



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Programa de Engenharia Urbana

ANTONIO PERROTTA NETO

CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS: ESTUDO DE CASO DO PRÉDIO CENTRAL E LABORATÓRIOS DA AMPLIAÇÃO DO CENTRO DE PESQUISAS LEOPOLDO AMÉRICO MIGUEZ DE MELLO – CENPES/PETROBRAS

Rio de Janeiro
2011



UFRJ

ANTONIO PERROTTA NETO

CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS: ESTUDO DE CASO DO PRÉDIO CENTRAL E LABORATÓRIOS DA AMPLIAÇÃO DO CENTRO DE PESQUISAS LEOPOLDO AMÉRICO MIGUEZ DE MELLO – CENPES/PETROBRAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: ELAINE GARRIDO VAZQUEZ

Rio de Janeiro
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

PERROTTA, Antonio N.

Conforto Térmico em Edificações Sustentáveis: Estudo de Caso do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES/Petrobras / Antonio Perrotta Neto. - 2011
f.:156; 30cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2011.

Orientadora: Elaine Garrido Vazquez

1.Conforto Térmico. 2. Edificações Sustentáveis. 3. Ampliação do CENPES. 4. Estudo de Caso. I. Vazquez, Elaine Garrido. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Título.

FOLHA DE ASSINATURA



UFRJ

CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS: ESTUDO DE CASO DO PRÉDIO CENTRAL E LABORATÓRIOS DA AMPLIAÇÃO DO CENTRO DE PESQUISAS LEOPOLDO AMÉRICO MIGUEZ DE MELLO – CENPES/PETROBRAS

ANTONIO PERROTTA NETO

ELAINE GARRIDO VAZQUEZ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof. ELAINE GARRIDO VAZQUEZ, D.Sc., UFRJ

Prof. FERNANDO RODRIGUES LIMA, D.Sc., UFRJ

Prof. ANGELA MARIA GABRIELLA ROSSI, D.Sc., UFRJ

Prof. SYLVIA MEMIMARIDOU ROLA, D.Sc

RESUMO

PERROTTA, Antonio N. Conforto Térmico em Edificações Sustentáveis: Estudo de Caso do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES/Petrobras. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

O estudo desenvolvido nesta dissertação teve como foco a simulação dos ambientes compostos pelos Laboratórios e Prédio Central localizados no empreendimento da Ampliação do Cenpes, onde foram verificados os resultados encontrados para o conforto térmico dos ambientes. Foram utilizados os *softwares* Analysis CST e Bio para as simulações e os resultados obtidos foram interpretados levando-se em consideração algumas características como vestimenta, atividades desenvolvidas pelos usuários, características construtivas dos ambientes e dados climáticos obtidos através de medições realizadas durante a etapa de elaboração do projeto para o empreendimento. Após a comparação entre os resultados encontrados durante a simulação dos ambientes pelos *softwares* Analysis CST e Bio e os resultados obtidos durante a elaboração do projeto para as edificações, foi elaborada a conclusão onde verificou-se a eficácia na adoção de premissas de sustentabilidade durante a etapa de projetos para este empreendimento e a importância na implementação destes estudos como prática comum no desenvolvimento dos projetos de arquitetura e engenharia.

Palavras – chave: Sustentabilidade. Conforto Térmico. Cenpes (Brasil).

ABSTRACT

PERROTTA, Antonio N. Conforto Térmico em Edificações Sustentáveis: Estudo de Caso do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES/Petrobras. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

The study in this dissertation is focused on the simulation environments composed of laboratories and central building located on the expansion of Cenpes enterprise, where the results were verified for the thermal comfort of the environments. We used the software CST and Bio Analysis for the simulations and the results were interpreted taking into account some characteristics such as clothing, activities conducted by users, constructive characteristics of the environments and climatic data obtained from measurements taken during the stage of preparing the project of building. After comparing the results obtained during the simulation environments by software Analysis CST and Bio and the results obtained during the preparation of design for buildings, the conclusion was drawn where it was found effective in adopting sustainability premises during the stage project for this venture and the importance in implementing these studies as a common practice in the development of architectural and engineering.

Keywords: Sustainability. Comfort Termal. Cenpes (Brazil).

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra a minha mãe Linda e minha esposa Patrícia. Dois seres humanos fantásticos que contribuíram sobremaneira para este momento.

A primeira dedicando sua juventude e energia na formação de seus filhos para um futuro digno e honrado, contribuindo para as transformações, dentro de suas limitações, que um País da grandiosidade do Brasil requer.

A Segunda motivando incansavelmente em todos os momentos, principalmente nas derrotas, compreendendo as ausências constantes, dividindo tempo entre trabalho, estudo, lar e o nosso tempo que por fim seria resultado da subtração dos anteriores. Mas o principal aprendizado obtido desta fase com esta grande companheira é o de amar a si próprio, dedicar-se ao seu sonho, superar limites, limites estes que jamais poderão ser estáticos mas sim mutáveis a cada conquista. Este é o alimento de um sonhador.

E que venha o próximo desafio.

AGRADECIMENTOS

Acredito que esta conquista teve início ainda quando jovem. Descendente de família italiana, com vínculos familiares fortes, embora muitas vezes contraditórios, contribuíram para uma sólida formação humana.

As constantes orientações passadas pelos meus pais, Gilberto e Linda Perrotta, seja em uma conversa ou em um fato real de vida onde os exemplos foram muitos e talvez tenham contribuído muito mais do que todas as palavras. A convivência com meu irmão Bruno Perrotta teve importância fundamental no aprendizado em saber dividir.

Em um País como o nosso onde a instabilidade é uma constante, as dificuldades enfrentadas não foram poucas.

Quando adolescente, ainda sem saber o que eram metas a única certeza era o estudo. Mas o grande divisor de águas na minha vida foi o ingresso no vestibular da UERJ para Engenharia. Foi o descobrimento de um novo mundo, um mundo que apenas as universidades públicas podem oferecer. Um mundo de desafios constantes, lutas, dificuldades, derrotas, vitórias e alegrias. Foi onde compreendi a dimensão e a responsabilidade de ser um engenheiro e quando aceitei o desafio de que não é para todos esta escolha, apenas para os que aceitam o desafio. Até hoje talvez esta tenha sido uma das grandes realizações da minha vida. Vale destacar o espírito de lealdade e amizade sem compromisso ou troca, apenas amizade, demonstrada pelo grande amigo Wagner Nogueira, que com espírito puro foi o interlocutor de importante informação neste meu período acadêmico.

Após a formatura, o desafio enfrentado seria o mercado de trabalho. Sabia que não seria fácil, mas por um acaso destes desprovidos de explicação, eis que um ser humano fantástico cruza a minha trajetória, ainda como estagiário, sendo o meu primeiro chefe e hoje amigo, o engenheiro Gerson Nakano, o qual considero meu pai na vida profissional.

No momento em que ele me ofereceu a primeira oportunidade como profissional, esta veio acompanhada com um conselho que guardo até hoje e lembro nos momentos mais duros:

“Esta será a sua primeira oportunidade, dentro de pouco tempo será pequena para você. Não pare nunca, corra ao encontro de seus sonhos.”

Quis o destino que durante este turbilhão de transformações pelo qual eu estava vivendo, uma pessoa que transformaria minha vida pessoal passa a fazer parte de meu ciclo profissional. Talvez somente o destino soubesse que ela seria minha esposa. A Patrícia Freire Iorio não só consolidou minhas emoções no início da minha vida profissional como contribuiu para nortear meus objetivos e ambições.

Daí em diante tantos desafios foram enfrentados e vencidos, entre eles os convites para mudanças profissionais, pós-graduação, casamento e agora o mestrado. Mestrado este tão desejado e fruto de muito sacrifício.

Durante este período uma pessoa fundamental para a conclusão com êxito deste processo foi a professora Elaine Garrido Vazquez que em momento algum hesitou em encarar este desafio, atuando sempre de forma atenciosa e simpática, orientando sem se fazer perceber, dando o toque que faltava nas lacunas existentes.

Seria inviável agradecer a todos os amigos e pessoas que contribuíram nesta trajetória, portanto deixo aqui meus agradecimentos a todos os não citados.

Por fim um agradecimento especial a Deus, personificação de força maior que nos guia, cuja denominação se altera de acordo com a crença, mas que por mim é conhecido apenas como Deus. Obrigado.

EPÍGRAFE

*“Sonhar mais um sonho impossível
Lutar quando é fácil ceder
Vencer o inimigo invencível
Negar quando a regra é vender
Sofrer a tortura implacável
Romper a incabível prisão
Voar num limite improvável
Tocar o inacessível chão
É minha lei
É minha questão
Virar este mundo
Cravar este chão
Não me importa saber
Se é terrível demais
Quantas guerras terei de vencer
Por um pouco de paz
E se amanhã
Esse chão que eu beijei
For meu leito e perdão
Vou saber que valeu
Delirar e morrer de paixão
E assim
Seja lá como for
Vai ter fim a infinita aflição
E o mundo vai ver uma flor
Brotar do impossível chão.”*

(O Homem de La Mancha)

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 01: Foto da Maquete física - Ampliação do Cenpes	10
Fotografia 02: Foto da Maquete eletrônica - cobertura do Prédio Central	11
Fotografia 03: Foto aérea do Empreendimento (Ampliação do Cenpes)	12
Fotografia 04- Sistema de Resfriamento Artificial (VBG Ar Condicionado)	49
Fotografia 05: Aquecimento Artificial com Lareira (Arquitetura & Construção)	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Planta de situação da Ampliação do Cenpes,	07
Figura 02: Projeção da Maquete Eletrônica e foto da obra	09
Figura 03: Trocas Higrotérmicas entre o Homem e o Ambiente (Krause, 2005)	18
Figura 04: O Metabolismo depende exclusivamente do tipo de atividade (Bedia, 2005)	20
Figura 05: Eficiência mecânica em relação a algumas atividades (Bedia, 2005)	21
Figura 06: Trocas por convecção (Bedia, 2005)	22
Figura 07: Termômetro de globo negro usado para medir a TRM. (Google)	25
Figura 08: Princípios do Estudo de Ventilação (Elaine, 2009)	29
Figura 09: Trajetória Solar (Elaine, 2009)	30
Figura 10: Diagrama Bioclimático de Giovani (Elaine, 2009)	32
Figura 11: Fatores que contribuem para a formação das ilhas de calor (O Globo, 2005)	34
Figura 12: Psicrômetro-atenção para o termômetro de bulbo úmido (Grzybowski, 2004)	36
Figura 13: Anemômetro de hélice para medição da velocidade do vento (Lamberts, 2005)	37
Figura 14: Relação Temperatura Ambiente, vestimenta e velocidade relativa do ar, cálculo de PMV (Bedia, 2005)	41
Figura 15: Ábaco para determinar a variação do voto médio estimado (PMV) com a variação de temperatura radiante média (TRM) em função da vestimenta e vel. do vento (Bedia, 2005)	41
Figura 16: Ábaco para determinar variação do Voto médio estimado (PMV) com a variação da umidade relativa em função da vestimenta e velocidade do vento (Bedia, 2005)	41
Figura 17: Voto médio estimado x Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (Bedia, 2005)	42
Figura 18: Carta Bioclimática de Olgay – Givoni – leitura de bulbo seco em vermelho, leitura de bulbo úmido em azul, determina o ponto em preto; a umidade absoluta em laranja correspondente e umidade relativa em verde correspondente (Lamberts, 2005)	44
Figura 19: Zona de Conforto (Lamberts, 2005)	45
Figura 20: Zona de ventilação (Lamberts, 2005)	46
Figura 21: Exemplos de ventilação cruzada em edificações da esquerda para a direita: em planta; pela cobertura; em elevação. (Lamberts, 2005)	46
Figura 22: Zona de resfriamento evaporativo (Lamberts, 2005)	47
Figura 23: Exemplos de resfriamento evaporativo, da esquerda para a direita: resfriamento indireto através da cobertura; resfriamento direto com microaspersão de água no ar (Lamberts, 2005)	47
Figura 24: Zona de Inércia térmica para resfriamento (Lamberts, 2005)	48
Figura 25: Exemplos de resfriamento por inércia térmica, da esquerda para a direita: o uso do solo como material de inércia térmica; o uso da parede como material inerte térmico (Lamberts, 2005)	48
Figura 26 - Resfriamento Artificial (Lamberts, 2005)	49
Figura 27: Zona de Umidificação (Lamberts, 2005)	50

Figura 28: Palácio Alvorada em Brasília - O espelho d'água além de ser uma solução estética muito bonita tem a função principal de Umidificar a edificação, por Brasília ser uma cidade de clima muito seco. (Planalto, 2009)	50
Figura 29: Zona de Inércia Térmica e Aquecimento Solar (Lamberts, 2005)	51
Figura 30: Exemplos de aquecimento por uso de materiais de inércia térmica, da esquerda para a direita: Uso da energia solar e inércia térmica no forro para aquecimento; Inércia térmica nas paredes externas com um pano de vidro (parede Trombe) recebendo a radiação solar e aquecendo os ambientes. (Lamberts, 2005)	51
Figura 31: Exemplos de aquecimento por uso de materiais de inércia térmica, da esquerda para a direita: Inércia térmica em paredes internas; Inércia térmica associada a varandas fechadas com vidro (Lamberts, 2005)	51
Figura 32: Zona de aquecimento solar passivo (Lamberts, 2005)	52
Figura 33: Exemplos de aquecimento solar passivo: (a)Uso pleno da radiação solar para aquecimento; (b)Orientação norte permite o controle da radiação solar. (Lamberts, 2005)	52
Figura 34: Zona de aquecimento artificial. (Lamberts, 2005)	53
Figura 35: Localização da base de observação e Ampliação do Cenpes (Fupam, 2004).	56
Figura 36: Direção dos ventos (Fupam, 2004)	57
Figura 37: Temperatura do ar ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	60
Figura 38: Umidade ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	60
Figura 39: Umidade absoluta ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	60
Figura 40: Radiação Global ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	61
Figura 41: Radiação Direta ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	61
Figura 42: Radiação Difusa ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	61
Figura 43: Velocidade do vento ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	62
Figura 44: Direção do vento ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)	62
Figura 45: Rosa dos ventos para o ano de referência. (FUPAM, 2004)	62
Figura 46: Temperatura do ar ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	63
Figura 47: Umidade relativa ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	63
Figura 48: Umidade absoluta ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	63
Figura 49: Radiação Global ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	64
Figura 50: Radiação Direta ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	64
Figura 51: Radiação Difusa ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	64
Figura 52: Velocidade do vento ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	65
Figura 53: Direção do vento ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	65
Figura 54: Temperatura do ar em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	65
Figura 55: Umidade relativa em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	66
Figura 56: Umidade absoluta em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	66
Figura 57: Radiação Global em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	66

Figura 58: Radiação Direta em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	67
Figura 59: Radiação Difusa em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	67
Figura 60: Velocidade do vento em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	67
Figura 61: Direção do vento em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)	68
Figura 62: Variação de t_c ao longo do ano	73
Figura 63: Localização dos Laboratórios na implantação do conjunto	75
Figura 64: Modelagem dos Laboratórios	76
Figura 65: Localização do Prédio Central na implantação do conjunto	76
Figura 66: Modelagem do Prédio Central	77
Figura 67: Entrada das variáveis ambientais (Elaine, 2009)	86
Figura 68: Resultado gráfico de PMV e PPD (Elaine, 2009)	86
Figura 69: Exemplo dos resultados (Elaine, 2009)	86
Figura 70: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação – Verão	89
Figura 71: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Verão	90
Figura 72: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Verão	90
Figura 73: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analsys CST-Verão	91
Figura 74: Animação resultante da simulação no Analsys CST - resultados principais – Verão	91
Figura 75: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação – Outono	94
Figura 76: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Outono	94
Figura 77: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Outono	95
Figura 78: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analsys CST – Outono	95
Figura 79: Animação resultante da simulação no Analsys CST - resultados principais – Outono	96
Figura 80: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação – Inverno	99
Figura 81: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Inverno	99
Figura 82: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Inverno	100
Figura 83: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analsys CST – Inverno	100
Figura 84: Animação resultante da simulação no Analsys CST - resultados principais – Inverno	101
Figura 85: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação – Primavera	103
Figura 86: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Primavera	104
Figura 87: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Primavera	104
Figura 88: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analsys CST – Primavera	105
Figura 89: Animação resultante da simulação no Analsys CST - resultados principais – Primavera	105
Figura 90: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação –Artificial	108
Figura 91: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Artificial	109
Figura 92: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Artificial	109
Figura 93: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analsys CST – Artificial	110
Figura 94: Animação resultante da simulação no Analsys CST - resultados principais – Artificial	110
Figura 95: Carta bioclimática Florianópolis (Elaine, 2009)	114

Figura 96: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Verão	116
Figura 97: Histograma – Rio de Janeiro – Verão	116
Figura 98: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Outono	119
Figura 99: Histograma – Rio de Janeiro – Outono	119
Figura 100: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Inverno	122
Figura 101: Histograma – Rio de Janeiro – Inverno	122
Figura 102: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Primavera	125
Figura 103: Histograma – Rio de Janeiro – Primavera	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (1994)	20
Tabela 02: Índice de resistência térmica para vestimentas segundo ISO 7730 (1994)	23
Tabela 03: Coef. de transferência de calor em relação a velocidade do vento (m/s) (Bedia, 2005)	24
Tabela 04: Fator de Isolamento térmico da vestimenta e o respectivo índice de isolamento térmico da roupa, por tipo de roupa (Bedia, 2005)	24
Tabela 05: Estações Meteorológicas Existentes	57
Tabela 06: Condições adotadas no projeto	69
Tabela 07: Valores de temperatura operativa e umidade relativa equivalentes a algumas temperaturas efetivas	71
Tabela 08: Configurações conforto térmico ($PPD \leq 10\%$) para $M=70 \text{ W/m}^2$, $I_{clo}= 0,5 \text{ clo}$, $t_o= tbs$	72
Tabela 09: Parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar para o ambiente condicionado artificialmente	73
Tabela 10: Alternativas analisadas para o ambiente condicionado naturalmente	74
Tabela 11: Dados de entrada para simul. do conforto térmico–Condicionamento Natural	88
Tabela 12: Relatório com os resultados obtidos após simul. com o Analsys CST–Verão	92
Tabela 13: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys CST–Outono	97
Tabela 14: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys CST–Inverno	102
Tabela 15: Relatório com os resultados obtidos após a simul.com o Analsys CST–Primavera.	106
Tabela 16: Dados de entrada para simulação do conforto térmico – Artificial	107
Tabela 17: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys CST–Artificial	111
Tabela 18: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys Bio – Verão	117
Tabela 19: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys Bio – Outono	120
Tabela 20: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys Bio – Inverno	123
Tabela 21: Relatório com os resultados obtidos após a simul. com o Analsys Bio – Primavera	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 : Escala de Beaufort (Elaine,2009)	06
Quadro 02 : Escala de Beaufort (Elaine,2009)	29
Quadro 03: Fatores que intervém na temperatura do ar (Lamberts, 2000)	35
Quadro 04: Métodos de avaliação - conforto térmico e suas variáveis (Grzybowski, 2004)	37
Quadro 05: Escala de percepção térmica de Fanger (Xavier, 1999)	39
Quadro 06: Identificação dos Zoneamentos existentes na Carta Bioclimática	45
Quadro 07: Quadro de componentes de piso utilizados	78
Quadro 08: Quadro de componentes dos fechamentos verticais utilizados	79
Quadro 09: Quadro de componentes de fechamentos horizontais utilizados	81
Quadro 10: Quadro de componentes de esquadrias e vidros utilizados	82

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO	01
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	01
1.2 OBJETIVO	05
1.3 JUSTIFICATIVA	07
1.4 METODOLOGIA	09
1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	13
CAPÍTULO 02: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – CONFORTO TÉRMICO	16
2.1 BEM ESTAR GLOBAL	17
2.2 CONFORTO TÉRMICO	17
2.3 ENERGIA	18
2.4 METABOLISMO	18
2.5 TRABALHO	20
2.6 TROCAS TÉRMICAS ENTRE CORPO E AMBIENTE	21
2.6.1 Trocas Secas	21
2.6.1.1 Condução	21
2.6.1.2 Convecção	21
2.6.1.3 Radiação	25
2.6.2 Trocas Úmidas	26
2.6.2.1 Evaporação	26
2.6.2.2 Respiração	26
2.7 Adaptação do Corpo Humano ao Ambiente	26
2.8 ELEMENTOS DO CONFORTO	28
2.8.1 Ventilação Natural	28
2.8.2 Iluminação Natural	30
2.9 AS INTERVENÇÕES HUMANAS E O MICROCLIMA	30
2.10 CLIMA URBANO	32
2.10.1 Temperatura do Ar	35
2.10.2 Umidade Relativa do Ar	35
2.10.3 Velocidade do Vento	36
2.11 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	37
2.11.1 Método de Fanger	38
2.11.2 Método de Olgay – Givoni	42
2.12 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS	44
2.12.1 Zona de Conforto	45
2.12.2 Zona de Ventilação	45

2.12.3 Zona de Resfriamento Evaporativo	46
2.12.4 Zona de Inércia Térmica para Resfriamento	47
2.12.5 Zona de Resfriamento Artificial	48
2.12.6 Zona de Umidificação	49
2.12.7 Zona de Inércia Térmica e Aquecimento Solar	50
2.12.8 Zona de Aquecimento Solar Passivo	52
2.12.9 Zona de Aquecimento Artificial	53
2.13 CONSIDERAÇÕES	54

CAPÍTULO 03: LEVANTAMENTO DOS FATORES CLIMÁTICOS EXISTENTES E APRESENTAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONFORTO AMBIENTAL ADOTADOS NOS PROJETOS DO PRÉDIO CENTRAL E LABORATÓRIOS

3.1 METODOLOGIA DE TRABALHO	55
3.1.1 Estabelecimento de critérios para a escolha da base de dados	55
3.1.2 Verificação das bases disponíveis	55
3.1.3 Cálculo da velocidade média	56
3.1.4 Identificação do mês mais quente	56
3.1.5 Obtenção do dia de referência	56
3.1.6 Características do Objeto em Estudo	57
3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
3.3 CONCLUSÕES	59
3.4 METODOLOGIA DE TRABALHO PARA APRESENTAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONFORTO AMBIENTAL	68
3.4.1 Determinação dos parâmetros de conforto durante os períodos de condicionamento artificial do edifício	68
3.4.2 Determinação dos parâmetros de conforto durante os períodos de condicionamento natural do edifício	69
3.5 CÁLCULO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO	72
3.6 ALTERNATIVAS ANALISADAS	73
3.7 CONCLUSÕES	74
3.7.1 Quanto aos períodos de condicionamento artificial	74
3.7.2 Quanto aos períodos de condicionamento natural	74

CAPÍTULO 04: CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DOS LABORATÓRIOS E PRÉDIO CENTRAL – MATERIAIS UTILIZADOS E CONDIÇÕES GERAIS DE USO

4.1 CARACTERÍSTICAS DO OBJETO EM ESTUDO	68
4.1.1 Laboratórios	68
4.1.2 Prédio Central	69

4.2 CONCLUSÕES DOS ESTUDOS REALIZADOS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO	75
CAPÍTULO 05: ANÁLISE DOS AMBIENTES PROJETADOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS CST	85
5.1 DESCRIÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	85
5.2 METODOLOGIA DE TRABALHO DESENVOLVIDA PARA SIMULAÇÃO DOS AMBIENTES COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS CST	87
5.3 Analysis CST	87
5.3.1 Condicionamento Natural	87
5.3.2 Estação do Ano: Verão	89
5.3.2.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Verão	92
5.3.3 Estação do Ano: Outono	93
5.3.3.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Outono	97
5.3.4 Estação do Ano: Inverno	98
5.3.4.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Inverno	102
5.3.5 Estação do Ano: Primavera	103
5.3.5.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Primavera	106
5.3.6 Condicionamento Artificial	107
5.3.6.1 Condicionamento Artificial - Conclusão Simulação	111
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS APÓS SIMULAÇÃO COM O ANALYSIS CST	112
CAPÍTULO 06: ANÁLISE DOS AMBIENTES PROJETADOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS BIO	114
6.1 DESCRIÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	114
6.2 METODOLOGIA DE TRABALHO DESENVOLVIDA PARA SIMULAÇÃO DOS AMBIENTES COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS BIO	115
6.2.1 Estação do Ano: Verão	115
6.2.1.1 Conclusão Simulação Verão	118
6.2.2 Estação do Ano: Outono	118
6.2.2.1 Conclusão Simulação Outono	121
6.2.3 Estação do Ano: Inverno	121
6.2.3.1 Conclusão Simulação Inverno	124
6.2.4 Estação do Ano: Primavera	124
6.2.4.1 Conclusão Simulação Primavera	127
CAPÍTULO 07: CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Ao longo da história, a arquitetura popular gerou diversos sistemas para assegurar a proteção climática e o conforto ambiental: A relação interior – exterior, através de janelas, pórticos, varandas e pátios. A organização do espaço interno em torno da chaminé central. O uso da convecção natural através de paredes duplas que canalizam o ar quente. Construções enterradas tomando partido da massa térmica da terra e da água para aquecer ou resfriar, segundo o clima. (ZUNINO, 1991)

Desde os tempos mais antigos, se estabelece uma universalidade de certos elementos de arquitetura através da história das “civilizações solares“. O pórtico e a coluna se tornaram durante muito tempo, símbolos comuns a toda arquitetura, enquanto o pátio interno, criando luz e sombra, se torna o coração das habitações em uma vasta região geográfica. (ZUNINO, 1991)

A Época gótica e da renascença na Europa marcaram o início de uma arquitetura envidraçada, aberta para a luz e o sol. Em contrapartida, seus castelos com suas enormes chaminés se multiplicam consumindo florestas inteiras. Mais tarde, dá-se a revolução industrial. O homem passa a utilizar em larga escala o carvão mineral, o ferro, o gás, o petróleo e o aço. (ZUNINO, 1991)

Surge o progresso, a poluição. Os ciclos naturais são rompidos. Em seguida, o sol aparece com uma linguagem racionalista e científica para colocar ordem e clarear o caos da civilização maquinista e mercantil. Depois de muito tempo, os médicos fizeram relações entre a falta de sol nas moradias, as condições de higiene e a tuberculose, conduzindo como medidas de saúde pública, o arrasamento de bairros inteiros em nome do direito ao sol. (ZUNINO, 1991)

Da climatização natural (massa térmica, orientação de acordo com o sol, espaços tampões, chaminés de ventilação, utilização da convecção natural, *brise – soleil*, criação de microclimas e etc.), se fazem necessárias longas reflexões sobre as condições climáticas, econômicas, culturais e locais, completadas com as experiências adquiridas no passado. Um conjunto de sistemas ativos e passivos, de

elementos estáticos ou dinâmicos se modificando segundo as horas e as estações do ano. Uma arquitetura que não é um estereótipo, que não constrói contra a natureza, mas com a natureza. É a arquitetura bioclimática. (ZUNINO, 1991)

A crise do petróleo em 1973 trouxe à tona o problema energético. As energias fósseis formadas há 400 milhões de anos, estão sendo rapidamente consumidas. Por definição, toda arquitetura, toda edificação, implica em consumo energético importante: Extração e fabricação dos materiais, energia humana, animal, de máquinas (transportes, fornos, explosivos, guindastes). Em um contexto econômico mundial de alta do custo energético, aos poucos retornamos a um saber perdido, uma “nova” consciência toma forma. (ZUNINO, 1991)

No Brasil, a crise energética na década de 80 também é tema de constante discussão. Para se ter uma idéia, lembramos que o parque de geração de energia instalado no país é de aproximadamente 45 milhões de kW e o crescimento atual da demanda é cerca de 1,2% ao ano. Isto exigiria uma nova usina geradora por ano, comparativamente precisaríamos construir uma nova Tucuruí a cada dois anos, com os danos ecológicos embutidos em seu custo. (ZUNINO, 1991)

Precisamos também desta “nova arquitetura”, ou seja, a arquitetura bioclimática. O ato de construir passa também por redescobrir novos princípios. No universo colonial, a orientação dos prédios, a utilização da ventilação transversal e varandas profundas, trazem um conforto relativo mesmo em climas muito quentes. (ZUNINO, 1991)

No século XX, a iluminação elétrica multiplica as possibilidades de distribuição dos edifícios e seus espaços internos. Aparecem os locais sem iluminação natural, a arquitetura subterrânea. Entramos na era da climatização. O elevador torna possível a habitação da torre e multiplicam-se os custos energéticos da edificação e da climatização. Tende-se progressivamente à hermeticidade total dos prédios. A relação homem-meio ambiente é descaracterizada. (ZUNINO, 1991)

As cidades continuam a crescer. Para os técnicos da “arquitetura moderna”, o sol, o espaço e o verde, se tornam principais materiais do urbanismo. A aplicação dos

dados ideais de insolação leva a prédios em forma de barras ou lâminas, com fachadas orientadas para o nascer e o pôr do sol (eixo heliotérmico). Quinas, pátios e ruas tortuosas são abolidas. Os espaços se tornam mais amplos, as idéias circulam rapidamente, a arquitetura se torna internacional. O “estilo internacional” inicialmente, se quis climático e solar. Pórticos em concreto projetando sombra, brise-soleil controlando a luz, integração interior-exterior. Porém, a industrialização banalizada, as fachadas de vidro ou espelho, passam a representar a expressão da arquitetura. (ZUNINO, 1991).

No final da década de 80 e início da década de 90, as questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura e do urbanismo internacional de forma incisiva, trazendo novos paradigmas, com destaque para o contexto europeu. O tema chegou com maior ênfase pela vertente ambiental, como decorrência das discussões internacionais na década de 70. As atenções estavam voltadas tanto para as conseqüências de uma crise energética de dimensões mundiais, bem como para o impacto ambiental gerado pelo consumo da energia de base fóssil, somados às previsões e alertas a respeito do crescimento da população mundial e o inevitável crescimento das cidades e de suas demandas por todos os tipos de recursos. (Gonçalves, J. C. S.; Duarte, D. H. S., 2006)

A ONU organizou, em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Eco-92, realizada no Rio de Janeiro, Brasil.

Nesta ocasião, foram elaborados importantes documentos: a Declaração do Rio, com 27 princípios que nortearam a interação das pessoas com o planeta; e a Agenda 21 Global, que se desdobrou em nacionais, regionais e locais e trouxe os princípios básicos para alcançar a sustentabilidade do planeta em meados do século XXI.

Tendo como principal objetivo a alteração do padrão de desenvolvimento a ser praticado pela humanidade no século XXI, a Agenda 21 foi um documento que identificou a importância de cada país participante no comprometimento a refletir, global e localmente, sobre a forma pela qual os governos, empresas, organizações não-governamentais e todos os setores da sociedade poderiam cooperar

desenvolvendo soluções para os problemas sócio-ambientais. Com a finalidade de proporcionar um efeito mais prático, este documento contribuiu com um roteiro detalhado de ações concretas a serem adotadas, iniciando o processo de transição em direção ao desenvolvimento sustentável. Cada país desenvolveu a sua Agenda 21 que contemplou, no setor da construção civil, por exemplo, medidas visando a redução de impactos através de alterações na forma como os edifícios devem ser projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo.

O Protocolo de Quioto foi um tratado internacional, negociado pela Comissão das Nações Unidas visando as Mudanças Climáticas. Originado em Quioto, Japão em 1997, entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, depois que a Rússia o ratificou em Novembro de 2004. Contou com representantes de 159 nações e estabeleceu para os países signatários, metas de redução das emissões de gases considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas existentes até o momento, como causa do aquecimento global.

O objetivo deste Protocolo é buscar uma meta, entre 2008 e 2012, de se reduzir, pelo menos, 5,2% das emissões de gases de efeito estufa em relação aos percentuais registrados em 1990. Os edifícios novos devem reduzir 40% às emissões de CO₂ e os já existentes devem reduzir 15% destas emissões. Isto corresponde a reduzir nos próximos 10 anos, 50% das emissões de CO₂, em pelo menos 30% dos edifícios. (MMA, 2007).

Nos dias atuais muito se fala em “Desenvolvimento Sustentável” ou “Ecoeficiência” sem nem mesmo saber o real significado destas expressões. O “desenvolvimento sustentável” visa atender às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades. Já a “eco-eficiência” consiste na produção de bens e serviços a preços competitivos, que satisfaçam às necessidades humanas e tragam qualidade de vida, com uma redução progressiva dos impactos ambientais e da intensidade de recursos naturais utilizados ao longo do seu ciclo de vida, a um nível pelo menos compatível com a capacidade do planeta de fornecer tais recursos. (Lamberts, 2008)

Tendo por base estes conceitos, o projeto de Ampliação do Cenpes tem como meta a quebra de paradigmas.

Diante deste fato, a Ampliação do Cenpes tem como premissa primordial do empreendimento a obtenção de notoriedade pelo seu desempenho ambiental e energético.

A busca por esta notoriedade envolve o reconhecimento pelo compromisso com a sustentabilidade e atendimento aos padrões mais altos de performance possíveis, e a aplicação dos conceitos que valorizem a implantação de sistemas eco-eficientes, mantendo o Cenpes como referência tecnológica em energia e desenvolvimento sustentável.

Por fim, fruto do amadurecimento das discussões mundiais acerca da sustentabilidade tão necessária para a coexistência das espécies em nosso planeta, as obras de Ampliação do Cenpes consolidam um importante marco na constante procura do homem em integrar-se ao meio em que habita e constrói, utilizando ao máximo os recursos naturais e energéticos disponíveis, reduzindo desta forma os impactos no ecossistema ao qual faz parte.

1.2 OBJETIVO

Empreender uma análise sobre os estudos realizados durante o desenvolvimento do projeto, avaliando o conforto ambiental no ambiente construído do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Cenpes, simulando os ambientes projetados quanto ao desempenho no conforto térmico dos mesmos, utilizando-se de *softwares* para esta simulação, concluindo assim a real eficácia sobre as premissas adotadas durante a elaboração do projeto térmico para estas edificações.

A eficiente utilização dos recursos naturais foi levada em consideração no projeto da Ampliação do Cenpes, sobretudo no Prédio Central e Laboratórios, edificações foco desta dissertação, levando-se em conta as características locais como ponto de partida para o desenvolvimento do projeto, conforme descrito no Quadro 01:

Quadro 01: Premissas de Projeto

PREMISSAS DE PROJETO
ANÁLISE ARQUITETÔNICA
Partido predominantemente horizontal e implantação através de cheios construídos, os edifícios, intercalados por espaços abertos e verdes
Forma alongada leste-oeste privilegiando a orientação norte, o acesso aos ventos predominantes e a disposição dos painéis fotovoltaicos sobre a cobertura dos laboratórios com máxima eficiência;
Superfícies envidraçadas adequadas às condições de conforto térmico e luminoso internos, permitindo o acesso à iluminação natural e vistas exteriores;
Proteções solares externas: cobertura e <i>brises</i> em chapa perfurada filtram a passagem da luz direta para os espaços internos e de transição, ao mesmo tempo em que dão fluxo contínuo às correntes de ventilação junto ao exterior das envoltórias e permitem a integração visual dos ambientes internos e externos;
ANÁLISE DO CONFORTO AMBIENTAL
Estudo de insolação;
Aproveitamento da iluminação natural de forma adequada à natureza dos distintos ambientes e atividades;
Otimização da penetração da iluminação natural através de aletas refletoras na cobertura para a maximização da captação de luz sem o acesso solar direto;
Estudo da projeção de sombras do Prédio Central sobre os laboratórios para implantação dos painéis fotovoltaicos com máximo rendimento;
Ventilação natural: aberturas dispostas em planos opostos ou adjacentes, possibilitando a ventilação cruzada entre janelas, domos e shads;
Estudo para o conforto térmico nos distintos meses e dias do ano material construtivo termicamente eficiente das superfícies opacas e transparentes;
Uso da vegetação para geração de microclima e redução do efeito de ilha de calor, redução de ruídos e do impacto ambiental;
Sistemas para uso racional de água e reuso: recolhimento de todas as águas das coberturas, para reutilização em bacias sanitárias, e das águas de estacionamento para irrigação;

Dentre as características estudadas durante a etapa de elaboração dos projetos de engenharia e arquitetura citadas acima, esta dissertação terá como foco de estudo o tema acerca do conforto térmico em todos os meses do ano.

Após a conclusão das simulações realizadas através dos *softwares* Analysis CST e Analysis Bio, serão avaliadas se as melhorias necessárias para atendimento ao conforto térmico dos usuários foram adequadamente tratados durante a etapa de Projetos do Empreendimento, sendo descritos os tratamentos considerados nesta etapa para cada ponto de melhoria evidenciado através dos resultados da simulação, identificando também os pontos que porventura deixaram de ser tratados.

Na Figura 01 temos a localização do Prédio Central e Laboratórios conforme destaques, a saber: Destaque em vermelho (Prédio Central) e Destaques azuis (Laboratórios).



Figura 01: Planta de situação da Ampliação do Cenpes (Zanettini, 2005)

1.3 JUSTIFICATIVA

O interesse para o desenvolvimento de pesquisas sobre a Sustentabilidade Ambiental do prédio central e laboratórios (Ampliação do Cenpes), foi decorrente da reflexão sobre a necessidade de se minimizar os impactos provocados ao meio

ambiente durante a implementação de grandes empreendimentos e, na incansável busca para utilização ao máximo dos recursos naturais renováveis nos projetos de engenharia, implicando então em racionalização no uso de matéria prima nobre e redução no consumo de energia artificial.

Motivado pelo acompanhamento de grandes empreendimentos, em particular a implementação das obras de Ampliação do Cenpes, localizado na Ilha do Fundão, município do Rio de Janeiro, foram realizadas pesquisas quanto à eficiência no aproveitamento dos recursos naturais disponíveis durante a fase de projetos, tendo como foco a Ampliação do Cenpes, onde o primeiro passo foi à demolição da estrutura de concreto armado (esqueleto), existente no local da obra, pertencente à extinta Petroquisa. A demolição foi necessária devido ao avançado estado de degradação que se encontrava a estrutura existente.

Visando tornar a Ampliação do Cenpes o primeiro empreendimento ecoeficiente da Petrobras (*Green Building*), esta última segue desde os primeiros dias da obra as diretrizes preconizadas pelo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). O LEED é uma das certificações verdes existentes, de origem Norte Americana, e visa mensurar a eficiência ambiental alcançada por um empreendimento, de acordo com os conceitos projetuais e construtivos adotados.

Desta forma algumas medidas foram adotadas durante a fase de projetos com foco na melhoria de desempenho em alguns temas importantes como: Tratamento Acústico, Reuso de Águas, Ventilação Natural, Energia Fotovoltaica, Conforto Térmico entre outros, onde este último será o tema central sendo integralmente descrito durante a elaboração desta dissertação.

Na Figura 02 temos a representação da projeção do empreendimento referente à Ampliação do Cenpes em sua localização atual, logo ao lado pode ser observado por foto de satélite, o início das obras do empreendimento ainda no Ano de 2006, logo à frente do Cenpes existente.



Figura 02: Projeção da Maquete Eletrônica e foto da obra

1.4 METODOLOGIA

A presente dissertação será desenvolvida com base em informações do projeto executivo elaborado para a construção da Ampliação do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello.

Baseando-se nos dados existentes e, tendo como objetivo a caracterização do desempenho térmico das edificações foco deste estudo, serão simulados os ambientes com a utilização dos *softwares* Analysis BIO e Analysis CST, onde o desempenho térmico das edificações será demonstrado de acordo com a estação do ano, o tipo de climatização utilizada e o perfil comportamental (incluindo vestimenta) dos usuários.

Foram adotados como critérios de Projeto os estudos desenvolvidos pela Fupam (Fundação para Pesquisa Ambiental – USP 2004 a 2006), relacionados ao tema de Conforto e Desempenho Térmico das Edificações, com posicionamento das edificações e determinação de áreas iluminantes em função de um melhor desempenho energético.

A Fotografia 01 retrata a maquete física do empreendimento durante a etapa de concurso público para escolha do projeto vitorioso. Por fim, o projeto do Arquiteto

Siegbert Zanettini foi escolhido como o projeto arquitetônico que mais se aproximou da materialização dos conceitos estipulados pelo Cenpes.



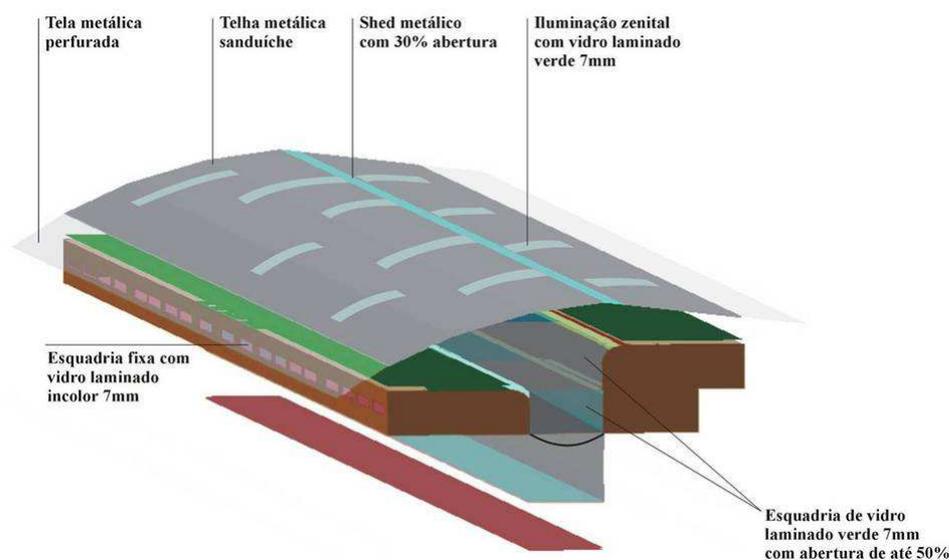
Fotografia 01: Foto da Maquete física - Ampliação do Cenpes

Considerando no desenvolvimento de seu projeto de arquitetura e engenharia, a abordagem especial de temas importantes como o aproveitamento da iluminação natural, energia solar, aproveitamento da ventilação natural, reuso de águas, conforto térmico, entre outros, sendo este último o foco desta dissertação, onde esta característica será abordada em detalhes, procurando então externar a real eficácia das ações adotadas no projeto de Ampliação do Cenpes para este tema.

Os critérios de projeto envolveram aspectos primordiais como sustentabilidade e eco-eficiência, presentes na adoção de soluções de projeto e utilização de materiais. A utilização de telhas termo-isolantes e o correto posicionamento das aberturas envidraçadas e sheds possibilitou a diminuição da carga térmica e ótimas condições de ventilação cruzada e natural. A utilização da cor branca como predominante, para revestimentos de piso, parede e cobertura, garantiu um alto coeficiente de reflexão, diminuindo-se as cargas térmicas. As fachadas com incidência direta de raios solares tiveram tratamento adequado através da utilização de telas de sombreamento ou brises. Os beirais das coberturas foram cuidadosamente

estudados e projetados para proteger e conseqüentemente minimizar a incidência direta de raios solares. Todas as características citadas acima serão descritas neste trabalho, tendo como objetivo relaciona-las com os resultados obtidos após as simulações realizadas nos *softwares* de conforto térmico, visto a sua necessidade verificada durante as medições no local de implantação do empreendimento ainda durante a etapa de projetos.

A Fotografia 02 retrata as principais características de sustentabilidade definidas durante a etapa de projetos e adotadas durante a execução do Prédio Central e Laboratórios, visando a obtenção do conforto térmico desejável no interior destas edificações, otimizando ao máximo a utilização dos recursos naturais disponíveis, racionando em contrapartida, a utilização dos recursos disponibilizados pelas concessionárias locais, tanto hídrico quanto energético.



Fotografia 02: Foto da Maquete eletrônica - cobertura do Prédio Central (Zanettini, 2005)

Como limitações desta dissertação, no desenvolvimento do estudo não serão elaborados comparativos entre os diversos tipos de materiais existentes no mercado a fim de se obter os resultados procurados em uma edificação sustentável. Serão avaliados os resultados obtidos com os materiais especificados e utilizados nas obras do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Cenpes.

Esta dissertação além de servir como fonte de consulta para conhecimento dos critérios de conforto térmico adotados no projeto da Ampliação do Cenpes, simulará

o conforto térmico dos usuários e dos ambientes localizados no Prédio Central e Laboratórios, tendo, por fim, a avaliação se as ações adotadas no projeto de Ampliação do Cenpes atenderam às adequações necessárias tendo em vista os resultados obtidos na simulação.

Serão utilizados os mesmos dados obtidos durante a etapa de desenvolvimento do projeto de Ampliação do Cenpes para simulação dos Ambientes.

A conclusão nos fornecerá subsídios para a quebra ou não de paradigmas, podendo significar um novo marco para a construção civil brasileira, passando a ser comum a adoção de sistemas racionais, com reaproveitamentos, utilização dos recursos naturais de energia e, quando possível, redução dos materiais empregados, tendo por consequência uma construção mais limpa, eficiente e de baixo custo operacional devido às diversas premissas ecoeficientes adotadas na etapa de projetos.

A Fotografia 03 retrata a evolução das obras de Construção e Montagem da Ampliação do Cenpes no ano de 2008.



Fotografia 03: Foto aérea do Empreendimento (Ampliação do Cenpes)

1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO

No capítulo 01 temos a apresentação do tema conforto térmico e sustentabilidade ambiental nas construções, sugerida pelo homem, ao longo de sua existência. Constam deste capítulo também o objetivo da dissertação em tela, sua justificativa, bem como a metodologia desenvolvida para esta dissertação alcançar seu objetivo central.

CAPÍTULO 02: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – CONFORTO TÉRMICO

O capítulo 02 é composto por toda a literatura teórica que fundamenta o tema central desta dissertação, ou seja, é discorrido o tema conforto térmico e suas variáveis frente ao homem.

CAPÍTULO 03: LEVANTAMENTO DOS FATORES CLIMÁTICOS EXISTENTES E APRESENTAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONFORTO AMBIENTAL ADOTADOS NOS PROJETOS DO PRÉDIO CENTRAL E LABORATÓRIOS

Neste capítulo estão descritas as metodologias utilizadas durante a etapa das medições climáticas locais, que foram necessárias para a obtenção dos dados necessários para o desenvolvimento do projeto de Ampliação do Cenpes e, que agora são utilizados para as simulações computacionais que serviram de base para o desenvolvimento desta dissertação.

Este capítulo decreve também o estudo desenvolvido pela Fupam, tendo como resultados, as condições de conforto térmico no local onde foi implantada a Ampliação do Cenpes, estudo este que por sua vez teve como papel principal permitir a comparação com os resultados obtidos após as simulações realizadas através do Analysis BIO e o Analysis CST.

CAPÍTULO 04: APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DOS LABORATÓRIOS E PRÉDIO CENTRAL – MATERIAIS UTILIZADOS E CONDIÇÕES GERAIS DE USO

O capítulo 04 teve como principal objetivo descrever os materiais construtivos utilizados nas obras de Ampliação do Cenpes, tendo como foco as edificações em

estudo que são o Prédio Central e os Laboratórios, bem como a caracterização dos mesmos demonstrando suas características construtivas e funcionais.

CAPÍTULO 05: ANÁLISE DOS AMBIENTES PROJETADOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS CST

De posse dos dados climáticos obtidos após as medições realizadas no local onde foi implementado o empreendimento em estudo e, tendo o conhecimento das características de vestuário utilizadas pelos usuários que trabalharão nos ambientes construídos, o capítulo 05 é composto pela simulação no Analysis CST das condições de conforto térmico para cada estação climática do ano de referência, comparando os resultados para cada tipo de condicionamento possível, ou seja, o natural e o artificial.

CAPÍTULO 06: ANÁLISE DOS AMBIENTES PROJETADOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS BIO

Através dos dados climáticos de referência obtidos através do diagrama bioclimático de Givoni referente ao município do Rio de Janeiro, foi possível avaliar no capítulo 06 as estratégias arquitetônicas e construtivas adotadas para o projeto das edificações estudadas no empreendimento de Ampliação do Cenpes, de acordo com os resultados obtidos após a simulação no *software* Analysis Bio. Utilizamos o arquivo Try do referido software, elaborando uma avaliação para cada estação do ano.

Após a obtenção dos resultados, os mesmos serão interpretados para posterior comparação com as premissas arquitetônicas e construtivas adotadas nas edificações em estudo.

CAPÍTULO 07: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este último capítulo teve como principal objetivo apresentar as considerações finais sobre a dissertação aqui desenvolvida. No capítulo 07 temos uma comparação entre os resultados obtidos após as simulações desenvolvidas através dos *softwares* Analysis CST e Analysis Bio, onde leva-se em conta os diversos fatores climáticos locais nas diversas épocas do ano, as características de terreno e posicionamento, as características dos usuários, as edificações construídas, fornecendo assim um estudo consistente sobre as condições de conforto térmico que existirão nas

edificações estudadas, podendo permitir uma interpretação de quão relevante foi a opção por uma edificação sustentável e se esta alternativa atendeu, de fato, às expectativas do Cenpes.

CAPÍTULO 02: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – CONFORTO TÉRMICO

Segundo Lamberts (2008), pode-se considerar o corpo humano, como uma “máquina térmica”, que dispõe de um mecanismo termo-regulador, o qual controla as variações térmicas do organismo, e, por ser o organismo humano homeotérmico, isto é, sua temperatura deve permanecer praticamente constante, esse mecanismo termo-regulador cria condições para que isso ocorra.

Podemos entender por “máquina térmica”, àquela que necessita de certa quantidade de calor para seu funcionamento. O funcionamento do corpo humano é a condição na qual o mesmo se encontra para que esteja apto a desempenhar suas atividades, que podem ser subdivididas em 2 (duas) categorias: **Atividades basais - (internas)**: são aquelas independentes de nossa vontade, suficientes para fazer com que os órgãos de nosso corpo funcionem a contento. **Atividades – (externas)**: São aquelas realizadas conscientemente pelo homem através de seu trabalho ou atividade desempenhada.

Para ter condições de desempenhar qualquer uma das atividades citadas, nosso organismo necessita de calor, o qual é oriundo do metabolismo dos alimentos ingeridos e esse calor, também pode ser subdividido em 2 categorias, quais sejam: **metabolismo basal**, que é aquela taxa de calor necessário para o desempenho das atividades basais, e **metabolismo** devido às atividades externas, que é aquela taxa de calor necessária para o desempenho das atividades.

O calor gerado pelo organismo, pode variar de 100W a 1.000W. Uma parte desse calor gerado é necessário, como já dito, para o funcionamento fisiológico do organismo, e outra parte é gerada devido ao desempenho das atividades externas, sendo que essa geração deve ser dissipada para que não haja um superaquecimento do corpo, uma vez que o mesmo é homotérmico. A temperatura interna do corpo humano é praticamente constante, variando aproximadamente de 35 a 37°C. Para que uma pessoa esteja em estado de conforto térmico, no desempenho das atividades, admitem-se pequenas oscilações nessa temperatura interna, sendo que em situações mais extremas, admitem-se variações um pouco maiores para se evitar os perigos de *stress* térmico.

Dessa maneira podemos dizer que as atividades desempenhadas pelo ser humano geram calor ao corpo, o qual deve ser dissipado ao ambiente a fim de que não acarrete um aumento exagerado da temperatura interna, e que se mantenha o equilíbrio térmico do corpo. Essa dissipação se dá através de mecanismos de trocas térmicas, quais sejam: **através da pele:** Perda sensível de calor (convecção e radiação), Perda latente de calor (evaporação do suor e por dissipação da umidade de pele) e **através da respiração:** Perda sensível de calor (convecção), Perda latente de calor (evaporação).

2.1 BEM ESTAR GLOBAL

Também conhecida como sensação integral de bem estar. Os seres humanos realizam suas atividades rodeados de estímulos: higrótérmicos, acústicos, lumínicos e olfativos. Estes estímulos provocam reações que nos permitem qualificar o ambiente em confortável ou não. Porém esta resposta não se dá de forma isolada para cada estímulo e sim para a combinação de todos agindo de forma simultânea. Também existem outras circunstâncias que irão influenciar nossa percepção: estado de saúde, cansaço ou tensão. Outro fator a ser analisado é a qualidade do ar (Vazquez,2009).

2.2 CONFORTO TÉRMICO

Define-se Conforto Térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (Vazquez,2009). A norma internacional para averiguar o conforto térmico em ambientes é a ISO 7730 (1994).

A Figura 03 demonstra fisicamente as trocas térmicas realizadas entre o homem e o ambiente, seguida da identificação destas trocas.

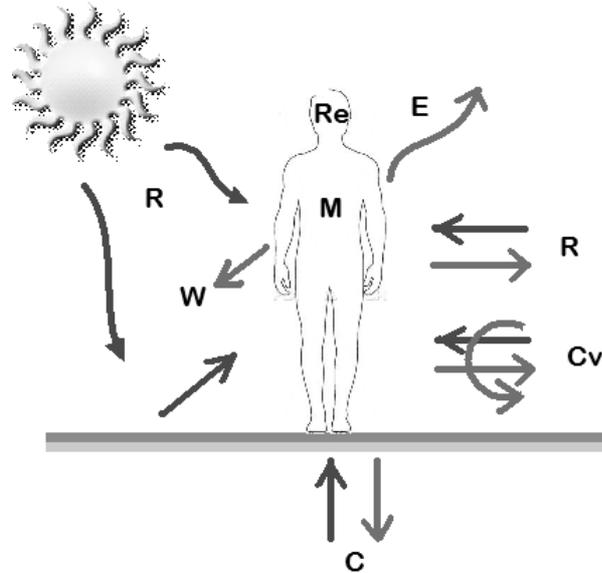


Figura 03: Trocas térmicas entre o Homem e o Ambiente (Krause, 2005)

Essas trocas ocorrem todo o tempo e podem mudar de sentido, ou seja, de perda para ganho de calor, segundo haja mudança de local, de momento (dia ou noite), de atividade (metabolismo) e de vestuário. O fundamental, para que estejamos em sensação de conforto térmico é que o somatório dessas trocas seja nulo. Ou seja, todo o calor que estejamos produzindo em excesso possa ser eliminado e que não percamos calor necessário à manutenção do equilíbrio térmico.

2.3 ENERGIA

O homem obtém sua energia das calorias que os alimentos proporcionam.

As formas de energia podem ser: mecânica, elétrica ou calor. O calor serve para manter a temperatura corporal interna próxima de 37°C. Ao estar o corpo na maioria das vezes, com uma temperatura superior ao ambiente externo, constantemente estará produzindo uma perda de calor para o entorno físico.

O bem estar térmico se estabelece quando o corpo perde calor a uma velocidade adequada. Uma maior velocidade indica a sensação de frio e uma menor velocidade indica uma sensação de calor. O ritmo em que se perde calor se denomina velocidade ou atividade do metabolismo (M) (Vazquez, 2009).

2.4 METABOLISMO

Metabolismo é o processo pelo qual o organismo obtém energia através de elementos combustíveis orgânicos. Apenas 20% de toda energia produzida pelo organismo, é absorvida e transformada em potencialidade de trabalho. Os 80%

restantes são eliminados em forma de calor para que a temperatura interna seja mantida em equilíbrio. Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37° C (variando entre 36,1° C e 37,2° C). Os limites para sobrevivência estão entre 32° C e 42° C. (Lamberts, 2000)

Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termo-regulador do homem é ativado, reduzindo ou aumentando as perdas de calor pelo organismo através de alguns mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor. (Vazquez, 2009)

O metabolismo varia de acordo com a atividade desempenhada e é expresso em unidade “met” (Unidade de medida da energia do metabolismo), sendo que 1 met, que corresponde a 58,2 W/m², é igual à energia produzida por unidade de área superficial do corpo para uma pessoa sentada em repouso. A área superficial aproximada de uma pessoa média é de 1,8 m². Os valores dessa variável podem ser extraídos da tabela A.1 da ISO 7730 (1995), representada pela Tabela 01. Além dessa tabela, a taxa metabólica também pode ser determinada pelas constantes na ASHRAE (1992), ou através do consumo de oxigênio e da taxa de batimento cardíaco. (Grzybowski, 2004)

Quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

A Tabela 01 apresenta dados relativos ao calor dissipado pelo corpo em função da atividade do indivíduo. O metabolismo pode ser expresso em W/m² de pele ou em Met, unidade do metabolismo cujo valor unitário corresponde a uma pessoa relaxada. Já a Figura 04 indica algumas dessas taxas de acordo com a atividade realizada

Tabela 01: Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (1994)

Atividade	Metabolismo (W/m ²)
Reclinado	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (escritório, escola etc.)	70
Fazer compras, atividades laboratoriais	93
Trabalhos domésticos	116
Caminhando em local plano a 2 km/h	110
Caminhando em local plano a 3 km/h	140
Caminhando em local plano a 4 km/h	165
Caminhando em local plano a 5 km/h	200

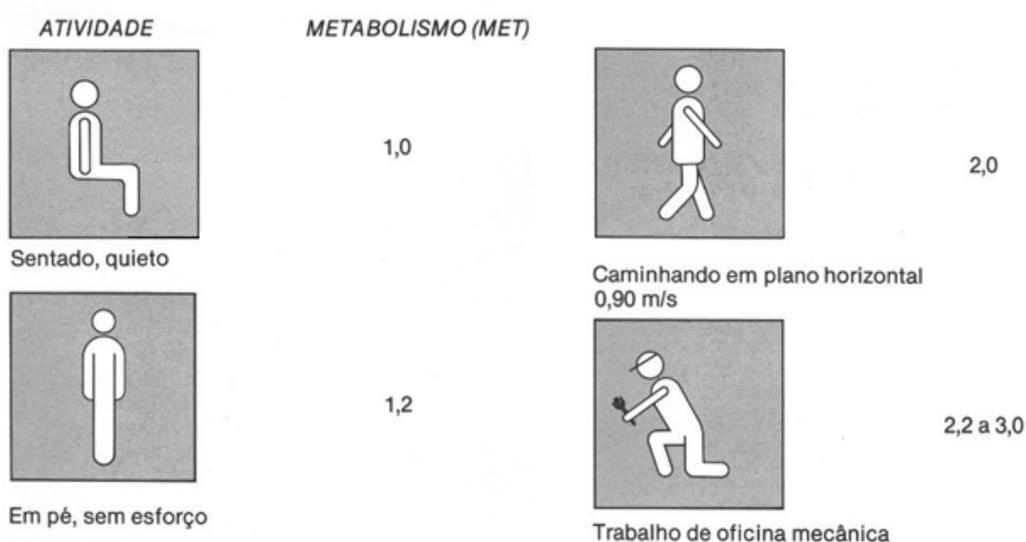


Figura 04: O Metabolismo depende exclusivamente do tipo de atividade (Bedia, 2005)

2.5 TRABALHO

O trabalho realizado pelo corpo é considerado positivo, assim como o levantamento de um peso ou ascensão de um aclave. O corpo humano é considerado uma máquina térmica e, como tal, apresenta uma eficiência mecânica definida por ($\eta = W/M$). (Bedia, 2005)

A Figura 05 mostra algumas eficiências mecânicas de acordo com a atividade realizada.

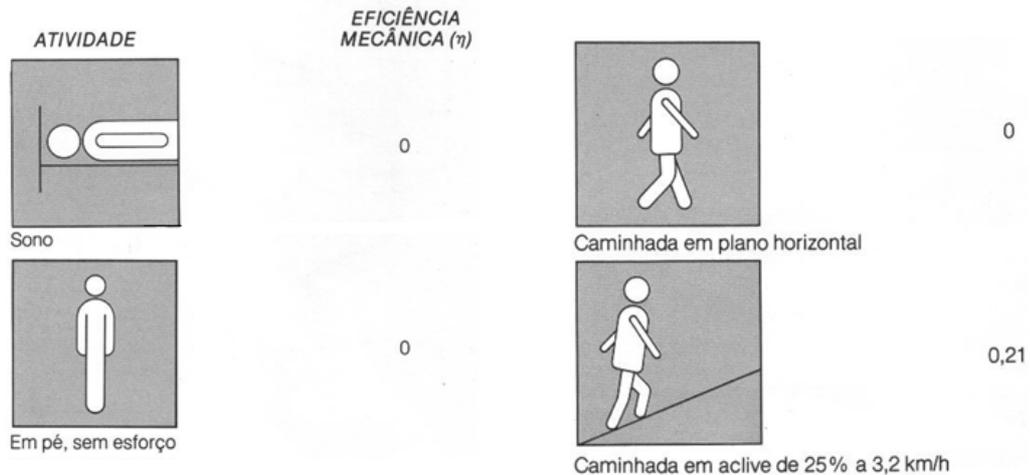


Figura 05: Eficiência mecânica em relação a algumas atividades (Bedia, 2005)

2.6 TROCAS TÉRMICAS ENTRE CORPO E AMBIENTE

O homem é o que chamamos de animal homeotérmico. A temperatura interna do organismo tende a permanecer constante independentemente das condições do clima. A quantidade de calor liberado pelo organismo é função da atividade desenvolvida (Vazquez,2009).

Este calor será dissipado através de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente envolvendo:

2.6.1 Trocas secas:

2.6.1.1 Condução:

É a propagação do calor através do movimento intermolecular entre corpos em contato. Uma parede aquecida pelo sol cede calor para um elemento em contato com essa.

2.6.1.2 Convecção:

É a troca de calor entre uma superfície sólida e o meio fluido que o circunda. É quantificada pela eq. (1) e ilustrada pela Figura 06 através da Lei do Resfriamento de Newton. (Bedia, 2005)

$$q = hc \cdot A_{ext} \cdot (T_a - T_p) \quad \text{eq. (1)}$$

onde:

q = fluxo de calor
 h_c = coeficiente de transferência de calor
 A_{ext} = área externa corpórea
 T_a = temperatura do ar ambiente
 T_p = temperatura da pele

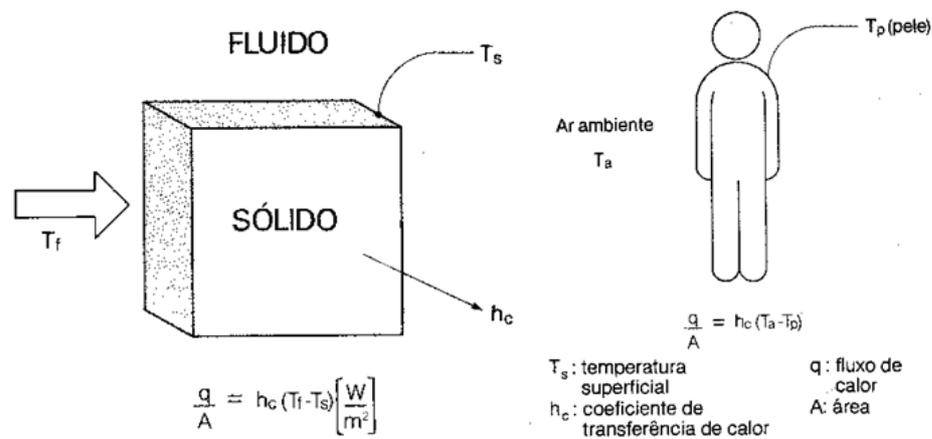


Figura 06: Trocas por convecção (Bedia, 2005)

Porém, nesta fórmula de Newton, não se considerou a vestimenta da pessoa. A vestimenta é uma barreira para as trocas de calor por convecção, equivale à resistência térmica entre o corpo e o meio. Esta funciona como isolante térmico, mantendo junto ao corpo uma camada de ar aquecida ou menos aquecida. A vestimenta reduz a sensibilidade, as diferenças de temperatura e da velocidade do vento. Além disso, determinadas cores das vestimentas podem influenciar no ganho de calor, como, por exemplo, cores claras refletem uma porcentagem maior da radiação incidente e as cores escuras absorvem mais. (Lamberts, 2000).

Em climas secos (desertos), onde se atinge elevadas temperaturas, 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. 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 através das trocas secas relativas a quem usa. Sua unidade é o “clo”, originada de *clothes*. (Vazquez, 2009)

Assim: 1 clo = 0,155 m².°C/W = 1 (terno completo).

Segundo Xavier (1999) a representação convencional dessa variável é “Icl”, expresso em m².K/W ou “clo”, sendo que 1 clo equivale a 0,155 m².K/W. Os valores do isolamento térmico das roupas, ou das peças que compõem o traje utilizado pela pessoa, é função do material de confecção dos mesmos, bem como da espessura dos tecidos e materiais das roupas. A determinação desses valores foi feita utilizando-se manequins aquecidos, (Fanger, 1970), sendo que os resultados dessas determinações encontram-se devidamente tabelados nas normas e manuais ISO 7730 (1995), ISO 9920 (1995) e ASHRAE (1992). (Grzybowski, 2004)

A Tabela 02 apresenta o índice de resistência térmica (Icl) para as principais peças de roupa, sendo que o índice de resistência térmica (I) para a vestimenta de uma pessoa será, segundo a ISO 7730 (1994), o somatório de Icl, ou seja, $I = \sum Icl$.

Tabela 02: Índice de resistência térmica para vestimentas segundo NBR ISO 7730 (1994)

Vestimenta	Índice de resistência térmica – I _{cl} (clo)
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 comprida	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

O fator de resistência térmica da roupa (FR) é dado pela expressão da eq. (2): (Bedia, 2005)

$$Fr = 1/[1 + 0,155 \cdot I \text{ roupa} \cdot hc \cdot (A_{ext}/A_d)] \quad \text{eq. (2)}$$

onde:

I roupa = índice de isolamento térmico da roupa

h_c = coeficiente de transferência de calor

A_{ext} = área externa corpórea

A_d = área superficial

A eq. (2) corrigida fica como indicado na eq. (3): (Bedia, 2005)

$$q = h_c \cdot Fr \cdot A_{ext} \cdot (T_a - T_p) \quad \text{eq. (3)}$$

O fluxo de calor por convecção por unidade de área superficial “C” é definido conforme eq. (4), as Tabelas 03 e 04 indicam o coeficiente de transferência de calor em relação à velocidade do vento e os índices de isolamento da vestimenta respectivamente. (Bedia, 2005)

$$C = q/A_d \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{eq. (4)}$$

Tabela 03: Coef. de transferência de calor em relação à velocidade do vento (m/s) (Bedia, 2005)

Velocidade Relativa (m/s)	h_c (W/m ²)°C
0,1 a 0,18	3,1
0,5	6,2
1,0	9,0
2,0	12,6
4,0	17,7

Tabela 04: Fator de Isolamento térmico da vestimenta e o respectivo índice de isolamento térmico da roupa, por tipo de roupa (Bedia, 2005)

Tipo de Vestimenta	Fr	I (clo)
Meia leve, sapato, camisa leve, calça leve e interiores (masculino)	0,65	0,42
Vestido, roupa interior, sapato e blusa (feminino)	0,61	0,49

2.6.1.3 Radiação:

A temperatura radiante média é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme. A temperatura radiante média pode ser medida utilizando-se um termômetro de globo negro, ilustrado na Figura 07, um radiômetro de duas esferas, um sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, através das temperaturas superficiais das superfícies ao redor do corpo humano, ou ainda através das temperaturas radiantes planas determinadas nas seis direções ao redor do indivíduo. O termômetro de globo negro é o dispositivo mais usual na determinação dessa variável, sendo que, nesse caso a temperatura média radiante é obtida por observações dos valores simultâneos da temperatura de globo, e da temperatura e velocidade do ar ao redor do globo. (Grzybowski, 2004)



Figura 07: Termômetro de globo negro usado para medir a TRM. (Google)

Em ambientes confinados, a temperatura superficial das paredes pode diferir da temperatura do ar e da temperatura da superfície do corpo, havendo uma troca de calor por radiação entre a superfície do corpo e as superfícies das paredes. Associando às superfícies circundantes uma temperatura uniforme (a Temperatura Radiante Média – TRM) a troca de calor por radiação será dada conforme a eq. (5). (Bedia, 2005)

$$R = h_r \cdot (TRM - T_p) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{eq. (5)}$$

onde:

R = troca de calor por radiação por área superficial

h_r = coeficiente de transferência de calor

TRM = temperatura radiante média

T_p = temperatura da pele

2.6.2 Trocas úmidas:

2.6.2.1 Evaporação:

Alguns estudos mostraram que a máxima quantidade de calor eliminada por evaporação na superfície da pele ocorre quando a superfície está completamente coberta de suor. Neste caso, o calor eliminado por unidade de área da superfície do corpo é dado pela eq. (6): (Bedia, 2005)

$$E_{m\acute{a}x} = 2,2 \cdot h_c \cdot (P_p - \varphi_a P_a) \cdot F_{ru} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{eq. (6)}$$

onde:

$E_{m\acute{a}x}$ = calor máximo eliminado por área de superfície do corpo

h_c = coeficiente de transferência de calor

P_p = pressão parcial do vapor no ar junto à pele

$\varphi_a P_a$ = pressão parcial do vapor no ar ambiente

Na zona de regulação contra o calor, as glândulas sudoríparas promovem o suor junto à pele. Porém, nem toda a superfície é coberta por suor, sendo o calor liberado por unidade de área superficial dado pela eq. (7): (Bedia, 2005)

$$E_{re} = SMR \cdot E_{m\acute{a}x} \quad \text{eq. (7)}$$

onde:

E_{re} = calor liberado por área de superfície do corpo efetivo

SMR = superfície molhada corpórea de regulação

$E_{m\acute{a}x}$ = calor máximo eliminado por área de superfície do corpo

O índice de superfície molhada do corpo na Zona de Regulação Contra o Calor (SMR) pode ser considerado como a fração da superfície do corpo coberta pelo suor. Mesmo que não apresente suor, ainda ocorre evaporação por difusão

provenientes das camadas internas da pele. Esse calor liberado não passa de 0,06 Emáx ocorrendo somente em regiões da pele não cobertas pelo suor, sendo na zona de regulação contra o calor a liberação de calor dado pela eq. (8): (Bedia, 2005)

$$E = (0,06 + 0,94 \text{ SMR}) \cdot \text{Emáx} = \text{SM} \cdot \text{Emáx} \quad \text{eq. (8)}$$

onde:

E = calor eliminado por área de superfície do corpo

SMR = superfície molhada corpórea de regulação

Emáx = calor máximo eliminado por área de superfície do corpo

2.6.2.2 Respiração:

O ar externo aspirado, ao circular pelos pulmões, recebe calor e umidade. Esse processo eleva a temperatura do ar (calor sensível) e a adição de vapor pela evaporação da água contida nos pulmões que aumenta a umidade (calor latente). A temperatura do ar na saída dos pulmões é de 34°C, o calor total liberado pelo corpo por unidade de área superficial através da respiração (RE) é dada pela eq. (9). (Bedia, 2005)

$$\text{RE} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - T_a) + 0,0023 \cdot M \cdot (44 - \varphi_a P_a) \quad \text{eq. (9)}$$

onde:

RE = calor liberado pela respiração

M = metabolismo do corpo

T_a = temperatura do ar ambiente

φ_a P_a = pressão parcial do vapor no ar ambiente

2.7 ADAPTAÇÃO DO CORPO HUMANO AO AMBIENTE

A atividade de metabolismo entre o corpo e seu entorno se quantifica da seguinte expressão:

$$M-W = \pm CV \pm R \pm CC \pm RS \pm EV +D +A \quad \text{eq. (10)}$$

Onde:

M - velocidade do metabolismo

W - energia mecânica exterior efetiva

CV - trocas por convecção

R - trocas por radiação

CC - trocas por condução

RS - trocas por calor latente (evaporação respiratória)

EV -perda por evapotranspiração

D - transpiração do vapor d'água pela pele

A - energia acumulada

Da expressão anterior se pode eliminar os fenômenos de menor intensidade .

$$M = \pm CV \pm R \pm EV \quad \text{eq. (11)}$$

A convecção e a radiação podem ser de sinais distintos, (+) perdas, quando o entorno esta com uma temperatura menor que o corpo, ou (-) ganho, quando está com uma temperatura maior. A evapotranspiração, sempre significa perda. As transferências por convecção e radiação dependem da superfície de troca e da resistência dos elementos sobrepostos (roupa e tecido muscular), mas sobre tudo da diferença de temperatura da pele com o entorno (ar) (Vazquez,2009).

2.8 ELEMENTOS DO CONFORTO

2.8.1 Ventilação Natural

O vento pode ser definido como um movimento horizontal de ar que tende a equilibrar as zonas de pressão diferentes da atmosfera. A baixa altitude (primeiros 500 metros), o vento apresenta uma agitação ou turbulência importante. Assim, em um ponto dado, a velocidade do vento vai flutuar em direção e grandeza. (Barroso, 2005)

A Figura 08 retrata os conceitos básicos para o início do estudo de ventilação natural nos ambientes construídos.

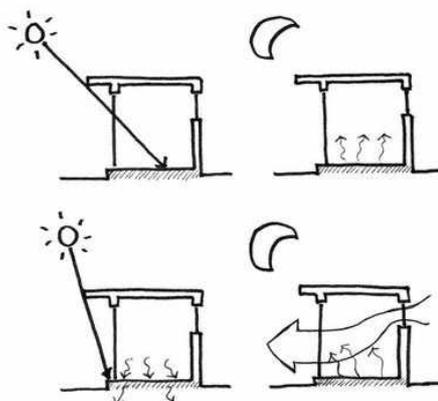


Figura 08: Princípios do Estudo de Ventilação (Vazquez, 2009)

O conforto do homem é afetado pela velocidade do vento e seu comportamento flutuante, variações no tempo e no espaço que requerem uma adaptação quase instantânea do indivíduo. As trocas térmicas entre o homem e o exterior são também afetadas pelo vento. (Barroso, 2005)

Para se reconhecer a velocidade e direção dos ventos num determinado local, pode-se recorrer ao Quadro 02 que representa a escala de Beaufort:

Quadro 02: Escala de Beaufort (Vazquez, 2009)

Escala de Beaufort	Velocidade dos ventos	Fenômenos comumente observados
0	0 a 0,2 m/s	a fumaça (churrasqueira, chaminé, cigarro, etc.) sobe de forma vertical.
1	0,3 a 1,5 m/s	o vento faz a fumaça se inclinar, mas ainda não consegue girar um cata-vento.
2	1,6 a 3,3 m/s	o ser humano percebe o vento no rosto, as folhas das árvores e do cata-vento começam a se mexer.
3	3,4 a 5,4 m/s	as folhas e os pequenos ramos das árvores se mexem de forma contínua e o vento faz as bandeiras se mexerem.
4	5,5 a 7,9 m/s	o vento tira a poeira do chão e levanta folhas de papel.
5	8,0 a 10,7 m/s	as pequenas árvores começam a balançar e começa a fazer espumas nas ondinhas dos lagos.
6	10,8 a 13,8 m/s	fios elétricos começam a se mexer e fica muito difícil usar guarda-chuva.
7	13,9 a 17,1 m/s	as árvores ficam completamente agitadas e fica muito difícil de se andar de frente para o vento.
8	17,2 a 20,7 m/s	os pequenos ramos das árvores se quebram e não se pode andar normalmente sem um esforço terrível, de frente para o vento.
9	20,8 a 24,4 m/s	as telhas dos telhados começam a ser arrancadas, ocorrem pequenas catástrofes com relação à casa.
10	24,5 a 28,4 m/s	normalmente só ocorre no mar. Quando ocorre na terra, pode arrancar árvores com a raiz.

2.8.2 Iluminação Natural

Dados importantes são as coordenadas solares como azimute e a altitude solar. O azimute constitui o ângulo no plano do horizonte, que formam a projeção dos raios solares e a direção do eixo-norte-sul. A altitude solar é o ângulo no plano vertical entre os raios solares e a projeção dos mesmos sobre o plano do horizonte. (Barroso, 2005)

No estudo de insolação das construções usaremos sempre a direção norte-sul geográfica ou verdadeira, que corresponde, em cada local da terra, ao eixo de simetria das trajetórias aparentes do sol nos períodos da manhã e da tarde. (Barroso, 2005) A Figura 09 representa o estudo da trajetória do sol.

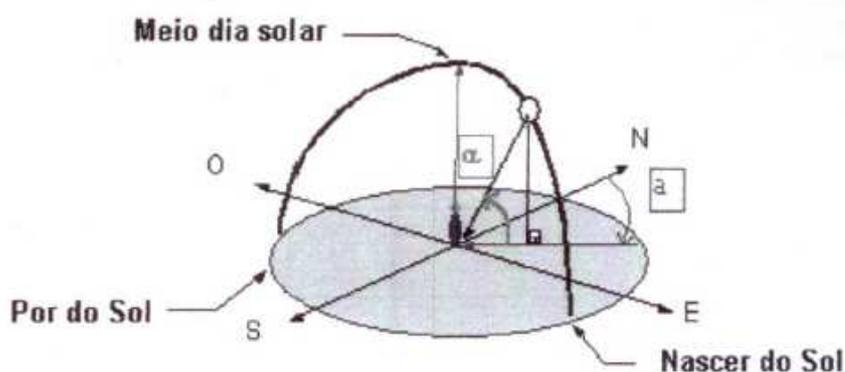


Figura 09: Trajetória Solar (Vazquez, 2009)

2.9 AS INTERVENÇÕES HUMANAS E O MICROCLIMA

Os grandes centros urbanos assistiram recentemente a uma variação importante no seu microclima, em função da mudança do ritmo da atividade humana: os milhares de deslocamentos diários dos automóveis, a refrigeração (ou o aquecimento) e a iluminação intensiva dos edifícios e dos locais públicos, e mesmo a presença de milhares de seres humanos constituem hoje fonte de calor e de tipos diversos de poluição (ruídos, poeiras, hidrocarburetos e vários produtos das combustões), e determinam o microclima urbano. Se a estes fatores se associam situações geográficas especiais, assistimos, tanto em São Paulo como em Atenas e na Cidade do México, situadas em uma depressão e fora do alcance dos ventos de alta velocidade, a um acúmulo destes digamos subprodutos das atividades humanas,

gerando um adensamento dos gases e uma situação de poluição muito forte. (Barroso, 2005)

Resumindo, ao concentrar suas atividades em um só lugar, a cidade, o homem modifica seu microclima: acontecem temperaturas médias mais elevadas, há modificação do regime de chuvas, aumento da nebulosidade devido à poluição do ar e etc. as chuvas sendo rapidamente evacuadas para o sistema de drenagem pluvial, pelo excesso de solo impermeável, não tem tempo de refrescar o solo e o ar, salvo perto dos parques e jardins. Bairros inteiros passam a sofrer com o calor intenso no verão e na meia-estação. Estes bairros, mais quentes, acabam atraindo as massas de ar, e, como estas estão carregadas de partículas poluentes, tornam-se bairros quentes e poluídos. (Barroso, 2005)

Mas não é só o meio urbano quem sofre. As zonas rurais padecem das filosofias agrícolas “modernas”, e das novas implantações de fábricas, ambas trabalhando com a técnica de terreno arrasado. Limpa-se e planifica-se o terreno e em seguida começa-se com mais conforto o projeto de implantação. Com a retirada da camada fértil do solo, e da variedade florestal existente, o microclima se modifica. Partes importantes da fauna e da flora desaparecem e permite a ocorrência de erosão e do empobrecimento progressivo do solo. A qualidade da água dos mananciais é comprometida e será, segundo alguns o desafio maior do próximo século. Perde-se o amortecimento da vegetação em relação à ação das chuva, dos ventos, da radiação solar. A amplitude de temperatura aumenta. (Barroso, 2005)

Além do tipo de clima, para todo estudo arquitetônico, é necessário o conhecimento do microclima envolvido, ou seja, o clima do entorno próximo. Os valores que encontramos nas estações meteorológicas são medidos em circunstâncias muito especiais e em geral distintas daquelas do nosso dia a dia. É necessário um estudo, sobre planta de relevo, para verificar as mudanças ocasionadas por topografia, cobertura vegetal, densidade urbana e etc. da mesma forma que as montanhas, construções vizinhas podem esconder a radiação solar direta, refletir os raios de sol, obstruir e modificar o sentido ou velocidade dos ventos dominantes.

Gerar uma arquitetura adequada a determinado clima significa elaborar espaços que propiciem ao seu usuário condições internas microclimáticas compatíveis ao

funcionamento de seu metabolismo nas diversas atividades ali exercidas. Como ferramenta para verificação, podemos utilizar o diagrama bioclimático de Giovanni, representado na Figura 10, que nos permite verificar quais as estratégias mais eficazes para garantir no interior das edificações um nível de temperatura e umidade compatível no período ocupado com a atividade prevista. (Barroso, 2005)

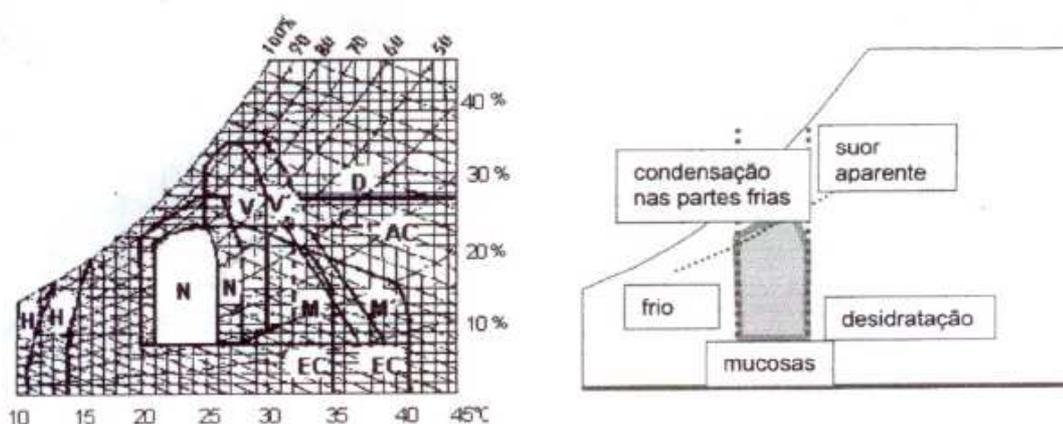


Figura 10: Diagrama Bioclimático de Giovanni (Vazquez, 2009)

2.10 CLIMA URBANO

Além do tipo de clima, para todo estudo do projeto de uma edificação, é necessário o conhecimento do microclima envolvido, ou seja, o clima do entorno próximo. Os valores que encontramos nas estações meteorológicas são medidos em circunstâncias muito especiais e em geral distintas daquelas do nosso dia a dia. É necessário um estudo, sobre planta de relevo, para verificar as mudanças ocasionadas por topografia, cobertura vegetal, densidade urbana, etc. Da mesma forma que as montanhas, construções vizinhas podem esconder a radiação solar direta, refletir os raios de sol, obstruir e modificar o sentido ou a velocidade dos ventos dominantes. (Krause, 2005)

Na realidade, no estudo do microclima existe um limite além do qual, o assunto torna-se estudo de urbanismo, escapando as possibilidades de intervenção do projetista da edificação. Desta forma, é preciso avaliar apenas o impacto do entorno próximo à edificação, entorno natural, construído ou legislado, sobre a performance da construção. O que queremos é conseguir identificar os elementos específicos deste entorno capazes de modificar os dados climáticos padrão das estações meteorológicas. (Krause, 2005)

Segundo Oliveira (1995), a metodologia adotada para focar os sistemas de controle do conforto ambiental em estabelecimentos públicos, como universidades, escolas, hospitais, postos de saúde, engloba principalmente uma dimensão acerca do processo de edificação: a dimensão exógena. Nesta os sistemas de controle e conforto ambiental não podem ser concebidos de modo unidirecional, como classicamente são propostos. É sabido que a construção, de forma isolada ou conjunta, interfere sobremaneira no ambiente externo. Os impactos produzidos (negativos ou positivos) deverão ser considerados sob pena de invalidar todo esforço realizado na construção da edificação. Assim, exemplificando, se uma edificação que dimensionou suas aberturas à ventilação local poderá ter seu sistema de fluxo de ar alterado se desconsiderar a “topografia urbana” construída no entorno.

Segundo Trewartha (1954), uma região climática é qualquer porção da superfície terrestre sob elementos climáticos e características climáticas similares. O tempo é o somatório das condições atmosféricas de um lugar, em um curto período de tempo, através da combinação de temperatura, pressão, umidade, ventos e precipitação, ou seja, representa um estado momentâneo da atmosfera. Por outro lado, o clima é a generalização das condições de tempo dia após dia, enfatizando características e distribuições, ou seja, estudando a variação constante das condições do tempo e das mudanças de estação. (Grzybowski, 2004)

São considerados como fatores climáticos globais, a radiação, latitude, altitude, massas de água e terra; e os locais, a topografia, vegetação e superfície do solo; e considera como elementos climáticos a temperatura, umidade, movimento do ar (ventos) e precipitações. Os fatores climáticos locais determinam as condições do microclima, isto é, o clima em um local restrito, como por exemplo, uma cidade, bairro, uma rua, ou mesmo uma edificação em uma camada de ar junto ao solo. (Costa, 2002)

O clima urbano é um sistema que abrange o clima de dado espaço e sua urbanização, comparando-se a cidade e seu entorno, podendo-se observar a influência da urbanização no clima. (Mascaró, 1999)

O processo urbano causa transformações nas propriedades radiativas, térmicas, de umidade e aerodinâmicas na superfície, implicando em alterações no balanço de radiação e no balanço de energia. A densidade dos materiais de construção produz um sistema com maior capacidade para estocagem de calor, a impermeabilização da superfície gera condições para as enchentes urbanas, a geometria dos prédios contribui para a estagnação e canalização do ar e para a formação de uma superfície de grande aspereza. Os materiais do tecido urbano alteram as propriedades físicas dos elementos naturais modificando o albedo, a absorção e a transmissão de calor na superfície. O calor e a água produzidos pelas atividades humanas suplementam as fontes naturais de calor e água no sistema urbano. Para poder se medir as alterações trazidas pela urbanização do espaço costuma-se estabelecer comparações entre uma área urbanizada e uma não urbanizada ou comparar áreas urbanas com uso do solo diferenciado, localizadas em áreas centrais e nos arredores das cidades. (Maitelli, 1994)

Desta forma, nota-se a formação das ilhas de calor em determinadas áreas das cidades, pois as construções absorvem mais insolação e as devolvem com uma irradiação maior de calor junto com poluentes emitidos pela atmosfera. As ilhas de calor ocorrem, principalmente, devido ao maior uso de combustíveis fósseis (derivados de petróleo) e ausência de biomassa (áreas verdes). Este é um fenômeno típico de aglomerações urbanas de grande, médio e pequeno porte, e as variações de temperatura podem variar em até 7°C. (Grzybowski, 2004)

Abaixo a Figura 11 destaca reportagem de capa acerca do fenômeno das ilhas de calor que hoje são fenômenos comuns nos grandes centros urbanos.



Figura 11: Fatores que contribuem para a formação das ilhas de calor (O Globo, 2005)

2.10.1 Temperatura do Ar

A variável temperatura do ar é uma das três variáveis avaliadas no microclima, ela representa a temperatura do ar ao redor do corpo humano. Dessa forma, essa variável é levada em consideração nos estudos de conforto térmico para determinar-se a troca de calor por convecção entre as pessoas e o ambiente ao redor. Esta pode ser medida através de sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de resistência variável ou termopares. Esta temperatura não é consequência direta da incidência dos raios solares, o que acontece é que os raios solares aquecem o solo, e por convecção, o ar é aquecido. (Grzybowski, 2004).

A temperatura do ar é definida por um balanço energético onde intervém, o Quadro 03 indica alguns fatores que intervém na temperatura do ar. (Lamberts, 2000)

Quadro 03 – Fatores que intervém na temperatura do ar (Lamberts, 2000)

Fatores que Intervém na Temperatura do Ar
Radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora
A condutividade e a capacidade térmica do solo que determina a transmissão de calor por condução
Perdas por evaporação, convecção e radiação

2.10.2 Umidade Relativa do Ar

A segunda variável avaliada é a umidade relativa do ar que é a relação entre a quantidade de vapor d'água que o ar contém e aquela que poderia conter na mesma temperatura. A umidade do ar contribui para a perda de calor de um corpo por evaporação, como aproximadamente 25% da energia gerada pelo organismo é liberado em forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração) é importante que as condições ambientais no entorno do indivíduo estejam favorecendo a tais perdas, quando o calor for desconfortável. (Grzybowski, 2004)

A umidade pode ser expressa pela pressão parcial do vapor de água do ar úmido, e P_a é a pressão que o vapor de água poderia exercer se ocupasse sozinho todo o volume ocupado pelo ar úmido, à mesma temperatura. Sua determinação é através da utilização de um psicrômetro, conforme ilustrado na Figura 12, equipamento que mede simultaneamente a temperatura de bulbo seco, ou do ar e a temperatura de

bulbo úmido aspirado. Com essas duas leituras, o valor da umidade do ar é obtido pela utilização das relações psicrométricas constantes da ISO 7726 (1996), relações essas que se apresentam graficamente através de cartas psicrométricas, ou são estimadas utilizando as equações apropriadas. (Grzybowski, 2004)

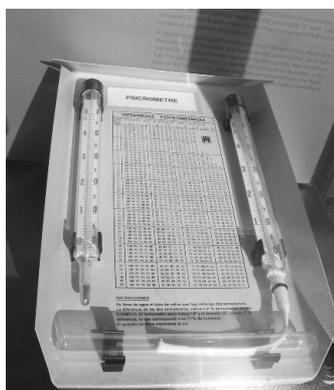


Figura 12: Psicrômetro, atenção para o termômetro de bulbo úmido lado direito (Grzybowski, 2004)

2.10.3 Velocidade do Vento

A terceira variável avaliada em um microclima é a velocidade do vento, em ambientes térmicos, a velocidade do vento, é considerada a magnitude do vetor velocidade do fluxo de ar no ponto de medição, e deve ser levada em consideração nos estudos de conforto térmico devido à sua participação na transferência de calor por convecção e por evaporação na posição da pessoa. Para a determinação do coeficiente de convecção utilizada na expressão do balanço térmico ou da carga térmica atuando sobre a pessoa, posteriores, a velocidade do vento considerada é a velocidade relativa do vento, V_{ar} . Essa é a velocidade do vento final atuando sobre a pessoa levando em consideração a velocidade absoluta do vento no ponto e o incremento a essa velocidade causado pelos movimentos das pessoas de acordo com a atividade desempenhada. (Grzybowski, 2004)

A ventilação pode ser natural ou forçada, e a natural pode ocorrer de acordo com dois princípios; por diferença de pressão ou por efeito chaminé, as principais funções da ventilação são: exigências humanas, suprimento de oxigênio e diluição do gás carbônico; higiene, diluição de odores; remoção do excesso de calor de ambientes; propiciar ambientes salubres, a Figura 13 ilustra um anemômetro, instrumento usado para medir a velocidade do ar. (Grzybowski, 2004)

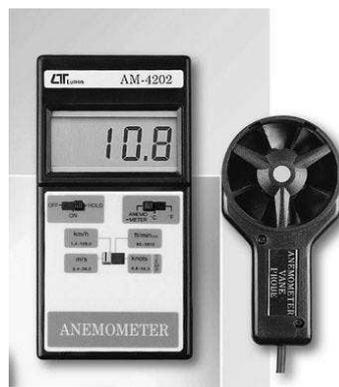


Figura 13: Anemômetro de hélice para medição da velocidade do vento (Lamberts, 2005)

2.11 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Para avaliação do conforto térmico do ambiente, podemos utilizar diversas diretrizes ou métodos de cálculo. No caso deste estudo, focaremos nos dois métodos de avaliação que serão utilizados para análise do conforto dos usuários e verificação do conforto no ambiente, a saber: o método de Olgay – Givoni e o método de Fanger.

O método de Olgay considera a temperatura e a umidade relativa do ar, esquematizando um diagrama bioclimático. Givoni tomou como base o método de Olgay e produziu uma carta bioclimática para o Brasil, importante para o desenvolvimento de estratégias bioclimáticas a serem adotadas em projetos.

Atualmente, foram desenvolvidas novas técnicas para avaliação do conforto térmico, que incorporam conceitos mais realistas. Assim, surgiu o método de Fanger (1984). Este método analisa um maior número de variáveis que os métodos anteriores, estas são temperatura, umidade, velocidade do ar, calor radiante, tipo de atividade e vestimenta. O Quadro 04 resume os principais métodos na avaliação de conforto térmico.

Quadro 04: Resumo dos métodos de avaliação de conforto térmico e suas variáveis (Grzybowski, 2004)

Método	Variáveis
Olgay – Givoni	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar
Fanger	Temperatura, umidade, velocidade do ar, calor radiante, tipo de atividade e vestimenta

2.11.1 Método de Fanger

A pesquisa sobre o conforto térmico teve um grande avanço a partir da publicação do trabalho desenvolvido pelo dinamarquês Ole Fanger, em sua passagem pelo laboratório da ASHRAE – Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento, no período de outubro de 1966 a abril de 1967. (Grzybowski, 2004)

Fanger elaborou uma equação de conforto que permitia calcular todas as combinações das variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade relativa e temperatura do ar) que produzem o conforto térmico, para uma determinada combinação das variáveis pessoais (tipo de atividade física e vestimenta). (Grzybowski, 2004)

O modelo de predição do conforto térmico para os usuários de edificações, bem como a avaliação da aceitabilidade térmica de ambientes internos, é matéria normalizada através da ISO 7730 (1994). Os dizeres constantes na norma basearam-se nos estudos de Fanger (1970), sendo esses estudos conhecidos internacionalmente como modelo PMV/PPD. (Xavier, 1999)

O voto médio estimado (PMV – Predicted Mean Vote), ou sensação analítica de conforto térmico, foi obtido no modelo, através do balanço térmico entre o homem e o ambiente, onde a geração de calor pelo organismo devido à execução de uma atividade deve ser dissipada em igual proporção ao ambiente, por meio dos mecanismos de trocas térmicas. (Xavier, 1999)

Através da expansão da expressão do balanço térmico, para quatro atividades diferentes e levando-se em consideração os votos de sensações térmicas de mais de 1300 pessoas, fornecidos em uma escala de sete pontos, desde muito quente até muito frio, Fanger apresentou por meio de análises estatísticas de regressão, a expressão do PMV é expressa pela eq. (13), a eq. (12) expressa o cálculo do índice de atividade térmica para cálculo do PMV. (Xavier, 1999)

$$L = M \cdot (1 - \eta) - RE - (-C - R + E) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{eq. (12)}$$

onde:

L = índice de atividade térmica

M = metabolismo do corpo

η = eficiência mecânica (trabalho)

RE = calor liberado pela respiração

C = calor trocado por convecção com o meio

R = calor trocado por radiação com o meio

E = calor liberado por evaporação através da pele

Logo:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad \text{eq. (13)}$$

onde:

PMV = voto médio estimado

M = metabolismo do corpo

L = índice de atividade térmica

As análises efetuadas com relação à percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*) foram feitas tomando-se por base os votos fornecidos pelas pessoas na escala sétima de sensações, tendo Fanger feito a seguinte consideração: encontravam-se insatisfeitas as pessoas que votaram +3, +2, -3 e -2 na escala de sensações. Os votos +1 e -1 não caracterizavam pessoas insatisfeitas com o ambiente. (Xavier, 1999)

A escala sétima de sensações, ou escala de percepção constante da ISO 10551 (1995), a qual foi utilizada nos estudos de Fanger, encontra-se no Quadro 05.

Quadro 05: Escala de percepção térmica de Fanger (Xavier, 1999)

Escala de Percepção	
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Levemente Quente
0	Neutro
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Desse modo, Fanger estabeleceu, para se avaliar um ambiente interno, o relacionamento entre o PMV médio das pessoas e o percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente, conforme eq. (14). (Xavier, 1999)

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp.[- (0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad \text{eq. (14)}$$

onde:

PPD = percentual de pessoas insatisfeitas

PMV = voto médio estimado

Por esta expressão, observa-se que para uma situação plena de conforto, $PMV = 0$, existirá um percentual mínimo de insatisfeitos da ordem de 5%. (Xavier, 1999)

A ISO 7730 (1994), em seu anexo D, considera como aceitável termicamente o ambiente que apresentar um percentual de pessoas insatisfeitas inferior a 10%, o que ao retornar-se à eq.13 anterior, leva a um valor de PMV entre +0,5 a -0,5. (Xavier, 1999)

Em casos onde os votos +1 e -1 na escala de sensações são considerados como insatisfeitos, Araújo (1996), verifica-se que para a situação plena de conforto, $s = 0$ (ou $PMV = 0$), o percentual de pessoas insatisfeitas é superior a 40%. Uma forma alternativa de se adotar o método de Fanger, é aplicar a relação existente na Figura 14 e os ábacos das Figuras 15, 16 e 17. (Xavier, 1999)

M = 0,5 MET (Atividade sedentária)								
Vestimenta (CLO)	Temperatura Ambiente (°C)	Velocidade Relativa do ar (m/s)						
		< 0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0,50	23	-1,10	-1,10	-1,51	-1,78	-1,99	-2,16	—
	25	-0,34	-0,38	-0,71	-0,94	-1,11	-1,25	-1,71
	27	0,42	0,35	0,09	-0,08	-0,22	-0,33	-0,68
	29	1,17	1,08	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34
1,00	20	-0,85	-0,87	-1,13	-1,29	-1,41	-1,51	-1,81
	22	-0,30	-0,33	-0,55	-0,69	-0,80	-0,88	-1,13
	24	0,26	0,20	0,02	-0,09	-0,18	-0,25	-0,46
	26	0,31	0,75	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22
M = 1 MET								
0,5	20	-1,41	-1,41	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42	—
	22	-0,79	-0,79	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17
	24	-0,17	-0,20	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35
	26	0,44	0,39	0,16	0,01	-0,11	-0,21	-0,52
	28	1,05	0,98	0,81	0,70	-0,61	0,54	0,31
	30	1,64	1,57	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14
1,0	18	-0,75	-0,75	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59
	20	-0,32	-0,33	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07
	22	0,13	0,10	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52
	24	0,58	0,54	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02
	26	1,03	0,98	0,86	0,79	0,79	0,70	0,57
	28	1,47	1,42	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12

Figura 14: Relação Temperatura Ambiente, vestimenta e velocidade relativa do ar, cálculo de PMV (Bedia, 2005)

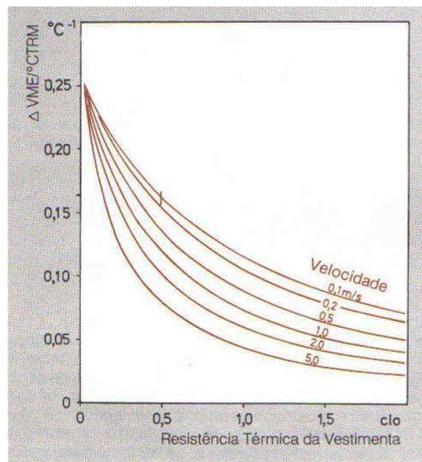


Figura 15: Ábaco para determinar a variação do voto médio estimado (PMV) com a variação de temperatura radiante média (TRM) em função da vestimenta e vel. do vento (Bedia, 2005)

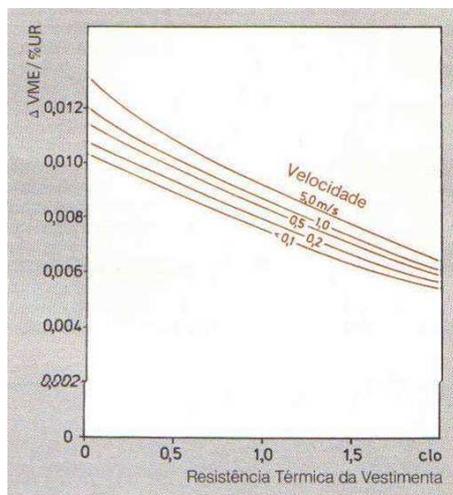


Figura 16: Ábaco para determinar variação do Voto médio estimado (PMV) com a variação da umidade relativa em função da vestimenta e velocidade do vento (Bedia, 2005)

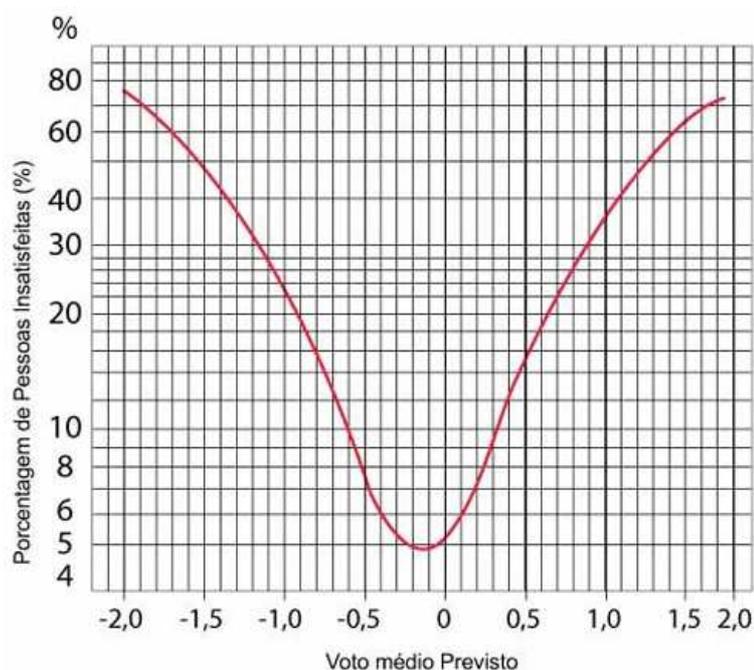


Figura 17: Voto médio estimado x Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (Bedia, 2005)

2.11.2 Método de Olgyay – Givoni

A bioclimatologia estuda as relações entre o clima e o ser humano. Como forma de tirar partido das condições climáticas para criar uma arquitetura com desempenho térmico adequado, OLGAYAY (1973) criou a expressão projeto bioclimático, que visa a adequação do projeto ao clima local. (Lamberts, 2005)

Segundo Andrade (1996), em seus estudos Olgyay (1963) buscou, dentro de uma seqüência de variáveis interdependentes (clima / biologia / tecnologia / arquitetura), encontrar o método que compreende, inicialmente, uma análise de dados climáticos, acompanhada de uma avaliação psico-biológica. Resultou na elaboração da primeira carta bioclimática, apresentando-se como uma tentativa de associar os dados climáticos com a sensação de conforto, submetidos a trabalhos leves e com vestimenta de 1 clo. (Grzybowski, 2004)

Os dados das escalas do clima variam de projetista para projetista. Em geral, podem ser considerados o macroclima, o mesoclima e o microclima. (Lamberts, 2005)

No macroclima são observadas as características climáticas de uma região, normalmente medidas em estações meteorológicas. As normais climatológicas são

um exemplo de dados medidos em estações climáticas disponíveis para caracterização do clima das cidades. As normais são séries de dados padronizados pela Organização Meteorológica Mundial calculadas para períodos de 30 a 30 anos, obtidas a partir de médias mensais e anuais de totais diários. A série de 1931 a 1960 é a mais recente, e apresenta médias mensais de temperatura, médias das máximas de temperatura, média das mínimas de temperatura, temperaturas máximas e mínimas absolutas, pressão atmosférica, umidade relativa, horas de insolação, precipitação, dentre outras. Os dados medidos em estações podem também ser reunidos em arquivos climáticos. (Lamberts, 2005)

Os arquivos podem conter dados de anos específicos ou podem representar o macroclima de uma cidade ou região. Neste caso, há diversas formas de tratamento de dados para que o arquivo seja representativo, em geral, registrando dados de hora a hora, até atingir as 8760 horas que formam um ano completo de 365 dias. O TRY (*Test Reference Year*) é um Ano Climático de Referência, resultado de um tratamento de 30 anos de dados climáticos em que são eliminados os anos que apresentam a menor e a maior temperatura da série. Por fim, é selecionado o ano cujas temperaturas não apresentam extremos. Apesar do TRY ser gerado a partir de dados de temperatura, apresenta ainda dados de umidade, direção e velocidade dos ventos, cobertura de nuvens, pressão atmosférica e, às vezes, radiação solar. (Lamberts, 2005)

No mesoclima e microclima, são observadas as alterações locais na radiação solar, temperatura do ar, umidade e vento. Uma grande cidade pode alterar as condições do mesoclima pela poluição que gera ou pelo corte indiscriminado da vegetação, por exemplo. Já o microclima está diretamente relacionado à escala da edificação e de seu entorno imediato, sendo influenciado pelas consequências das outras escalas climáticas e também pela interferência direta na propriedade onde se encontra a edificação. (Lamberts, 2005)

Olgay (1963) desenvolveu uma metodologia que indica que com a plotagem de dados climáticos, temperaturas médias mensais horárias, sobre a carta bioclimática, obtêm-se estratégias mais recomendáveis em cada hora, de determinada região (Grzybowski, 2004). O professor Givoni, baseando-se no método de Olgay, propôs

uma carta bioclimática para o Brasil, representada na Figura 18, onde se identificam “zonas” de conforto e estratégias de arquitetura bioclimática, em função dos valores que encontramos no local de umidade e temperatura do ar. (Krause, 2005)

A construção e leitura da carta bioclimática, se dá da seguinte forma, por um dado período de tempo faz-se uma série de medidas no psicrômetro, que é formado de dois termômetros, um de bulbo seco e outro de bulbo úmido, cada par de dado (bulbo úmido e bulbo seco) formará um ponto na carta bioclimática, o eixo horizontal é referente a leitura de bulbo seco o eixo curvo superior é referente a leitura de bulbo úmido, uma vez determinado o ponto na carta, duas outras informações é dada de imediato, a umidade relativa representada pelo eixo vertical esquerdo e a umidade absoluta, representada pelo eixo vertical direito.

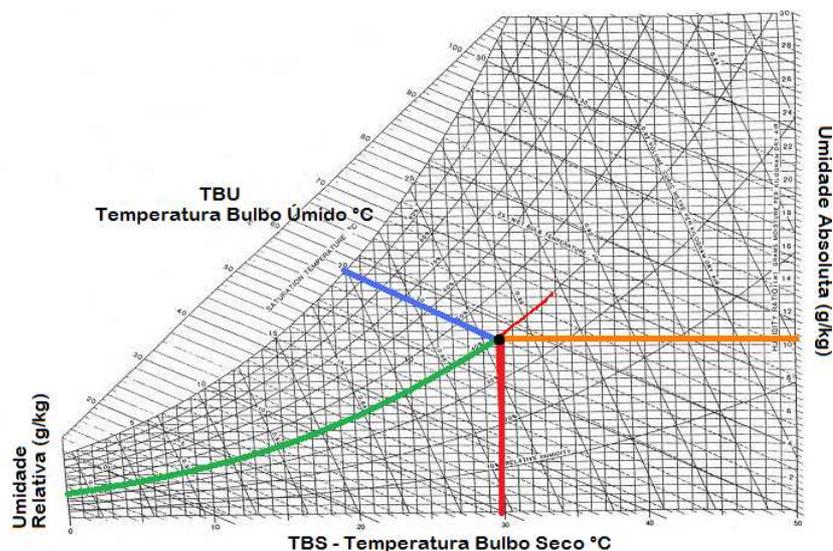


Figura 18: Carta Bioclimática de Olgyay – Givoni – leitura de bulbo seco em vermelho, leitura de bulbo úmido em azul, determina o ponto em preto; a umidade absoluta em laranja correspondente e umidade relativa em verde correspondente (Lamberts, 2005)

2.12 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Estas estratégias, corretamente utilizadas durante a concepção do projeto da edificação, podem proporcionar melhorias nas condições de conforto térmico e redução no consumo de energia. A seguir apresenta-se uma discussão breve a respeito de cada estratégia. (Lamberts, 2005)

O Quadro 06 demonstra os nove zoneamentos existentes na carta bioclimática de Olgay e Giovani.

Quadro 06: Identificação dos Zoneamentos existentes na Carta Bioclimática

Zoneamento na Carta Bioclimática	
Zona 01	Zona de Conforto
Zona 02	Zona de Ventilação
Zona 03	Zona de Resfriamento Evaporativo
Zona 04	Zona de Massa Térmica p/Resfriamento
Zona 05	Zona de Condicionamento Artificial
Zona 06	Zona de Umidificação
Zona 07	Zona de Massa Térmica e Aquecimento Solar
Zona 08	Zona de Aquecimento Solar Passivo
Zona 09	Zona de Aquecimento Artificial

2.12.1 Zona de Conforto

Para condições climáticas que resultem em pontos delimitados por esta região existe uma grande probabilidade das pessoas perceberem a sensação de conforto térmico. Desta forma, pode-se verificar que a sensação de conforto térmico pode ser obtida para umidade relativa variando de 20 a 80% e temperatura entre 18°C e 29°C, a Figura 19 ilustra essa zona na carta bioclimática. (Lamberts, 2005)

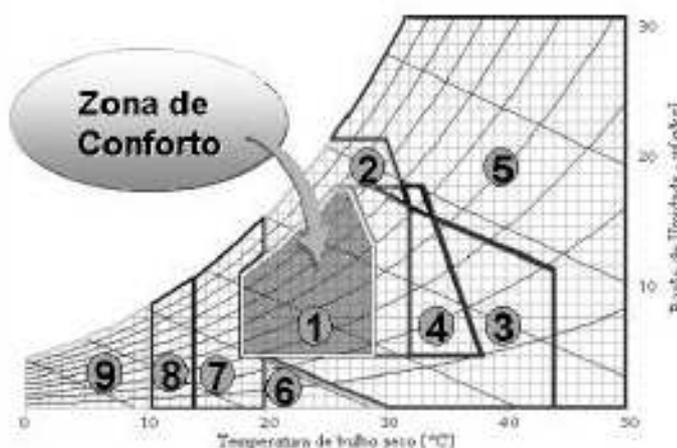


Figura 19: Zona de Conforto (Lamberts, 2005)

2.12.2 Zona de Ventilação

A ventilação corresponde uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio). As soluções arquitetônicas comumente utilizadas são ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação, a Figura 20 ilustra

essa zona na carta bioclimática, já a Figura 21 ilustra algumas possibilidades de estratégias arquitetônicas. (Lamberts, 2005)

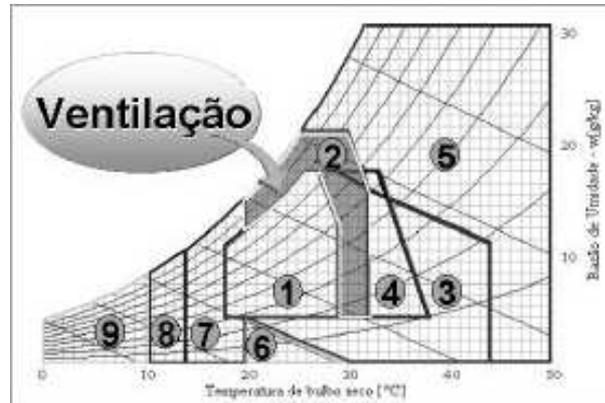


Figura 20: Zona de ventilação (Lamberts, 2005)

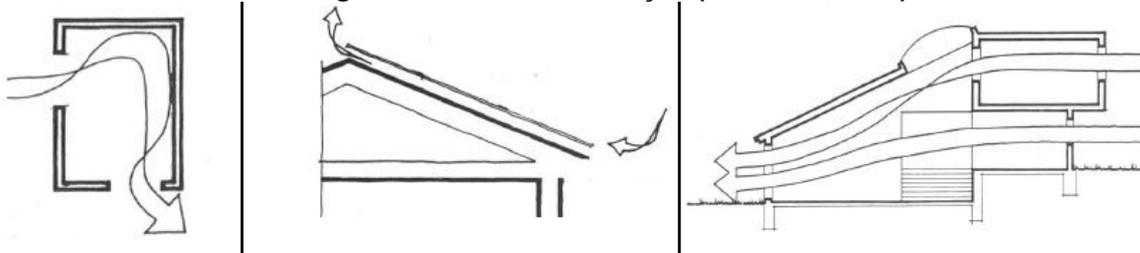


Figura 21: Exemplos de ventilação cruzada em edificações da esquerda para a direita: em planta; pela cobertura; em elevação. (Lamberts, 2005)

2.12.3 Zona de Resfriamento Evaporativo

O resfriamento evaporativo é uma estratégia utilizada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta. O uso de vegetação, fontes d'água ou outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo. Uma forma indireta pode ser obtida através de tanques d'água sombreados executados sobre a laje de cobertura, a Figura 22 ilustra essa zona na carta bioclimática e a Figura 23 algumas possibilidades de estratégias arquitetônicas. (Lamberts, 2005)

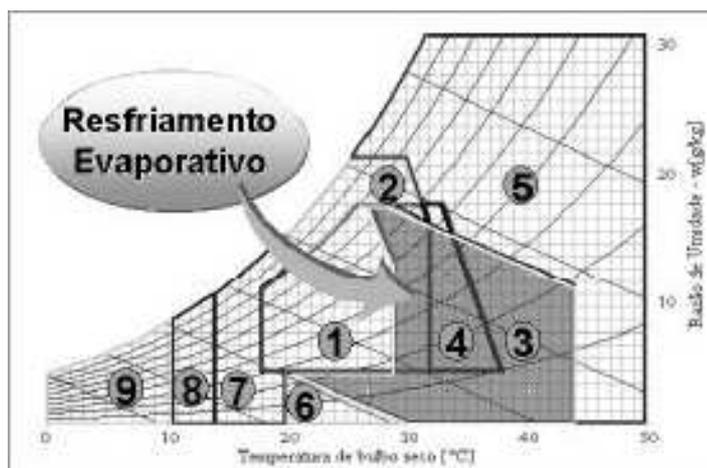


Figura 22: Zona de resfriamento evaporativo (Lamberts, 2005)

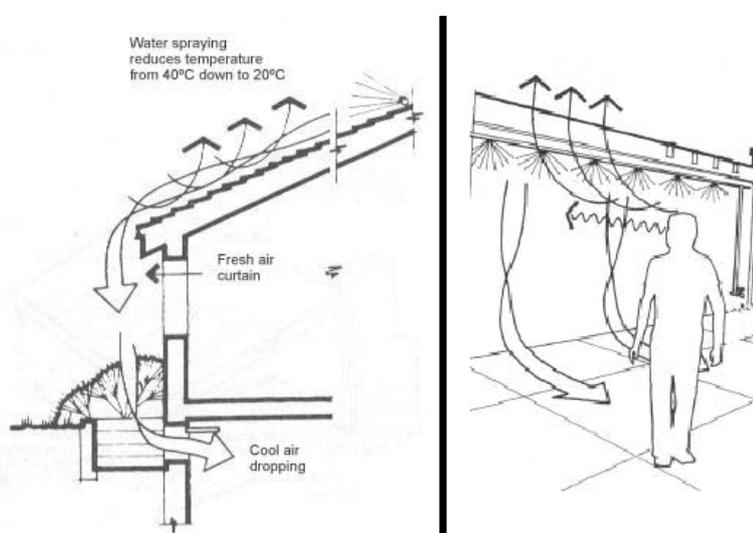


Figura 23: Exemplos de resfriamento evaporativo, da esquerda para a direita: resfriamento indireto através da cobertura; resfriamento direto com microaspersão de água no ar (Lamberts, 2005)

2.12.4 Zona de Inércia Térmica para Resfriamento

A utilização de componentes construtivos com inércia térmica (capacidade térmica) superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação à exterior, ou seja, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente. Componentes construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quentes e secos onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite. Nestes casos, a capacidade térmica do componente permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno apenas no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento, a Figura 24 ilustra essa zona na carta

bioclimática e a Figura 25 algumas possibilidades de estratégias arquitetônicas. (Lamberts, 2005)

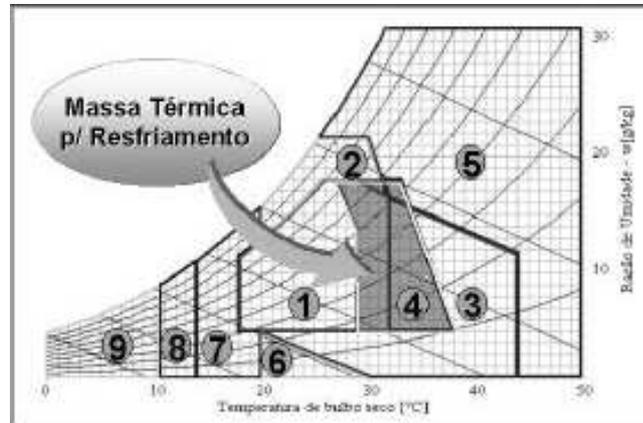


Figura 24: Zona de Inércia térmica para resfriamento (Lamberts, 2005)

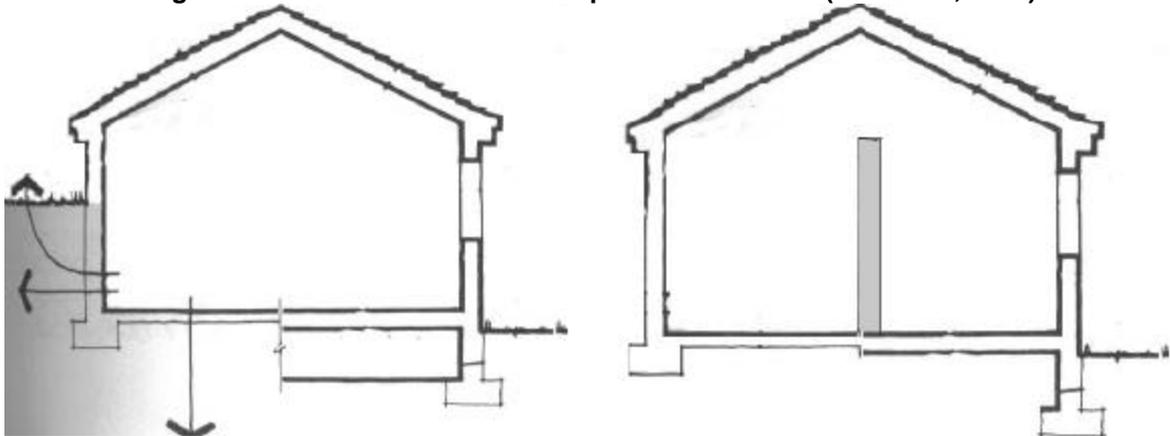


Figura 25: Exemplos de resfriamento por inércia térmica, da esquerda para a direita: o uso do solo como material de inércia térmica; o uso da parede como material inerte térmico (Lamberts, 2005)

2.12.5 Zona de Resfriamento Artificial

O resfriamento artificial deve ser utilizado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas para conforto, a Figura 26 ilustra essa zona na carta bioclimática enquanto a Fotografia 04 Retrata o sistema de condicionamento (resfriamento) artificial como alternativa mitigadora. (Lamberts, 2005)

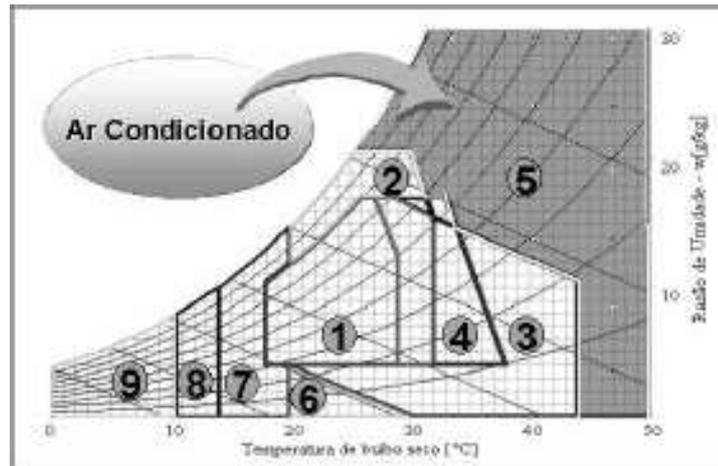
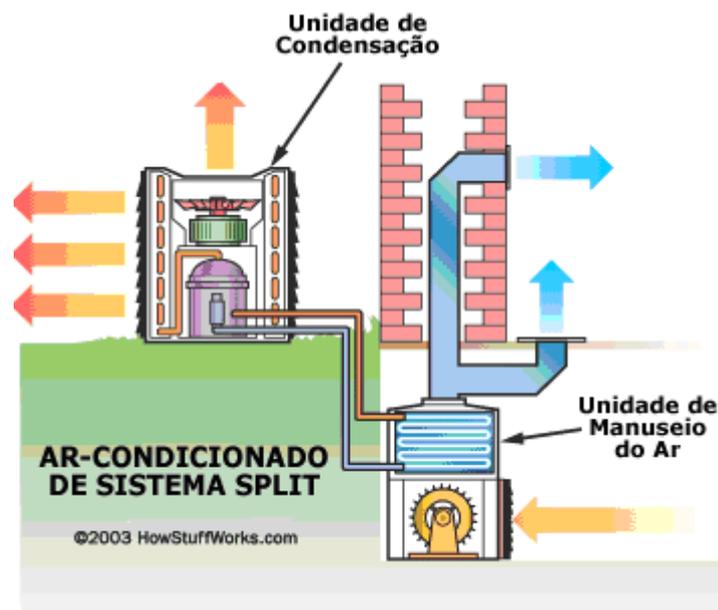


Figura 26 - Resfriamento Artificial (Lamberts, 2005)



Fotografia 04- Sistema de Resfriamento Artificial (VBG Ar Condicionado)

2.12.6 Zona de Umidificação

A estratégia de umidificação é recomendada quando a temperatura do ar apresentasse menor que 27°C e a umidade relativa abaixo de 20% (EVANS & SCHILLER, 1988). Recursos simples, como recipientes com água colocados no ambiente interno podem aumentar a umidade relativa do ar. Da mesma forma, aberturas herméticas podem manter esta umidade, além do vapor d'água gerado por atividades domésticas ou produzido por plantas, a Figura 27 mostra essa zona na carta bioclimática e a Figura 28 uma solução adotada no Palácio Alvorada.

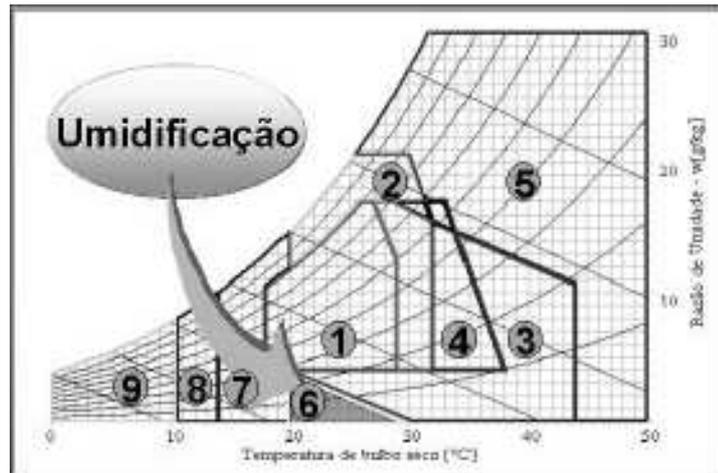


Figura 27: Zona de Umidificação (Lamberts, 2005)



Figura 28: Palácio Alvorada em Brasília - O espelho d'água além de ser uma solução estética muito bonita tem a função principal de Umidificar a edificação, por Brasília ser uma cidade de clima muito seco. (Planalto, 2009)

2.12.7 Zona de Inércia Térmica e Aquecimento Solar

Neste caso, podem ser adotados componentes construtivos com maior inércia térmica, além de aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para evitar perdas de calor, pois esta zona situa-se entre temperaturas de 14°C a 20°C, a Figura 29 ilustra essa zona na carta bioclimática, as Figuras 30 e 31 retratam algumas possibilidades de estratégias arquitetônicas. (Lamberts, 2005)

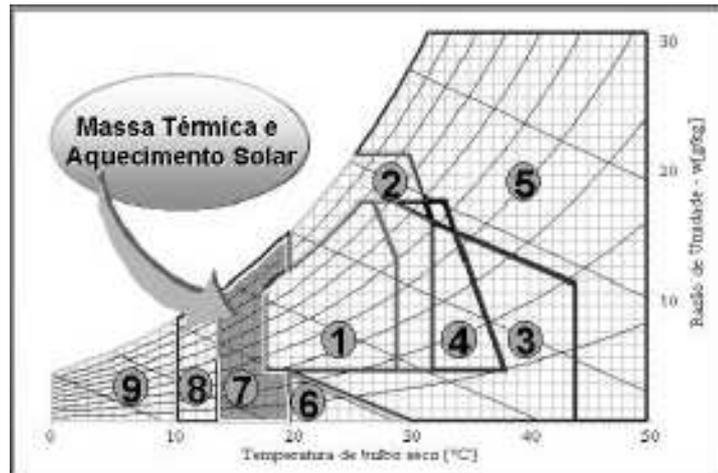


Figura 29: Zona de Inércia Térmica e Aquecimento Solar (Lamberts, 2005)

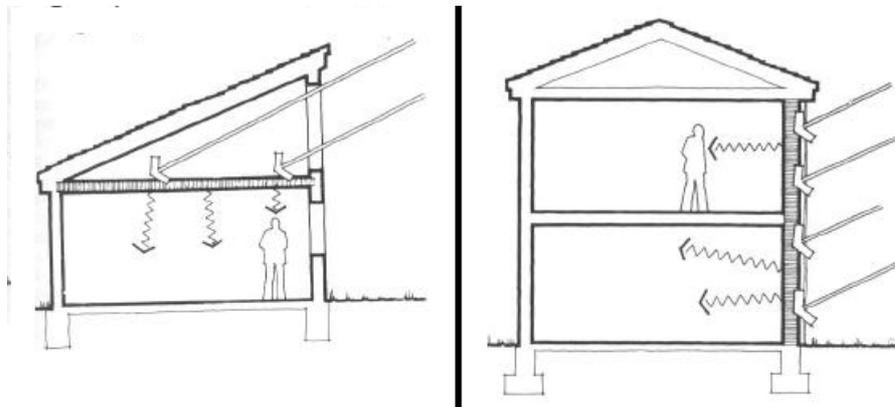


Figura 30: Exemplos de aquecimento por uso de materiais de inércia térmica, da esquerda para a direita: Uso da energia solar e inércia térmica no forro para aquecimento; Inércia térmica nas paredes externas com um pano de vidro (parede Trombe) recebendo a radiação solar e aquecendo os ambientes. (Lamberts, 2005)

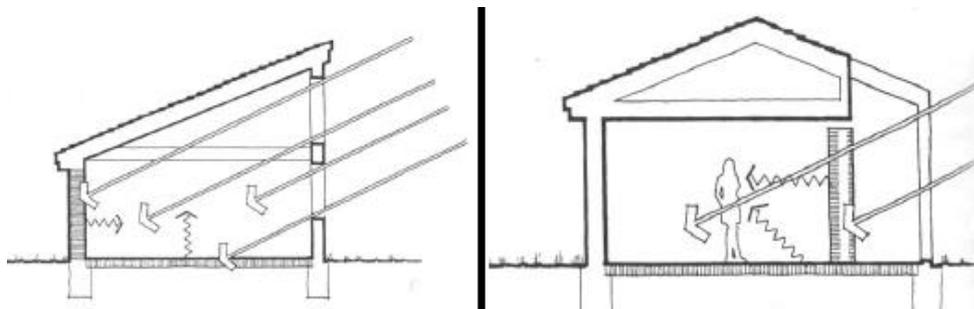


Figura 31: Exemplos de aquecimento por uso de materiais de inércia térmica, da esquerda para a direita: Inércia térmica em paredes internas; Inércia térmica associada a varandas fechadas com vidro (Lamberts, 2005)

2.12.8 Zona de Aquecimento Solar Passivo

O aquecimento solar passivo deve ser adotado para os casos com baixa temperatura do ar. Recomenda-se que a edificação tenha superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação para evitar perdas de calor. Esta estratégia pode ser conseguida através de orientação adequada da edificação e de cores que maximizem os ganhos de calor, através de aberturas zenitais, de coletores de calor colocados no telhado e de isolamento para reduzir perdas térmicas, a Figura 32 ilustra essa zona na carta bioclimática e a Figura 33 algumas possibilidades de estratégias arquitetônicas. (Lamberts, 2005)

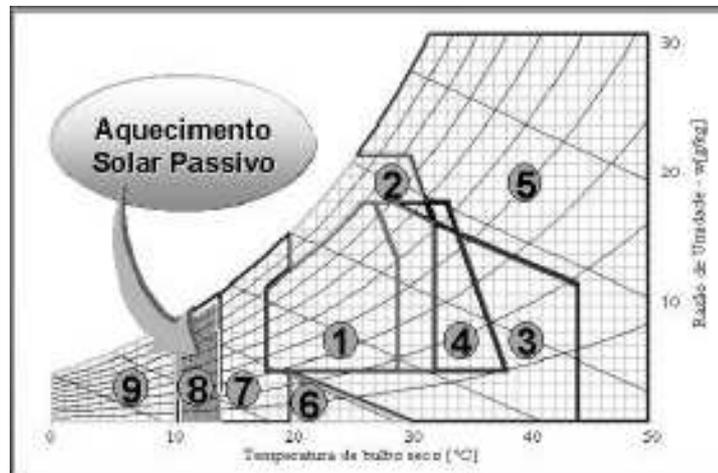


Figura 32: Zona de aquecimento solar passivo (Lamberts, 2005)

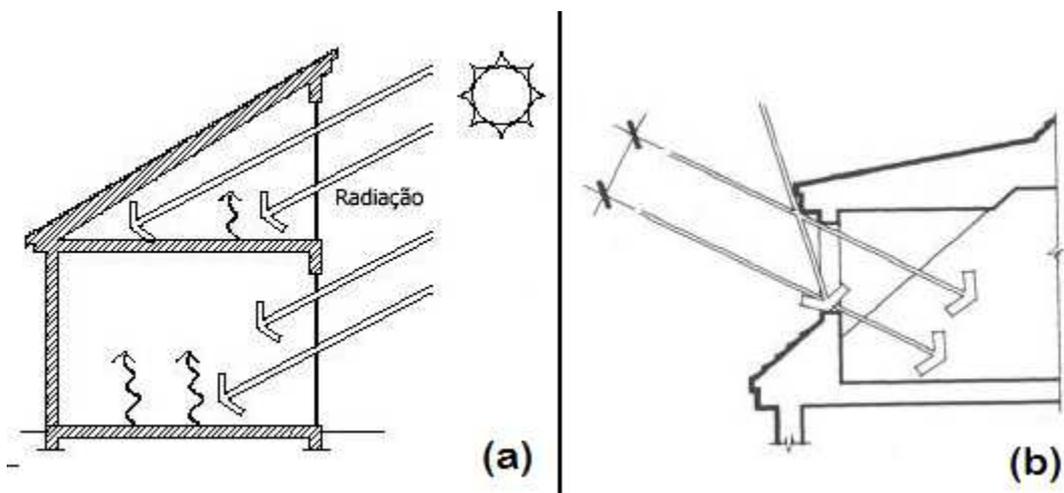


Figura 33: Exemplos de aquecimento solar passivo: (a) – Uso pleno da radiação solar para aquecimento; (b) – Orientação norte permite o controle da radiação solar. (Lamberts, 2005)

2.12.9 Zona de Aquecimento Artificial

Este tipo de estratégia deve ser utilizado apenas em locais extremamente frios, com temperatura inferior a aproximadamente 10°C, 5°C, e m que a estratégia de aquecimento solar passivo não seja suficiente para produzir sensação de conforto. Deve-se usar isolamento nas paredes e coberturas dos ambientes aquecidos para evitar perdas de calor para o ambiente externo, a Figura 34 ilustra essa zona na carta bioclimática, enquanto a Fotografia 05 retrata o aquecimento artificial produzido pela lareira a lenha. (Lamberts, 2005)

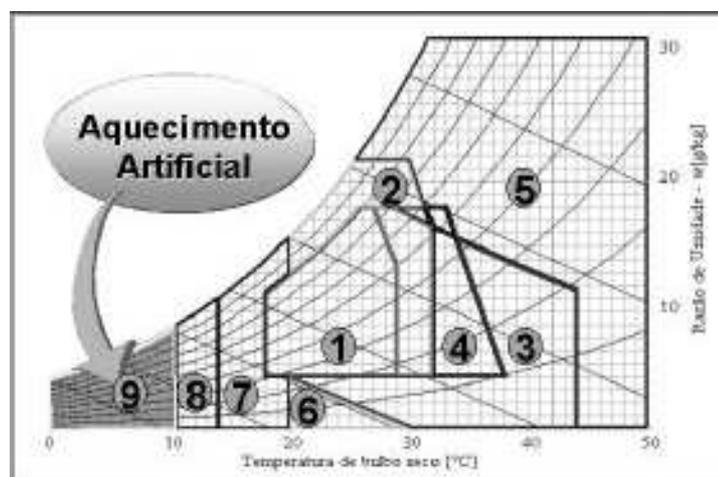


Figura 34: Zona de aquecimento artificial. (Lamberts, 2005)



Fotografia 05: Aquecimento Artificial com Lareira (Arquitetura & Construção)

2.13 CONSIDERAÇÕES

Segundo Barroso (2005), os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico, está baseada principalmente em 3 (três) fatores:

- a) A satisfação do homem ou seu bem estar em se sentir termicamente confortável;
- b) A performance humana, muito embora os resultados de inúmeras investigações não sejam conclusivos a esse respeito. A despeito dessa inconclusividade, os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio, reduz a performance humana. As atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico.
- c) A conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes com climas artificiais, ambientes condicionados, e assim sendo, uma vez conhecendo-se as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários.

Convém ressaltar que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, e assim busca-se criar condições de conforto para o grupo, ou seja, condições nas quais a maior percentagem do grupo esteja em conforto térmico.

CAPÍTULO 03: LEVANTAMENTO DOS FATORES CLIMÁTICOS EXISTENTES E APRESENTAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONFORTO AMBIENTAL ADOTADOS NOS PROJETOS DO PRÉDIO CENTRAL E LABORATÓRIOS

3.1 METODOLOGIA DE TRABALHO PARA LEVANTAMENTO DOS FATORES CLIMÁTICOS EXISTENTES

O método de trabalho para a pesquisa dos fatores climáticos realizado durante a etapa de desenvolvimento do Projeto de Ampliação do Cenpes, elaborado pela FUPAM , seguiu as seguintes etapas:

3.1.1 Estabelecimento de critérios para a escolha da base de dados

A proximidade e semelhança de condições ambientais com o local do projeto, evitando-se estações localizadas em áreas urbanas sujeitas a fenômenos de aquecimento urbano no Rio de Janeiro, ainda não estudados. Foi verificada a consistência da base de dados (periodicidade dos registros, proporção de falhas, confiabilidade do órgão responsável pela estação). O Período medido e observado foi de no mínimo 05 anos e o mais recente possível.

3.1.2 Verificação das bases disponíveis

Verificação do atendimento aos critérios estabelecidos no item anterior e escolha da base a ser utilizada.

Análise da base adotada, ano a ano, mês a mês, fazendo-se a verificação de ocorrência de possíveis anos atípicos (passagem do El Niño, La Niña), a intensidade e a regularidade das atipicidades ao longo do ano e o período de recorrência desses fenômenos.

Decisão pelo descarte ou não de eventuais anos atípicos em função do rigor do fenômeno e do tempo de recorrência, e dos efeitos provocados (aumento ou diminuição de temperatura, umidade, chuvas e vento).

Uma vez selecionados os anos a serem utilizados, iniciou-se a construção de 02 bancos de dados: um anual e outro para o mês mais quente, extraindo-se daí o dia típico para as simulações com diferentes materiais e componentes. Para a construção de um ano típico de projeto, calcularam-se as médias horárias dos parâmetros tbs – temperatura de bulbo seco, tbu – temperatura de bulbo úmido e

radiação solar efetivamente registrados, cada um deles para as 8760 horas (dados horários para uma série histórica de 05 anos), e calculou-se a Uabs – umidade absoluta. Para os dados de vento, velocidade e direção (para a qual não se estabelece médias), a verificação é feita hora a hora, selecionando-se dentre os dados efetivamente registrados, os valores coincidentes e/ou os mais próximos referentes ao quadrante predominante.

3.1.3 Cálculo da velocidade média

Velocidade média para cada hora foi calculada para as direções selecionadas.

3.1.4 Identificação do mês mais quente

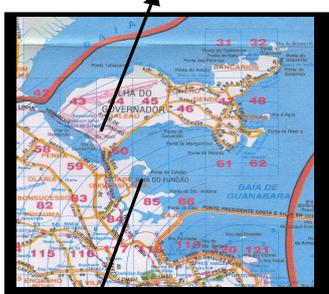
Pela série histórica, fez-se a identificação do mês mais quente, sendo eleito o mês real dos últimos 05 anos para as simulações das cargas térmicas de pico dos edifícios que utilizam o sistema ativo.

3.1.5 Obtenção do dia de referência

Dentro desse mês foi feita a identificação dos períodos de maior estabilidade atmosférica foi extraído o dia de referência de verão para as simulações que teve por finalidade avaliar o desempenho dos recintos com diferentes materiais e componentes construtivos.

A Figura 35 descreve a localização da Ampliação do Cenpes e sua base de coleta dos dados observados durante a etapa de projetos.

Localização da Estação Meteorológica –
Aeroporto do Galeão
Estação: SBGL
Latitude: - 22,82°
Longitude: - 43,15°
Altitude: 52m



Local do Projeto CENPES - COEMP

Figura 35: Localização da base de observação e Ampliação do Cenpes (Fupam, 2004)

3.1.6 Características do Objeto de Estudo

Dada a localização da estação meteorológica do Aeroporto do Galeão, é evidente a proximidade e a semelhança de condições ambientais com o local do projeto. As características topográficas são muito próximas, as condições de exposição ao vento também, evitando-se assim estações localizadas em áreas mais urbanizadas, sujeitas aos fenômenos de aquecimento urbano (ilhas de calor) no Rio de Janeiro, ainda pouco estudados. (FUPAM, 2004) Abaixo podemos observar na Figura 36 a orientação dos ventos predominantes no maciço que dá origem a Ilha do Fundão.



Figura 36: Direção dos ventos (Fupam, 2004)

3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dentre as opções de estações meteorológicas disponíveis, foram verificadas as bases de dados descritas na Tabela 05 abaixo:

Tabela 05: Estações Meteorológicas Existentes

Estação	Período medido	Disponibilidade	Base	Localização	Parâmetros medidos
Aeroporto do Galeão	11/1998 a 10/2004	METAR/IAG (11/98-10/04) Energy Plus (02/02-10/04)	horária	Ilha do Governador	tbs tbu pressão atmosférica direção de vento velocidade de vento
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	Normais climatológicas 1961 a 1990	Meteonorm / Normais climatológicas	médias mensais	Rua Barão de Tefé, Praça Mauá - Centro	tbs umidade relativa do ar pressão atmosférica nebulosidade velocidade de vento direção de vento
CEPEL	Não informado	Não disponível em tempo	horária	Ilha do Fundão	radiação solar
IGEO/UFRJ	Não informado	Não disponível em tempo	horária	Ilha do Fundão	não informado
TRY Aeroporto do Galeão	61 a 70 (ano típico 1963)	UFSC/Labeee	horária	Ilha do Governador	tbs tbu pressão atmosférica direção do vento velocidade do vento
Aeroporto do Galeão Comando da Aeronáutica	1985-1987, 1992-1996, 2002-2003	Petrobrás	médias mensais	Ilha do Governador	tbs umidade relativa do ar nebulosidade velocidade de vento direção de vento
2001 ASHRAE Handbook	Não identificado	Petrobrás	Não identificada	não identificada	tbs tbu radiação solar

Fonte: Relatório FUPAM

Sendo assim, dentre as opções disponíveis e segundo os critérios estabelecidos pelo método adotado no trabalho desenvolvido pela FUPAM, foi considerada mais adequada a base de dados do Galeão fornecida pelo laboratório MASTER/IAGUSP, e, somente para o cálculo de radiação solar, foram consideradas as normais climatológicas do INMET, pela ausência destas medições na base do Aeroporto. Neste caso, como se trata apenas do dado de radiação solar, recorrer a uma outra estação medidora próxima do local do projeto não compromete a análise dos resultados. O mesmo não poderia ser feito com os outros parâmetros climáticos que são mais localizados, tais como temperatura, umidade e ventos.

Na verificação de consistência dos dados foram descartados os anos de 1998 e 1999 pelo número de registros (4 (quatro) medições diárias somente).

A base adotada foi analisada ano a ano, e mês a mês, fazendo-se a verificação de ocorrência de possíveis anos atípicos (passagem do El Niño, La Niña), a intensidade e a regularidade das atipicidades ao longo do ano e o período de recorrência desses fenômenos, conforme descrito no método.

Em relação à possibilidade de descarte de anos atípicos, as atipicidades são irregulares e de pouco impacto ao longo dos 12 meses de cada um dos 5 (cinco) anos analisados, não se justificando a supressão de nenhum dos anos considerados.

Foi adotado um ano de referência para projeto a fim de caracterizar o clima e, posteriormente, alimentar as simulações de desempenho térmico. Tendo em mãos os dados horários de 2000 a 2004, foram feitas as médias horárias dos parâmetros t_{bs} , t_{bu} e U_{abs} , efetivamente registrados, para a construção do ano de referência para projeto, com 8760 horas para cada parâmetro. Para os dados de vento, velocidade e direção, a verificação foi feita hora a hora, selecionando-se dentre os dados efetivamente registrados, os valores coincidentes e/ou os mais próximos referentes aos quadrantes predominantes, sendo a maioria deles S, SE e E, voltados para a Baía de Guanabara. Sendo assim, a velocidade média para cada hora foi calculada para as direções selecionadas. Conforme pode ser observado nas

Figuras 45 a 69, o ano de referência adotado foi significativo especificamente em relação às condições climáticas verificadas no período de 2000 a 2004.

Pela série histórica foi identificado o mês de fevereiro como sendo o mais quente, sendo o do ano de 2003 o mais quente dos últimos 5 (cinco) anos. Sendo assim, esse foi o mês adequado para alimentar as simulações das cargas térmicas de pico dos edifícios que utilizam o sistema ativo. Dentro do mês de fevereiro de 2003 foram estudados os períodos de maior estabilidade atmosférica e foi adotado o dia 9/02/2003 como sendo o dia de referência de projeto de verão para as simulações com diferentes materiais e componentes construtivos. Acordando com o exposto no item anterior, o mês e o dia de referência foram significativos especificamente em relação às condições climáticas verificadas no período de 2000 a 2004.

3.3 CONCLUSÕES

O ano de referência para projeto, com 8760 horas, foi construído de acordo com o método exposto acima.

O mês mais quente dos últimos 5 (cinco) anos foi identificado como sendo fevereiro de 2003.

O dia de referência de projeto no verão foi adotado como sendo 9/02/2003.

A seguir seguem os resultados obtidos em campo após análise no período observado, estando os dados referentes ao ano de referência dispostos nas Figuras 37 a 45, enquanto nas Figuras 46 a 61 temos os dados medidos referente ao dia e mês do ano de referência,

Na Figura 37 temos a temperatura do ar ao longo do ano de referência observado.

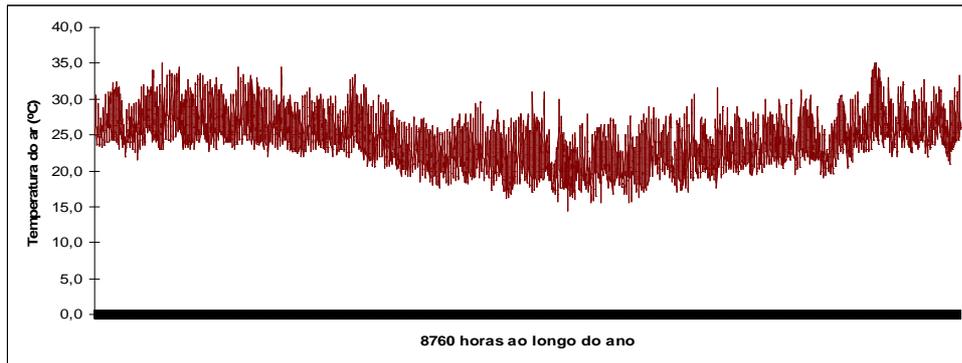


Figura 37: Temperatura do ar ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

Nas Figuras 38 e 39 observamos as umidades relativa e absoluta ao longo do ano de referência.

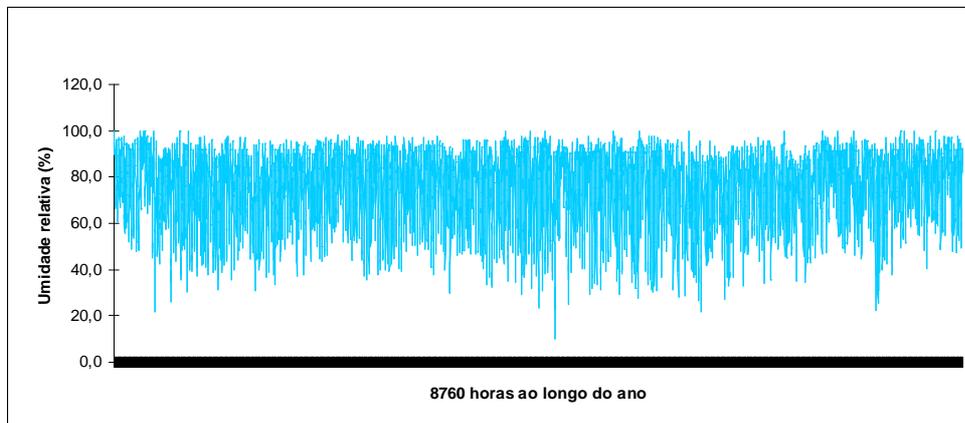


Figura 38: Umidade ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

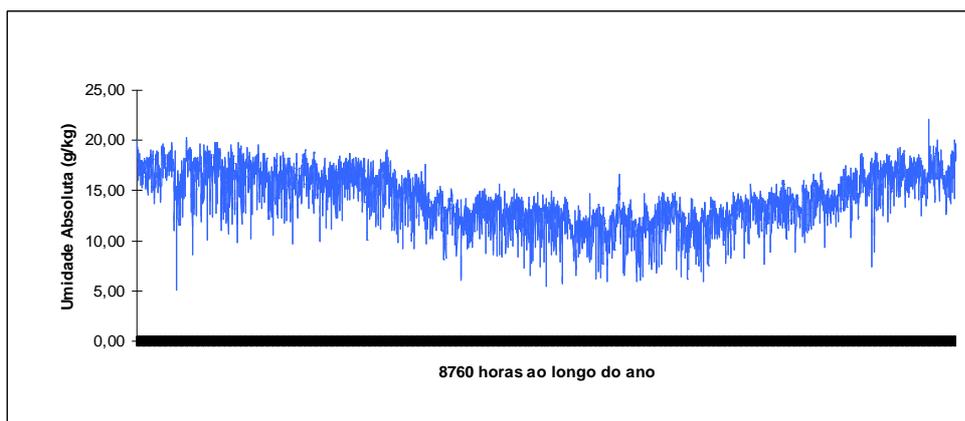


Figura 39: Umidade absoluta ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

Nas Figuras 40, 41 e 42 observamos as radiações global, direta e difusa ao longo do ano de referência.

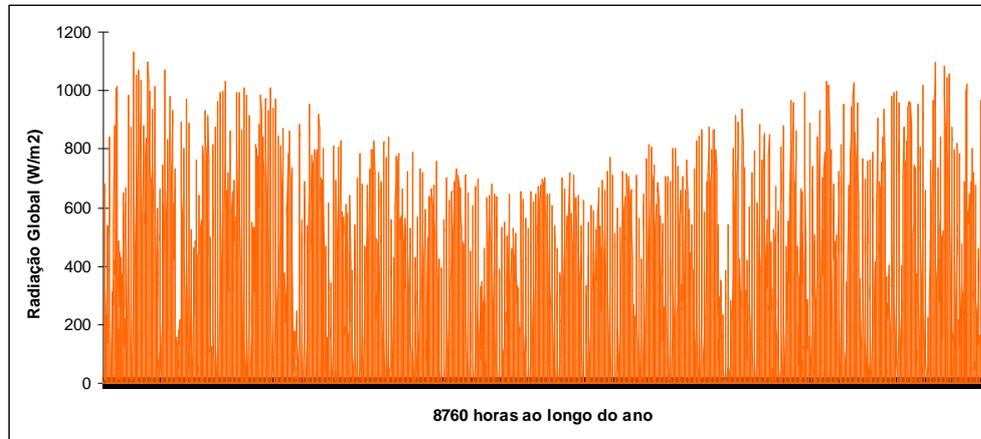


Figura 40: Radiação Global ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

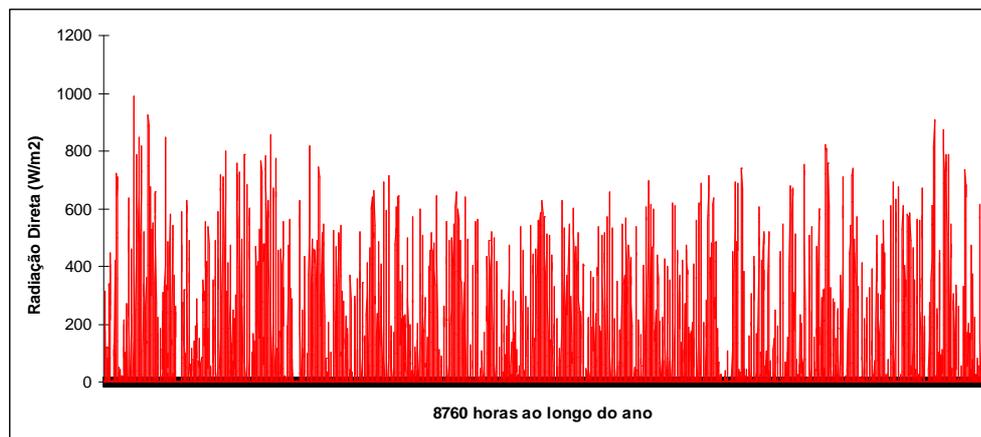


Figura 41: Radiação Direta ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

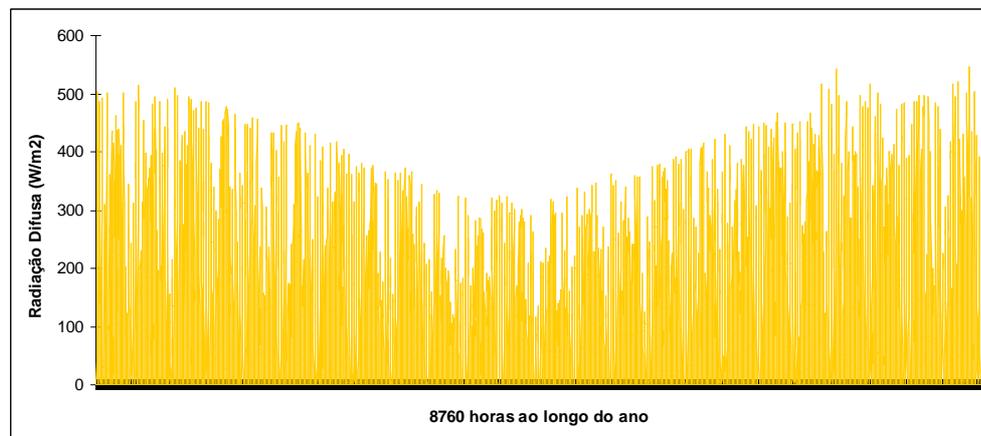


Figura 42: Radiação Difusa ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

Na Figura 43 observamos a velocidade do vento, enquanto nas Figuras 44 e 45 a direção do ano de referência e a rosa dos ventos indicando os ventos predominantes respectivamente, todos ao longo do ano de referência.

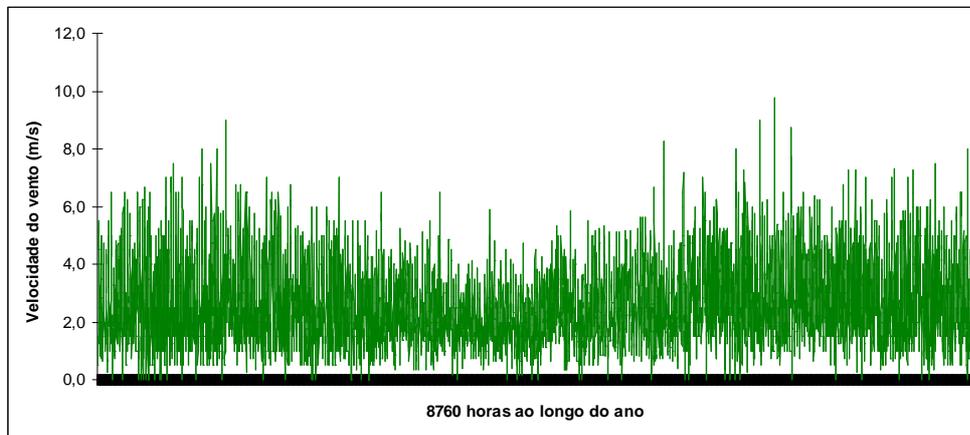


Figura 43: Velocidade do vento ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

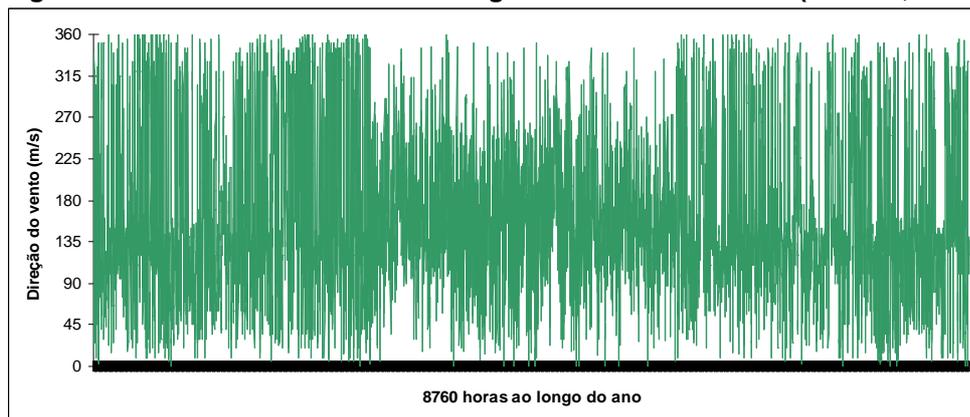


Figura 44: Direção do vento ao longo do ano de referência (FUPAM, 2004)

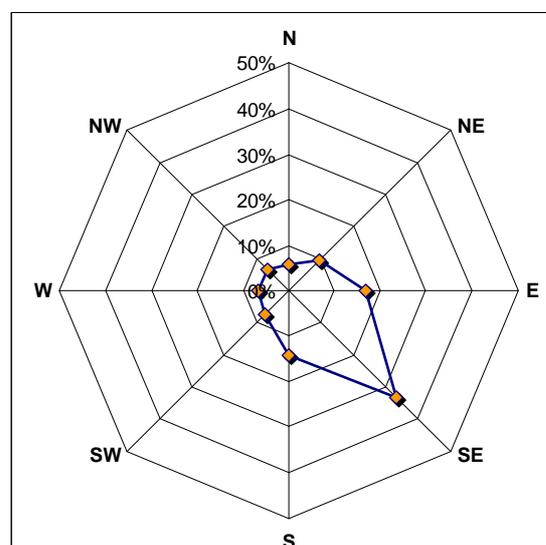


Figura 45: Rosa dos ventos para o ano de referência. (FUPAM, 2004)

Na Figura 46 temos os dados de temperatura obtidos ao longo do mês de Fevereiro do ano de referência.

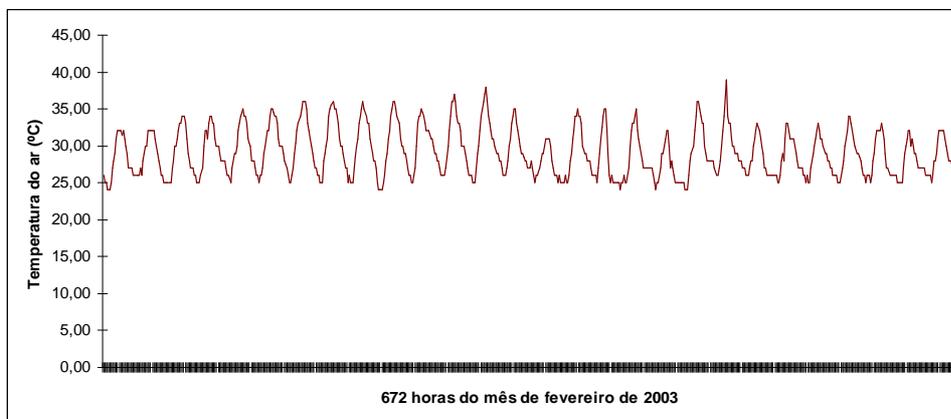


Figura 46: Temperatura do ar ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Nas Figuras 47 e 48 obtemos os dados referentes as umidades relativa e absoluta obtidas durante as medições realizadas durante o mês de fevereiro do ano de referência.

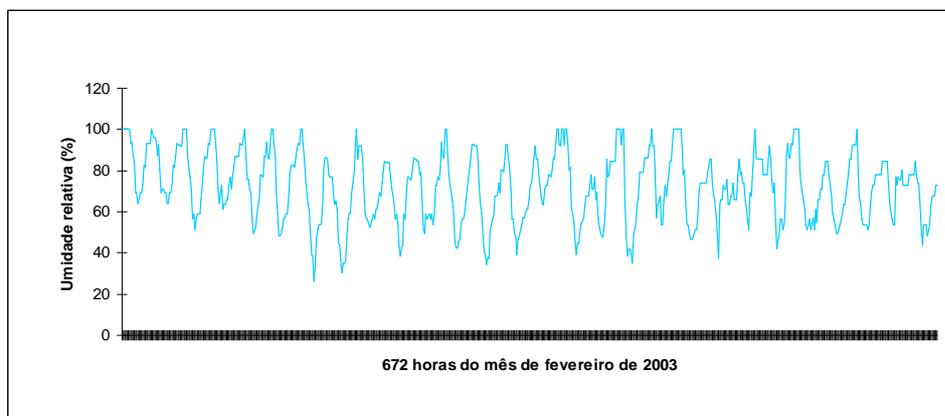


Figura 47: Umidade relativa ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

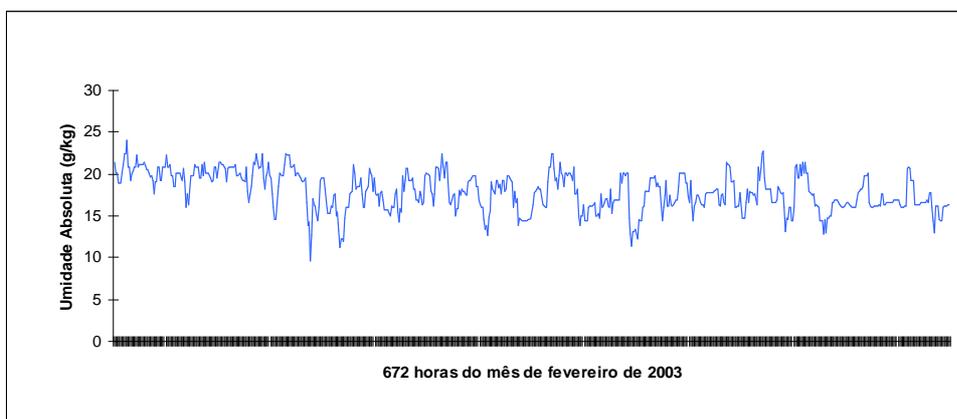


Figura 48: Umidade absoluta ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Nas Figuras 49, 50 e 51 observamos as radiações global, direta e difusa ao longo do mês de fevereiro do ano de referência.

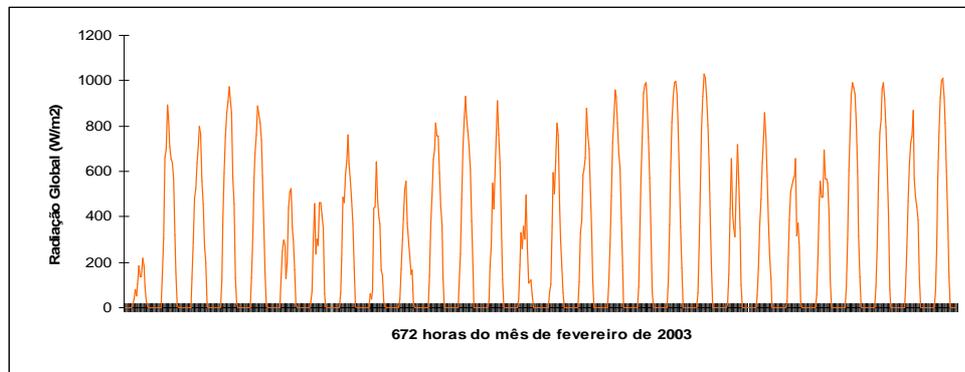


Figura 49: Radiação Global ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

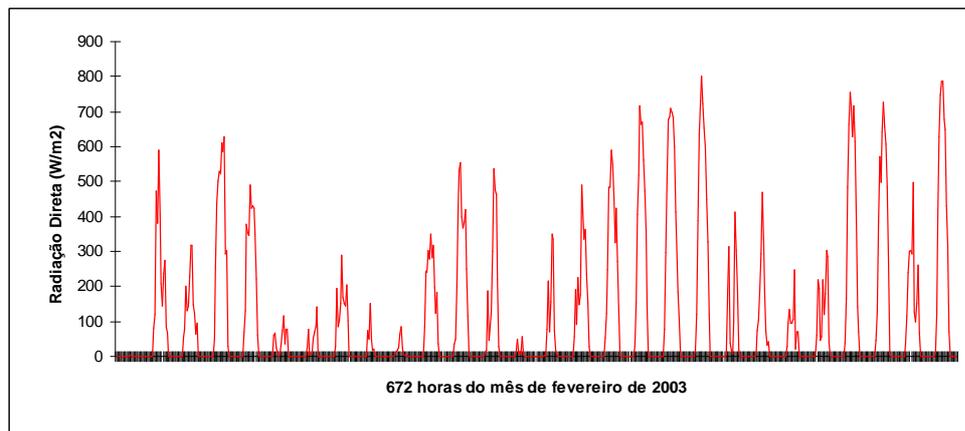


Figura 50: Radiação Direta ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

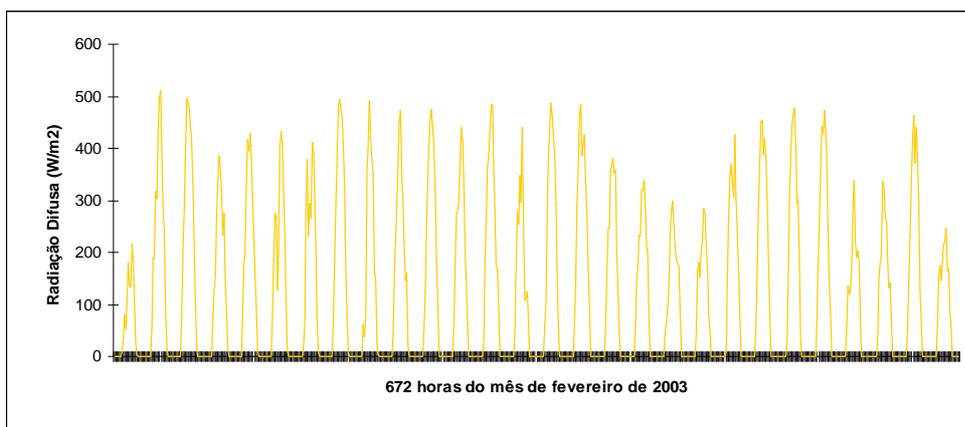


Figura 51: Radiação Difusa ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Na Figura 52 observamos a velocidade do vento, enquanto na Figura 53 a direção do vento no mês de fevereiro no ano de referência.

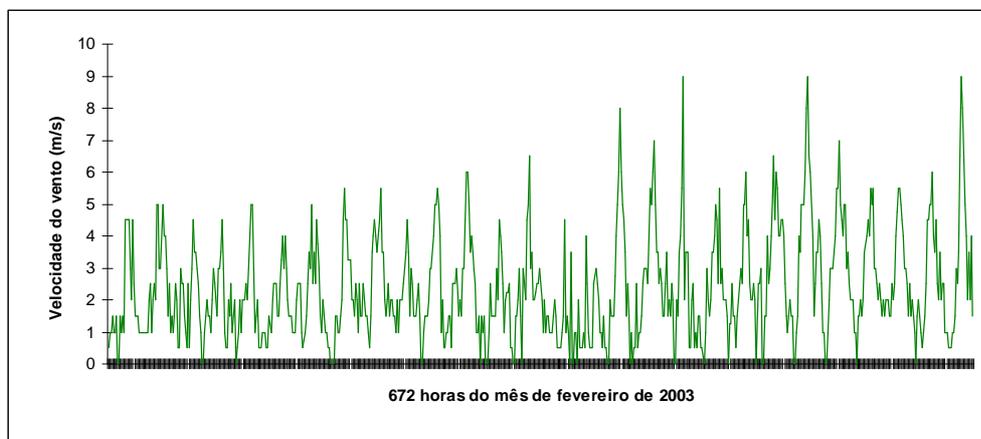


Figura 52: Velocidade do vento ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

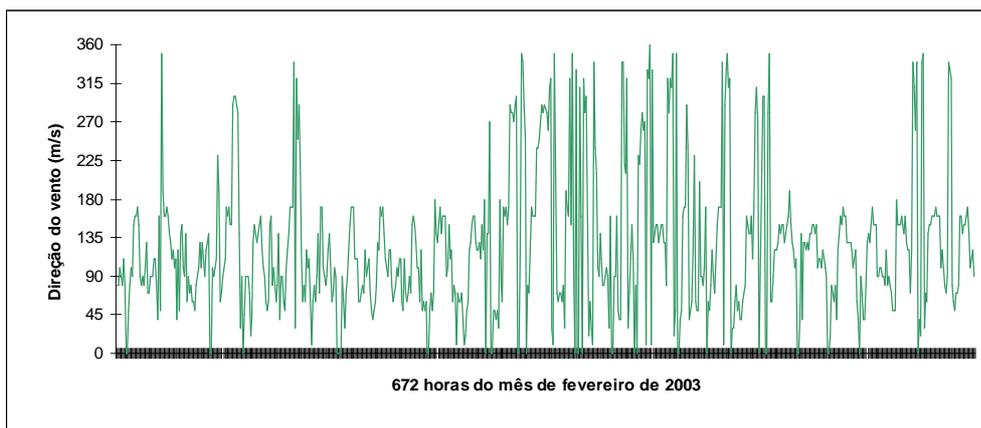


Figura 53: Direção do vento ao longo do mês de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Na Figura 54 podemos observar a medição da temperatura ao longo das 24 horas do dia de referência utilizado para o projeto.

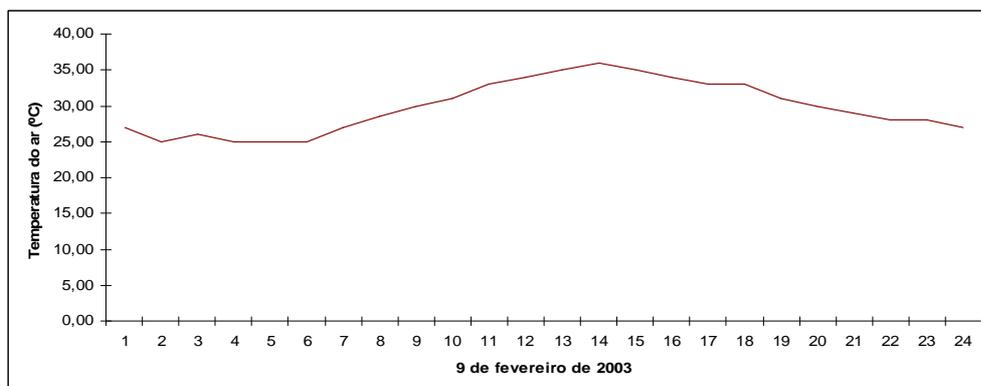


Figura 54: Temperatura do ar em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Nas Figuras 55 e 56 observamos as umidades relativa e absoluta ao longo das 24 horas do dia de referência utilizado para o projeto.

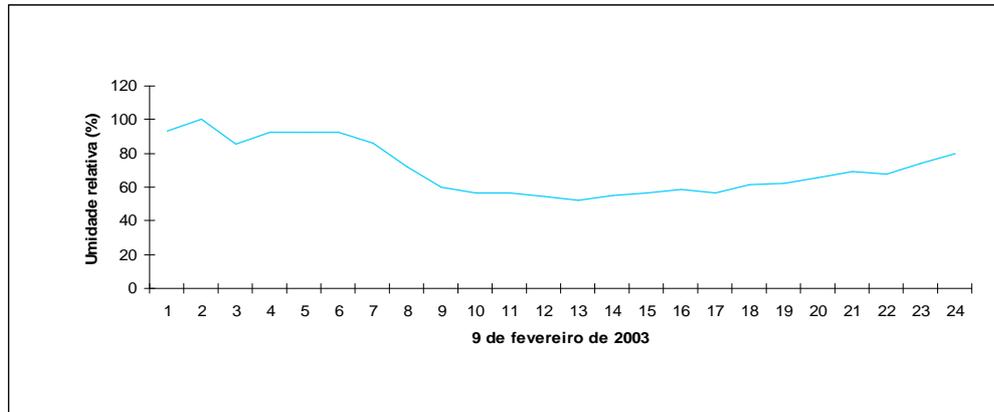


Figura 55: Umidade relativa em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

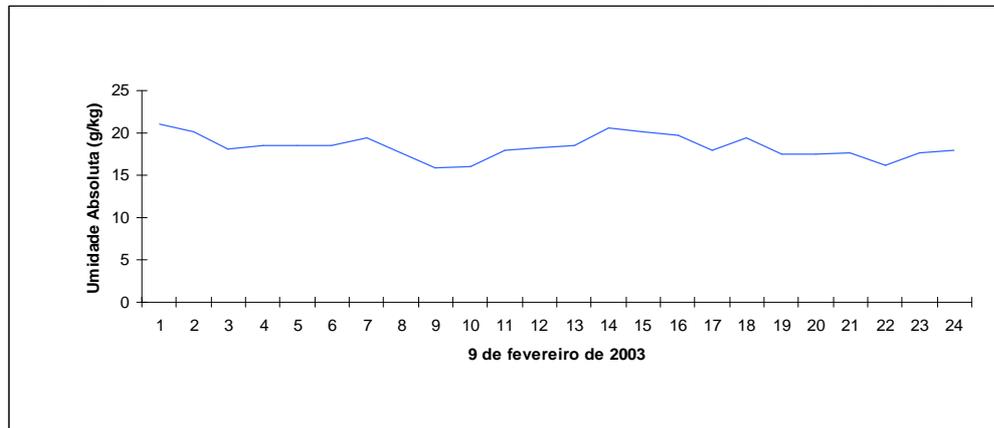


Figura 56: Umidade absoluta em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Nas Figuras 57, 58 e 59 podemos observar as radiações global, direta e difusa obtidas ao longo das 24 horas do dia de referência utilizado para o projeto.

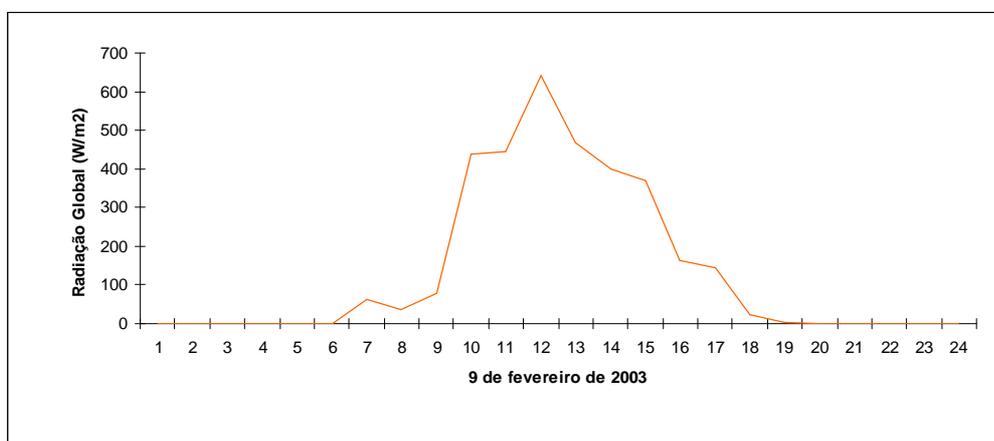


Figura 57: Radiação Global em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

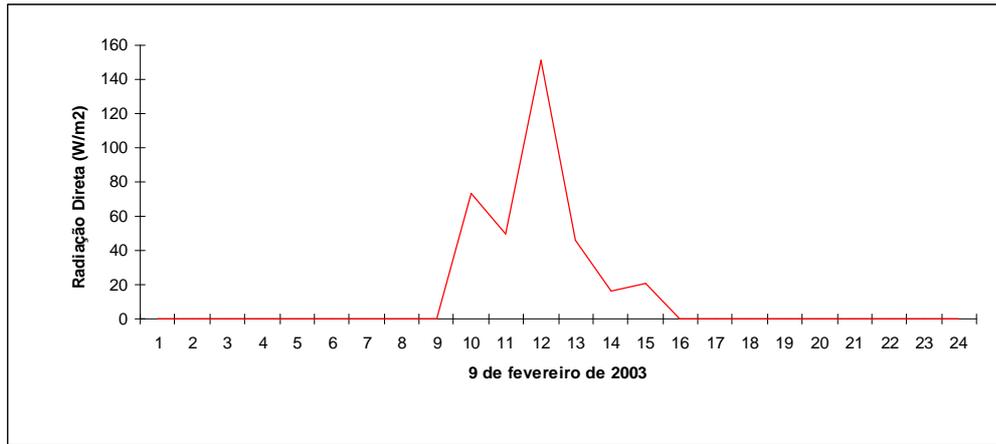


Figura 58: Radiação Direta em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

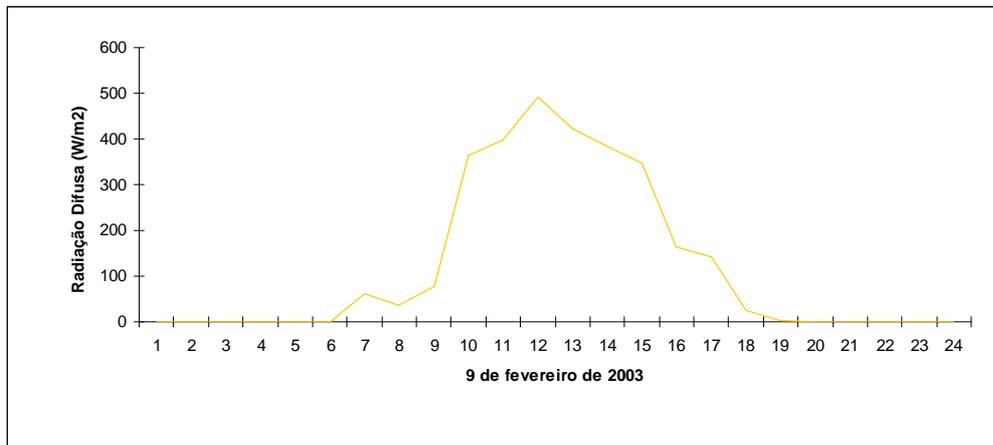


Figura 59: Radiação Difusa em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

Para finalizar os dados principais dados climáticos obtidos durante o período de medição, seguem nas Figuras 60 e 61 os gráficos indicando os dados de velocidade e direção do vento observados durante as 24 horas do dia utilizado para o projeto.

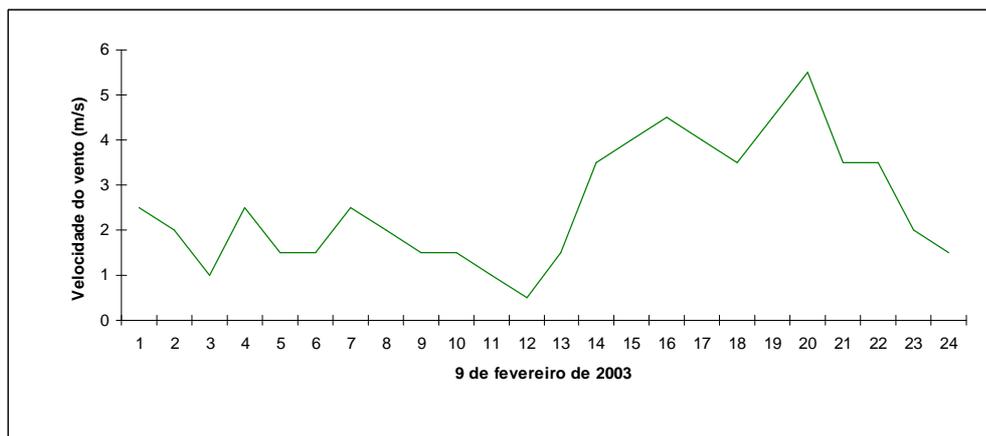


Figura 60: Velocidade do vento em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

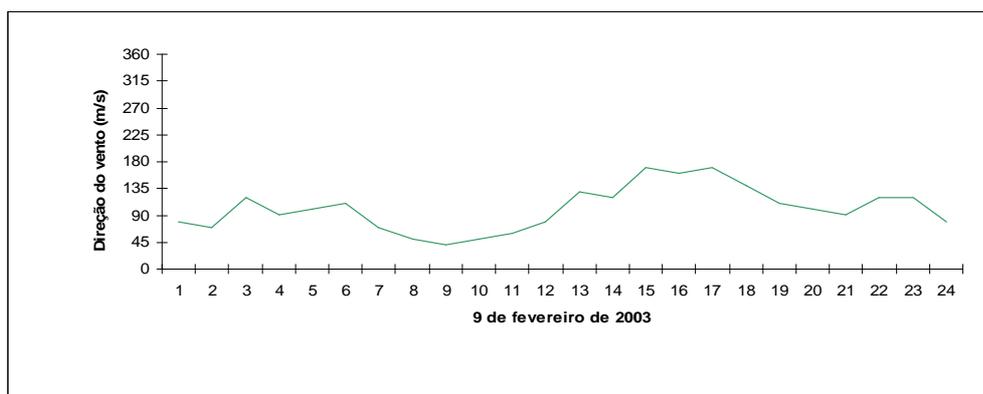


Figura 61: Direção do vento em 9 de fevereiro de 2003 (FUPAM, 2004)

3.4 METODOLOGIA DE TRABALHO PARA APRESENTAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONFORTO AMBIENTAL

3.4.1 Determinação dos parâmetros de conforto durante os períodos de condicionamento artificial do edifício

Para a determinação dos parâmetros de conforto durante o período de condicionamento artificial do edifício, a FUPAM utilizou o procedimento da norma internacional ISO 7730 (1994) e correlatas (ISO 7726; 1998; ISO 8996, 1990; ISO 9920, 1995). Os resultados foram confrontados com a NBR 6401 (1980) e a Orientação Técnica da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003) para se chegar a uma recomendação.

De acordo com a ISO 7730 (1994), o índice de pessoas insatisfeitas (PPD), não pode ser superior a 10%.

Para as variáveis pessoais, adotou-se a taxa metabólica (M) equivalente a trabalho manual sentado em escritório ou laboratório. Assim, segundo a ISO 8996 (1990):

$$M=70W/m^2 (1,2 \text{ met})$$

Adotaram-se vestimentas com resistência (Iclo) equivalente ao conjunto de camisa de mangas curtas, calça social leve, cueca, meia social e sapato. Segundo a ISO 9920 (1995), este conjunto apresenta:

$$Iclo = 0,5 \text{ clo}$$

Para as variáveis climáticas, considerou-se que a temperatura radiante média é numericamente equivalente à temperatura do ar (aproximação válida devido ao sombreamento de coberturas e fachadas). Assim:

$$t_{rm} \approx t_{bs}$$

Portanto, segundo a ISO 7726 (1998), a temperatura operativa é numericamente igual à temperatura do ar:

$$t_o = t_{bs}$$

Com relação à velocidade do ar, para atividade leve, principalmente sedentária, durante o verão (período de resfriamento), com temperaturas operativas até 26°C (ISO 7730, 1994; ASHRAE 55-1992, 1995), tem-se:

$$var < 0,25 \text{ m/s para } T_o \leq 26^\circ\text{C}$$

Para temperaturas operativas maiores ou iguais a 26°C (ASHRAE 55-1992, 1995), tem-se:

$$var \leq 0,8 \text{ m/s para } T_o > 26^\circ\text{C}$$

Na Tabela 06 encontramos o resumo dos parâmetros adotados no projeto.

Tabela 06: Condições adotadas no projeto

Condições Adotadas no Projeto		
Parâmetros	Unidade	Valor
Taxa Metabólica (M)	W/m ²	70 (1,2 met)
Resistência (Iclo)	clo	0,5
Temperatura radiante média (trm)	°C	tbs
Temperatura operativa (to)	°C	tbs
Velocidade do ar (Var) - To ≤ 26°C	m/s	0,25
Velocidade do ar (Var) - To > 26°C	m/s	0,8

3.4.2 Determinação dos parâmetros de conforto durante os períodos de condicionamento natural do edifício

Para o estabelecimento de parâmetros de conforto para os períodos de condicionamento natural, utilizou-se o índice proposto por *Dear, Bragger & Cooper* (1997), que parte da temperatura efetiva média externa para estabelecer a temperatura de conforto térmico.

Segundo a ASRHAE 55 (1995), a Temperatura Efetiva (ET*) é a temperatura operativa de um ambiente a 50% de umidade relativa do ar, que causaria as mesmas trocas de calor sensível e latente experimentadas pelo usuário no ambiente em estudo.

A ET* é calculada pela equação abaixo (ASHRAE, 1997 apud SZOKOLAY, 2001):

$$ET^* = t_o + w \cdot I_m \cdot LR \cdot (p_a - 0,5 \cdot p_{sET^*}) \quad \text{eq. (19)}$$

onde:

t_o : é a temperatura operativa

w : é a umidade da pele;

I_m : é a permeabilidade da roupa à umidade;

LR : é a relação de Lewis;

p_a : é a pressão de vapor e

p_{sET^*} : é a pressão de saturação na temperatura efetiva.

A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente hipotético com uma envoltória negra imaginária no qual um ocupante apresentaria a troca térmica radiante e convectiva que ele apresenta no ambiente não uniforme real. Numericamente, é a média entre a temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) e a temperatura média radiante (t_{rm}), ponderada pelos respectivos coeficientes de troca térmica (h_c e h_r) (FUPAM, 2004). Desse modo, a equação é:

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_{rm} + h_c \cdot t_{bs}}{h_r + h_c} \quad \text{eq. (20)}$$

onde:

h_r : é o coeficiente de trocas radiativas

h_c : é o coeficiente de trocas convectivas

t_{rm} : é a temperatura radiante média

t_{bs} : é a temperatura de bulbo seco

Usualmente, para o cálculo de ET*, assume-se que a temperatura efetiva é dada por retas na carta psicrométrica, passando pelo ponto onde a umidade relativa é 50%

para aquela temperatura. A inclinação dessas retas é igual a $0,023 \cdot (ET^*-14)$, caso $ET^* < 30$, e $0,028 \cdot (ET^*-14)$ para $ET^* > 30$ (SZOKOLAY, 2001).

Deste modo, tendo-se a temperatura operativa e a umidade absoluta de um ponto, foi possível, através de cálculo iterativo, encontrar a temperatura efetiva para aquela condição.

Para ilustrar o significado desse índice, a Tabela 07 indica algumas relações entre ET^* e pares de t_o e UR:

Tabela 07: Valores de temperatura operativa e umidade relativa equivalentes a algumas temperaturas efetivas

$ET^*(^{\circ}C)$	$t_o (^{\circ}C)$	UR (%)
25	23	100
25	25	50
25	27	9
30	27	95
30	30	50
30	35	6

Fonte: Relatório FUPAM

A temperatura de conforto (t_c) é dada pela equação:

$$t_c = 18,9 + 0,255 \cdot ET^* \text{ externa} \quad \text{eq. (21)}$$

Dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2,5^{\circ}C$ dessa temperatura, 90% dos ocupantes ou mais estariam satisfeitos com as condições térmicas do ambiente. Admitindo-se uma tolerância de $\pm 3,5^{\circ}C$, obter-se-ia um índice de satisfação de 80%.

Foram então calculadas as temperaturas efetivas externas para cada hora do banco de dados climáticos anual, assumindo-se que $t_o = t_{bs}$. A temperatura efetiva usada no cálculo de t_c é a temperatura média de todas as horas dos últimos 30 dias. Desse modo, para o dia 15 de fevereiro, às 15 horas, a ET^* externa utilizada no cálculo de t_c é a média de todas as temperaturas efetivas do período entre as 14 horas do dia 16 de janeiro até as 14 horas do dia 15 de fevereiro.

3.5 CÁLCULO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO

Após as simulações realizadas durante a etapa de projetos, os resultados obtidos para conforto encontram-se na Tabela 08.

Tabela 08: Configurações conforto térmico ($PPD \leq 10\%$) para $M=70 \text{ W/m}^2$, $I_{clo}=0,5 \text{ clo}$, $t_o= tbs$

V_{ar}	UR	tbs
0,1m/s	50%	26,4 °C
	65%	26,0 °C
0,2m/s	50%	27,0 °C
	65%	26,6 °C
0,5m/s	50%	27,8 °C
	65%	27,5 °C
0,8m/s	50%	28,3 °C
	65%	27,9 °C

Fonte: Relatório FUPAM, 2004

Deste modo, conclui-se que a adoção de $tbs= 26^\circ\text{C}$, UR= 65% e $var=0,1\text{m/s}$, que segundo a norma internacional ISO 7730 (1994) configuram uma situação com porcentagem de pessoas insatisfeitas inferior a 10%, atende às exigências da Norma Brasileira NBR 6401 (1980) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003).

Em relação ao índice de IBUTG, observa-se que, como a temperatura de bulbo úmido no Rio de Janeiro dificilmente excede os 25°C , somente a partir de temperaturas de globo da ordem de 41°C seria necessária a interrupção das atividades de trabalho. Deste modo, este índice só deve ser considerado em ambientes condicionados naturalmente onde haja geração intensa de calor. (FUPAM, 2004)

Para a determinação do índice de conforto para períodos condicionados naturalmente, foram calculadas as temperaturas de conforto ao longo do ano,

conforme mostrado na Figura 62 (cada linha vertical representa um mês), já indicando os limites para 90% e 80% de satisfeitos.

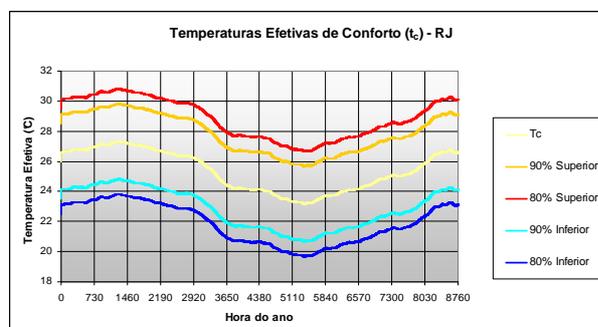


Figura 62: Variação de t_c ao longo do ano (FUPAM, 2004)

3.6 ALTERNATIVAS ANALISADAS

Foram analisadas quatro alternativas para o estudo do índice de conforto ambiental nos períodos condicionados artificialmente. Foram testados diferentes parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar para a operação do sistema ativo, conforme a Tabela 09.

Tabela 09: Parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar para o ambiente condicionado artificialmente

Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
24	50
	60
26	60
	65

Fonte: Relatório FUPAM

Em relação aos ambientes condicionados naturalmente, a Tabela 10 ilustra as alternativas estudadas pela FUPAM para o respectivo índice de conforto ambiental, as quais variam de acordo com a porcentagem de abertura das janelas e o período de ventilação do ambiente.

Tabela 10: Alternativas analisadas para o ambiente condicionado naturalmente

Porcentagem de Abertura das Janelas	Período de Ventilação	Com ocupação	Sem ocupação
10%	24hs	X	
50%	24hs	X	X
50%	17hs às 10hs	X	
100%	24hs	X	

Fonte: Relatório FUPAM

3.7 CONCLUSÕES

3.7.1 Quanto aos períodos de condicionamento artificial

Recomendou-se a operação do ar condicionado com temperatura de 26°C e umidade relativa do ar de 65%, o que proporcionou uma redução de 15% na carga máxima de resfriamento e de 30% na carga máxima de desumidificação em relação a um sistema operado a 24°C e 50% de UR. Isto tem um impacto significativo no dimensionamento do sistema de condicionamento artificial, objetivando assim uma redução no custo da instalação. Além disso, será obtida uma redução dos custos de operação, através da redução das cargas totais anuais da ordem de 22%. (FUPAM, 2004)

3.7.2 Quanto aos períodos de condicionamento natural

Os resultados apontaram para a possibilidade de condicionamento natural durante 10 a 30% do período de ocupação. Este número está associado a fatores como padrão de ocupação, qualidade do ar externo e variáveis arquitetônicas de outra ordem estabelecidas pelo Cenpes.

Vale destacar que os resultados apresentados acima foram obtidos em simulações referentes a um dos casos mais críticos em relação à exposição ao clima externo.

CAPÍTULO 04: APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DOS LABORATÓRIOS E PRÉDIO CENTRAL – MATERIAIS UTILIZADOS E CONDIÇÕES GERAIS DE USO

4.1 CARACTERÍSTICAS DO OBJETO EM ESTUDO

Os edifícios analisados foram os Laboratórios e o Prédio Central, localizados no complexo que compõe a Ampliação do Cenpes.

4.1.1 Laboratórios

A Figura 63 destaca, na planta do plano diretor, a área de projeção ocupada pelos Laboratórios existentes na Ampliação do Cenpes.

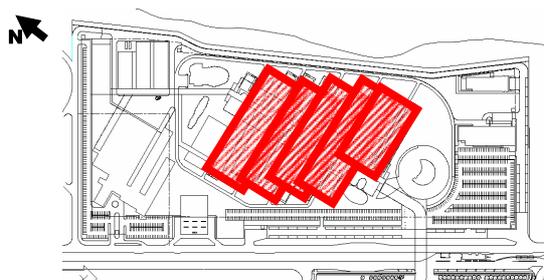


Figura 63: Localização dos Laboratórios na implantação do conjunto (Zanettini, 2005)

Cada módulo dos edifícios de laboratórios é composto por um laboratório, dois gabinetes para pesquisadores e uma antecâmara, entremeados por espaços de utilidades. Os edifícios estão localizados no piso térreo e se desenvolvem em alas, com as maiores fachadas na direção leste-oeste, voltadas para uma circulação de serviços ou para uma rua interna arborizada. A entrada principal dos gabinetes e laboratórios é feita por esta rua, através de um *deck* de concreto coberto, que funciona também como proteção solar para as fachadas e janelas dos gabinetes.

Os laboratórios apresentam-se completamente selados, permanecendo sob condicionamento artificial durante 100% do tempo. Os gabinetes, embora sejam equipados com ar-condicionado, podem ter suas janelas abertas, funcionando com condicionamento natural, quando desejável.

Sobre os laboratórios localiza-se um pavimento técnico onde serão colocados a tubulação, o ar-condicionado e os outros equipamentos necessários às atividades ali desenvolvidas. Este espaço foi considerado como uma zona geradora de calor para o edifício.

Sob a cobertura, do lado norte, serão colocados painéis fotovoltaicos e aletas verticais que funcionarão como sombreamento da cobertura e das janelas do laboratório.

Podemos observar na Figura 64 a modelagem das edificações que serão destinadas a instalação dos laboratórios.

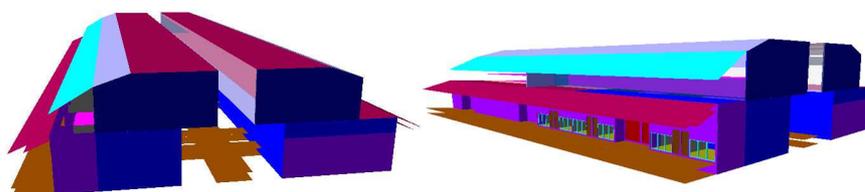


Figura 64: Modelagem dos Laboratórios (Zanettini, 2005)

4.1.2 Prédio Central

A Figura 65 destaca, na planta do plano diretor, a área de projeção ocupada pelo Prédio Central existente na Ampliação do Cenpes.

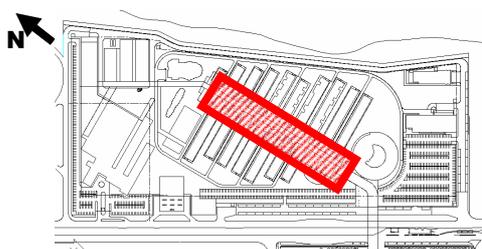


Figura 65: Localização do Prédio Central na implantação do conjunto (Zanettini, 2005)

O Prédio Central conecta o centro de convenções à área de laboratórios. É um edifício suspenso, de aproximadamente 245 m de comprimento, onde se localizam escritórios para pesquisadores. Apresenta orientação norte-sul, significando que as maiores fachadas estão voltadas para leste e oeste. O prédio é assimétrico, sendo que a ala leste conta com dois andares e a oeste, apenas com um.

A orientação do prédio dificulta a proteção externa das aberturas, fazendo com que seja necessária a obstrução quase completa da janela, o que pode gerar problemas de iluminação.

Sobre os escritórios, foi colocada uma grande cobertura, que tem a função não só de sombrear a laje, mas também de criar um espaço de estar no terraço. Esta cobertura era a princípio de chapa perfurada e vidro, permitindo alguma passagem de luz e caracterizando o terraço como um espaço não confinado. Foi feito ainda um estudo com a nova proposta da equipe de Arquitetura, substituindo-se a chapa perfurada com vidro, por telha sanduíche, esta última sendo a solução adotada.

Podemos observar na Figura 66 a modelagem da edificação que compõe o Prédio Central.

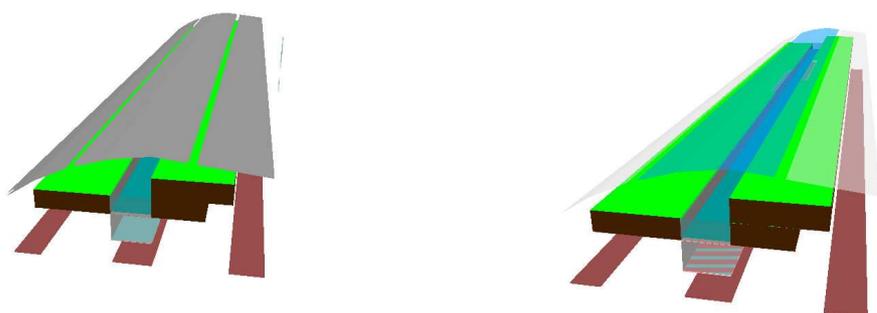


Figura 66: Modelagem do Prédio Central (Zanettini, 2005)

Quanto aos materiais, foi utilizado o mesmo conceito do projeto do concurso, considerando-se componentes leves e isolantes, e tirando partido da ventilação natural quando possível.

Os materiais utilizados nestas simulações estão relacionados nos Quadros 07 a 10:

Quadro 07: Quadro de componentes de piso utilizados

PISOS	
piso_earth	piso_elev_carpete
piso_elev_escr	piso_foyer_c_forro
piso_foyer_s_forro	piso_labs

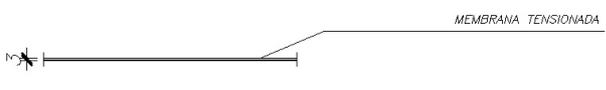
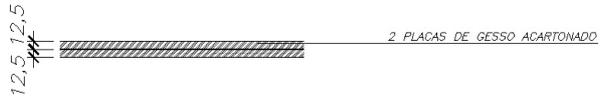
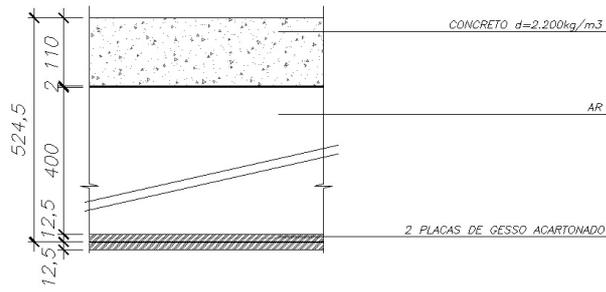
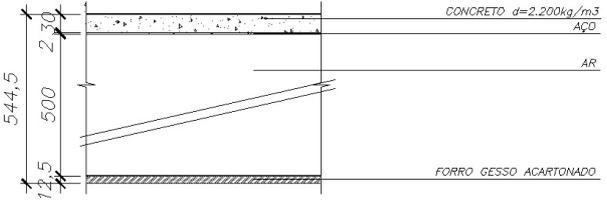
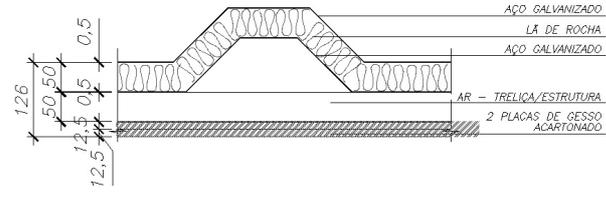
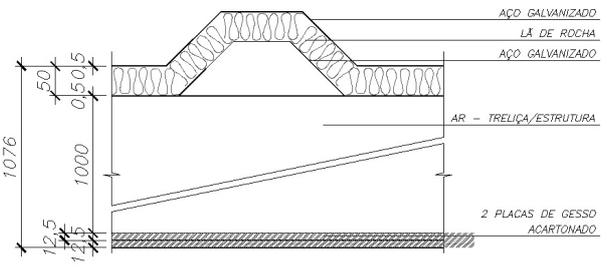
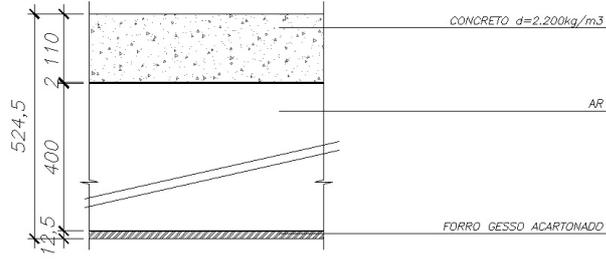
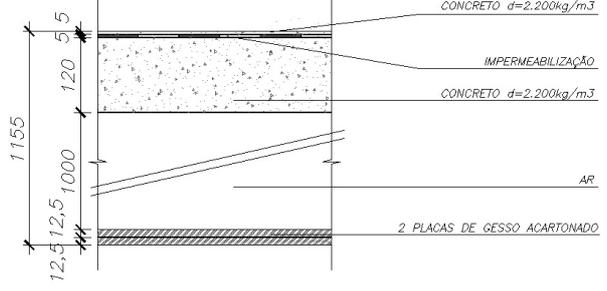
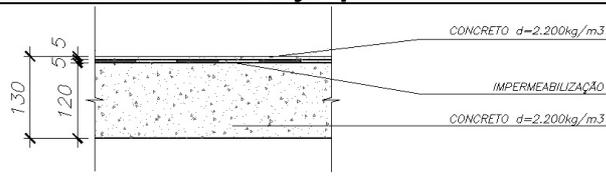
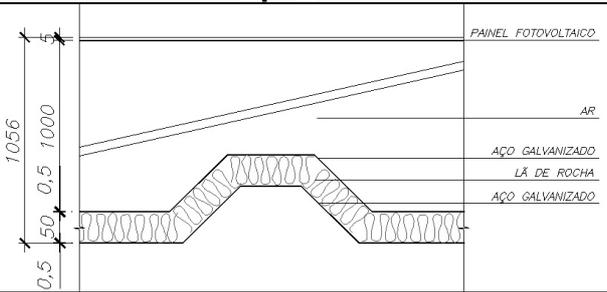
Fonte: Relatório FUPAM, 2004

Quadro 08: Quadro de componentes dos fechamentos verticais utilizados

FECHAMENTOS VERTICAIS	
par_auditorio abs	par_auditorio refl
<p style="text-align: center;">305 100 100 100 5</p> <p style="text-align: right;">CARPETE CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$ AR CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p>	<p style="text-align: center;">312,5 100 100 100 12,5</p> <p style="text-align: right;">PLACA DE GESSO ACARTONADO CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$ AR CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p>
par_concr_maciço	par_div_panel
<p style="text-align: center;">150</p> <p style="text-align: right;">CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p>	<p style="text-align: center;">82 10,15 25 7 15 10</p> <p style="text-align: right;">ESPUMA + TECIDO MADEIRA (MDF) AR Lã DE ROCHA MADEIRA (MDF) ESPUMA + TECIDO</p>
par_dupla_labs_ceram1	par_dupla_labs_ceram2
<p style="text-align: center;">158 50 50 50 3</p> <p style="text-align: right;">CERÂMICA ARGAMASSA CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$ AR CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p>	<p style="text-align: center;">166 5 5 50 50 50 3 5</p> <p style="text-align: right;">CERÂMICA ARGAMASSA CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$ AR CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$ ARGAMASSA CERÂMICA</p>
par_ext_isolante	par_ext_precon1200
<p style="text-align: center;">100 25 50 12,5 12,5</p> <p style="text-align: right;">2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO Lã DE VIDRO CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>EXTERIOR</p> <p style="text-align: right;">INTERIOR</p>	<p style="text-align: center;">150</p> <p style="text-align: right;">CONCRETO $d=1.200\text{kg}/\text{m}^3$</p>

FECHAMENTOS VERTICAIS	
par_ext_precon1200_ceram	par_int_divisória
<p style="text-align: right;"> CERÂMICA ARGAMASSA CONCRETO $d=1.200\text{kg/m}^3$ </p>	<p style="text-align: right;"> PLACA DE GESSO ACARTONADO AR PLACA DE GESSO ACARTONADO </p>
par_int_acústica	par_ext_precon1200_gesso+ceram
<p style="text-align: right;"> PLACA DE GESSO ACARTONADO LA DE VIDRO 2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO (MONTANTES DESENCONTRADOS) </p>	<p style="text-align: right;"> CERÂMICA ARGAMASSA PLACA/GESSO ACARTONADO AR CONCRETO $d=1.200\text{kg/m}^3$ </p>
par_int_divisória_ceram1	par_int_divisória_ceram2
<p style="text-align: right;"> CERÂMICA ARGAMASSA PLACA DE GESSO ACARTONADO AR PLACA DE GESSO ACARTONADO </p>	<p style="text-align: right;"> CERÂMICA ARGAMASSA PLACA DE GESSO ACARTONADO AR PLACA DE GESSO ACARTONADO ARGAMASSA CERÂMICA </p>

Quadro 09: Quadro de componentes de fechamentos horizontais utilizados

FECHAMENTOS HORIZONTAIS	
<p>tensionado</p>  <p>MEMBRANA TENSIONADA</p>	<p>teto_gesso_simples</p>  <p>2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO</p>
FECHAMENTOS HORIZONTAIS	
<p>teto_escr1</p>  <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>AR</p> <p>2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO</p>	<p>teto_escr2</p>  <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>AÇO</p> <p>AR</p> <p>FORRO GESSO ACARTONADO</p>
<p>teto_foyer</p>  <p>AÇO GALVANIZADO</p> <p>Lã DE ROCHA</p> <p>AÇO GALVANIZADO</p> <p>AR - TRELIÇA/ESTRUTURA</p> <p>2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO</p>	<p>teto_auditorio</p>  <p>AÇO GALVANIZADO</p> <p>Lã DE ROCHA</p> <p>AÇO GALVANIZADO</p> <p>AR - TRELIÇA/ESTRUTURA</p> <p>2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO</p>
<p>teto_labs</p>  <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>AR</p> <p>FORRO GESSO ACARTONADO</p>	<p>teto_laje_forro</p>  <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>IMPERMEABILIZAÇÃO</p> <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>AR</p> <p>2 PLACAS DE GESSO ACARTONADO</p>
<p>teto_laje_plana</p>  <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p> <p>IMPERMEABILIZAÇÃO</p> <p>CONCRETO $d=2.200\text{kg}/\text{m}^3$</p>	<p>teto_pv_sandw</p>  <p>PAINEL FOTOVOLTAICO</p> <p>AR</p> <p>AÇO GALVANIZADO</p> <p>Lã DE ROCHA</p> <p>AÇO GALVANIZADO</p>

teto_salas_audit	teto_sandw

Fonte: Relatório FUPAM, 2004

Quadro 10: Quadro de componentes de esquadrias e vidros utilizados

CAIXILHOS/ ESQUADRIAS	
<p>alumínio_caixilho</p>	<p>vidro_simple_incolor6</p>
<p>vidro_duplo_incolor10+28+6</p>	<p>vidro_duplo_per</p>

Fonte: Relatório FUPAM, 2004

4.2 CONCLUSÕES DOS ESTUDOS REALIZADOS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO

Durante a elaboração dos projetos de arquitetura e construção civil, foram realizados diversos estudos de conforto com a utilização dos materiais a serem utilizados, nos parâmetros a serem simulados. Estes resultados seguem abaixo como efeito conclusivo na etapa de elaboração dos projetos, a saber:

Diante dos resultados obtidos, observou-se que os ambientes apresentam potencial de condicionamento natural de 10 a 40% do período de ocupação.

Nos espaços de escritório, esse índice varia de 20% a mais de 50%, sendo justificável a possibilidade de abertura de janelas em todos os ambientes do edifício. Para tanto, o ar-condicionado deve ser projetado considerando o sistema como misto.

A redução de carga térmica para ar-condicionado é, em média, de 20% quando se definem temperaturas de 24°C e ao invés de 22°C, ambos a 50% de umidade relativa. Quando se aumenta a tolerância dos usuários, permitindo que o termostato funcione a 26°C e 65% de umidade, a redução chega a 50% da carga. Deste modo, enfatiza-se que, mesmo que o sistema de condicionamento de ar seja dimensionado para 22°C ou 24°C, recomenda-se que seja verificada a aceitação dos usuários aos parâmetros mais tolerantes, pois isso pode resultar em significativa economia de energia.

É importante que o projeto de ar-condicionado leve em conta essa possibilidade, de modo a evitar que as máquinas funcionem com eficiência reduzida e conseqüente aumento no consumo de energia. Para tanto foram fornecidos os perfis de carga tanto para 24°C-50%, quanto para 26°C-65%.

O sistema construtivo dos edifícios foi, em sua maioria, constituído de materiais leves e com pouca ou nenhuma massa exposta para o exterior.

No edifício de Laboratórios, a alteração das envoltórias tem pouco impacto na carga interna dos mesmos. Esta se deve, em grande parte, à elevada renovação de ar demandada pelo uso. Já nos gabinetes, observou-se que a alteração dos componentes construtivos, teve um impacto bastante positivo, possibilitando o condicionamento natural do ambiente. Verificou-se ainda uma diferença de desempenho entre os ambientes voltados para norte e sul. O melhor desempenho do gabinete sul deveu-se à menor incidência da radiação solar na fachada e na

cobertura (esta última devida ao sombreamento do próprio edifício) e à melhor exposição das aberturas aos ventos.

No Prédio Central, ressalta-se a importância da possibilidade de abertura das janelas devido ao percentual significativo de horas em conforto na simulação dos ambientes condicionados naturalmente. A opção pela telha sanduíche na cobertura apresentou melhores resultados térmicos do que a opção com chapa perfurada e vidro, tanto para espaços de escritório quanto para os terraços.

CAPÍTULO 05: ANÁLISE DOS AMBIENTES PROJETADOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS CST

5.1 DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

Este programa, desenvolvido no LabEEE, visa tornar mais acessível o método desenvolvido por Fanger. Através das condições ambientais e das variáveis humanas como atividade e vestimenta, o Analysis CST indica o PMV e o PPD para o ambiente em questão no módulo de avaliação do conforto térmico, e o estado de stress térmico por frio ou calor no módulo de stress. (Vazquez, 2009)

O módulo de conforto indica em relatórios a carga térmica sobre o corpo e as diversas formas de trocas de calor sensível e latente (convecção, radiação, respiração) e um gráfico com o PMV e PPD. As figuras 67, 68 e 69 apresentam um exemplo de desconforto por calor. A figura 67 apresenta a tela de entrada das variáveis ambientais, a figura 68 a tela do resultado gráfico de PMV e PPD e a figura 69 um exemplo dos resultados ilustrados para avaliação do desempenho térmico de ambientes no programa Analysis CST. (Vazquez, 2009)

Já o módulo de stress térmico, dividido em stress por calor e stress por frio, indica as condições de trabalho a que uma pessoa está submetida que possam gerar stress térmico em ambientes industriais. Apesar de apresentar uma interface igual ao módulo de conforto térmico, apresenta relatórios com os índices para stress térmico e pode recomendar a supervisão médica no acompanhamento de atividades. (Vazquez, 2009)

Na Figura 67 podemos observar a tela inicial para entrada dos dados correspondentes as variáveis ambientais, já na Figura 68 encontramos o resultado gráfico de PMV e PPD após a execução do programa, enquanto na Figura 69 temos um modelo que caracteriza visualmente o estado de conforto dos usuários que ocupam o ambiente.



Figura 67: Entrada das variáveis ambientais (Vazquez, 2009)

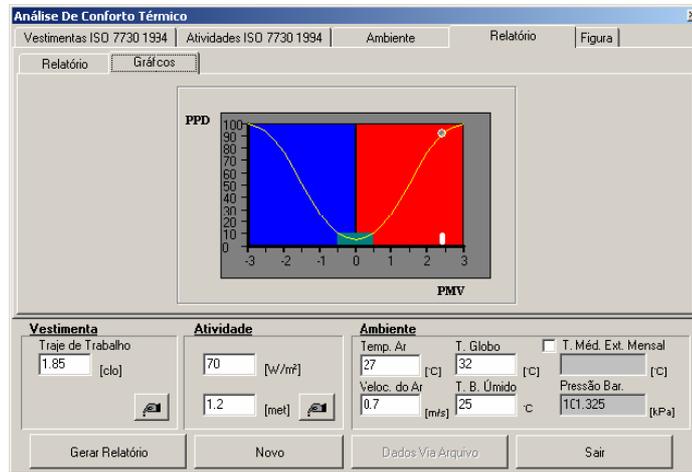


Figura 68: Resultado gráfico de PMV e PPD (Vazquez, 2009)

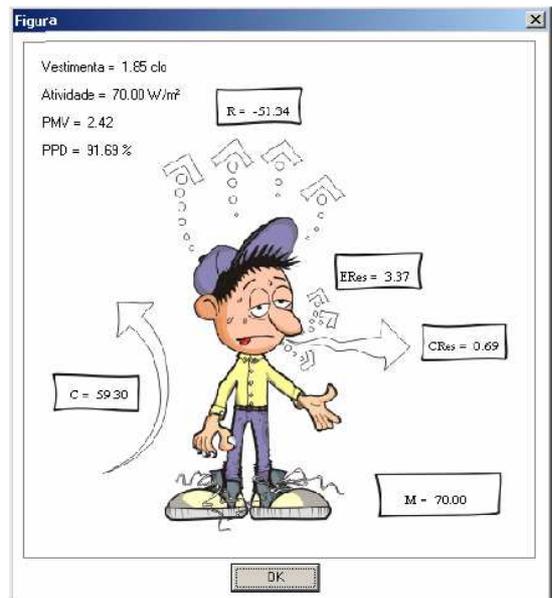


Figura 69: Exemplo dos resultados (Vazquez, 2009)

5.2 METODOLOGIA DE TRABALHO DESENVOLVIDA PARA SIMULAÇÃO DOS AMBIENTES COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS CST

Foram estudados os ambientes de Laboratórios e Prédio Central. A simulação com o *software* Analysis CST terá como foco a verificação das condições de conforto térmico dos ambientes estudados em duas condições, isto é, ambientes com condicionamento artificial e ambientes com condicionamento natural. Para esta última condição, os ambientes serão simulados para as quatro estações do ano e seus respectivos períodos de observação, a saber: Outono (21 de Março a 21 de Junho), Inverno (21 Junho a 23 de Setembro), Primavera (23 de Setembro a 21 de Dezembro) e Verão (21 de Dezembro a 21 de Março).

Para os ambientes em condição de condicionamento artificial, adotaremos os parâmetros recomendados pela FUPAM, enquanto nos ambientes com condicionamento natural, utilizaremos os parâmetros obtidos através de medições durante a etapa de projeto. Para este último caso utilizaremos a condição mais desfavorável do período de observação, ou seja, os parâmetros coletados serão referentes ao ano de 2003, conforme estudo desenvolvido no capítulo 03 desta dissertação.

Quanto às características dos ambientes simulados, serão considerados os materiais adotados no projeto, conforme descrição encontrada no capítulo 04 desta dissertação. Com esta filosofia de trabalho, esta análise visa obter resultados mais detalhados e reais pois o universo de simulação será o período anual e não apenas o período mais desconfortável para a cidade do Rio de Janeiro que é a estação do ano Verão, ou conforme observado no período de análise o mês de Fevereiro de 2003.

5.3 ANALYSIS CST

5.3.1 Condicionamento Natural

A Tabela 11 demonstra os dados de entrada considerados para as simulações visando o condicionamento natural das edificações:

Tabela 11: Dados de entrada para simulação do conforto térmico – Condicionamento Natural

Condicionamento Natural		
Parâmetro	Valor	Estação do Ano
Temperatura do Ar	28	Verão
Temperatura Radiante Média	28	
Umidade Relativa	20	
Velocidade do Ar	0	
Parâmetro	Valor	Estação do Ano
Temperatura do Ar	24,5	Outono
Temperatura Radiante Média	24,5	
Umidade Relativa	100	
Velocidade do Ar	0,25	
Parâmetro	Valor	Estação do Ano
Temperatura do Ar	22,5	Inverno
Temperatura Radiante Média	22,5	
Umidade Relativa	100	
Velocidade do Ar	0,8	
Parâmetro	Valor	Estação do Ano
Temperatura do Ar	27	Primavera
Temperatura Radiante Média	27	
Umidade Relativa	21	
Velocidade do Ar	0	

* : Temperaturas obtidas por aproximação

Para as variáveis climáticas, considerou-se que a temperatura radiante média é numericamente equivalente à temperatura do ar (aproximação válida devido ao sombreamento de coberturas e fachadas). Assim: Temperatura Radiante Média \approx Temperatura do ar

De acordo com as ISO 7726 e 7730 quando a Temperatura do ar $\leq 26^{\circ}\text{C}$, as Temperaturas de Globo e Bulbo Úmido serão iguais a Temperatura do ar.

A Temperatura do Ar foi obtida através da média aritmética das temperaturas máxima e mínima observada em cada estação do ano.

A Velocidade do Ar para as estações do ano Outono e Inverno foram obtidas das ISO 7730, 1994; ASHRAE 55-1992, 1995, ou seja:

$$\text{var} < 0,25 \text{ m/s para } T_o \leq 26^{\circ}\text{C} \quad \text{eq. (22)}$$

$$\text{var} \leq 0,8 \text{ m/s para } T_o > 26^{\circ}\text{C} \quad \text{eq. (23)}$$

Para as demais estações do ano serão considerados os dados obtidos por medições realizadas durante a etapa de elaboração do projeto, utilizando a pior situação encontrada para o conforto no ambiente, isto é, quando da inexistência dos ventos.

5.3.2 Estação do Ano: Verão

Observamos na Figura 70 a seleção da vestimenta para os usuários dos ambientes que compõem o Prédio Central e os Laboratórios. Optou-se pela vestimenta simples, composta por roupas de baixo, camisa, calça, meias e sapatos. Isto, pois na maior parte do ano temos temperaturas médias altas no Rio de Janeiro, retratando assim de forma fidedigna a opção por esta vestimenta.

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' software interface. The window title is 'Análise De Conforto Térmico'. The main area is titled 'Vestimentas ISO 7730 1994' and contains a list of clothing options under the 'Diário' tab. The selected option is 'Roupas de Baixo, Camisa, Calças, Meias, Sapatos'. Below the list, there are three sections: 'Vestimenta' with 'Traje Diário' set to 0.7 [clo], 'Atividade' with 'Atividade' set to 93 [W/m²] and '1.6 [met]', and 'Ambiente' with 'Temp. Ar' set to 28 [°C], 'T. R. Média' set to 28 [°C], 'Veloc. do Ar' set to 0 [m/s], 'U. Relativa' set to 20 %, and 'Pressão Bar.' set to 101.325 [kPa]. At the bottom, there are buttons for 'Gerar Relatório', 'Novo', 'Dados Via Arquivo', and 'Sair'.

Figura 70: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação - Verão

Na Figura 71 selecionamos a opção de atividade realizada. Optou-se pelas atividades em laboratório, pois esta é a atividade fim deste empreendimento, ou seja, é a atividade executada pela maior parte da força de trabalho existente no Cenpes. Embora as atividades de escritório sejam mais leves, estas são praticadas por uma pequena parcela dos usuários destes ambientes. No balanço final teremos uma situação mais próxima da realidade quando optamos pelas atividades de laboratório.

Figura 71: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Verão

Na Figura 72 entramos com os dados climáticos existentes no local. Estes dados são obtidos da Tabela 11.

Figura 72: Características ambientais obtidas de medições para simulação - Verão

Na Figura 73 temos o gráfico resultante após a simulação dos dados de entrada . Neste gráfico temos a faixa de conforto destacada em verde, enquanto o ponto resultante encontra-se plotado na parábola. Quanto mais afastado deste trecho em destaque, maior o desconforto, tanto para o frio quanto para o calor.

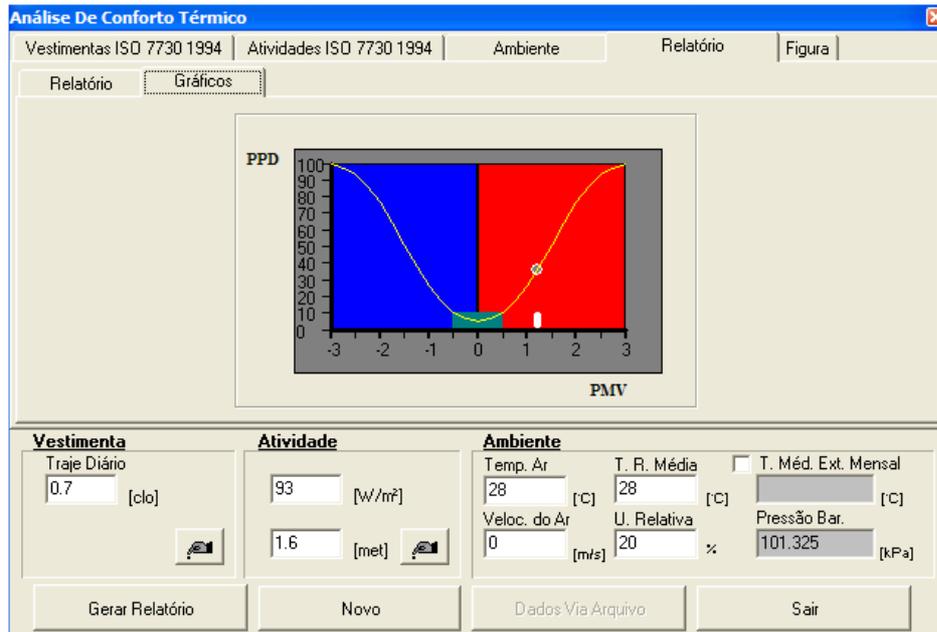


Figura 73: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Análisis CST – Verão

Na Figura 74 temos uma animação para a situação de conforto vivenciada pelo usuário com as características existentes no ambiente entorno, relacionada com a vestimenta utilizada pelos mesmos. Mostra também um resumo dos resultados obtidos após a simulação.

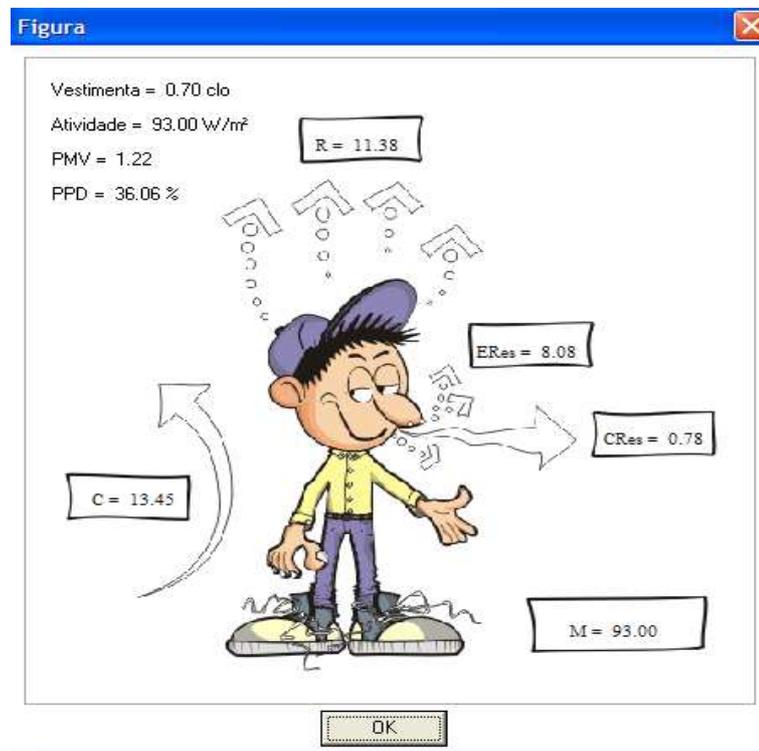


Figura 74: Animação resultante da simulação no Análisis CST com os resultados principais plotados - Verão

Na Tabela 12 encontramos os resultados obtidos após as simulações pelo Analysis CST para a estação do Verão. Observamos um resumo dos dados de entrada e saída para a simulação.

Tabela 12: relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Analysis CST – Verão

	Vestimenta	Unidades	Resultados	
			clo	0,70
	Atividade	Unidades	Resultados	
			W/m ²	93,00
	Ambiente	Unidades	Resultados	
Dados de Entrada	Temperatura do Ar	°C	28,00	
	Velocidade do Ar	m/s	0,00	
	Temperatura de Bulbo Úmido	°C	14,59	
	Pressão de Vapor	kPa	0,76	
	Umidade Relativa	%	20,00	
	Temperatura de Orvalho	°C	2,93	
	Temperatura Radiante Média	°C	28,00	
	Temperatura de Globo	°C	28,00	
	Pressão Barométrica	kPa	101,33	
	Altitude	m	0,00	
	Dados de Saída	Índices de Conforto Térmico	Unidades	Resultados
		PMV	-	1,22
		PPD	-	36,06
SET		-	27,87	
Carga Térmica sobre o corpo (L)		W/m ²	31,48	
Troca de Calor Sensível pela Respiração (Cres)		W/m ²	0,78	
Troca de Calor latente pela Respiração (Eres)		W/m ²	8,08	
Troca de Calor sensível por Convecção pela pele (C)		W/m ²	13,45	
Troca de Calor sensível por Radiação pela pele ®		W/m ²	11,38	
Troca de Calor latente pela pele (Esk)		W/m ²	27,83	
Temperatura Operativa de Conforto (Toc)		°C	22,70	
Índice de Desconforto Térmico (DISC)		-	0,77	
Índice de Sensação Térmica (TS)		-	28,17	

5.3.2.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Verão: Na simulação de conforto térmico para estação Verão do ano observado e adotado (2003), obteve-se como resultado diante dos dados e considerações de entrada, o PMV de 1,22 e o PPD de 36,06% conforme Tabela 12. Analisando estes dois resultados, que são os de maior importância nesta simulação, temos um leve desconforto com a sensação térmica de calor nos ambientes de Laboratórios e Prédio Central, visto que o intervalo ideal para os resultados do voto médio estimado (PMV) deveria se enquadrar entre $-0,5 \leq \text{PMV} \leq +0,5$ para um ambiente agradável aos usuários

conforme pode ser observado no trecho verde da Figura 73. Já o Percentual de Pessoas Desconfortáveis (PPD) também foi um tanto elevado para este tipo de condicionamento, pois a taxa de 36,06% de usuários desconfortáveis, maior do que o permitido por norma ($< 10,0\%$), ressalta a importância em se estudar outras condicionantes com intuito de minimizar esta característica. Vale lembrar que para esta simulação consideramos os dados observados mais desfavoráveis, o que não significa que esta situação ocorra ou, mesmo que aconteça, dificilmente será uma hipótese rotineira mesmo para esta estação do ano. Entretanto o Cenpes implementou em seu projeto fontes complementares de conforto térmico, como por exemplo, o condicionamento artificial acionado remotamente quando observado alguns parâmetros fora do programado no sistema de automação da unidade. Desta forma, assim que acionado o aviso no PLC (Painel de Controle Central), o sistema de condicionamento do ar seria acionado restabelecendo as características de umidade e temperatura ideais para o conforto da maioria dos usuários, atendendo desta forma o mínimo preconizado pela Norma. Esta ação será conjunta com o fechamento das janelas pelos usuários, assim que os operadores da edificação indicarem a necessidade de acionamento do sistema de condicionamento artificial.

5.3.3 Estação do Ano: Outono:

Observamos na Figura 75 a seleção da vestimenta para os usuários dos ambientes que compõem o Prédio Central e os Laboratórios. Optou-se pela vestimenta simples, composta por roupas de baixo, camisa, calça, meias e sapatos. Isto, pois na maior parte do ano temos temperaturas médias altas no Rio de Janeiro, retratando assim de forma fidedigna a opção por esta vestimenta.

Figura 75: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação - Outono

Na Figura 76 selecionamos a opção de atividade realizada. Optou-se pelas atividades em laboratório, pois esta é a atividade fim deste empreendimento, ou seja, é a atividade executada pela maior parte da força de trabalho existente no Cenpes. Embora as atividades de escritório sejam mais leves, estas são praticadas por uma pequena parcela dos usuários destes ambientes. No balanço final teremos uma situação mais próxima da realidade quando optamos pelas atividades de laboratório.

Figura 76: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação - Outono

Na Figura 77 entramos com os dados climáticos existentes no local. Estes dados são obtidos da Tabela 11.

Figura 77: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Outono

Na Figura 78 temos o gráfico resultante após a simulação dos dados de entrada. Neste gráfico temos a faixa de conforto destacada em verde, enquanto o ponto resultante encontra-se plotado na parábola. Quanto mais afastado deste trecho em destaque, maior o desconforto, tanto para o frio quanto para o calor.

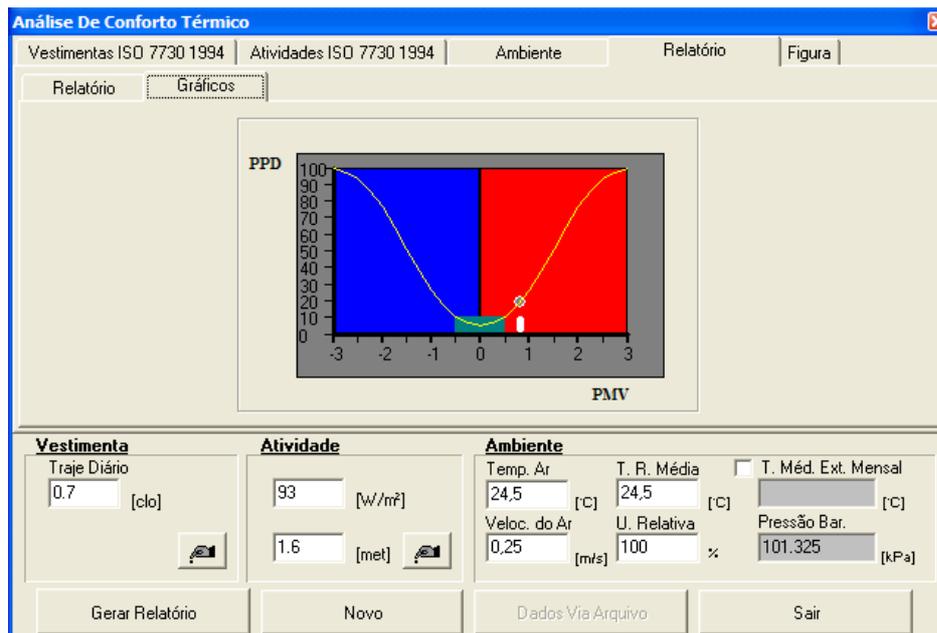


Figura 78: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Análisis CST – Outono

Na Figura 79 temos uma animação para a situação de conforto vivenciada pelo usuário com as características existentes no ambiente entorno, relacionada com a vestimenta utilizada pelos mesmos. Mostra também um resumo dos resultados obtidos após a simulação.

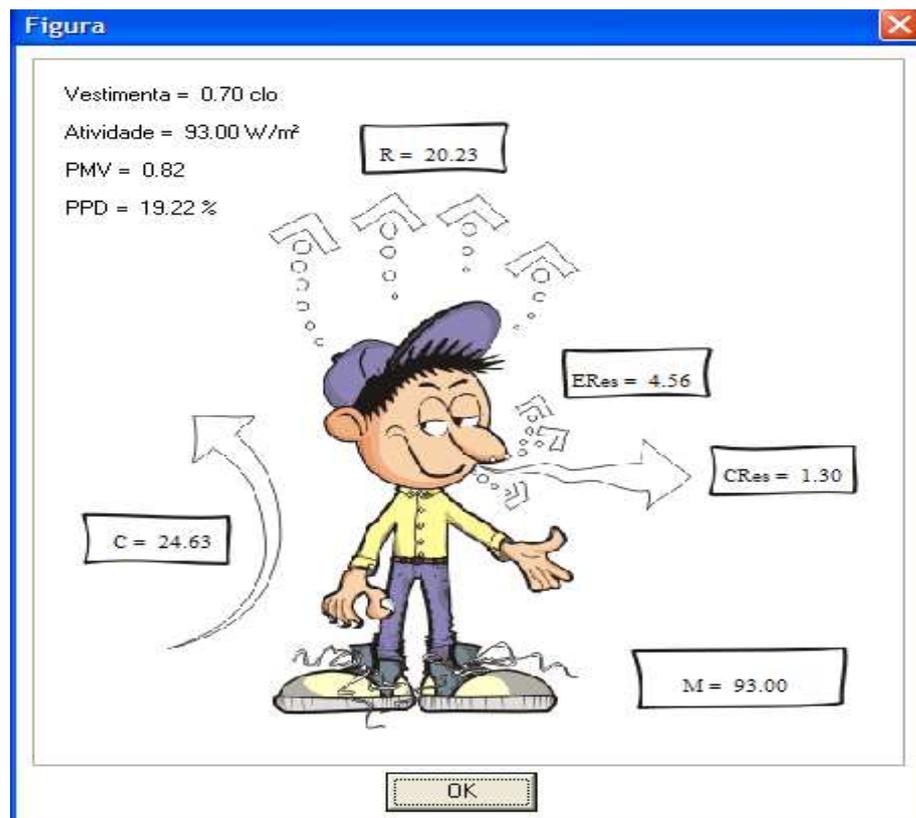


Figura 79: Animação resultante da simulação no Analisis CST com os resultados principais plotados - Outono

Na Tabela 13 encontramos os resultados obtidos após as simulações pelo Analisis CST para a estação do Outono. Observamos um resumo dos dados de entrada e saída para a simulação.

Tabela 13: relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Analisis CST - Outono

Dados de Entrada	Vestimenta	Unidades	Resultados
		clo	0,70
	Atividade	Unidades	Resultados
		W/m ²	93,00
	Ambiente	Unidades	Resultados
	Temperatura do Ar	°C	24,50
	Velocidade do Ar	m/s	0,25
	Temperatura de Bulbo Úmido	°C	23,99
	Pressão de Vapor	kPa	2,98
	Umidade Relativa	%	100,00
	Temperatura de Orvalho	°C	23,70
	Temperatura Radiante Média	°C	24,00
	Temperatura de Globo	°C	24,00
Pressão Barométrica	kPa	101,33	
Altitude	m	0,00	
Dados de Saída	Índices de Conforto Térmico	Unidades	Resultados
	PMV	-	0,82
	PPD	-	19,22
	SET	-	25,83
	Carga Térmica sobre o corpo (L)	W/m ²	21,24
	Troca de Calor Sensível pela Respiração (Cres)	W/m ²	1,30
	Troca de Calor latente pela Respiração (Eres)	W/m ²	4,56
	Troca de Calor sensível por Convecção pela pele (C)	W/m ²	24,63
	Troca de Calor sensível por Radiação pela pele ®	W/m ²	20,23
	Troca de Calor latente pela pele (Esk)	W/m ²	21,04
	Temperatura Operativa de Conforto (Toc)	°C	20,42
	Índice de Desconforto Térmico (DISC)	-	0,49
	Índice de Sensação Térmica (TS)	-	27,20

5.3.3.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Outono: Na simulação de conforto térmico para estação Outono do ano observado e adotado (2003), obteve-se como resultado diante dos dados e considerações de entrada, o PMV de 0,82 e o PPD de 19,22% conforme Tabela 13. Analisando estes dois resultados, que são os de maior importância nesta simulação, temos um leve desconforto com a sensação térmica de calor nos ambientes de Laboratórios e Prédio Central, visto que o intervalo ideal para os resultados do voto médio estimado (PMV) deveria se enquadrar entre $-0,5 \leq \text{PMV} \leq +0,5$ para um ambiente agradável aos usuários conforme pode ser observado no trecho verde da Figura 78. Já o Percentual de

Pessoas Desconfortáveis (PPD) também foi levemente acima para este tipo de condicionamento, pois a taxa de 19,22% de usuários desconfortáveis, maior do que o permitido por norma ($< 10,0\%$), ressalta a importância em se estudar outras condicionantes com intuito de minimizar esta característica. Vale lembrar que para esta simulação consideramos os dados observados mais desfavoráveis, o que não significa que esta situação ocorra ou, mesmo que aconteça, dificilmente será uma hipótese rotineira mesmo para esta estação do ano. Entretanto o Cenpes implementou em seu projeto fontes complementares de conforto térmico, como por exemplo o condicionamento artificial acionado remotamente quando observado alguns parâmetros fora do programado no sistema de automação da unidade. Desta forma, assim que acionado o aviso no PLC (Painel de Controle Central), o sistema de condicionamento do ar seria acionado restabelecendo as características de umidade e temperatura ideais para o conforto da maioria dos usuários, atendendo desta forma o mínimo preconizado pela Norma. Esta ação será conjunta com o fechamento das janelas pelos usuários, assim que os operadores da edificação indicarem a necessidade de acionamento do sistema de condicionamento artificial. Para o caso específico do outono, dificilmente o sistema de condicionamento artificial será acionado, visto que as características climáticas variam durante o dia e, para efeito de simulação, adotamos valores que dificilmente durante esta estação do ano permanecerão estáticos.

5.3.4 Estação do Ano: Inverno:

Observamos na Figura 80 a seleção da vestimenta para os usuários dos ambientes que compõem o Prédio Central e os Laboratórios. Optou-se pela vestimenta simples, composta por roupas de baixo, camisa, calça, meias e sapatos. Isto, pois na maior parte do ano temos temperaturas médias altas no Rio de Janeiro, retratando assim de forma fidedigna a opção por esta vestimenta.

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' software interface. The window title is 'Análise De Conforto Térmico'. The main menu includes 'Vestimentas ISO 7730 1994', 'Atividades ISO 7730 1994', 'Ambiente', 'Relatório', and 'Figura'. The 'Vestimentas' tab is active, showing a list of clothing items under 'Trajes' and 'Peça a Peça'. The 'Diário' and 'Trabalho' sub-tabs are also visible. The 'Vestimenta' section at the bottom shows 'Traje Diário' set to 0.7 [clo], 'Atividade' set to 93 [W/m²], and 'Ambiente' parameters: Temp. Ar 22,5 [C], T. R. Média 22,5 [C], U. Relativa 100 %, and Pressão Bar. 101.325 [kPa]. Buttons for 'Gerar Relatório', 'Novo', 'Dados Via Arquivo', and 'Sair' are at the bottom.

Figura 80: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação - Inverno

Na Figura 81 selecionamos a opção de atividade realizada. Optou-se pelas atividades em laboratório, pois esta é a atividade fim deste empreendimento, ou seja, é a atividade executada pela maior parte da força de trabalho existente no Cenpes. Embora as atividades de escritório sejam mais leves, estas são praticadas por uma pequena parcela dos usuários destes ambientes. No balanço final teremos uma situação mais próxima da realidade quando optamos pelas atividades de laboratório.

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' software interface. The window title is 'Análise De Conforto Térmico'. The main menu includes 'Vestimentas ISO 7730 1994', 'Atividades ISO 7730 1994', 'Ambiente', 'Relatório', and 'Figura'. The 'Atividades' tab is active, showing a list of activities under 'Atividades Diversas'. The 'Vestimenta' section at the bottom shows 'Traje Diário' set to 0.7 [clo], 'Atividade' set to 93 [W/m²], and 'Ambiente' parameters: Temp. Ar 22,5 [C], T. R. Média 22,5 [C], U. Relativa 100 %, and Pressão Bar. 101.325 [kPa]. Buttons for 'Gerar Relatório', 'Novo', 'Dados Via Arquivo', and 'Sair' are at the bottom.

Figura 81: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação - Inverno

Na Figura 82 entramos com os dados climáticos existentes no local. Estes dados são obtidos da Tabela 11.

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' software interface. The 'Ambiente' tab is active, displaying input fields for environmental conditions. The 'Vestimentas ISO 7730 1994' and 'Atividades ISO 7730 1994' tabs are also visible. The 'Altitude/Pressão' section includes radio buttons for 'Nível do Mar', 'Acima do Nível do Mar', and 'Pressão Barométrica'. The 'Vestimenta' section shows 'Traje Diário' set to 0.7 [clo]. The 'Atividade' section shows 'Atividade' set to 93 [W/m²] and 'Atividade' set to 1.6 [met]. The 'Ambiente' section shows 'Temp. Ar' set to 22.5 [°C], 'T. R. Média' set to 22.5 [°C], 'Veloc. do Ar' set to 0.25 [m/s], 'U. Relativa' set to 100 %, and 'Pressão Bar.' set to 101.325 [kPa]. The 'Gerar Relatório' button is highlighted.

Figura 82: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Inverno

Na Figura 83 temos o gráfico resultante após a simulação dos dados de entrada. Neste gráfico temos a faixa de conforto destacada em verde, enquanto o ponto resultante encontra-se plotado na parábola. Quanto mais afastado deste trecho em destaque, maior o desconforto, tanto para o frio quanto para o calor.

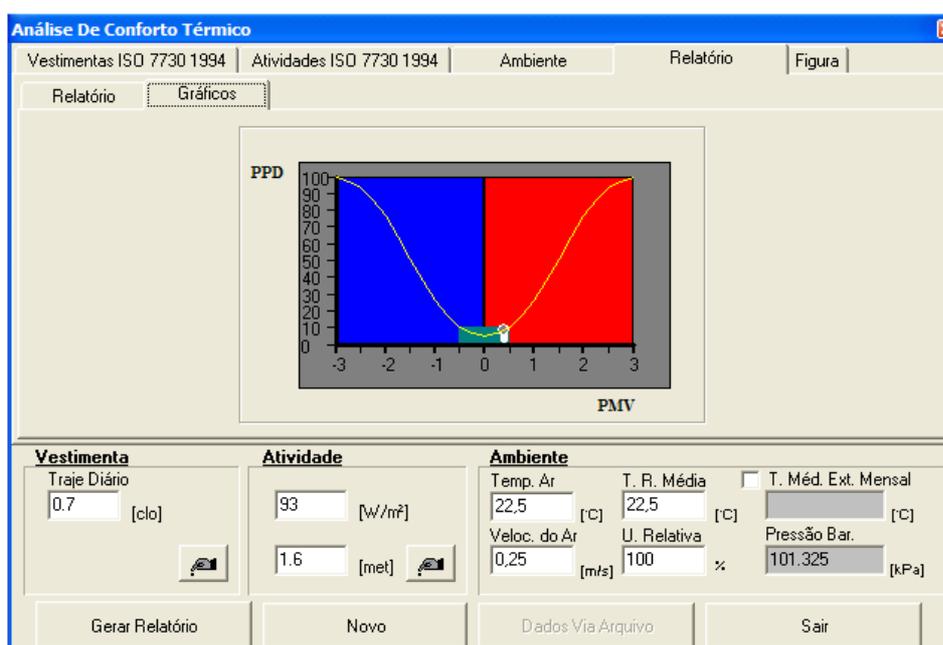


Figura 83: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analisis CST - Inverno

Na Figura 84 temos uma animação para a situação de conforto vivenciada pelo usuário com as características existentes no ambiente entorno, relacionada com a vestimenta utilizada pelos mesmos. Mostra também um resumo dos resultados obtidos após a simulação.

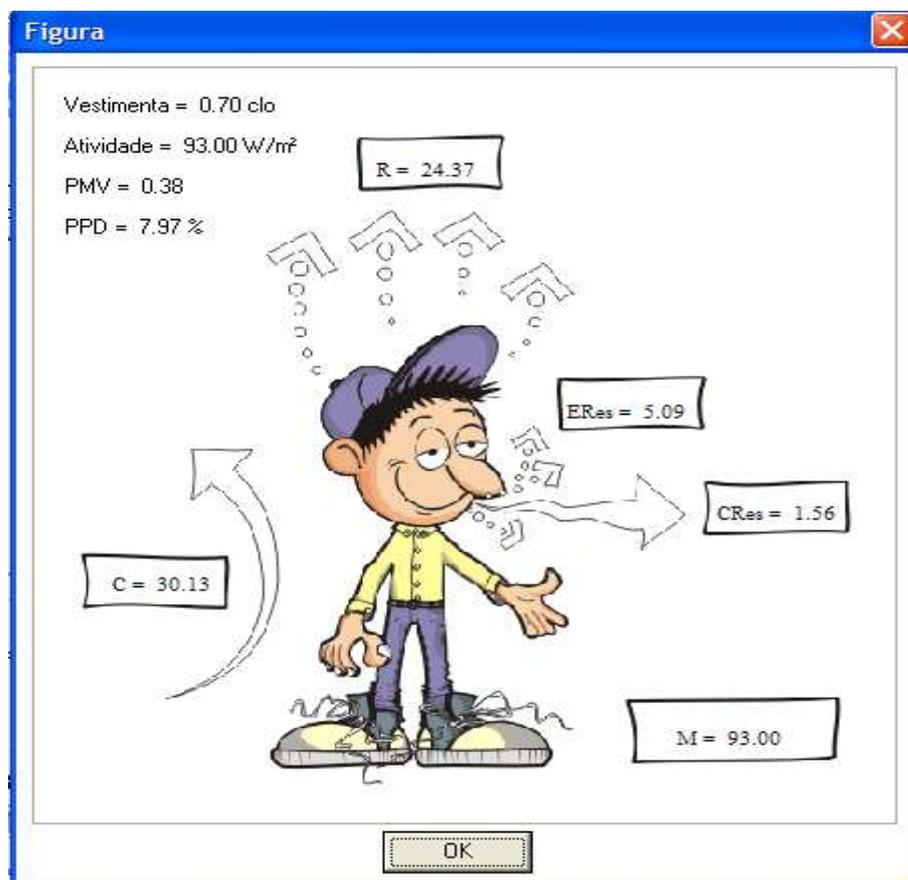


Figura 84: Animação resultante da simulação no Analysis CST com os resultados principais plotados - Inverno

Na Tabela 14 encontramos os resultados obtidos após as simulações pelo Analysis CST para a estação do Inverno. Observamos um resumo dos dados de entrada e saída para a simulação.

Tabela 14: relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Analisys CST - Inverno

Dados de Entrada	Vestimenta	Unidades	Resultados
		clo	0,70
	Atividade	Unidades	Resultados
		W/m ²	93,00
	Ambiente	Unidades	Resultados
	Temperatura do Ar	°C	22,50
	Velocidade do Ar	m/s	0,80
	Temperatura de Bulbo Úmido	°C	21,99
	Pressão de Vapor	kPa	2,64
	Umidade Relativa	%	100,00
Temperatura de Orvalho	°C	21,72	
Temperatura Radiante Média	°C	22,00	
Temperatura de Globo	°C	22,00	
Pressão Barométrica	kPa	101,33	
Altitude	m	0,00	
Dados de Saída	Índices de Conforto Térmico	Unidades	Resultados
	PMV	-	0,38
	PPD	-	7,97
	SET	-	23,93
	Carga Térmica sobre o corpo (L)	W/m ²	9,76
	Troca de Calor Sensível pela Respiração (Cres)	W/m ²	1,56
	Troca de Calor latente pela Respiração (Eres)	W/m ²	5,09
	Troca de Calor sensível por Convecção pela pele (C)	W/m ²	30,13
	Troca de Calor sensível por Radiação pela pele ®	W/m ²	24,37
	Troca de Calor latente pela pele (Esk)	W/m ²	22,07
	Temperatura Operativa de Conforto (Toc)	°C	20,36
	Índice de Desconforto Térmico (DISC)	-	0,28
	Índice de Sensação Térmica (TS)	-	26,71

5.3.4.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Inverno: Na simulação de conforto térmico para estação Inverno do ano observado e adotado (2003), obteve-se como resultado diante dos dados e considerações de entrada, o PMV de 0,38 e o PPD de 7,97% conforme Tabela 14. Analisando estes dois resultados, que são os de maior importância nesta simulação, temos uma situação de pleno conforto nos ambientes de Laboratórios e Prédio Central, visto que o intervalo ideal para os resultados do voto médio estimado (PMV) enquadra-se entre $-0,5 \leq \text{PMV} \leq +0,5$, o que caracteriza um ambiente agradável aos usuários conforme pode ser observado no trecho verde da Figura 83. Já o Percentual de Pessoas Desconfortáveis (PPD) também ficou dentro da margem de conforto aceitável para o total de usuários, pois a taxa de 7,97% de usuários desconfortáveis, menor do que o permitido por norma ($< 10,0\%$), evidenciando que durante esta estação do ano não existirá a

necessidade para utilização do condicionamento artificial. Vale lembrar que para esta simulação consideramos os dados observados mais desfavoráveis, o que ressalta o fato de dificilmente esta ser uma hipótese rotineira, ou seja, teremos períodos de profundo conforto com condicionamento natural dos ambientes. Embora tenhamos o conforto térmico supracitado para este período do ano, o Cenpes implementou em seu projeto fontes complementares de conforto térmico, como por exemplo, o condicionamento artificial acionado remotamente quando observado alguns parâmetros fora do programado no sistema de automação da unidade. Vale lembrar a economia no consumo de água gelada e energia elétrica diante das características arquitetônicas deste projeto, características estas que permitiram o condicionamento natural em período integral destas edificações. Otimizações semelhantes ocorrem nas demais estações do ano, mas em períodos específicos, ocorrendo alternância com o condicionamento artificial dos ambientes.

5.3.5 Estação do Ano: Primavera

Observamos na Figura 85 a seleção da vestimenta para os usuários dos ambientes que compõem o Prédio Central e os Laboratórios. Optou-se pela vestimenta simples, composta por roupas de baixo, camisa, calça, meias e sapatos. Isto, pois na maior parte do ano temos temperaturas médias altas no Rio de Janeiro, retratando assim de forma fidedigna a opção por esta vestimenta.

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' software interface. The window title is 'Análise De Conforto Térmico'. The main area is divided into several sections:

- Top Navigation:** 'Vestimentas ISO 7730 1994', 'Atividades ISO 7730 1994', 'Ambiente', 'Relatório', 'Figura'.
- Buttons:** 'Trajes', 'Peça a Peça', 'Diário', 'Trabalho'.
- Radio Button List:** A list of clothing options with radio buttons. The selected option is 'Roupas de Baixo, Camisa, Calças, Meias, Sapatos'.
- Summary Section:**
 - Vestimenta:** Traje Diário: 0.7 [clo]
 - Atividade:** 93 [W/m²], 1.6 [met]
 - Ambiente:** Temp. Ar: 27 [°C], T. R. Média: 27 [°C], T. Méd. Ext. Mensal: [°C], Veloc. do Ar: 0 [m/s], U. Relativa: 21 %, Pressão Bar.: 101.325 [kPa]
- Bottom Buttons:** 'Gerar Relatório', 'Novo', 'Dados Via Arquivo', 'Sair'.

Figura 85: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação – Primavera

Na Figura 86 selecionamos a opção de atividade realizada. Optou-se pelas atividades em laboratório, pois esta é a atividade fim deste empreendimento, ou seja, é a atividade executada pela maior parte da força de trabalho existente no Cenpes. Embora as atividades de escritório sejam mais leves, estas são praticadas por uma pequena parcela dos usuários destes ambientes. No balanço final teremos uma situação mais próxima da realidade quando optamos pelas atividades de laboratório.

Análise De Conforto Térmico

Vestimentas ISO 7730 1994 | Atividades ISO 7730 1994 | Ambiente | Relatório | Figura

Atividades Diversas

Reclinado

Sentado, Relaxado

Atividades sedentárias
(Escritório, Residência, Escola, Laboratório)

Em pé, Atividades Leves
(Fazendo compras, Laboratórios, Industrias Leves)

Em pé, Atividades Moderadas
(Balconista, Trabalhos domésticos, Operação de máquinas)

Caminhando Horizontalmente: 2 Km/h
 3 Km/h
 4 Km/h
 5 Km/h

Vestimenta
Traje Diário: 0.7 [clo]

Atividade
93 [W/m²]
1.6 [met]

Ambiente
Temp. Ar: 27 [°C]
T. R. Média: 27 [°C]
U. Relativa: 21 [%]
Pressão Bar.: 101.325 [kPa]
Veloc. do Ar: 0 [m/s]
T. Méd. Ext. Mensal: [°C]

Gerar Relatório | Novo | Dados Via Arquivo | Sair

Figura 86: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Primavera

Na Figura 87 entramos com os dados climáticos existentes no local. Estes dados são obtidos da Tabela 11.

Análise De Conforto Térmico

Vestimentas ISO 7730 1994 | Atividades ISO 7730 1994 | Ambiente | Relatório | Figura

Temperatura do Ar: 27 [°C]
Velocidade do Ar: 0 [m/s]

Temp. de Globo
 Temp. Radiante Média: 27 [°C]

Pressão de Vapor
 Temp. de Bulbo Úmido
 Umidade Relativa: 21 [%]
 Temp. De Orvalho

Altitude/Pressão
 Nível do Mar
 Acima do Nível do Mar
 Pressão Barométrica

Vestimenta
Traje Diário: 0.7 [clo]

Atividade
93 [W/m²]
1.6 [met]

Ambiente
Temp. Ar: 27 [°C]
T. R. Média: 27 [°C]
U. Relativa: 21 [%]
Pressão Bar.: 101.325 [kPa]
Veloc. do Ar: 0 [m/s]
T. Méd. Ext. Mensal: [°C]

Gerar Relatório | Novo | Dados Via Arquivo | Sair

Figura 87: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Primavera

Na Figura 88 temos o gráfico resultante após a simulação dos dados de entrada. Neste gráfico temos a faixa de conforto destacada em verde, enquanto o ponto resultante encontra-se plotado na parábola. Quanto mais afastado deste trecho em destaque, maior o desconforto, tanto para o frio quanto para o calor.

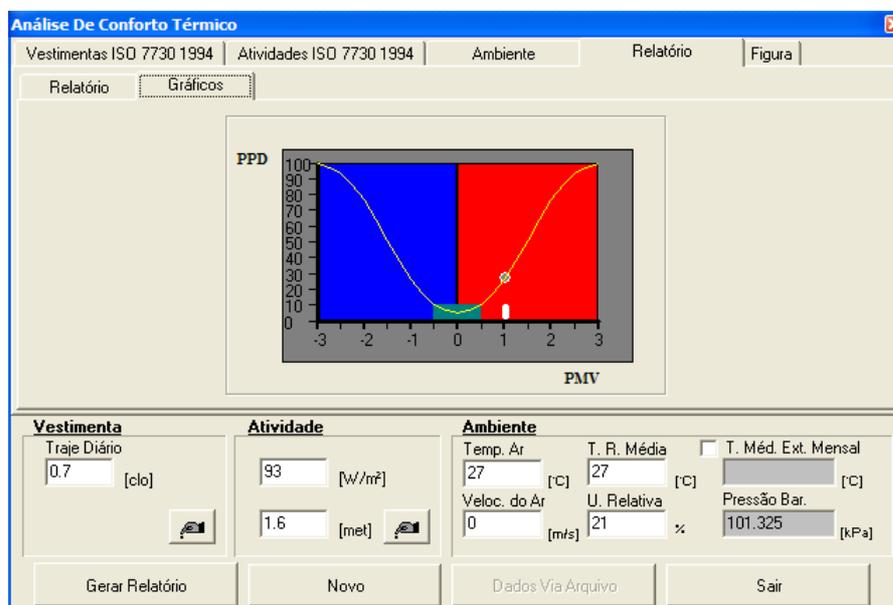


Figura 88: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analisis CST - Primavera

Na Figura 89 temos uma animação para a situação de conforto vivenciada pelo usuário com as características existentes no ambiente entorno, relacionada com a vestimenta utilizada pelos mesmos. Mostra também um resumo dos resultados obtidos após a simulação.

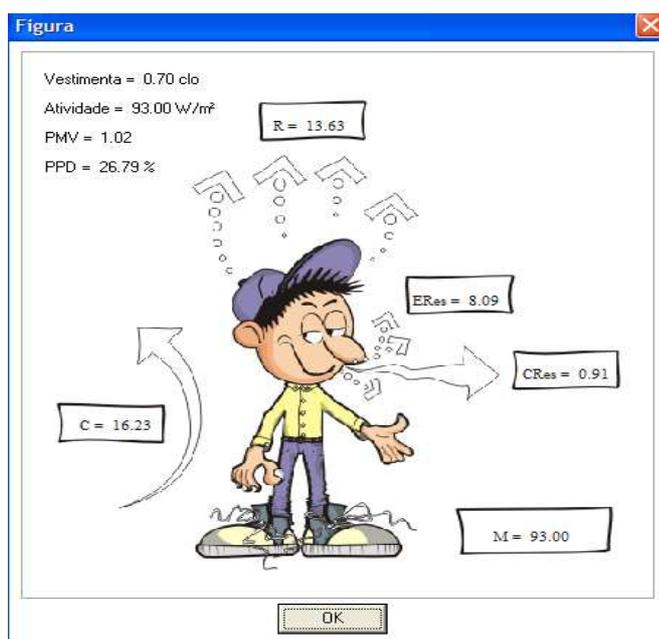


Figura 89: Animação resultante da simulação no Analisis CST com os resultados principais plotados – Primavera

Na Tabela 15 encontramos os resultados obtidos após as simulações pelo Analysis CST para a estação da Primavera. Observamos um resumo dos dados de entrada e saída para a simulação.

Tabela 15: relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Analysis CST – Primavera

Dados de Entrada	Vestimenta	Unidades	Resultados
		clo	0,70
	Atividade	Unidades	Resultados
		W/m ²	93,00
	Ambiente	Unidades	Resultados
	Temperatura do Ar	°C	27,00
	Velocidade do Ar	m/s	0,00
	Temperatura de Bulbo Úmido	°C	14,16
	Pressão de Vapor	kPa	0,75
	Umidade Relativa	%	21,00
	Temperatura de Orvalho	°C	2,80
	Temperatura Radiante Média	°C	27,00
Temperatura de Globo	°C	27,00	
Pressão Barométrica	kPa	101,33	
Altitude	m	0,00	
Dados de Saída	Índices de Conforto Térmico	Unidades	Resultados
	PMV	-	1,02
	PPD	-	26,79
	SET	-	27,00
	Carga Térmica sobre o corpo (L)	W/m ²	26,28
	Troca de Calor Sensível pela Respiração (Cres)	W/m ²	0,91
	Troca de Calor latente pela Respiração (Eres)	W/m ²	8,09
	Troca de Calor sensível por Convecção pela pele (C)	W/m ²	16,23
	Troca de Calor sensível por Radiação pela pele ®	W/m ²	13,63
	Troca de Calor latente pela pele (Esk)	W/m ²	27,86
	Temperatura Operativa de Conforto (Toc)	°C	22,58
	Índice de Desconforto Térmico (DISC)	-	0,64
Índice de Sensação Térmica (TS)	-	27,93	

5.3.5.1 Condicionamento Natural - Conclusão Simulação Primavera: Na simulação de conforto térmico para estação Primavera do ano observado e adotado (2003), observou-se como resultado diante dos dados e considerações de entrada, o PMV de 1,02 e o PPD de 26,79% conforme Tabela 15. Analisando estes dois resultados, que são os de maior importância nesta simulação, temos as mesmas características observadas anteriormente para o Verão e o Outono, isto é, um leve desconforto com a sensação térmica de calor nos ambientes de Laboratórios e Prédio Central, visto que o intervalo ideal para os resultados do voto médio estimado

(PMV) deveria se enquadrar entre $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$ para um ambiente agradável aos usuários conforme pode ser observado no trecho verde da Figura 88. Já o Percentual de Pessoas Desconfortáveis (PPD) também foi um tanto elevado para este tipo de condicionamento, pois a taxa de 26,79% de usuários desconfortáveis, maior do que o permitido por norma ($< 10,0\%$) ressalta a importância em se estudar outras condicionantes com intuito de minimizar esta característica. Vale lembrar que para esta simulação consideramos os dados observados mais desfavoráveis, o que não significa que esta situação ocorra ou, mesmo que aconteça, dificilmente será uma hipótese rotineira mesmo para esta estação do ano. Entretanto o Cenpes implementou em seu projeto fontes complementares de conforto térmico, como por exemplo, o condicionamento artificial acionado remotamente quando observado alguns parâmetros fora do programado no sistema de automação da unidade. Desta forma, assim que acionado o aviso no PLC (Painel de Controle Central), o sistema de condicionamento do ar seria acionado restabelecendo as características de umidade e temperatura ideais para o conforto da maioria dos usuários, atendendo desta forma o mínimo preconizado pela Norma. Esta ação será conjunta com o fechamento das janelas pelos usuários, assim que os operadores da edificação indicarem a necessidade de acionamento do sistema de condicionamento artificial.

5.3.6 Condicionamento Artificial

A Tabela 16 demonstra os dados de entrada considerados para as simulações visando o condicionamento artificial das edificações:

Tabela 16: Dados de entrada para simulação do conforto térmico – Condicionamento Artificial

Condicionamento Artificial		
Parâmetro	Valor	Estação do Ano
Temperatura do Ar	26°C	Todas
Temperatura do Globo*	26°C	
Umidade Relativa	65%	
Temperatura de Bulbo Úmido*	26°C	
Velocidade do Ar	0,25 m/s	
* : Temperaturas obtidas por aproximação		

Observamos na Figura 90 a seleção da vestimenta para os usuários dos ambientes que compõem o Prédio Central e os Laboratórios. Optou-se pela vestimenta simples, composta por roupas de baixo, camisa, calça, meias e sapatos. Isto, pois na maior parte do ano temos temperaturas médias altas no Rio de Janeiro, retratando assim de forma fidedigna a opção por esta vestimenta.

Figura 90: Seleção de vestimentas utilizadas pelos usuários para simulação – Artificial

Na Figura 91 selecionamos a opção de atividade realizada. Optou-se pelas atividades em laboratório, pois esta é a atividade fim deste empreendimento, ou seja, é a atividade executada pela maior parte da força de trabalho existente no Cenpes. Embora as atividades de escritório sejam mais leves, estas são praticadas por uma pequena parcela dos usuários destes ambientes. No balanço final teremos uma situação mais próxima da realidade quando optamos pelas atividades de laboratório.

Figura 91: Seleção de atividades diversas praticadas pelos usuários para simulação – Artificial

Na Figura 92 entramos com os dados climáticos existentes no local. Estes dados são obtidos da Tabela 16.

Figura 92: Características ambientais obtidas de medições para simulação – Artificial

Na Figura 93 temos o gráfico resultante após a simulação dos dados de entrada. Neste gráfico temos a faixa de conforto destacada em verde, enquanto o ponto resultante encontra-se plotado na parábola. Quanto mais afastado deste trecho em destaque, maior o desconforto, tanto para o frio quanto para o calor.

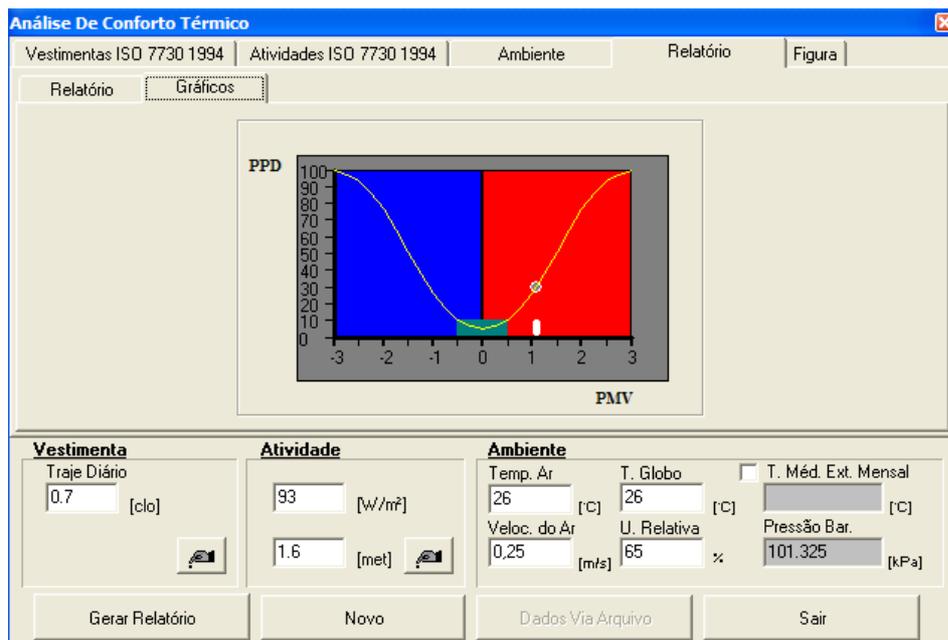


Figura 93: Gráfico PPD x PMV obtido após simulação executada no Analisis CST – Artificial

Na Figura 94 temos uma animação para a situação de conforto vivenciada pelo usuário com as características existentes no ambiente entorno, relacionada com a vestimenta utilizada pelos mesmos. Mostra também um resumo dos resultados obtidos após a simulação.

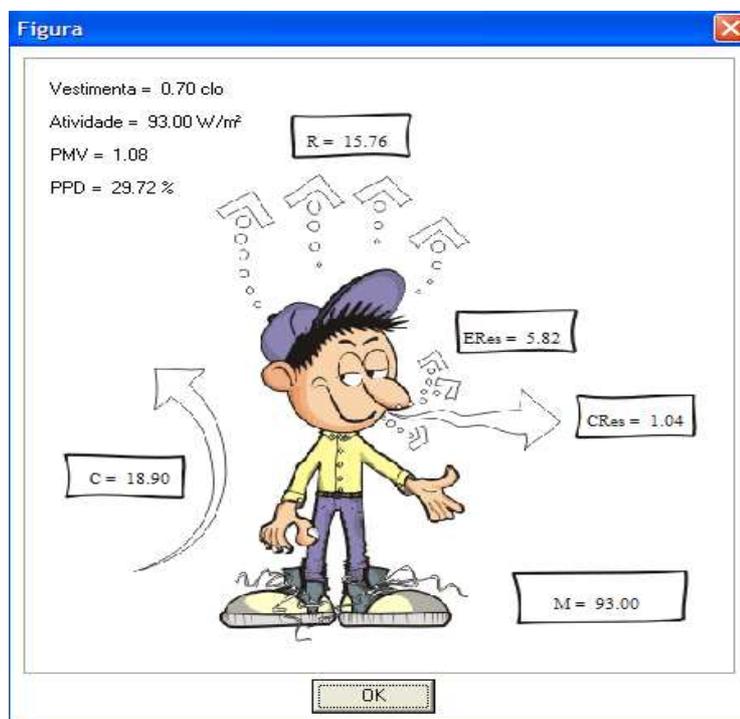


Figura 94: Animação resultante da simulação no Analisis CST com os resultados principais plotados – Artificial

Na Tabela 17 encontramos os resultados obtidos após as simulações pelo Analysis CST para todas as estações do ano, visto que os ambientes estarão condicionados durante todo o ano para simulação deste caso. Observamos um resumo dos dados de entrada e saída para a simulação.

Tabela 17: Relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Analysis CST – Artificial

	Vestimenta	Unidades	Resultados	
		clo	0,70	
	Atividade	Unidades	Resultados	
W/m ²		93,00		
Dados de Entrada	Ambiente	Unidades	Resultados	
	Temperatura do Ar	°C	26,00	
	Velocidade do Ar	m/s	0,00	
	Temperatura de Bulbo Úmido	°C	21,16	
	Pressão de Vapor	kPa	2,19	
	Umidade Relativa	%	65,00	
	Temperatura de Orvalho	°C	18,67	
	Temperatura Radiante Média	°C	26,00	
	Temperatura de Globo	°C	26,00	
	Pressão Barométrica	kPa	101,33	
	Altitude	m	0,00	
	Dados de Saída	Índices de Conforto Térmico	Unidades	Resultados
		PMV	-	1,08
		PPD	-	29,72
SET		-	27,03	
Carga Térmica sobre o corpo (L)		W/m ²	28,00	
Troca de Calor Sensível pela Respiração (Cres)		W/m ²	1,04	
Troca de Calor latente pela Respiração (Eres)		W/m ²	5,82	
Troca de Calor sensível por Convecção pela pele (C)		W/m ²	18,90	
Troca de Calor sensível por Radiação pela pele ®		W/m ²	15,76	
Troca de Calor latente pela pele (Esk)		W/m ²	23,47	
Temperatura Operativa de Conforto (Toc)		°C	21,28	
Índice de Desconforto Térmico (DISC)		-	0,65	
Índice de Sensação Térmica (TS)		-	27,68	

5.3.6.1 Condicionamento Artificial - Conclusão Simulação: Na simulação de conforto térmico para o condicionamento artificial dos ambientes referente ao ano observado e adotado (2003), observou-se como resultado diante dos dados e considerações de entrada, o PMV de 1,08 e o PPD de 29,72% conforme Tabela 17. Analisando estes dois resultados, que são os de maior importância nesta

simulação, temos características similares as estações do ano com condicionamento natural, exceção se faz para a estação Inverno, isto é, um leve desconforto com a sensação térmica de calor nos ambientes de Laboratórios e Prédio Central, visto que o intervalo ideal para os resultados do voto médio estimado (PMV) deveria se enquadrar entre $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$ para um ambiente agradável aos usuários conforme pode ser observado no trecho verde da Figura 93. Já o Percentual de Pessoas Desconfortáveis (PPD) também foi um tanto elevado para este tipo de condicionamento, pois a taxa de 29,72% de usuários desconfortáveis, maior do que o permitido por norma ($\leq 10,0\%$) ressalta a importância em se estudar outras condicionantes com intuito de minimizar esta característica. Vale lembrar que para esta simulação consideramos os dados adotados para a climatização artificial dos ambientes na etapa de projetos. Desta forma observamos que embora seja utilizado o condicionamento artificial, o mesmo não atende as características de conforto ideais para as atividades realizadas pelos usuários das edificações estudadas (Laboratórios e Prédio Central). Provavelmente Durante o início da ocupação das edificações, esta sensação será traduzida em solicitações para alteração da temperatura e umidade a serem utilizadas no sistema de condicionamento, elevando assim o nível de conforto.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS APÓS SIMULAÇÃO COM O ANALYSIS CST:

Com objetivo de comparar os resultados obtidos durante a elaboração do projeto das edificações (Laboratórios e Prédio Central) e os resultados obtidos após a simulação dos ambientes com o software Analisys CST, faremos a exposição das considerações realizadas pela Fupam e as considerações expostas no estudo em tela.

Como observamos na simulação realizada com o *software* Analisys CST, para as estações do ano Verão, Outono e Primavera, teremos algum desconforto caso os ambientes sejam predominantemente condicionados naturalmente, o que não ocorrerá, devido ao sistema automatizado de climatização existente nas edificações, pois este acionará o condicionamento artificial assim que os parâmetros estabelecidos não forem atendidos. Vale lembrar que esta limitação havia sido

detectada nos estudos realizados pela Fupam, onde fora considerado a oportunidade de condicionamento natural dos ambientes entre 10% a 30% do período de ocupação, ou seja, ao longo de cada ano. Esta Filosofia de projeto foi primordial para contribuição dos índices de eficiência energética alcançados pelo empreendimento, bem como na otimização do consumo de recursos naturais como a água utilizada nas torres de resfriamento.

Na mesma simulação realizada com o Analisys CST, pode-se observar que para os períodos de condicionamento artificial, adotando-se os parâmetros de temperatura e umidade estipulados para o projeto, existe um pequeno desconforto para os usuários, embora conforme demonstrado nos estudos realizados pela Fupam exista um ganho no dimensionamento e conseqüentemente no porte dos equipamentos, bem como nos custos de manutenção dos mesmos. Esta análise crítica foi realizada e optou-se pela otimização do empreendimento não significando perda de conforto para os usuários, pois os parâmetros de conforto podem ser alterados a qualquer momento, limitando-se apenas a capacidade dos equipamentos e a capacidade de ocupação dos ambientes. Devemos considerar também que todos os dados de entrada foram superestimados, isto é, provocaram resultados para a pior hipótese, o que não será a média dos acontecimentos reais.

De forma geral, as premissas adotadas no projeto do empreendimento, em particular para os Laboratórios e Prédio Central do Cenpes, contribuíram para a quebra de paradigmas e implementou uma rotina nas atividades de projeto, buscando incansavelmente a sustentabilidade em todas as suas formas, seja em energia, recursos naturais, funcionalidade, custos operacionais entre outros aspectos. Este empreendimento entrega um grande legado não só aos seus usuários, mas também à engenharia brasileira, pois induziu o desenvolvimento de estudos pouco utilizados, desenvolveu matrizes de fabricação, fomentou a pesquisa por novos produtos, inovou no processo de construção e montagem e sobretudo investiu em um dos principais segmentos da vanguarda de uma grande empresa que é o seu setor de pesquisa e desenvolvimento.

CAPÍTULO 06: ANÁLISE DOS AMBIENTES PROJETADOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS BIO

6.1 DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

Através de dados climáticos de referência podem-se determinar as estratégias bioclimáticas mais adequadas para cada localidade através do programa Analysis Bio. Este pode avaliar dados climáticos de normais climatológicas, utilizando-se os arquivos TRY e/ou dados inseridos manualmente. A Figura 95 apresenta a carta bioclimática para a cidade de Florianópolis produzida com o TRY da cidade, de 1963. (Vazquez, 2009)

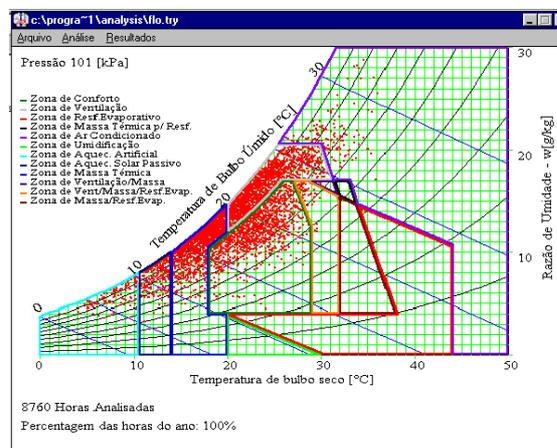


Figura 95: Carta bioclimática Florianópolis (Vazquez, 2009)

Do período anual em Florianópolis obtêm-se condições de conforto térmico em apenas 21% deste período. Porém, estratégias como ventilação, aquecimento solar passivo e massa térmica podem tornar o ambiente termicamente confortável em cerca de 75,69% do período anual. (Vazquez, 2009)

A análise bioclimática não deve, no entanto, se restringir à carta. Após verificar que a ventilação pode promover o conforto térmico em 36,4% das horas do ano, é importante verificar se há ventos disponíveis durante este período. Da mesma forma, 35,4% das horas do ano podem oferecer conforto caso seja utilizada a estratégia de massa térmica e aquecimento solar. Deve-se então, além de projetar edificação para captar a radiação solar, verificar as condições de nebulosidade durante o inverno para saber se há radiação solar disponível.

Felizmente, no Brasil, o inverno costuma ser seco, sem uma grande cobertura nebulosa durante os meses de junho a setembro. Entretanto, algumas cidades, incluindo Florianópolis, apresentam uma frequência mais alta de céu nublado do que a média nacional. (Vazquez, 2009)

6.2 METODOLOGIA DE TRABALHO DESENVOLVIDA PARA SIMULAÇÃO DOS AMBIENTES COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANALYSIS BIO

Através dos dados climáticos de referência obtidos através do diagrama bioclimático de Givoni referente ao município do Rio de Janeiro, avaliaremos as estratégias arquitetônicas e construtivas adotadas para o projeto das edificações estudadas no empreendimento de Ampliação do Cenpes, de acordo com os resultados obtidos após a simulação no software Analysis Bio. Utilizaremos o arquivo TRY do referido *software*, elaborando uma avaliação para cada estação do ano. O arquivo TRY corresponde ao conjunto de medições observadas ao longo de um período, permitindo assim a confecção do diagrama bioclimático do município do Rio de Janeiro.

Serão simuladas através do Analysis BIO, as ocorrências para as quatro estações do ano, onde então serão obtidos o diagrama bioclimático e o histograma de ocorrência das temperaturas. Por fim o *software* produz um relatório consolidado onde poderemos realizar as considerações finais para cada caso. Os mesmos serão interpretados para posterior comparação com as premissas arquitetônicas e construtivas adotadas nas edificações em estudo.

Após a conclusão na elaboração do estudo comparativo, serão obtidas as prováveis consequências climáticas nas quais estarão submetidos os ambientes de Laboratórios e Prédio Central da Ampliação do Cenpes.

6.3 Estação do Ano: Verão

Na Figura 96 temos a representação do diagrama bioclimático com as 09 (nove) zonas que caracterizam a região para a estação do Verão.

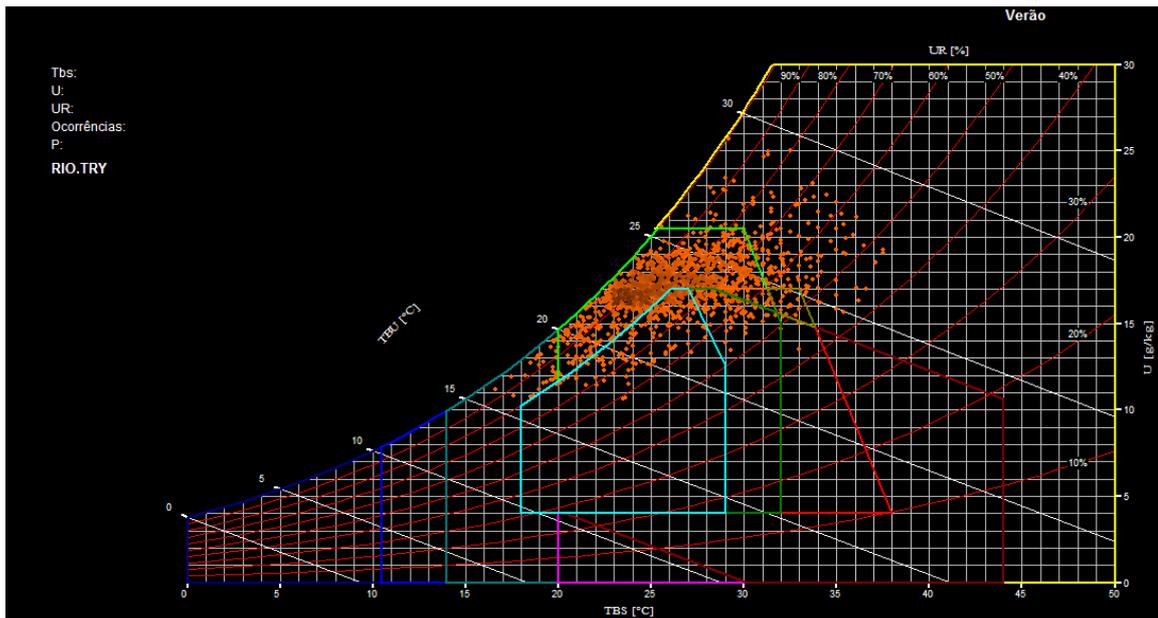


Figura 96: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Verão

Na Figura 97 temos o histograma de ocorrências das temperaturas observadas durante a estação do Verão. Destaque especial nesta figura para o período observado, bem como o total de horas que compõe esta estação.

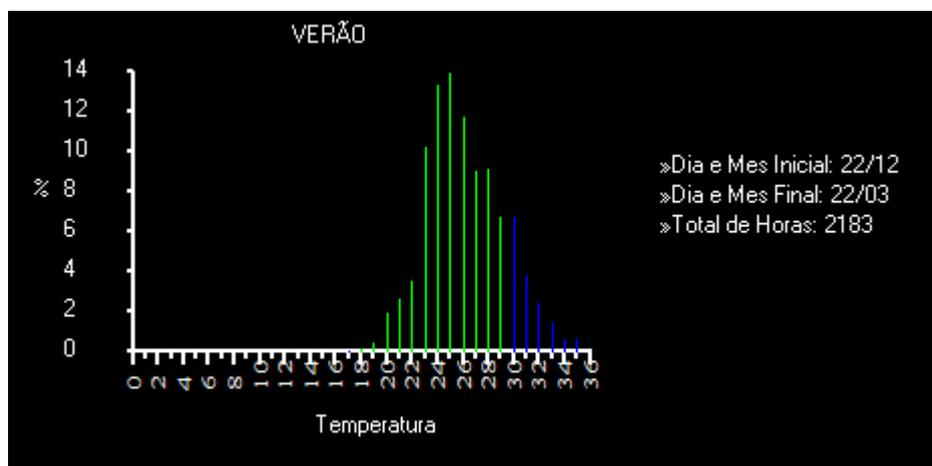


Figura 97: Histograma – Rio de Janeiro – Verão

Na Tabela 18 observamos os resultados obtidos após a simulação com o Analysis Bio. A interpretação dos mesmos serviu de base para a conclusão final desta estação.

Tabela 18: Relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Análisis Bio – Verão

Relatório - Verão	
Verão	Resultados
Dia e Mês Inicial	22/dez
Dia e Mês Final	22/mar
Total de Horas	2183
Pressão	101.51 KPa
Geral	
	Resultados
Conforto	11,50%
Desconforto	88,40%
Frio	1,37%
Calor	87%
Calor	
	Resultados
Ventilação	78,10%
Alta Inércia para Resfriamento	9,34%
Resfriamento Evaporativo	7,15%
Ar Condicionado	7,88%
Frio	
	Resultados
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	1,37%
Aquecimento Solar Passivo	0%
Aquecimento Artificial	0%
Umidificação	0%
Por Zonas	
	Resultados
Ventilação	69,80%
Ventilação/Alta Inércia	1,42%
Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	6,87%
Alta Inércia Térmica para Resfriamento	0,78%
Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	0,28%
Aquecimento Artificial	1,37%
Conforto	11,50%
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0%
Aquecimento Solar Passivo	0%
Ar Condicionado	7,88%
Resfriamento Evaporativo	0%
Umidificação	0%
Sombreamento	
	Resultados
Porcentagem	98,60%

6.3.1 Conclusão Simulação Verão: Como podemos observar na Tabela 18, para a estação do ano Verão, em apenas 11,5% do período analisado teríamos condições de conforto, o que pode ser interpretado claramente com a concentração de ocorrências na Zona 02 da carta bioclimática de Olgyay – Givoni gerada pelo *software* Analysis Bio, representado pela Figura 96. Como estratégias preconizadas para tratamento desta condição, descritas ao longo do item 2.12 desta dissertação, podem ser adotadas condições de ventilação nos ambientes contando com premissas de ventilação cruzada e ventilação na cobertura e piso de forma a dissipar a massa de ar aquecido que se formará no interior do ambiente. Desta forma podem-se atingir níveis de conforto de aproximadamente 78,10%, entretanto devem ser verificadas as condições de vento local, pois caso o mesmo não exista em período suficiente para obtenção de conforto, teremos de lançar mão de um condicionamento artificial para este período do ano, haja visto que de acordo com a simulação, a grande contribuição de conforto para esta estação está baseada na estratégia de ventilação. A Figura 97 evidencia as temperaturas ocorridas nesta estação do ano e o seu percentual de frequência durante este período onde observa-se temperaturas de aproximadamente 25°C em 15% do período observado, confirmando um período de grande desconforto térmico na Ilha do Fundão, local de implantação das edificações em estudo.

6.4 Estação do Ano: Outono

Na Figura 98 temos a representação do diagrama bioclimático com as 09 (nove) zonas que caracterizam a região para a estação do Outono.

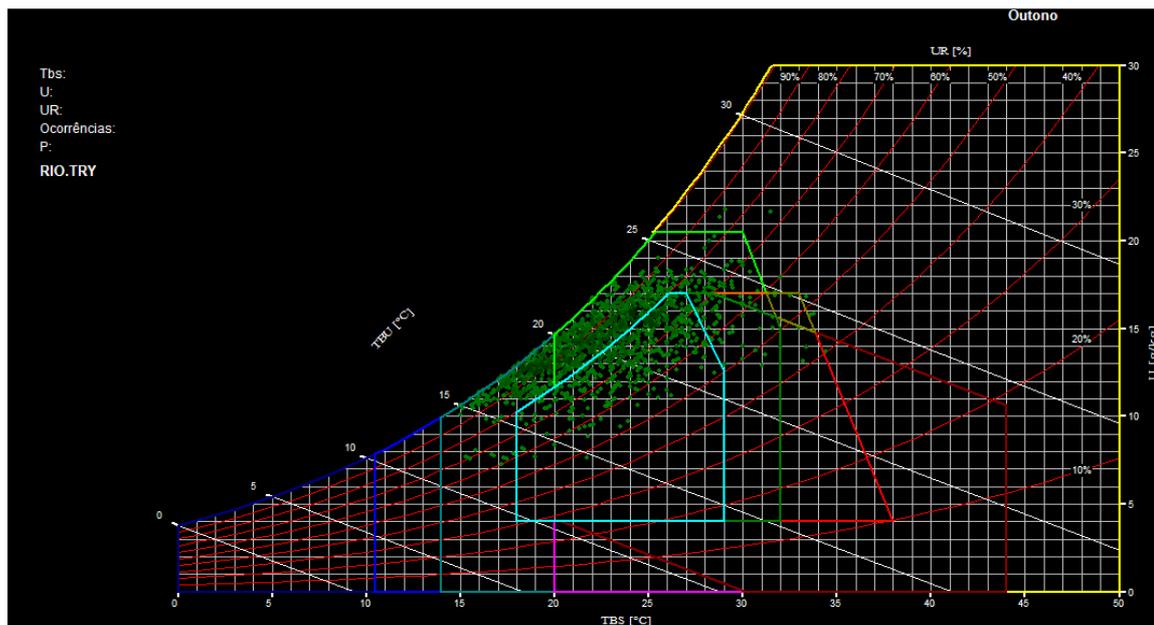


Figura 98: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Outono

Na Figura 99 temos o histograma de ocorrências das temperaturas observadas durante a estação do Outono. Destaque especial nesta figura para o período observado, bem como o total de horas que compõe esta estação.

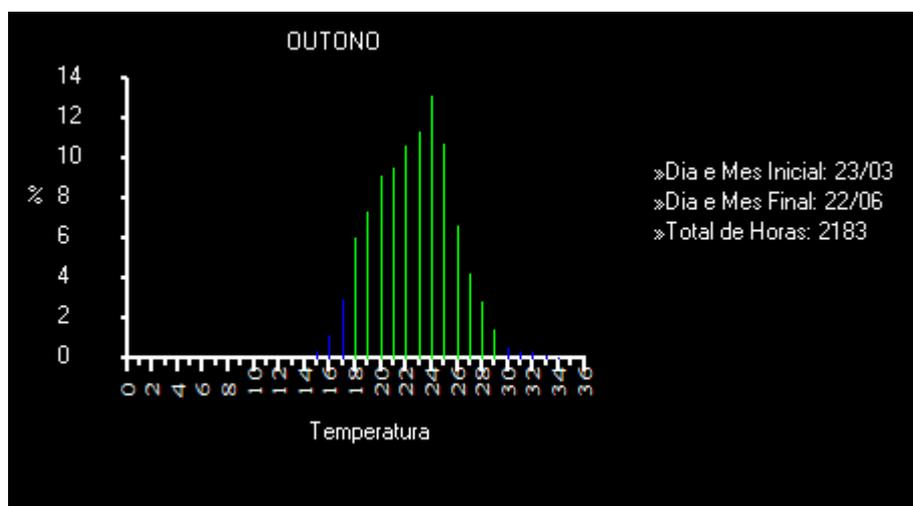


Figura 99: Histograma – Rio de Janeiro – Outono

Na Tabela 19 observamos os resultados obtidos após a simulação com o Analysis Bio. A interpretação dos mesmos serviu de base para a conclusão final desta estação.

Tabela 19: Relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Anisys Bio – Outono

Relatório - Outono	
Outono	Resultados
Dia e Mês Inicial	23/mar
Dia e Mês Final	22/jun
Total de Horas	2183
Pressão	101.51 KPa
Geral	
	Resultados
Conforto	30,50%
Desconforto	69,50%
Frio	19,70%
Calor	50%
Calor	
	Resultados
Ventilação	49,00%
Alta Inércia para Resfriamento	3,16%
Resfriamento Evaporativo	2,84%
Ar Condicionado	0,41%
Frio	
	Resultados
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	19,70%
Aquecimento Solar Passivo	0%
Aquecimento Artificial	0%
Umidificação	0%
Por Zonas	
	Resultados
Ventilação	46,20%
Ventilação/Alta Inércia	0,28%
Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	2,52%
Alta Inércia Térmica para Resfriamento	0,09%
Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	0,28%
Aquecimento Artificial	19,70%
Conforto	30,50%
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0%
Aquecimento Solar Passivo	0%
Ar Condicionado	0,41%
Resfriamento Evaporativo	0,05%
Umidificação	0%
Sombreamento	
	Resultados
Porcentagem	79,30%

6.4.1 Conclusão Simulação Outono: Como podemos observar na Tabela 19 para a estação do ano Outono, em apenas 30,5% do período analisado teríamos condições de conforto, o que pode ser interpretado claramente com a concentração de ocorrências na Zona 02 e 07 da carta bioclimática de Olgyay – Givoni gerada pelo *software* Analysis Bio, representado pela Figura 98. Como estratégias preconizadas para tratamento desta condição, descritas ao longo do item 2.12 desta dissertação, podem ser adotadas condições de ventilação nos ambientes além de aquecimento solar para as condições de frio, isto pois embora 50% do desconforto gerado para este período sejam por calor, em 19,7% do mesmo período teremos desconforto por frio. Logo contando com premissas de ventilação cruzada, ventilação na cobertura e piso de forma a dissipar a massa de ar aquecido que se formará no interior do ambiente, e a utilização de materiais construtivos com alta inércia térmica nas fachadas, tem-se uma melhoria significativa no desempenho térmico das edificações estudadas. Desta forma podem-se atingir níveis de conforto de aproximadamente 68,7%, entretanto devem ser verificadas as condições de vento local, pois caso o mesmo não exista em período suficiente para obtenção de conforto, teremos de lançar mão de um condicionamento artificial para este período do ano, haja visto que de acordo com a simulação, a grande contribuição de conforto para esta estação está baseada na estratégia de ventilação e aquecimento solar passivo. A Figura 99 evidencia as temperaturas ocorridas nesta estação do ano e o seu percentual de frequência durante este período onde observa-se temperaturas de aproximadamente 24°C em 14% do período observado, confirmando um período de grande desconforto térmico na Ilha do Fundão, local de implantação das edificações em estudo.

6.5 Estação do Ano: Inverno

Na Figura 100 temos a representação do diagrama bioclimático com as 09 (nove) zonas que caracterizam a região para a estação do Inverno.

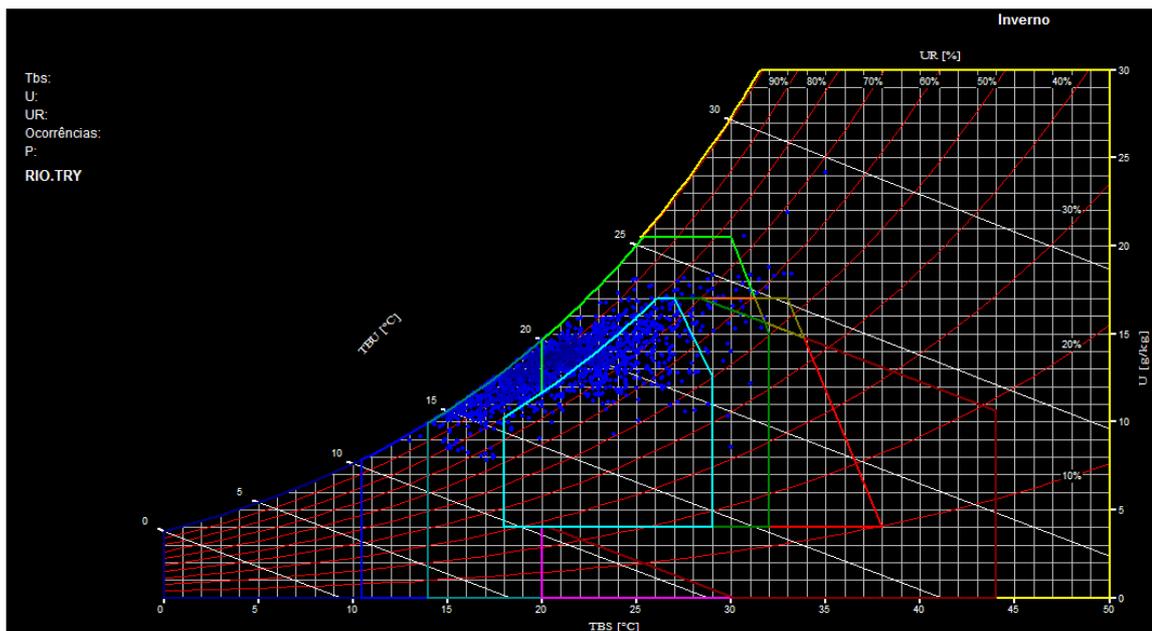


Figura 100: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Inverno

Na Figura 101 temos o histograma de ocorrências das temperaturas observadas durante a estação do Inverno. Destaque especial nesta figura para o período observado, bem como o total de horas que compõe esta estação.

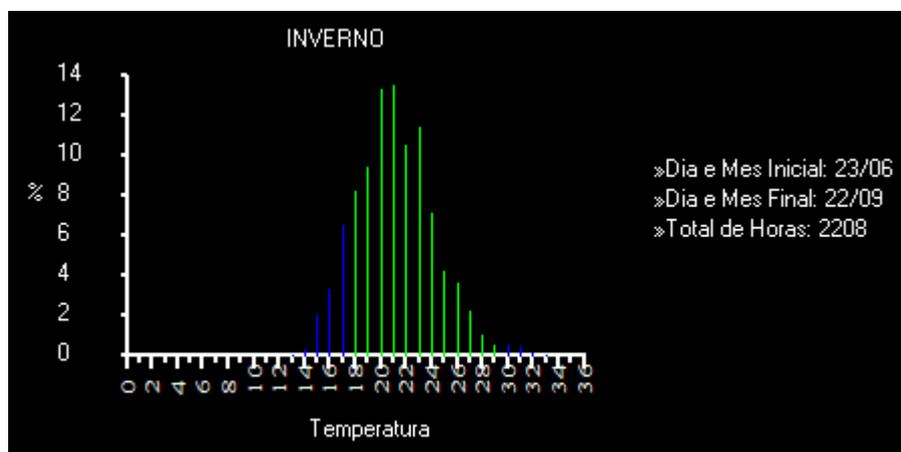


Figura 101: Histograma – Rio de Janeiro – Inverno

Na Tabela 20 observamos os resultados obtidos após a simulação com o Analysis Bio. A interpretação dos mesmos serviu de base para a conclusão final desta estação.

Tabela 20: Relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Anisys Bio – Inverno

Relatório - Inverno	
Inverno	Resultados
Dia e Mês Inicial	23/jun
Dia e Mês Final	22/set
Total de Horas	2208
Pressão	101.51 KPa
Geral	
	Resultados
Conforto	26,08%
Desconforto	73,20%
Frio	34,30%
Calor	39%
Calor	
	Resultados
Ventilação	38,30%
Alta Inércia para Resfriamento	1,49%
Resfriamento Evaporativo	1,27%
Ar Condicionado	0,50%
Frio	
	Resultados
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	34,10%
Aquecimento Solar Passivo	0,18%
Aquecimento Artificial	0,00%
Umidificação	0,00%
Por Zonas	
	Resultados
Ventilação	36,90%
Ventilação/Alta Inércia	0,18%
Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	1,27%
Alta Inércia Térmica para Resfriamento	0,05%
Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	0,00%
Aquecimento Artificial	34,10%
Conforto	26,80%
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0,00%
Aquecimento Solar Passivo	0,18%
Ar Condicionado	0,50%
Resfriamento Evaporativo	0,00%
Umidificação	0,00%
Sombreamento	
	Resultados
Porcentagem	64,90%

6.5.1 Conclusão Simulação Inverno: Como podemos observar na Tabela 20 para a estação do ano Inverno, em apenas 26,08% do período analisado teríamos condições de conforto, o que pode ser interpretado claramente com a concentração de ocorrências na Zona 02 e 07 da carta bioclimática de Olgyay – Givoni gerada pelo *software* Analysis Bio, representado pela Figura 100. Como estratégias preconizadas para tratamento desta condição, descritas ao longo do item 2.12 desta dissertação, podem ser adotadas condições de ventilação nos ambientes além de aquecimento solar para as condições de frio, isto pois o desconforto gerado nas edificações estudadas dividiu-se praticamente em duas etapas iguais, sendo 38,30% do desconforto gerado pelo calor e 34,10% de desconforto do mesmo período gerado pelo frio. Logo contando com premissas de ventilação cruzada, ventilação na cobertura e piso de forma a dissipar a massa de ar aquecido que se formará no interior do ambiente, e a utilização de materiais construtivos com alta inércia térmica nas fachadas, tem-se uma melhoria significativa no desempenho térmico das edificações estudadas. Desta forma podem-se atingir níveis de conforto de aproximadamente 72,4%, entretanto devem ser verificadas as condições de vento local, pois caso o mesmo não exista em período suficiente para obtenção de conforto, teremos de lançar mão de um condicionamento artificial para este período do ano, haja visto que de acordo com a simulação, a grande contribuição de conforto para esta estação está baseada na estratégia de ventilação e aquecimento solar passivo. A Figura 101 evidencia as temperaturas ocorridas nesta estação do ano e o seu percentual de frequência durante este período onde observa-se temperaturas de aproximadamente 21°C em 13% do período observado, confirmando um período de desconforto térmico na Ilha do Fundão mesmo nesta estação que possui menor frequência de altas temperaturas.

6.6 Estação do Ano: Primavera

Na Figura 102 temos a representação do diagrama bioclimático com as 09 (nove) zonas que caracterizam a região para a estação da Primavera.

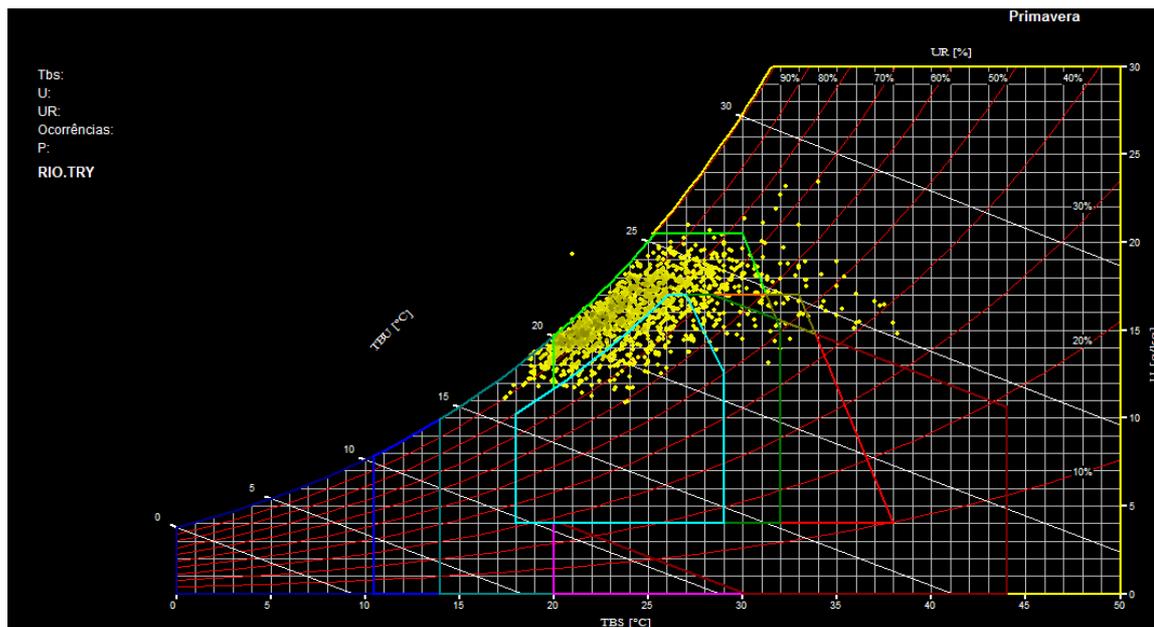


Figura 102: Diagrama Bioclimático – Rio de Janeiro – Primavera

Na Figura 103 temos o histograma de ocorrências das temperaturas observadas durante a estação da Primavera. Destaque especial nesta figura para o período observado, bem como o total de horas que compõe esta estação.

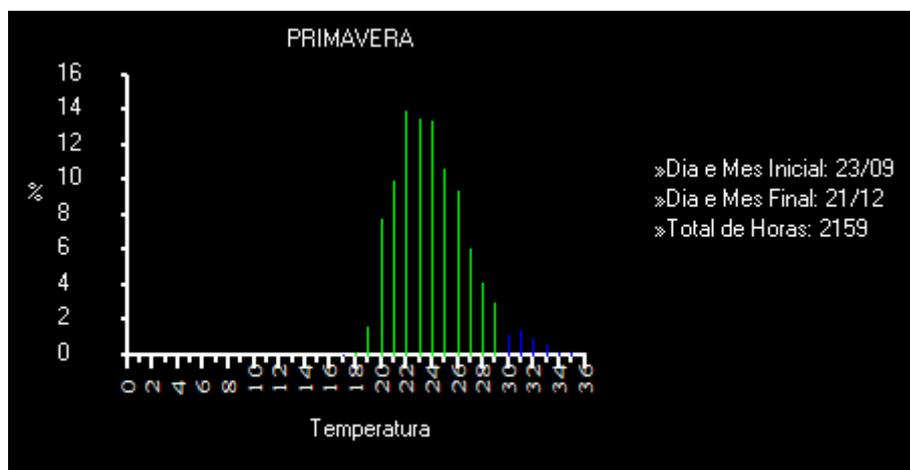


Figura 103: Histograma – Rio de Janeiro – Primavera

Na Tabela 21 observamos os resultados obtidos após a simulação com o Analysis Bio. A interpretação dos mesmos serviu de base para a conclusão final desta estação.

Tabela 21: Relatório com os resultados obtidos após a simulação com o Anisys Bio – Inverno

Relatório - Primavera	
Primavera	Resultados
Dia e Mês Inicial	23/set
Dia e Mês Final	21/dez
Total de Horas	2159
Pressão	101.51 KPa
Geral	
	Resultados
Conforto	14,40%
Desconforto	85,60%
Frio	3,80%
Calor	82%
Calor	
	Resultados
Ventilação	78,70%
Alta Inércia para Resfriamento	3,84%
Resfriamento Evaporativo	3,06%
Ar Condicionado	2,50%
Frio	
	Resultados
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	3,80%
Aquecimento Solar Passivo	0,00%
Aquecimento Artificial	0,00%
Umidificação	0,00%
Por Zonas	
	Resultados
Ventilação	75,50%
Ventilação/Alta Inércia	0,37%
Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	2,87%
Alta Inércia Térmica para Resfriamento	0,42%
Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	0,19%
Aquecimento Artificial	3,80%
Conforto	14,40%
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0,00%
Aquecimento Solar Passivo	0,00%
Ar Condicionado	2,50%
Resfriamento Evaporativo	0,00%
Umidificação	0,00%
Sombreamento	
	Resultados
Porcentagem	96,20%

6.6.1 Conclusão Simulação Primavera: Como podemos observar na Tabela 21 para a estação do ano Primavera, em apenas 14,4% do período analisado teríamos condições de conforto, o que pode ser interpretado claramente com a concentração de ocorrências na Zona 02 da carta bioclimática de Olgyay – Givoni gerada pelo *software* Analysis Bio, representado pela Figura 102. É evidente a proximidade entre as características climáticas evidenciadas entre as estações do ano Verão e Primavera, onde os resultados das simulações demonstram este fato. Como estratégias preconizadas para tratamento desta condição, descritas ao longo do item 2.12 desta dissertação, podem ser adotadas condições de ventilação nos ambientes contando com premissas de ventilação cruzada e ventilação na cobertura e piso de forma a dissipar a massa de ar aquecido que se formará no interior do ambiente. Desta forma podem-se atingir níveis de conforto de aproximadamente 78,70%, entretanto devem ser verificadas as condições de vento local, pois caso o mesmo não exista em período suficiente para obtenção de conforto, teremos de lançar mão de um condicionamento artificial para este período do ano, haja visto que de acordo com a simulação, a grande contribuição de conforto para esta estação está baseada na estratégia de ventilação. A Figura 103 evidencia as temperaturas ocorridas nesta estação do ano e o seu percentual de frequência durante este período onde observa-se temperaturas de aproximadamente 22°C em 14% do período observado, confirmando um período de grande desconforto térmico na Ilha do Fundão, local de implantação das edificações em estudo.

CAPÍTULO 07: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já pronunciado na justificativa para esta dissertação, o interesse no desenvolvimento de pesquisas sobre a Sustentabilidade do Prédio Central e laboratórios (Ampliação do Cenpes), foi decorrente da reflexão sobre a necessidade de se minimizar os impactos provocados ao meio ambiente durante a implementação de grandes empreendimentos e, na incansável busca para utilização ao máximo dos recursos naturais renováveis nos projetos de engenharia e arquitetura, implicando então em racionalização no uso de matéria prima nobre e redução na produção de energia artificial.

Até aqui demonstramos que este estudo teve como principal objetivo, o de empreender uma análise sobre os estudos realizados para o desenvolvimento do projeto desenvolvido acerca do conforto ambiental no ambiente do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Cenpes, tendo como foco os projetos realizados, simulando os ambientes projetados quanto ao desempenho no conforto térmico dos mesmos, utilizando-se de *softwares* para simulação destes ambientes projetados.

Como pode ser observado as análises dos resultados extraídos após as simulações realizadas através dos *softwares* Analysis CST e Bio foram divididas em dois capítulos desta dissertação, pois os mesmos analisam condições de conforto sob aspectos distintos. Enquanto o primeiro avalia as condições de conforto de acordo com as atividades profissionais desenvolvidas pelos usuários e suas vestimentas, o segundo simula situações de conforto com as características ambientais locais e os materiais empregados nas edificações foco deste estudo. É fato que a pesquisa desenvolvida até então teve como conclusão a análise por estações do ano, permitindo desta forma uma associação, embora não linear, entre as condições encontradas em ambas as simulações por estação.

Para a interpretação dos resultados devemos estar cientes que a Ilha do Fundão é um bairro da Cidade do Rio de Janeiro, localizado no estado de mesmo nome, com baixa densidade populacional, embora esta tendência atualmente caminhe para outro patamar devido ao intenso desenvolvimento pelo qual experimenta esta região,

podendo provocar impactos no conforto térmico observado nas edificações localizadas no interior desta região, o que não é o caso das edificações em estudo.

Como características comuns e gerais desta cidade, e de notório conhecimento de seus habitantes, podemos citar o calor intenso no Verão com poucos ou fracos ventos e pancadas fortes e rápidas de chuva no fim do dia, enquanto no Inverno observamos temperaturas moderadas, com raras exceções de dias frios nas regiões de serra do Estado. Para as estações de Primavera e Outono, características intermediárias podem ser observadas como dias com pancadas de chuva já no Outono e dias com desconforto térmico devido ao frio em alguns dias de Primavera.

Nas simulações realizadas com os *softwares* Analysis CST e Bio para a estação do ano Verão, observamos claramente um desconforto devido ao calor, principalmente quando obtemos índices de PPD igual a 36,06% e conforto em apenas 11,5% do período desta estação. Fica latente a necessidade de condicionamento artificial na maior parte do período desta estação, mesmo com todas as premissas arquitetônicas visando minimizar os efeitos climáticos da região na edificação. Embora existam períodos, em raras ocasiões, que não será necessária a condição de condicionamento artificial, permitindo a utilização de ventilação natural nos ambientes, proporcionando assim um ganho em economia de energia, oportunidade que não teríamos nesta época do ano caso não fossem pensadas condições de conforto com a utilização dos recursos naturais disponíveis.

Nas simulações realizadas com os *softwares* Analysis CST e Bio para a estação do ano Outono, observamos resultados curiosos como a obtenção de índices de PPD igual a 19,22% e conforto em apenas 30,5% do período, ou seja, embora apenas 19,22% dos usuários estejam se sentindo desconfortáveis de acordo com as atividades realizadas e vestimentas utilizadas, cerca de 30,5% do período teríamos condições naturais de conforto. Devemos interpretar este resultado da seguinte maneira, embora a maior parte dos usuários nesta época do ano sintam-se confortáveis realizando suas atividades, o ambiente local nos permite a mesma condição de conforto em apenas 30,5% do período analisado em condições de climatização natural.

Temos então não só limitações frente aos usuários e suas condições de conforto como também limitações ambientais, o que nos leva a concluir que para este período também será necessário um condicionamento artificial, embora bem menor do que para o Verão, onde pode ser aproveitado de forma mais ampla todo o potencial natural existente, quando assim o meio permitir.

Nas simulações realizadas com os *softwares* Analysis CST e Bio para a estação do ano Inverno, observamos resultados totalmente controversos haja visto que obtivemos um PPD de 7,97% de conforto para os usuários dos ambientes estudados, resultado excelente em termos de condicionamento natural, e um conforto em apenas 26,08% para o período observado. O fato se deve principalmente, pois para esta estação do ano, temos que ter uma preocupação não só para o desconforto provocado pelo calor, mas também para o desconforto provocado pelo frio, como podemos observar claramente nas simulações. Fato que fora devidamente observado durante as etapas de simulações de conforto para a elaboração do projeto das edificações em estudo, onde materiais com alta inércia térmica foram utilizados além de grande área envidraçada permitindo o aquecimento solar interno. Estratégias que dividiram espaço com estudos de ventilação para os ambientes. Resolvendo esta equação temos grandes probabilidades de obter sucesso na estratégia de condicionamento natural na maior parte desta estação visto que 72,4% de conforto referente a este período têm por base a adoção desta estratégia. Podemos concluir que esta será a época do ano em que será menor a demanda por condicionamento artificial para os ambientes estudados.

Nas simulações realizadas com os *softwares* Analysis CST e Bio para a estação do ano Primavera, observamos que por esta ser a estação do ano que marca a aproximação da trajetória de rotação da terra ao sol, antes do próprio verão, temos características similares as observadas para o Outono, embora com o desconforto por calor nitidamente maior. Com um PPD de 14,4% e condições de conforto em 26,79% do período observado, nos leva a acreditar que esta estação será, assim como o Verão, uma grande consumidora de energia para o condicionamento artificial dos ambientes, sendo em alguns períodos possível a utilização dos recursos naturais.

Voltamos a frisar que como limitação para esta dissertação, temos o fato de que no estudo desenvolvido, não foram elaborados comparativos entre os diversos tipos de materiais existentes no mercado a fim de se obter os resultados procurados em uma edificação sustentável. Foram avaliados os resultados obtidos com os materiais especificados e utilizados nas obras do Prédio Central e Laboratórios da Ampliação do Cenpes.

Como proposta para futuros estudos podemos sugerir uma abordagem local das edificações aqui avaliadas quanto ao seu conforto: medições nos ambientes internos de temperatura e umidade, vestimenta adotada após o início das operações do complexo, avaliação do novo microclima local após a implantação do empreendimento e até evoluir para o estudo da eficiência na iluminação natural dos ambientes internos.

Por fim pode-se concluir que todo o esforço engendrado durante o período de projeto desenvolvido para a implementação da Ampliação do Cenpes, em particular para as edificações aqui estudadas compostas pelos Laboratórios e Prédio Central, foi recompensado com o retorno em eficiência energética, redução no consumo e conseqüente economia financeira, redução na utilização de matéria prima no início da cadeia de suprimentos e o principal objetivo do empreendimento que foi o de fomentar a adoção de estudos voltados para o conforto térmico entre outros ganhos de forma indireta, visando não só uma otimização nos resultados como também tornar uma prática comum e corriqueira em um futuro próximo para os projetos de arquitetura e engenharia a serem desenvolvidos no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 2005. NBR 15.220: **Desempenho Térmico para Edificações – Parte 2**. Rio de Janeiro, 2005.
- ACSELRAD, Henri. **A Duração das Cidades: Sustentabilidade e Risco nas populações urbanas**. DP&A, Rio de Janeiro, 2001.
- ALEXANDER, Christopher et alli, **A Pattern Language, Towns, Buildings, Construction**, Oxford, N.Y., 1977.
- ANDRADE, Liza et al. **Princípios de Sustentabilidade aplicados às diferentes escalas territoriais da sub-bacia do Ribeirão do Torto**, In : X Encontro Nacional da Anpur: Encruzilhadas do Planejamento, Repensando Teorias e Práticas, Belo Horizonte: Anais, 2003.
- ASHRAE STANDARD 90.1-1999: **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta: ASHRAE, 1999. 160 p.
- BARROSO-KRAUSE, C. et al. **Bioclimatismo no Projeto de Arquitetura: dicas de projeto**. Rio de Janeiro: FAU-UFRJ, 2005.
- BNH-CEPAM, **Diretrizes Para o Controle de Obras Pelo Município**, Dept. de Pesquisa, Rio, 1981.
- BRASIL, 2001a. **Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>.
- BRASIL, 2001b. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html>.
- BROWN, G. Z. e DEKAY, M. **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o projeto de Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 2ª. Edição. 414p.
- BURSZTYN, Maria A. **Gestão Ambiental, instrumentos e práticas**. IBAMA, Brasília, 1994.

- CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. Consumer Energy Center. [Homepage Institucional]. Cool Roofs. Disponível em: www.consumerenergycenter.org/coolroof/ acesso em: 19 outubro 2006.
- CAPRA, Fritjof. **As conexões ocultas, ciência para um vida sustentável**. Editora Pensamento- Cultrix Ltda, São Paulo, 2002.
- CARVALHO, Benjamim de A., **Acústica Aplicada à Arquitetura**, Ed. Freitas Bastos, São Paulo, 1967.
- CAVALCANTI, David, **Legislação de Conservação da Natureza**, Rio de Janeiro, 1981.
- CHOAY, Françoise et MERLIM, Pierre, **Dictionnaire de L'urbanisme et de L'aménagement**, PUF, 1988.
- CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, Centro Gráfico do Senado, Brasília, 1988.
- DAJOS, Roger, **Precis D'ecologie**, Dunod, Paris, 1971.
- DANNI-OLIVEIRA, I.M. & MENDONÇA, F.A. Contribuição ao estudo do clima urbano de Curitiba-PR: considerações sobre suas características termo-higrométricas. Anais do IV SBCG, Rio de Janeiro, 2000.
- DAUNCEY, Guy + PECK, Steven. **12 Features of Sustainable Community Development: Social, Economic and Environmental Benefits and Two Case Studies, in Sustenaible Community Development in Canada**, New Urban Agenda, 2001. Internet: <http://www.peck.ca/nua/>
- De MARCO, Conrado Silva, **Elementos de Acústica Arquitetônica**, Ed. Nobel, 2ª Ed., São Paulo, 1986.
- DOCUMENTOS TÉCNICOS DE APOIO: **DTA F1 - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)**: disponível em Ministério das Cidades: www.cidades.gov.br
- EIA-RIMA- **Estudo de impacto ambiental para o Centro de Atividades do Lago Norte e ligações das rodovias EPPN com a EPIA e da EPPR com EPTT**, ENGEVIX/DER, Brasília, 1997.
- EVANS, M.; SCHILLER, S. (1988). Diseno bioambiental y arquitectura solar. Universidad de Buenos Aires, Serie Ediciones Previas, no 9.
- FANGER, P. O. Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- FERNANDES, Pierre, **L'aide a la Conception Climatique en Pays Chauds**, Ceea, Toulouse, 1986.

- FROTA, Anésia Barros e SCHIFFER, Sueli Ramos, **Manual de Conforto Térmico**, Ed. Nobel, São Paulo, 1987.
- FUPAM, **Clima, insolação e parâmetros de conforto térmico**, Fundação para Pesquisa Ambiental, São Paulo, 2004
- FUPAM, **Conforto e desempenho térmico nas edificações I e II**, Fundação para Pesquisa Ambiental, São Paulo, 2004
- GAUZIN-MULLER, D. **Arquitectura Ecológica**. Barcelona: Gustavo Gilli, 2002. 286p.
- GIVONI, B. **Comfort, climate, analysis and building design guidelines**. Energy and Building, vol. 18, pp.11-23, julho/1992.
- GOULART, S.V.G., BARBOSA, M.J., PIETROBON, C.E., BOGO, A., PITTA, T. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1994. (relatório interno nº 02/94).
- GONÇALVES, J.C. S. & DUARTE, D.H.S. (2006) *Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino*.
- GROPIUS, Walter, **Bauhaus: Nova arquitetura**, Editora Perspectiva, São Paulo, 1972.
- GRZYBOWSKI, G. **Conforto Térmico na Escola Pública em Cuiabá – MT: Estudo de Caso**. 2004. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente – Programa de Pós Graduação em Física e Meio Ambiente – UFMT, Cuiabá.)
- IZARD, Jean-Louis e GUYOT, Alain, **Archi Bio, Parenthèses**, Roquevaire, 1979.
- JOHN, V. e AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduos na Construção**. Seminário Reciclagem de Resíduos sólidos Domiciliares. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://recycled.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192 p.
- LAMBERTS, R. et al. Desempenho térmico de edificações. Apostila versão 2005. Florianópolis, 2005. In: www.labeee.ufsc.br, Acesso em 01/07/2008.
- LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: design methods for architects**. John Wiley & Sons, Inc., second edition, USA, 2001. 620p.
- MACHADO, Isis et OLIVEIRA, Tadeu et RIBAS, Otto, **Cartilha: Procedimentos Básicos para uma Arquitetura no Trópico Úmido**. Ed. PINI, São Paulo, 1986.

- MAITELLI, G.T. – **Uma Abordagem Tridimensional de Clima Urbano em Área Tropical Continental: O exemplo de Cuiabá – MT.** São Paulo, FFLCH – USP, 1994. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1994.
- MASCARÓ, Lúcia R. de, **Energia na Edificação - Estratégias para minimizar seu consumo**, Projeto Editores Associados, São Paulo, 1985.
- MEC/CAPES, **Controle Ambiental em Arquitetura, Curso de especialização, módulo 1**, Mimeo UnB, 1985.
- MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES, **Bioclimatisme em Zone Tropicale**, GRET, Paris, 1986.
- MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES, **Toitures em Zones Tropicales Arides**, GRET, Paris.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE/SNABS, **Normas e Padrões de Construções e Instalações de Serviços de Saúde**, Centro de Documentação do MS, Brasília, 1983.
- MOLINER, Fernando Ramon, **Conforto Termico y Ventilación em una Situacion Urbana**, Gráfica Hernandez, Madrid, 1977.
- MORIN, Edgar. **A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento.** Bertrand Brasil Rio de Janeiro, 8a edição, 2003.
- MOTA, Suetônio, **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental**, UFC, PROED, Fortaleza, 1981.
- MUELLER, Conrad G. et alli, **Luz e Visão**, Livraria José Olympio, RJ, 1966.
- O GLOBO, in, **A cor certa no ambiente**, Jornal de 24/05/92, artigo de Claudia Rodrigues.
- OLGAY,V. – **Arquitetura y Clima – Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas.** Barcelona. 1963
- OLOFSSON, T; A. MEIER; R. LAMBERTS, 2004. **Rating the Energy Performance of Buildings.** In International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, vol. 3, 2004. (disponível em: www.byv.kth.se/avd/byte/leas)
- OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva de, **Cidade Apropriada ao Clima - A forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**, Editora UnB, Brasília, 1988.
- OPAS/OMS, **Crterios de Planificacion y Deseño de Instalaciones de Atencion de la Salud en los Paises en Desarrollo vol. 1, 2, 3 e 4**, Piboleau Ed., 1979.

- PAPST, A. L.; GHISI, E.; COLLE, F.; de ABREU, S. L.; GOULART, S.; BORGES, T. **Eficiência Energética e uso racional da energia na edificação**. Florianópolis, 2005. Organização e edição: Alexandre Montenegro e Ana Ligia Papst. 121 p.
- PENA-VEGA, Alfredo. **O Despertar Ecológico, Edgar Morin e a ecologia complexa**. Idéias Sustentáveis, Garamond, Rio de Janeiro, 2003.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.
- PRATINI, Edison, **Morfologias Urbanas e o Potencial de Iluminação Natural nos Espaços Interiores da Edificações**, Tese de Mestrado, Mimeo UnB, 1991.
- KOENIGSBERGER, Otto et alli, **Manual of Tropical Housing and Building - Part One: Climatic Design**, Longman, UK, 1974.
- KRUGUER, Mario Julio, **Programação Arquitetônica Hospitalar**, Mimeo UnB, 1985.
- REGISTER, Richard. **Ecocities, building cities in balance with nature**. Berkeley Hills Book, Berkeley, Califórnia, , 2002.
- RIBAS, Otto. **A sustentabilidade das cidades: os instrumentos de gestão urbana e a construção da qualidade ambiental**. Tese de Doutorado, Brasília: CDS/UnB, 2003.
- RIVERO, Roberto, **Acondicionamento Térmico Natural – Arquitetura e Clima**, DC Luzzatto, trad. Aroztegui, 2ª ed., Porto Alegre, 1985.
- ROGERS, Richard + GUMUCHDJIAN, Philip. **Cidades para um pequeno planeta**, Editorial Gustavo Gilli, Barcelona, 1997.
- ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A sustentabilidade do ambiente urbano da capital**. In: Paviani, Aldo e Gouvêa, Luiz Alberto (orgs) Brasília: controvérsias ambientais. Editora UnB, Brasília, 2003.
- RUANO, Miguel. **Ecourbanism: Sustainable human settlements: 60 cases studies**, Editorial Gustavo Gilli, Barcelona, 2000.
- RUEDA, Salvador. **Modelos de ciudad: indicadores básicos. Las escalas de la sostenibilidad**. Quaderns – D'arquitectura e urbanismo – Collegio D' Arquitectos de Catalunya, Barcelona, março de 2000.
- SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. Studio Nobel São Paulo, 1993.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DA PRESIDENCIA DA REPUBLICA, **Resoluções do CONAMA 1984 a 1990**, IBAMA, 1990, 3ª ed.

STEVENS, S. et alli, **Som e Audição**, Livraria José Olímpio, RJ, 1970.

SZOKOLAY, S.V. **Approaches to tropical house design**. In: II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza, Brasil, 1999. Compact Disc.

WILLIAMSON, T.; RADFORD, A.; BENNETTS, H. **Understanding Sustainable Architecture**. Spon Press, Londres, 2003. 160p.

WINES, J. **Green Architecture**. Milan: Taschen, 2000. 240 p

WIKIPEDIA. Enciclopédia online. [Homepage Institucional]. Disponível em: <http://www.wikipedia.org/>. Acesso em: 10 out. 2007.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. 1999. Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na Região de Florianópolis. Florianópolis. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFSC).

ZUNINO, L. R. (1991) *Arquitetura e Meio Ambiente: Bioclimatismo*