China. **Building and Environment**, v. 77, JUL, p. 110-118. 2014.
- LEE, E. et al. **High-Performance Commercial Building Façades**. Building Technologies Program, Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), University of California, Berkeley, USA (LBNL – 50502). 2002.
- LI, D. H. W. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. **Applied Energy**, v.87, n. 7, JUL, p. 2109-2118. 2010.
- LIMA, G. L. F.; et al. Índices de Conforto Térmico: revisão e proposta para o clima quente e úmido de Natal-RN. **In:** VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Maceió, 2005.
- MACAS, M. et al. Sensitivity based feature selection for recurrent neural network applied to forecasting of heating gas consumption. **In:** de la Puerta, J. G., et al. (eds) International Joint Conference SOCO'14-CISIS'14-ICEUTE'14. AISC, v. 299, p. 259-268. Springer, Heidelberg. 2014.
- MACNAUGHTON et al. How does housing catalyze recovery in Housing First participants? Qualitative findings from the At Home/Chez Soi Project. *American Journal of Psychiatric Rehabilitation*, 19 (2) 1-24.
- MARCH, R. P. L.; RADATSKY, L. C. B. S.; SMITH, A. M. M. S. Conceptual design metrics for daylighting. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 3, SEP, p. 277-290. 2012.
- MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.
- McCARTHY, J. *What is Artificial Intelligence?* 2004. Disponível em <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/whatisai.html>. Acesso em 15/03/2015.
- MCCULLOCH, W. S; PITTS, W. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, No. 9, (1943). pp. 127-147 *apud* BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F. de; LUDERMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2ª Ed., Rio de Janeiro, LTC, 2011.

MCYINTRE, D. A. Preferred air speed for comfort in warm conditions. *ASHRAE Trans*, 84. 1978.

MEC. Expansão das escolas de nível superior. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/expansao/images/APRESENTACAO_EXPANSAO_EDUCACAO_SUPERIOR14.pdf - acesso em 11 nov. 2012.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 2008. 382 p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOON, J. M.; KIM, J. J. ANN-based thermal control models for residential buildings. **Building and Environment**. v. 45, p. 1612-1625. 2010.

MORAES, O. B. **Método de análise de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas – uma abordagem utilizando a lógica fuzzy**. 2008. 304 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORAES, O. B.; ABIKO, A. K. Considerações sobre a utilização de medidas de incerteza em dados de percepção do morador. **In**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, Santa Catarina. p. 1243-1252. 2006.

MOREL, G. et al. Manufacturing plant control challenges and issues. **Control Engineering Practice**. v. 15, p. 1321-1331. 2007.

MORS, S. T.; HENSEN, J. L. M.; LOOMANS, M. G. L. C.; BOERSTRA, A. C. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. *Building and Environment*, v. 46, n. 12, DEC, p. 2454-2461. 2011.

MÜLLER, M. F., DRALLE, D. N., THOMPSON, S. E. Analytical model for " flow duration curves in seasonally dry climates. **In**: *Water Resources Research*, 50, 2014.

NASCIMENTO, D. S. C. **Avaliação pós-ocupação e pós-uso de edificações estruturadas em aço**. 2009. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

NASCIMENTO, D. S. C., SOUZA, H. A. Relationship between human behavior and thermal comfort in a housing estate in Brazil **In**: International Conference on Experimental Mechanics, 2012, Porto. Proceedings ICEM15 - 15th International Conference on Experimental Mechanics. Porto, Portugal: Edições INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, v.1.p.1 – 13; 2012.

- NGUYEN, A. T.; REITER, S. An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang. **Energy and Buildings**, v. 47, APR, p. 237-246. 2012.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Building**, v.34, p.563-572. 2002.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Thermal comfort as part of a self-regulating system, **Building Research and Practice** (Journal of CIB) v. 6, p. 191-197, 1973.
- NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: **Energy and Buildings**, v.35, p.95-101, 2003.
- NIU, J.; LIU, J.; LEE, T.; LIN, Z.; MARK, C.; TSE, K. T.; TANG, B. KWOK, K. C. S. A new method to assess spatial variations of outdoor thermal comfort: Onsite monitoring results and implications for precinct planning. **Building and Environment**, v. 91, SEP. p. 263-270. 2015.
- OLGYAY, V. **Design with climate**. New Jersey: Princeton University, 1963.
- OLIVEIRA, A. R. **Redes Neurais aplicadas na detecção, classificação e localização de defeitos em linhas de transmissão**. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal de Juiz de Fora), Engenharia Elétrica, Juiz de Fora, 2005.
- ORNSTEIN, S. W. ONO, R. Avaliação pós-ocupação no conforto ambiental: uma reflexão crítica e temas a serem explorados. **In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2011, Búzios. **Conforto Ambiental na Arquitetura e Urbanismo: uma reflexão além da técnica**, 2011.
- ORNSTEIN, S. W.; ROMERO, M. A. **Avaliação Pós Ocupação: métodos e técnicas aplicados à habitação social**. Associação Nacional do Ambiente Construído. Porto Alegre: Habitare, 2003.
- ORNSTEIN, S. W.; ROMERO, M. A. **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo, 1992.
- OROSA, J. A.; OLIVEIRA, A. C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. **Renewable Energy**, v. 36, p. 951-956. 2011.
- ÖZABALTA, T. G. et al. Models for prediction of daily mean indoor temperatura and relative humidity: education building in Izmir, Turkey. **Indoor and Built Environment**. v. 21, p. 772, 781. 2011.
- PARSONS, K. C. Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. **Applied Ergonomics**, v. 31, n. 6, DEC, p. 581-594. 2000.

PERKINS IV, D. R.; DEBBAGE, K. G. Weather and Tourism: Thermal Comfort and Zoological Park Visitor Attendance. **Atmosphere**, v. 7, n. 3, p. 1-10. 2016.

PORTAL DO BRASIL. Obras de Expansão das universidades brasileiras. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/educacao/2015/04/obras-de-expansao-das-universidades-brasileiras/view>. Acesso 05 de maio de 2016.

PROVENÇAL, S., BUCHARD, V., da SILVA, A.M., LEDUC, R. BARRETTE, N. Evaluation of PM surface concentrations simulated by Version 1 of the NASA MERRA. **Aerosol Reanalysis over Europe**. Atmos. 2016.

REZENDE, S. O. et al, **Sistemas inteligentes: Fundamentos e Aplicações**, Editora Manole Ltda, 2003.

RIBAS, R. A. de J. **Método para Avaliação do Desempenho Térmico e Acústico de Edificações Aplicado em Painéis de Fechamento Industrializados**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

ROAF, S. C., NICOL, D. F. **A Adaptação das Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas – Um guia de sobrevivência para o século XXI**. Tradução Alexandre Salvaterra – Porto Alegre: Bookman, 2009.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. **In: COTEDI 2003 - III Conferência Latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações**, 2003, Curitiba. Anais do ENCAC e COTEDI 2003. Curitiba: ANTAC, 2003.

ROSENFELDER, M.; KOPPE, C.; PFAFFEROTT, J.; MATZARAKIS, A. Effects of ventilation behaviour on indoor heat load based on test reference years. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 2, FEB, p. 277-287. 2016.

ROSSI, F. A. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. Tese de Doutorado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2012.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

RUAS, Á. C. **Conforto Térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.

RUPP, R. F.; GHISI, E. What is the most adequate method to assess thermal comfort in hybrid commercial buildings located in hot-humid summer climate? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, JAN, p. 449-462. 2014.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, OCT, p. 178-205. 2015.

RUTTY, M.; SCOTT, D. Bioclimatic comfort and the thermal perceptions and preferences of beach tourists. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 1, JAN, p. 37-45. 2015.

SAKELLARIS, I. A.; SARAGA, D.E.; MANDIN, C.; RODA, C.; FOSSATI, S.; KLUIZENAAR, Y.; CARRER, P.; DIMITROULOPOULOU, S.; MIHUCZ, V. G.; SZIGETI, T. Perceived Indoor Environment and Occupants' Comfort in European "Modern" Office Buildings: The OFFICAIR Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.13, n. 5, MAY, article 444. 2016.

SALATA, F.; GOLASE, I.; VOLLARO, R. L. Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. **Building and Environment**, v. 96, FEB, p. 46-61. 2016.

SALES, U. C.; SOUZA, H. A.; NEVES, F. A. Interfaces entre Sistemas de Vedação e Estruturas Metálicas, Problemas Reais. **Téchne**, São Paulo, v ago, n. 53, p.98-102. 2001.

SATISH, U.; MENDELL, M. J.; SHEKHAR, K.; HOTCHI, T.; SULLIVAN, D.; STREUFERT, S.; FISK, W. J. Is CO₂ an indoor pollutant? direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. **Environmental Health Perspectives**, v.120, n. 12, JUL, p. 1671-1677. 2012.

SHAW, I. S.; SIMÕES M. G. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SIEW, C. C.; CHE-ANJ, A. I.; TAWIL, N. M.; ABDULLAH, N. A. G.; MOHD-TAHIR, M. Classification of Natural Ventilation Strategies in Optimizing Energy Consumption in Malaysian Office Buildings. **Procedia Engineering**, v. 20, JUL, p. 363-371. 2011. SHASTRY, V.; MANI, M.; TENORIO, R. Evaluating thermal comfort and building climatic response in warm-humid climates for vernacular dwellings in Suggenhalli (India). **Architectural Science Review**, v. 59, n.1, JAN, 12-26. 2016.

SILVA, A. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Performance evaluation of long-term thermal comfort indices in buildings simulation according to ASHRAE Standard 55. **Building and Environment**, v. 102, JUN, p. 95-115. 2016.

SILVA, I. N. DA; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.

SILVA, M. S. **Avaliação das condições de conforto térmico nas salas de aula da UFOP, no Campus Morro do Cruzeiro**. 2012. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

- SILVA, P. C. P. da. **Análise do comportamento térmico de construções não convencionais por meio de Simulação em VisualDOE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Ramo de Processos e Gestão da Construção. Universidade do Minho – Portugal, 2006.
- SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; TELLER, J. Development of thermal comfort models for various climatic zones of North-East India. **Sustainable Cities and Society**, v. 14, FEB, p. 133-145. 2015.
- SOUZA, H. A. de; FONTANELLA, M. S. Percepção do ambiente térmico nas salas de aula pelos alunos da UFOP. **REM. Revista Escola de Minas (Impresso)**, v. 64, p. 415-419, 2011.
- SOUZA, H. A. et al. Acoustical Vibration Characteristics of Prefabricated Panels Employed in Industrialized Construction. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. v.XXIX, p.152 - 161, 2007.
- STARCKE, K.; BRAND, M. Decision making under stress: A selective review. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 36, n. 4, APR, p. 1228-1248. 2012.
- STAVRAKAKIS, G. M.; ZERVAS, P. L.; SARIMVEIS, H.; MARKATOS, N. C. Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings. **Applied Mathematical Modeling**, v. 36, n. 1, JAN, p. 193-211. 2012.
- SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. **Bullington**, Great Britain: Architectural Press. 328 p. 2004.
- TSUTSUMI, H.; TANABE, S.I.; HARIGAVA, J.; IGUCHI, Y.; NAKAMURA, G. Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. **Buildings and Environment**, v. 42, n. 12, DEC, p. 4034-4042. 2007.
- TSUTSUMI, H.; TOYOTA, A.; AKIMOTO, T.; TANABE, S.; SUZUKI, T. Effects of low humidity on sensation of eye dryness caused by using different type of contact lenses in summer season. **Proceedings of Indoor Air**, p. 394-399. 2002.
- UDAYRAJ, P.; DAS, A.; ALAGIRUSAMY, R. Heat and mass transfer through thermal protective clothing – A review. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 106, AUG, p. 32-56. 2016.
- VERNON, H.M.; WARNER, C.G. **The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures**. *J. Hyg. Camb.*,v. 32, 1932.
- VILLA, S. B.; ORNSTEIN, S. W. **Qualidade ambiental na habitação. Avaliação Pós-Ocupação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1. 400p. 2013.
- WANG, F.; FERRARO, S.; LIN, L. Y.; MAYOR, T. S.; MOLINARO, V.; RIBEIRO, M.; GAO, C.; KUKLANE, K.; HOMÉR, I. Localised boundary air layer and clothing

evaporative resistances for individual body segments. **Ergonomics**, v. 55, n. 7, JUL, p. 799-812. 2012.

WANG, F.; PENG, H.; SHI, W. The relationship between air layers and evaporative resistance of male Chinese ethnic clothing. **Applied Ergonomics**, v. 56, SEP, p. 194-202. 2016.

WARGOCKI, P.; SUNDELL, J.; BISCHOF, W.; BRUNDRETT, G.; FANGER, P. O.; GYNTELBERG, F.; HANSSSEN, S. O.; HARRION, P.; PICKERING, A.; SEPPÄNEN, P. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). **Indoor air**, v.12, n. 2, JUN, 113-128. 2002.

WATANABE, S.; ISHII, J. Bioclimatic comfort and the thermal perceptions and preferences of beach tourists. **Building and Environment**, v.95, JAN. p. 32-41. 2016.

WOLKOFF, P.; KJAERGAARD, S. K. 2007. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. **Environmental International**, v. 33,n. 6, AUG, p. 850-857. 2007.

XIONG, J.;TZEMPELIKOS, A. Model-based shading and lighting controls considering visual comfort and energy use. **Solar Energy**, v. 134, SEP, p. 416-428. 2016.

YANG, I.; YEO, M. S.; KIM, K. W. Application of artificial neural network to predict the optimal start time for heating system in building. **Energy Conversion and Management**. v. 44, p. 2791-2809. 2003.

YAO, J.; CHOW, D. H. C.; ZHENG, R. Y.; YAN, C. W. Occupants' impact on indoor thermal comfort: a co-simulation study on stochastic control of solar shades. **Journal of Building Performance Simulation**, v.9, n. 3, MAR, p. 272 – 287. 2016.

YAO, R.; LI, B.; LIU, J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). **Building and Environment**, v.44, p.2089-2096. 2009.

YILDIZ, Y. Impact of climate change on passive design strategies. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability**, v.168, n. 4, AUG, p. 173-181. 2015.

APÊNDICE 1

QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO

1. Prédio: _____ Sala: _____ Pav. _____ Data: _____ Hora: _____
2. Dados do usuário: Sexo: () Fem. () Masc. Idade: _____ Peso: _____ Altura: _____
3. Tipos de roupa que esta usando no momento:
() Roupas leves () Roupas de frio, porém leves () Roupas de frio, pesadas.
4. Qual é a sua sensação térmica em relação ao ambiente da sala neste momento:
() Muito quente () Quente () Ligeiramente quente () Confortável
() Ligeiramente frio () Frio () Muito frio
5. Num ambiente térmico como este, você:
() Consegue desenvolver sua atividade de estudo normalmente.
() Sua atividade de estudo fica prejudicada.
6. Qual a sensação em relação ao movimento do ar no lugar em que você está:
() Muito parado () Um pouco parado () Boa circulação () Um pouco rápido () Muito rápido
7. Você vê a necessidade de ventiladores, no momento, para melhorar seu conforto térmico:
() Sim () Não
8. Marque abaixo se alguma das sensações listadas ocorreu na ultima hora:
() Impaciência devida ao desconforto térmico
() Dificuldade de prestar atenção devida ao desconforto térmico
() Sonolência devida ao desconforto térmico
() Sede
() Secura nas mucosas da boca, nariz ou garganta
() Ruborização da pele
() Calafrios e/ou contrações musculares
9. Há incidência solar direta na sala durante o período de aula:
() Sim () Não
10. Ao assistir aulas nesta sala, com que frequência você tenta (ou pede para que alguém o faça) controlar a incidência do sol, por meio de porta, janelas, cortinas ou persianas:
() Nunca () Raramente () As vezes () Frequentemente () Sempre
11. Como você considera a iluminação da sala de aula:
() Ótima () Razoável () Péssima
12. Na maioria das vezes, utiliza-se iluminação:
() Natural () Artificial
13. Em relação ao ruído proveniente de fora do edifício, durante as aulas:
() Não perturba () Incomoda () Incomoda muito
14. Em relação ao ruído proveniente de dentro do edifício, durante as aulas:
() Não perturba () Incomoda () Incomoda muito
15. Você está satisfeito com o ambiente térmico neste momento: () Sim () Não
16. Você acha que esse seria um ambiente térmico aceitável para estar todos os dias:
() Sim () Não

APÊNDICE 2 – Algoritmo utilizado para criação da rede neural

Os valores obtidos nas planilhas geradas durante o ano foram digitalizados a partir do seguinte código do MATLAB:

```
%Dados.m
%Algoritmo para carregar os valores das planilhas do Excel de dados
%Códigos de inicialização:
clear all; %Apaga as variáveis do Workspace
close all; %Fecha todas as figuras
clc; %Limpa a Command Window
%Leitura das abas da planilha de dados da escola de medicina
a=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',1);
b=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',2);
c=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',3);
d=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',4);
e=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',5);
f=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',6);
g=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',7);
h=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',8);
k=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',9);
l=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',10);
m=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',11);
n=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',12);
o=xlsread('ESCOLA DE MEDICINA_DADOS.xlsx',13);

meddata=[[a];[b];[c];[d];[e];[f];[g];[h];[k];[l];[m];[n];[o]]; %Concatenação dos dados
em uma única variável
save meddata meddata; %Salva a variável no arquivo 'meddata.mat'

clear all; %Apaga as variáveis do Workspace

%Leitura das abas da planilha de dados da escola de minas:
a=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',1);
b=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',2);
c=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',3);
d=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',4);
e=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',5);
f=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',6);
g=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',7);
h=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',8);
k=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',9);
```

```

l=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',10);
m=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',11);
n=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',12);
o=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',13);
p=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',14); %
q=xlsread('ESCOLA DE MINAS_DADOS.xlsx',15); % A planilha da escola de minas
possui mais abas
mindata=[[a];[b];[c];[d];[e];[f];[g];[h];[k];[l];[m];[n];[o];[p];[q]]; %Concatenação dos
dados em uma única variável
save mindata mindata; %Salva a variável no arquivo 'mindata.mat'
clear all; %Apaga as variáveis do Workspace

```

%Fim do algoritmo

A criação da rede neural e dos gráficos de temperatura foram se deram a partir do seguinte código:

```

%Plots.m
%Algoritmo para criar as redes neurais e plotar os gráficos da variação de
%temperatura
%Carregando variáveis salvas:
load mindata;
load meddata;
%Leitura dos dados do questionário:
entradas=xlsread('dados para analise.xlsx',4);
%Obtenção das médias e das modas dos dados:
medias=mean(entradas);
modas=mode(entradas);
%Obtenção das médias dos valores aferidos durante o ano nas salas:
media_minas=mean([mindata(:,4),mindata(:,6),mindata(:,8)]);
media_medic=mean([meddata(:,4),meddata(:,6),meddata(:,8)]);
%Temperaturas mínimas e máximas:
tempmin=min([min(media_minas) , min(media_medic)]);
tempmax=max([max(media_minas) , max(media_medic)]);
%Variação da temperatura do valor mínimo para o máximo
x=[(round(tempmin*10)/10):0.1:(round(tempmax*10)/10)];
%Demais dados de entrada
x(2:5,:)= [medias(2);... %Média da temperatura
modas(3);... %Moda de roupa
modas(6);... %Moda de sexo
medias(7)]... %Media de IMC
*ones(1,length(x));

```

```

in = entradas;
t = tempTargets;
% trainFcn = 'trainscg';
% Escolhe a função de treino
trainFcn = 'trainbr'; %Retropropagação de regularização Bayesiana
% Cria uma rede de reconhecimento de padrões
hiddenLayerSize = 250; %Quantidade de neurônios na camada oculta, obtido por testes
iterativos
net = patternnet(hiddenLayerSize);
% Configura a proporção dos dados de treino, validação e teste
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;
% Treina a Rede
[net,tr] = train(net,in,t);
% Testa a Rede
y = 100*net(x);
%Gerar o gráfico com variação de temperatura do valor mínimo ao máximo
plot(x(1,:),y);
set(groot,'DefaultAxesColorOrder',[0 0 1; 0 .25 .5; 0 .5 .75; 0 1 0; .75 .5 0;.5 .25 0; 1 0
0]);
legend('Muito Frio','Frio','Ligeiramente Frio','Confortável','Ligeiramente
Quente','Quente','Muito Quente'); %Legenda
xlabel('Temperatura (°C)'); %Eixo X
ylabel('Percentual de certeza nas classes (%)'); %Eixo Y
title('Temperatura de conforto'); %Título do gráfico
%Seleção das faixas para colori-las
[M,I] = max(y);% Valores máximos de percentual
for ind=1:length(I)
hold on;
switch I(ind)
case 1
stem(x(1,ind),y(1,ind),'Marker','none','Color',[0 0 1]) %Muito Frio
case 2
stem(x(1,ind),y(2,ind),'Marker','none','Color',[0 .25 .5]) %Frio
case 3
stem(x(1,ind),y(3,ind),'Marker','none','Color',[0 .5 .75]) %Ligeiramente Frio
case 4
stem(x(1,ind),y(4,ind),'Marker','none','Color',[0 1 0]) %Confortável
case 5
stem(x(1,ind),y(5,ind),'Marker','none','Color',[.75 .5 0]) %Ligeiramente Quente

```



```
case 6
stem(x(1,ind),y(6,ind),'Marker','none','Color',[.5 .25 0]) %Quente
case 7
stem(x(1,ind),y(7,ind),'Marker','none','Color',[1 0 0]) %Muito Quente
end
end;

%Fim do algoritmo
```