

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, criador de todas as coisas, que nos momentos difíceis me deu forças para seguir em frente. Aos meus Pais por me apoiarem incondicionalmente em todas as minhas escolhas. Minha irmã Bruna, que dividiu comigo as angústias e muitos e muitos textos digitados neste trabalho. Ao meu namorado Arthur que além de me dar carinho e companheirismo nos inúmeros momentos difíceis, participou e contribuiu com a pesquisa, com agilidade no Excel que me faltou, contagem de questionários que eu já não tinha mais cabeça, dentre tantos momentos até o final... Silmara minha sócia e amiga, como agradecer tudo que você fez, e faz por mim... sua participação fez toda a diferença. Sem palavras, vocês foram imprescindíveis. Aos colegas do mestrado, já sinto saudades... Ao meu orientador Henor, agradecer e pouco. Te admiro muito, obrigada por ajudar com atenção, ensinar com boa vontade e por ter a maior paciência do mundo.

DEDICATÓRIA

À minha família, amigos, e ao meu namorado Arthur.

RESUMO

A qualidade ambiental interna de uma edificação está diretamente relacionada a uma resposta adequada aos condicionantes climáticos do local onde a edificação estiver inserida. As condições de conforto e também estética de um dado ambiente construído podem influenciar no desempenho das atividades ali exercidas pelas pessoas. Considerando-se espaços escolares estas relações do usuário com o ambiente têm um caráter ainda mais importante já que podem refletir diretamente no processo de aprendizado. Neste trabalho avalia-se o ambiente térmico das salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente na Escola de Minas, no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas e no Bloco de Salas, investigando-se a percepção dos usuários. A investigação é realizada por meio da aplicação de questionários e medição das variáveis ambientais *in loco*, simultaneamente, ao longo dos meses de junho, julho e setembro de 2011. Os resultados obtidos são tratados estatisticamente, utilizando o cálculo do desvio padrão a partir das médias de temperatura operativa e umidade relativa, obtendo-se os limites de conforto para a população em estudo. No período estudado, no qual a faixa de temperatura do ar externo foi de 16,0°C à 24,0°C aproximadamente, obtém-se uma percentagem de aproximadamente 75% de satisfeitos com o ambiente térmico. Nos prédios da Escola de Minas e do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas parte dos problemas, em relação ao ambiente térmico, foi solucionado com a instalação de brises, películas insulfim nas vidraças e cortinas, nas fachadas com maior insolação. No caso do prédio do Bloco de Salas, para o qual nenhuma solução foi pensada, foi proposto um *retrofit* englobando a instalação de brise soleil móvel e o aumento da vegetação de médio porte do entorno imediato, evitando insolação direta na fachada envidraçada, dentre outras estratégias.

Palavras Chave: conforto térmico, percepção do usuário, desempenho térmico, *retrofit*.

ABSTRACT

The interior environmental quality of a building is directly linked to a climate conditioning of a venue where the building is in. The comfort conditions and also aesthetics of a certain built environment can influence the way the activities performed by people in it are developed.

Considering educational areas, those relations of the user with the environment have a more important role, once they can directly reflect in the learning process. In this work, the classrooms' thermal environment of the Federal University of Ouro Preto are assessed more specifically in the Minas School, in the Institute of Exact Sciences and Biological and in the Block of Rooms where the perception of the users are investigated. The investigation is realized through questionnaires and alongside measurement of the environment's variables in site during the months of June, July and September, 2011.

The obtained results are statistically treated, using the calculation of the Standard Deviation from the operative and humidity averages, getting the comfort limits for the studying populations. In the studied period in which the temperature range of the outer air was approximately between 16 C and 24 C, it is obtained a percentage of approximately 75% of satisfied people with the thermal environment. In the premises of the Minas School and the Institute of Exact Science and Biological, part of the problems related to the thermal environment was solved with the installation of brises, skin insulfilm in the windows and curtains in the façades with more insolation. In the case of the Block of Rooms, for which no solution was thought, it was proposed a retrofit, encompassing the installation of mobile brisesoleil and the expansion of the medium vegetation of the immediate surroundings, avoiding direct insolation in the glazed façade, among other strategies.

Key word – thermal comfort, user perception, thermal performance, retrofit

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Carta bioclimática de Olgay.....	33
Figura 2.2 - Carta bioclimática de Olgay com medidas corretivas.....	34
Figura 2.3 - Carta bioclimática GIVONI.....	35
Figura 2.4 - Carta bioclimática baseada na carata de GIVONI.....	36
Figura 2.5 - PMV X PPD.....	39
Figura 2.6- Índice de temperatura efetiva (temperaturas em °F).....	40
Figura 3.1- Solstícios e equinócios.....	49
Figura 3.2- Brises em fachadas.....	54
Figura 3.3- Efeito chaminé: tipos de ventilação.....	56
Figura 4.1 - Localização da cidade de Ouro Preto no mapa do Estado de Minas Gerais.	62
Figura 4.2- Zoneamento bioclimático do território brasileiro.....	63
Figura 4.3-Localização dos edifícios estudados no Campus Morro do Cruzeiro da UFOP. Escala 1/10.000.....	65
Figura 4.4- Escola de Minas: (a) entrada principal; (b) fachada norte com proteção solar em brises na ampliação ao fundo.....	66
Figura 4.5- Planta de locação dos blocos da Escola de Minas.....	67
Figura 4.6- Detalhe interno da sala de aula; (a) boa iluminação natural; (b) com película <i>insufilm</i> nas janelas e cortinas, iluminação artificial.....	68
Figura 4.7- (a) Foto ICEB I, II e III; (b) Bloco de salas III do ICEB, quando em fase de construção; (c) ICEB III, foto atual com uso de brises.....	69
Figura 4.8 - Planta de locação do ICEB III.....	69
Figura 4.9 - Foto sala de aula com película protetora nas janelas, cortina e brise externo..	70
Figura 4.10 - Prédio de Medicina da UFOP , fachada oeste.....	71
Figura 4.11 -Sala de aula, iluminação Natural.....	71
Figura 4.12-Planta de locação do Bloco de salas.....	72
Figura 4.13 -Sensor de temperatura e umidade Modelo ALMEMO.....	74
Figura 4.14 - Termômetro de globo negro, ALMEMO.....	75
Figura 4.15 - Termo anemômetro FV A605 TA, ALMEMO.....	76
Figura 4.16 - Equipamentos de medição de temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e umidade do ar interna.....	76
Figura 4.17 - <i>Data Logger</i> ALMEMO 2890-9.....	77
Figura 4.18 - Estação metereológica WS-16-A.....	78
Figura 4.19 - Distribuição da frequência relativa do sexo dos pesquisados por prédio....	81
Figura 4.20 - Distribuição da frequência relativa idade dos pesquisados (EM).....	82
Figura 4.21 - Distribuição da frequência relativa idade dos pesquisados (ICEB III).....	82
Figura 4.22 - Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (Bloco de Salas).....	82
Figura 4.23-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (EM).....	83
Figura 4.24-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (ICEB III).....	83

Figura 4.25-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (Bloco de Salas).....	83
Figura 4.26-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (EM).....	84
Figura 4.27-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (ICEB III).....	84
Figura 4.28-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (Bloco de Salas).....	84
Figura 4.29-Distribuição da frequência relativa à idade dos pesquisados.....	85
Figura 4.30-Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados.....	85
Figura 4.31-Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados.....	85
Figura 5.1- Planta da sala pesquisada do ICEB III	88
Figura 5.2- Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS- Bloco 14 fachada sul..	89
Figura 5.3- Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS-Bloco 11 fachada sul...	89
Figura 5.4- Planta da sala pesquisada da ESCOLA DE MINAS –Bloco 13 fachada norte	89
Figura 5.5-Planta da sala pesquisada do BLOCO DE SALAS-Primeiro pavimento.....	89
Figura 5.6- Planta da sala pesquisada do BOLOCO DE SALAS-segundo pavimento.....	90
Figura 5.7 - Julgamentos subjetivos gerais sobre conforto térmico.....	92
Figura 5.8 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (EM).....	93
Figura 5.9 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (ICEB III).....	93
Figura 5.10 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (Bloco de Salas).....	93
Figura 5.11-Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (EM).....	94
Figura 5.12 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (ICEB III).....	94
Figura 5.13- Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (Bloco de salas).....	95
Figura 5.14 - Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (Escola de Minas).....	95
Figura 5.15 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com o sexo usuários (ICEB III).....	95
Figura 5.16 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (Bloco de Salas).....	96
Figura 5.17 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (EM).....	96
Figura 5.18- Julgamentos sobre conforto térmico de acordo coma vestimenta (ICEB III).....	97
Figura 5.19 - Julgamentos sobre conforto térmico de acordo coma vestimenta (Bloco de Salas).....	97
Figura 5.20 - Sensações percebidas de acordo os julgamentos subjetivos (EM).....	98
Figura 5.21 - Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (ICEB III).....	98
Figura 5.22 - Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (Bloco de salas).....	99
Figura 5.23 – Sensações térmicas subjeticas em relação ao movimento do ar (EM).....	99
Figura 5.24 – Sensações térmicas subjeticas em relação ao movimento do ar (ICEBIII)..	100

Figura 5.25 – Sensações térmicas subjetivas em relação ao movimento do ar (Bloco de salas).....	100
Figura 5.26 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (EM).....	101
Figura 5.27 - Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (ICEB III).....	101
Figura 5.28- Percepção sobre ruídos interno e externo à sala de aula (Bloco de salas)....	102
Figura 5.29 - Percepção da iluminação sala de aula (EM).....	102
Figura 5.30- Percepção da iluminação sala de aula (ICEBIII).....	103
Figura 5.31 - Percepção da iluminação sala de aula (Bloco de salas).....	103
Figura 5.32 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persianas (EM).....	104
Figura 5.33 - Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persiana (ICEB III)	104
Figura 5.34- Incidência Solar e necessidade de controle através de cortinas e persiana (Bloco de Salas)	105
Figura 5.35 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (EM)..	106
Figura 5.36- Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (ICEB III)	106
Figura 5.37 - Aceitabilidade do ambiente neste momento e capacidade de estudo (Bloco de salas)	106
Figura 5.38 - Aceitabilidade do ambiente para estar todos os dias e capacidade de estudo (EM)	107
Figura 5.39 - Aceitabilidade do ambiente para estar todos os dias e capacidade de estudo (ICEB III)	107
Figura 5.40- Aceitabilidade do ambiente para estudar todos os dias e capacidade de estudo (Bloco de salas)	107
Figura 5.41 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura do ar.....	109
Figura 5.42 – Sensação térmica do ambiente com relação à umidade relativa do ar.....	109
Figura 5.43 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura de globo.....	110
Figura 5.44 – Sensação térmica do ambiente com relação à temperatura operativa.....	110
Figura 5.45 – Cruzamento da temperatura do ar com a variável de satisfação com o ambiente.	112
Figura 5.46 – Cruzamento da umidade com a variável de satisfação com o ambiente.....	112
Figura 5.47– Cruzamento da temperatura operativa com a variável de satisfação com o ambiente.....	112
Figura 5.48– Cruzamento da temperatura do ar com a capacidade de estudar no ambiente.....	113
Figura 5.49– Cruzamento da umidade com a capacidade de estudar no ambiente.....	113
Figura 5.50 – Cruzamento da temperatura operativa com a capacidade de estudar no ambiente.....	114
Figura 5.51 – Relação entre as respostas de sensação térmica e a temperatura operativa..	117
Figura 5.52 – Relação entre as respostas de sensação térmica e a umidade relativa.....	117
Figura 5.53 – Classificação dos dados da sensação térmica em função da temperatura operativa.....	118
Figura 5.54 – Classificação dos dados da sensação térmica em função da umidade	

relativa.	118
Figura 5.55 – Zona de conforto em função da temperatura operativa e umidade relativa..	119
Figura 5.56 – Diagrama psicrométrico com os parâmetros de conforto térmico determinados.	120
Figura 5.57-Carta solar com proteção horizontal e vertical da fachada Sul (EM).....	122
Figura 5.58- Carta solar fachada Norte (EM).....	122
Figura 5.59- Brise fixo na fachada oeste da Escola de Minas.....	123
Figura 5.60- Carta solar fachada Oeste (ICEB III).....	123
Figura 5.61- brise soleil horizontal fachada oeste ICEB III.....	124
Figura 5.62- Carta solar fachada Leste (ICEB III).....	124
Figura 5.63- Carta solar fachada Oeste (Bloco de Salas).....	125
Figura 5.64- Proposta de Retrofit para fachada oeste Bloco de Salas.....	125
Figura 5.65- Carta solar fachada Leste (Bloco de Salas).....	126
Figura 5.66- Proposta de Retrofit para fachada leste do bloco de salas.....	126
Figura 6.1 Imagem do novo prédio bloco de salas com vegetação, brise soleil e placas fotovoltaicas.....	129
Figura 6.2- Imagem da nova planta de cobertura, com telhado verde e placas fotovoltaicas.....	129
Figura C1- exemplo de carta solar.....	141
Figura D1- Detalhamento das camadas do telhado verde plano.....	144
Figura D2- Detalhamento das camadas e exemplos do telhado verde plano.....	144
Figura D3- Exemplos de telhado verde planos e curvos.....	145
Figura D4- Placas fotovoltaicas.....	147
Figura D5- Detalhamento das camadas do telhado verde inclinado com captação de água.....	148
Figura D6- Detalhamento do sistema de captação e reaproveitamento de água.....	149
Figura D7 - piso de bambu-fonte site eco casa.....	149
Figura D8-madeira plástica- fonte site eco casa.....	150
Figura D9- Cidade Songdo, Coréia do Sul.....	150
Figura D10- Cidade Songdo, Coréia do Sul.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Escala de sensação térmica.....	37
Tabela 4.1 – Diretrizes e estratégias de condicionamento passivo para a zona.....	63
Tabela 4.2 – Posições de medições para variáveis físicas de um ambiente.....	77
Tabela 4.3– Detalhamento do número de salas e questionários aplicados na pesquisa de campo.....	81
Tabela 5.1 – Características das salas avaliadas.....	88
Tabela 5.2 – Variáveis ambientais.....	91
Tabela 5.3 – Frequência absoluta da resposta para o grau de satisfação segundo a variação da temperatura operativa.....	108
Tabela 5.4 - Escala de sensação térmica.....	116
Tabela 5.5-Faixas de temperatura operativa e de umidade relativa.....	119
B.1 . Temperaturas do ar externo.....	139

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Considerações iniciais	14
1.2. Projeto versus desempenho energético	15
1.3. Objetivos	17
1.3.1. <u>Objetivo Geral</u>	17
1.3.2. <u>Objetivo Específico</u>	17
1.4. Justificativa	18
1.5. Motivação	19
1.6. Ambiente escolar	20
1.7. Estrutura do trabalho	22
2. CONFORTO AMBIENTAL	24
2.2. Conforto térmico	26
2.3. Variáveis do Conforto térmico	30
2.4. Índices de conforto térmico	31
2.4.1. <u>Carta Bioclimática de Olgyay</u>	33
2.4.2. <u>Diagrama bioclimático de givoni</u>	35
2.4.3. <u>Método de Fanger</u>	36
2.4.4. <u>Temperatura Efetiva</u>	39
3 - DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES	42
3.1. Eficiência Energética X sustentabilidade na construção	42
3.2. Construção Sustentável	44
3.3. Estratégias para construção eficiente	47
3.3.1. <u>Iluminação Natural</u>	47
3.3.2. <u>Radiação Solar</u>	49
3.3.3. <u>Ventilação Natural</u>	55
3.3.4. <u>Envoltória externa</u>	56
3.4 Retrofit	58
4. METODOLOGIA ADOTADA	60
4.1. Método	60
4.2. Caracterização do objeto de estudo	62
4.2.1 <u>A cidade de Ouro Preto-MG</u>	62
4.2.2. <u>Edificações estudadas</u>	64
4.2.2.1. <u>Escola de Minas</u>	66
4.2.2.2. <u>ICEB III</u>	68
4.2.2.3. <u>Bloco de salas Medicina</u>	70
4.3. Coleta de dados	72
4.3.1. <u>Parâmetros físico-ambientais medidos diretamente</u>	73
4.3.1.1 <u>Temperatura do ar</u>	73
4.3.1.2 <u>Umidade relativa do ar</u>	74
4.3.1.3 <u>Temperatura de globo</u>	75
4.3.1.4 <u>Velocidade do ar</u>	75
4.3.1.5 <u>Dados externos</u>	78
4.3.2. <u>Parâmetros físico-ambientais calculados</u>	79

4.4 Definição e caracterização da amostra.....	80
5. RESULTADOS.....	87
5.1. Análise das salas avaliadas.....	87
5.2. Análise das variáveis ambientais.....	90
5.3. Correlação entre as variáveis psico-fisiológicas.....	92
5.4. Cruzamento das variáveis ambientais e as psico-fisiológicas.....	108
5.4.1 <u>Satisfação com o ambiente.....</u>	111
5.4.2. <u>Capacidade de adaptação ao ambiente.....</u>	113
5.5. Definição dos limites de conforto térmico.....	114
5.6. Análise da necessidade de sombreamento.....	121
5.6.1. <u>Cartas solares- Escola de Minas (EM).....</u>	122
5.6.2. <u>Cartas solares- ICEB III.....</u>	123
5.6.3. <u>Cartas solares - Bloco de Salas.....</u>	125
6. CONCLUSÕES.....	127
6.1 Considerações finais.....	130
6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS.....	136
ANEXO A- Questionários.....	136
A.1 . Formulário – Usuário.....	136
A.2 . Formulário – Pesquisador.....	138
ANEXO B - Aspectos Climatológicos de Ouro Preto – MG.....	139
ANEXO C - Cartas Solares.....	140
ANEXO D - Telhado verde e energias renováveis.....	143
ANEXO E - Relatório cartas solares.....	152
Relatório E1: Escola de Minas Fachada Sul.....	152
Relatório E2: Escola de minas Fachada Norte.....	153
Relatório E3: ICEB III Fachada Leste.....	154
Relatório E4: ICEB III Fachada Oeste.....	155
Relatório E5: bloco de salas Fachada leste.....	156
Relatório E6: bloco de salas Fachada Oeste.....	157