



PROJETO DE GRADUAÇÃO

Análise de soluções passivas em climatização via simulação computacional de estudo de caso

Por,
Márcio Donizeti da Silva Junior

Brasília, 01 de Fevereiro de 2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

Análise de soluções passivas em climatização via simulação computacional de estudo de caso

POR,

Márcio Donizeti da Silva Junior

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. João Manoel Dias Pimenta, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Antônio Francisco Parentes Fortes, UnB/ ENM

Prof. Mário Benjamin Baptista Siqueira, UnB/ ENM

Brasília, 01 de Fevereiro de 2013

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente à Deus que sempre esteve comigo e me ajudou nos momentos mais difíceis. Dedico também à minha mãe Zilda, ao meu pai Márcio e às minhas irmãs Larissa e Dayane por todo apoio que sempre me deram.

Márcio Donizeti da Silva Junior

Agradecimentos

OBRIGADO

À Deus por estar sempre ao meu lado e nunca me abandonar nas horas mais difíceis. Obrigado também por me dar a bela família que tenho, por me dar saúde e oportunidades na minha vida.

À minha mãe, ao meu pai e às minha irmãs Larissa e Dayane que sempre estão muito presentes na minha vida. Obrigado por torcerem pra mim e obrigado por fazerem parte da minha vida, é com vocês que vivo os melhores momentos da minha vida.

À minha Vó Jerônima que sempre torce e preocupa comigo.

Ao meu professor João Manoel Dias Pimenta por me oferecer essa oportunidade de trabalho e que sempre esteve disposto a conversar e me dar apoio nos momentos que precisei.

Aos meus amigos Alyson e Ivan pela ajuda em momentos de dificuldade no trabalho.

Aos amigos que fiz na faculdade que estiveram comigo em muitos momentos de alegria e dificuldades.

À Universidade de Brasília e ao Departamento de Engenharia Mecânica por disponibilizar essa oportunidade de estudo e recursos para que o curso seja o melhor possível, dentro das diversas dificuldades tem.

Márcio Donizeti da Silva Junior

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise das soluções passivas de climatização comumente adotadas em edificações, via simulação computacional do desempenho energético e conforto térmico alcançado. Para tal foram efetuadas simulações termoenergéticas usando os softwares DesignBuilder, EnergyPlus e SolidWorks, como ferramentas. Como caso de estudo, foi selecionado o prédio do Memorial Darcy Ribeiro, localizado na Universidade de Brasília. A edificação caso de estudo faz uso da ventilação natural, brises e resfriamento evaporativo como soluções passivas em climatização, ainda há o uso de um exaustor, que é uma solução mecânica, para tentar melhorar o conforto térmico interno para os ocupantes. O trabalho mostrou que as soluções passivas em climatização usadas na edificação não são suficientes para garantir conforto térmico aos usuários. As simulações usando o DesignBuilder mostraram que o prédio encontra-se em desconforto térmico ao longo de, praticamente, todo o ano, e que o exaustor instalado na cúpula da edificação não contribui significativamente para melhorar o conforto térmico. A simulação de escoamento de ar mostrou que o mesmo não se distribui de maneira adequada pelo interior da edificação, mesmo com o exaustor ligado. As medições in loco ajudaram a verificar o desconforto térmico e analisar outras características da arquitetura da edificação. Como sugestão de melhoramento das condições de conforto indica-se a realização de simulações termoenergéticas alterando características da arquitetura, tais como a inserção de maiores entradas de ar nas telas do 1º andar, alteração do tipo de material da cobertura e tipo de vidro, e analisar a influência das mesmas numa melhora do conforto térmico. Indica-se também a realização de simulações de condicionamento de ar com as modificações da arquitetura, e realizar uma análise da influência das mesmas quanto a sua contribuição numa redução de consumo de energia.

Palavra-chave: solução passiva em climatização, Design Builder, conforto térmico

ABSTRACT

The present work presents an analysis of the passives solutions in climatization commonly adopted in buildings, using computer simulation of energy performance and thermal comfort achieved. For this were made thermoenergetic simulations utilizing the softwares DesignBuilder, EnergyPlus and SolidWorks, as tools. As a case of study, were selected the building of Memorial Darcy Ribeiro, located at the University of Brasília. The study showed that passive solutions in climatization used in the building are not enough to ensure thermal comfort to users. As a suggestion for improving the conditions of comfort indicates the realization of a project of air conditioning that respects the architectural features of the building. Simulations using DesignBuilder showed that the building is in thermal discomfort over practically all year, and that the hood installed on the dome of the building does not contribute significantly to improving the thermal comfort. The air flow simulation showed that it is not distributed properly by the interior of the building, even with the fan turned on. The in situ measurements helped verify the thermal discomfort and analyze other characteristics of the architecture of the building. As a suggestion for future work is indicated for simulations termoenergéticas changing characteristics of the architecture, such as the insertion of larger air intakes in the 1st floor screens, change the type of material and type of cover glass, and examine the influence the same in improved thermal comfort. It also indicates the simulations air conditioning with modifications of the architecture and perform an analysis of the influence of such as their contribution in reducing power consumption.

Key-Works: passive solution in climatization, Design Builder, thermal comfort

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O tema em estudo e sua relevância	1
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Metodologia	5
1.5 Estrutura do trabalho	6
2 REVISÃO E CONCEITOS TEÓRICOS	8
2.1 Considerações preliminares	8
2.3 Carga térmica	10
2.4 Conforto-térmico	12
2.4.1 Termorregulação	14
2.4.2 Índice de conforto	17
2.5 Ferramentas computacionais.....	19
2.5.1 EnergyPlus	19
2.5.2 DesignBuilder.....	22
2.5.3 Analysis CST	30
2.5.4 SolidWorks 2012	31
3 SOLUÇÕES PASSIVAS EM CLIMATIZAÇÃO	33
3.1 Considerações iniciais	33
3.2 Ventilação natural.....	34
3.2.1 Efeito chaminé	35
3.2.2 Ação dos ventos	36
3.2.3 Efeito combinado.....	36
3.2.4 Ventilação noturna.....	36
3.3 Resfriamento evaporativo	37
3.4 Telhado vegetado	37
3.5 Sistemas de sombreamento	39
3.6 Vidros especiais.....	42
4 CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	46
4.2 Certificação BREEAM	46
4.3 Certificação LEED	48
4.4 Certificação AQUA.....	51
4.5 PROCEL EDIFICA	52
4.6 Quadro comparativo	56
5 CARACTERIZAÇÃO DE EDIFICAÇÕES E CASO DE ESTUDO.....	57
5.1 Memorial Darcy Ribeiro	57
5.1.1 Localização	58
5.1.2 Caracterização	60
5.1.3 Soluções passivas adotadas	61
5.2 Centro de desenvolvimento sustentável (CDS)	63
5.2.1 Localização	64
5.2.2 Caracterização	66
5.2.3 Soluções passivas adotadas	67
5.3 Tribunal de justiça do distrito federal e dos territórios (TJDFT)	68
5.3.1 Localização	69
5.3.2 Caracterização	71
5.3.3 Soluções passivas adotadas	72
5.4 Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação	73
5.4.1 Rede Sarah de Hospitais – Unidade Salvador (BA)	74
6 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	76
6.1 Simulação usando o DesignBuilder.....	76
6.1.1 Metodologia	76
6.1.2 Parâmetros de simulação.....	77

6.1.3	Resultados de Conforto Térmico	81
6.1.4	Carga térmica	82
6.1.5	Simulação de ar condicionado	83
6.2	Simulação de escoamento de ar	85
7	MEDIÇÕES IN LOCO	89
7.1	Metodologia	89
7.2	Medições na sala de produção de eventos.....	94
7.3	Medições na sala de aula	98
7.4	Medições dos pontos fora do prédio	102
7.5	Resultado das medições no ambiente de estudo e pesquisa	104
7.6	Medições de velocidade do ar no dia 17/01/2013.....	109
7.7	Medições de velocidade do ar nas telas do 1° andar	109
7.8	Medições com Câmera Termográfica	110
7.9	Medições com Decibelímetro	111
8	ANÁLISE DOS RESULTADOS	113
8.1	Análise das simulações no DesignBuilder	113
8.2	Análise das medições in loco	114
8.3	Análise comparativa das simulações com as medições in loco	118
8.4	Análise do escoamento de ar.....	119
8.5	Análise do nível de ruído	121
8.6	Análise geral do prédio.....	121
9	CONCLUSÃO	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	126

LISTA DE FIGURAS

2.1	Edifício com sistema de ar condicionado alimentado com energia solar.....	8
2.2	Nova sede administrativa da Petrobrás em Vitória – ES	10
2.3	Eastgate Center em Harare, Zimbabwe	10
2.4	Zona de conforto térmico, carta psicrométrica ASHRAE (1993).....	14
2.5	Tela de entrada do EnergyPlus	20
2.6	Balanco térmico em um ambiente.....	21
2.7	Tela de abertura do DesignBuilder	23
2.8	Tela apresentada para seleção da localidade desejada.....	23
2.9	Representação da tela para iniciar a construção de um novo prédio	24
2.10	Tela para criação da geometria da edificação	25
2.11	Tela para criação das zonas	25
2.12	Abas de seleção dos parâmetros da edificação.....	26
2.13	Interface da aba <i>Activity</i>	26
2.14	Interface da aba <i>Construction</i>	27
2.15	Interface da aba <i>Opening</i>	27
2.16	Interface da aba <i>Lighting</i>	28
2.17	Interface da aba HCVA	28
2.18	Interface de simulação das abas <i>General</i> e <i>Output</i>	29
2.19	Tela de entrada de dados no Analysis CST	30
2.20	Exemplo da interface de modelagem do SolidWorks	31
2.21	Modelagem do Beijódromo no SolidWorks 2012	32
3.1	Efeito Chaminé.....	35
3.2	Ação dos ventos através de uma edificação.....	36
3.3	Resfriamento evaporativo com áreas verdes e espelho d'água.....	37
3.4	Bairro residencial em Dusseldorf na Alemanha	38
3.5	Exemplos de sistemas de proteção solar exteriores de janelas.....	40
3.6	Efeito da proteção dos vidros refletivos	42
3.7	Esquema das partes de um vidro duplo	43
3.8	Mecanismo de transferência de calor em vidros simples e duplos.....	43
3.9	Interface do WINDOW 6 para definição de características do envidraçado	45
3.10	Interface para simulação do THERM 6	45
4.1	Projeto Movimento Terras	48
4.2	Classificação da avaliação LEED.....	49
4.3	Rochaverá Corporate Towers.....	50
4.4	Símbolo da certificação AQUA.....	51
4.5	Sede do distribuidor de materiais de construção em Niterói-RJ	52
4.6	Etiqueta de desempenho energético do programa PROCEL EDIFICA	53
5.1	Vista exterior do Beijódromo	57
5.2	Vista do interior do Beijódromo	58
5.3	Localização do Beijódromo em Brasília	58
5.4	Localização do Beijódromo na UnB.....	59
5.5	Orientação espacial do Beijódromo	59
5.6	Planta baixa do pavimento térreo do Beijódromo	60
5.7	Planta baixa do pavimento superior do Beijódromo	61
5.8	Vistas dos brises usados e sua localização na edificação	62
5.9	Telas para passagem de ar, localização e sentido do fluxo de ar na edificação	62
5.10	Ventilador localizado atrás da grade amarela na cúpula do prédio	63
5.11	Maquete da nova sede do CDS	64
5.12	Construção do CDS	64
5.13	Localização do CDS em Brasília.	65
5.14	Localização do Beijódromo na UnB.....	65

5.15	Orientação espacial do CDS	66
5.16	Planta baixa do pavimento térreo do CDS	66
5.17	Planta baixa do pavimento superior do CDS	67
5.18	Complexo do TJDFT	69
5.19	Localização do TJDFT em Brasília	70
5.20	Localização do TJDFT em relação a edificações referenciais	70
5.21	Orientação espacial do complexo TJDFT.....	71
5.22	Planta baixa do Bloco 1 do TJDFT	72
5.23	Sede da Rede Sarah de Hospitais em Salvador (BA).....	73
5.24	Sede da Rede Sarah de Hospitais no Rio de Janeiro (RJ).....	74
5.25	Sede da Rede Sarah de Hospitais em Brasília (DF).....	74
5.26	Galeria de tubulações no subsolo	75
6.1	Zoneamento do pavimento térreo do Memorial Darcy Ribeiro	77
6.2	Zoneamento do pavimento 1º andar do Memorial Darcy Ribeiro	78
6.3	Visão da geometria gerada na modelagem do Memorial Darcy Ribeiro	78
6.4	Resultado da simulação de PMV para o ano todo.....	81
6.5	Simulação horária do dia 18 de janeiro para o ambiente de estudo e pesquisa	82
6.6	Carga térmica do Beijódromo	83
6.7	Consumo de energia do Beijódromo com sistema de ar condicionado	84
6.8	PMV do Beijódromo com sistema de ar condicionado.....	84
6.9	Modelagem do Beijódromo no SolidWorks.....	85
6.10	Escoamento na através da cúpula do prédio devido as telas do 1º andar	87
6.11	Escoamento no interior do prédio das entradas de ar nas telas.....	87
6.12	Distribuição do ar no interior do prédio.....	88
7.1	Aparelhos usados para medições de campo no Beijódromo	90
7.2	Pontos de medição no lado de fora do Beijódromo	91
7.3	Pontos de medição no térreo do Beijódromo	92
7.4	Pontos de medição no interior do 1º Pavimento do Beijódromo.....	93
7.5	Temperatura de bulbo seco ao longo dos dias para sala de produção de eventos ..	95
7.6	Temperatura de globo ao longo dos dias para sala de produção de eventos	95
7.7	Temperatura radiante média ao longo dos dias pra sala de produção de eventos ..	96
7.8	Temperatura operativa ao longo dos dias para sala de produção de eventos	96
7.9	Velocidade do ar ao longo dos dias para sala de produção de eventos	97
7.10	Umidade relativa ao longo dos dias para sala de produção de eventos.....	97
7.11	PMV ao longo dos dias para sala de produção de eventos	98
7.12	Temperatura de bulbo seco ao longo dos dias para sala de aula	99
7.13	Temperatura de globo ao longo dos dias para sala de aula.....	99
7.14	Temperatura radiante média ao longo dos dias pra sala de aula	100
7.15	Temperatura operativa ao longo dos dias para sala de aula.....	100
7.16	Velocidade do ar ao longo dos dias para sala de aula	101
7.17	Umidade relativa ao longo dos dias para sala de aula	101
7.18	PMV ao longo dos dias para sala de aula	102
7.19	Temperatura de bulbo seco para fora do prédio ao longo dos dias.....	103
7.20	Umidade relativa para fora do prédio ao longo dos dias	103
7.21	Velocidade do ar para fora do prédio ao longo dos dias.....	104
7.22	Distribuição das temperaturas com exaustor desligado	105
7.23	Distribuição da velocidade do ar com exaustor desligado	105
7.24	Distribuição da umidade relativa com exaustor desligado.....	106
7.25	Gráfico do PMV para o ambiente de estudo e pesquisa sem o ventilador ligado...	106
7.26	Distribuição das temperaturas com exaustor ligado.....	107
7.27	Distribuição da velocidade do ar com exaustor ligado	107
7.28	Distribuição da umidade relativa com exaustor ligado.....	108
7.29	Gráfico do PMV para o ambiente de estudo e pesquisa com o ventilador ligado...	108
7.30	Velocidade do ar em diversos pontos no dia 17/01/2012 à tarde	109
7.31	Velocidade do ar nas telas ao longo dos dias com exaustor desligado.....	110
7.32	Velocidade do ar nas telas ao longo dos dias com exaustor desligado.....	110

7.33	Detalhes termográficos da cobertura do Beijódromo	111
7.34	Perfil térmico da cúpula interna do Beijódromo	111
8.1	Temperatura operativa ao longo do dia para o ambiente de estudo e leitura	116
8.2	Umidade relativa ao longo do dia para o ambiente de estudo e leitura.....	116
8.3	Pontos de análise do fluxo de ar	119
8.4	Comparação entre as velocidades medidas em campo com as da simulação.....	120
8.5	Interior do Beijódromo	122

LISTA DE TABELAS

2.1	Taxa metabólica de diversas atividades, ISO 7730 (1994)	15
2.2	Índice de resistência térmica para vestimentas.....	16
2.3	Escala térmica de Fanger.....	19
3.1	Efeito de intervenções técnicas para a redução da carga térmica no verão	33
3.2	Coeficientes de sombreamento	41
3.3	Valores do fator solar de alguns tipos de proteção solar.....	41
4.1	Créditos necessários de cada tipo de classificação LEED.....	50
4.2	Distribuição dos créditos de cada categoria de avaliação LEED	50
4.3	Eficiência mínima de torres de resfriamento e condensadores.....	54
4.4	Eficiência mínima de resfriadores de líquido para classificação nos níveis A e B.....	54
4.5	Quadro comparativo das certificações energéticas	56
6.1	Propriedades da alvenaria usada no Memorial Darcy Ribeiro.....	80
6.2	Propriedades do vidro usado no Memorial Darcy Ribeiro	80
6.3	Propriedades da estrutura metálica de aço que cobre o Beijódromo	80
7.1	Medições do nível de ruído em diversos pontos no Beijódromo	112
8.1	Parâmetros de conforto ambiental para o Verão (NBR 16401-2, 2008).	115
8.2	Parâmetros de conforto ambiental para o Verão (NBR 16401-2, 2008).	115
8.3	Comparação entre os níveis de ruídos encontrados com a norma.....	121

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

C_{res}	Taxa de calor radiante	W/m^2
E_{diff}	Taxa de calor perdido por evaporação da água de difusão pela pele	W/m^2
E_{res}	Taxa de calor de convecção	W/m^2
E_{sk}	Perda de calor por evaporação pela pele	W/m^2
E_{rsw}	Taxa de calor perdido pelo processo de evaporação do suor	W/m^2
f_{cl}	Fator de vestimenta	
H	Taxa de produção interna de calor	W/m^2
h_c	Coefficiente de convecção	$W/m^2.K$
L	Taxa de calor perdido pelo corpo	W/m^2
M	Taxa de energia produzida pelo metabolismo humano	W/m^2
P_a	Pressão de vapor do ambiente	kPa
P_{sk}	Pressão de vapor de água à temperatura da pele	kPa
Q_c	Taxa de calor de convecção	W/m^2
Q_{dry}	Taxa de calor sensível dissipado pela pele	W/m^2
Q_r	Taxa de calor radiante	W/m^2
Q_{res}	Taxa de calor perdida pela respiração	W/m^2
T_a	Temperatura do ar	$^{\circ}C$
T_{cla}	Temperatura da superfície da vestimenta	$^{\circ}C$
T_{ra}	Temperatura média radiante	$^{\circ}C$
T_{srk}	Temperatura da pele necessária para o conforto térmico	$^{\circ}C$

Símbolos Gregos

ε	Emissividade de ondas	W/m^2
ϕ	Coefficiente de transferência de calor	
σ	Constante de Stefan-Boltzman	W/m^2K^4

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BLAST	<i>Building Loads Analysis and Thermodynamics</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CDS	Centro de desenvolvimento sustentável
CEPLAN	Centro de Planejamento Oscar Niemeyer
CET	Centro de excelência em turismo
CIFMC	Centro Internacional de Física da Matéria Condensada
CLF	<i>Cooling Load Factor</i>
CLTD	<i>Cooling Load Temperature Difference</i>
DOE	<i>Department Of Energy</i>
EEE	Eficiência energética de edificações
EERE	Eficiência Energética e Energia Renovável
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LaAR	Laboratório de Ar Condicionado e Refrigeração
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEED	<i>Leadership in Energy and Enviromental Design</i>
MEC	Ministério da educação e cultura
MME	Ministério das Minas e Energia
NBSLD	<i>National Bureau of Standard Loads</i>
PMV	<i>Predict Mean Vote</i>
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PVC	Policloreto de polivinila
RCCTE	Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios
RGR	Reserva global de reversão
SLF	<i>Solar Load Factor</i>
TFM	<i>Transfer Function Method;</i>
TETD	<i>Total Equivalent Temperature Differential;</i>
TJDFT	Tribunal de Justiça do Distrito Federal e Territórios
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UnB	Universidade de Brasília
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
WIS	<i>Window Information System</i>

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta considerações gerais sobre o tema em estudo e sua relevância, a revisão bibliográfica, metodologia usada e, por último, a estrutura organizacional desse trabalho.

1.1 O tema em estudo e sua relevância

A utilização de novas alternativas sustentáveis para a exploração dos recursos naturais considerando o atual modelo de desenvolvimento econômico mundial, e impactos devido ao crescimento populacional são de fundamental importância para a conservação dos recursos naturais existentes. A climatização de edificações tem grande importância nessa concepção atual do uso sustentável dos recursos naturais, uma vez que, a geração e o consumo de energia estão entre os principais fatores que contribuem para as mudanças climáticas do planeta. O gasto energético de um edifício, por exemplo, pode variar muito dependendo do tipo de arquitetura adotada, assim, a inadequação de um projeto devido às características climáticas locais leva a um mau desempenho energético da edificação, implicando em maiores gastos em equipamentos mecânicos destinados a refrigeração dos ambientes para melhorar o conforto interno para seus usuários, e podendo levar também a gastos com iluminação artificial. Todos os problemas devido à inadequação do projeto levam a maiores gastos de energia e não contribuindo assim com o uso racional de energia elétrica.

Segundo o Ministério das Minas e Energias (MME, 2009), em 2008, cerca de 45% do consumo total da energia elétrica do Brasil é utilizada pelas edificações de vários setores (comercial, público e residencial), o setor industrial contribui com um 46% e outros setores com 9% .

Segundo a Eletrobrás – PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) (2011) calcula-se que praticamente 50 % da energia elétrica produzida no país seja não só na operação e manutenção dos edifícios, como também nos sistemas artificiais que proporcionam conforto ambiental para os seus ocupantes, tais como climatização, iluminação e aquecimento de água.

Em edifícios comerciais e públicos com e sem sistema de condicionamento de ar, 64 % do consumo de energia elétrica deve-se aos usos finais de sistemas de climatização e iluminação, chegando a 86 % em bancos e escritórios (GELLER, 1991, apud CARLO, 2008).

Assim, segundo a Eletrobrás-PROCEL (2010), existe um potencial muito grande deste setor na conservação da energia, estimado em 30 % para edificações existentes através de retrofit (reforma) e podendo chegar a 50 % nas edificações novas que utilizem tecnologia energeticamente eficiente desde a construção inicial do projeto.

Não se pode falar em eficiência energética em edifícios sem falar em certificações energéticas. Em todo o mundo, modelos de certificações têm surgido com o intuito de, sem deixar de lado o conforto térmico e a qualidade dos ambientes, proporcionar a construção de edifícios mais eficientes do ponto de vista energético. De maneira geral o que se faz é especificar critérios mínimos de construção e equipamentos que atendam o tipo de certificado que se deseja alcançar.

Dentre as certificações energéticas mais conhecidas pode-se citar a LEED (“*Leadership in Energy and Environmental Design*”), que é um sistema americano de certificação aplicado pelo USGBC (“*United States Green Building Council*”) que leva em consideração o impacto gerado ao meio ambiente em consequência dos aspectos relacionados à edificação (projeto, construção e operação). Outra certificação importante é a AQUA (Alta Qualidade Ambiental), que é um processo de gestão de projeto implantado pela Fundação Vanzolini com o objetivo de obter a qualidade ambiental de um empreendimento de construção ou de reabilitação, ela é uma adaptação da certificação francesa “*Démarche HQE*” para o Brasil. E se tem também a certificação PROCEL EDIFICA, criado pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio que visa investir em capacitação tecnológica e profissional, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira para reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações. O programa busca consolidar a etiquetagem de nível de eficiência de edifícios comerciais, de serviços e públicos como obrigatória a prédios que ainda serão construídos.

Dado este cenário, mostra-se a importância de simulações computacionais para avaliação da eficiência energética em edificações em nível de projeto ou para propostas de *retrofit* (reforma), pois busca fazer uma análise do seu nível de eficiência energética a fim de ajudar na conservação dos recursos naturais.

1.2 Revisão bibliográfica

O surgimento de novos programas computacionais que buscam a análise da eficiência energética de edificações tem crescido nos últimos anos. A concepção de que esse tipo de ferramenta não funciona muito bem tem acabado, o que às torna ferramentas muito importantes no projeto de novas edificações visando uma melhora da eficiência energética. Mas apesar do crescimento desse tipo de ferramenta e o crescimento em pesquisas, o uso dessa ferramenta é ainda pequeno fora do ambiente acadêmico, que conseqüentemente resulta em prédios mal projetados e com eficiência energética precária.

Kusuda, et al. (1981) com base no uso de softwares computacionais ao fazer uma comparação entre os dados experimentais com as simulações feitas pelos programas NBSLD, DOE-2 e BLAST-2, chegou a conclusão de que os valores obtidos nas simulações diferiam dos valores obtidos experimentalmente.

Kierkus, et al. (1991) com base em uma análise de uma simulação utilizando o software DOE 2.1 e a partir do uso de métodos diferentes para avaliar o ganho energético devido a radiação solar, chegou à conclusão de que nenhuma das alternativas chegou a obter resultados precisos da carga térmica gerada pela insolação. Ainda no ano de 1991, Akutsu e Vitorino (1991) fizeram uma recomendação de uma validação do software DOE 2.1, usado para cálculo da carga térmica que determina a temperatura e o fluxo de calor.

Em estudo de carga térmica em edificações pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Deon (1996) usou um software desenvolvido em linguagem FORTRAN conhecido como DOE-2. Na época o programa se mostrou muito complexo e já estava no mercado à 15 anos. O programa usava recursos de alguns subprogramas que ajudavam na entrada dos dados, na simulação e na apresentação de relatórios de saída. O programa era bastante completo para a época, mas o seu uso requeria um conhecimento profundo mesmo nas simulações mais simples, que conseqüentemente gerou muitas dificuldades para realizar as simulações e validação dos resultados.

Verdi (2003) fez uma avaliação de um sistema de condicionamento do ar com o programa EnergyPlus. Ele identificou que o mesmo estava superdimensionado, alterando a rotina de funcionamento do equipamento para um valor inferior a utilizada antes de ser identificado a discrepância.

Silva (2003) usou uma edificação bancária localizada na cidade de Porto Alegre para fazer medições e realizar uma comparação com os resultados gerados pelo EnergyPlus. O estudo foi realizado para o mês de fevereiro e o autor afirmou que o consumo elétrico simulado chegou muito próximo dos valores reais medidos. Algumas diferenças consideráveis foram encontradas em certos dias, que de acordo com o autor, o sistema de condicionamento de ar estava em manutenção, mas que com uma simulação mais aprofundada essa discrepância de resultados poderia ser contornada.

Segundo Karashima (2006), ao fazer uma comparação do cálculo de carga térmica através das ferramentas EnergyPlus, Trace, CTVer, planilha de cálculo e TR/m^2 , resolveu um problema conhecido e estudado pela ASHRAE e depois desse estudo realizou outros três com ênfase no EnergyPlus. Quanto a validação dos resultados obtidos pelas ferramentas usadas, o autor mostrou que em casos de resfriamento o EnergyPlus e o Trace mostraram resultados próximos do esperado, o CTVer e a planilha de cálculo forneceram resultados acima do esperado e a metodologia TR/m^2 mostrou resultados abaixo do esperado.

A avaliação da demanda energética de um edifício em Brasília por Hagel (2005) com o auxílio do software EnergyPlus conclui que o EnergyPlus é uma boa ferramenta, uma vez que, os dados recolhidos de medições feitas no prédio são próximas aos do programa.

Borduni (2006) faz uma análise de um edifício localizado em Brasília modificando a sua orientação, equipamentos usados no condicionamento do ar, tipos de vidros e materiais do telhado em

uma simulação usando o EnergyPlus. Ele identifica economia de energia com relação ao projeto original do edifício caso as modificações usadas em simulação fossem adotadas. Isso mostra a importância do uso de simulações em prédios a serem construídos ou até mesmo em reformas de prédios.

Depois de anos de pesquisa e desenvolvimento o programa DesignBuilder foi criado pela empresa especialista em codificação energética DESIGNBUILDER. Ele foi lançado em dezembro de 2005 (DesignBuilder, 2007).

Farias (2007) fez um estudo a respeito da influência que as características arquitetônicas tinham sobre o conforto térmico em diversas regiões climáticas Brasileiras com o auxílio das ferramentas DesignBuilder e EnergyPlus. Ele tomou como caso de estudo o edifício do ProInfância encomendado pelo MEC, a edificação foi modelada no software DesignBuilder e foi realizada a sua simulação em três cidade diferentes, que foram Brasília, Florianópolis e Boa Vista. Em cada uma delas foi realizado uma análise dos dados de carga térmica e PMV para cada zona da edificação. Além de realizar as simulações do atual modelo real que encontrava a edificação, foram realizadas simulações com propostas de uso de soluções passivas, conseguindo melhorar a eficiência energética da edificação em todas as três regiões bioclimáticas utilizadas como referência.

Nascimento (2007) tomou como caso de estudo o Museu de Ciência e Tecnologia de Brasília para realizar seu estudo usando o software DesignBuilder como software para simulação. Os resultados do trabalho mostraram que mudança de características arquitetônicas tais como uso de materiais diferentes e uso de componentes de proteção solar fizeram com que a carga térmica diminuísse, e conseqüentemente uma redução no consumo de energia.

Castro (2010) fez um estudo sobre a eficiência energética em edificações tendo como caso de estudo o TJDFT. Foi usado o software DesignBuilder para determinação da influência de fatores construtivos e de caráter operacional no sistema de climatização, a utilização do programa foi bastante satisfatório. As simulações para cálculo da carga térmica foram feitas para um dia típico de Brasília e mostraram que a incidência de raios solares é um fator crítico para aumento do valor da carga térmica, onde alterações no tipo de vidro, inclusão de meios de sombreamento e resfriamento do ambiente antes da sua ocupação podem reduzir ganhos de calor devido à incidência solar. Os resultados obtidos mostraram uma redução de carga térmica em mais de 300TR, o que representou 18% de diminuição para o caso de estudo.

Apesar de toda a importância e auxílio em realizar o uso de programas para simular edificações seja para a construção de novos prédios ou para modificações em prédios já existentes, a frequência com que essa ferramenta é usada por parte de arquitetos ou engenheiros é pequena. Muitas vezes o problema em usar tal ferramenta está na complexidade de utilização destes programas, com interfaces não-amigáveis e linguagem muito técnica.

1.3 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é analisar o uso de soluções passivas em climatização no edifício caso de estudo com base em simulações energéticas usando o software DesignBuilder. Será mostrado também uma simulação de escoamento de ar usando o *software* SolidWorks, para analisar como o ar está se comportando depois que entra na edificação. Assim, primeiramente será feito uma análise do edifício colhendo dados de sua arquitetura, a fim de verificar as soluções passivas usadas, e em seguida será realizado uma simulação do modelo original da edificação para analisar a sua eficiência energética. Para avaliação, o caso de estudo deste trabalho será o Memorial Darcy Ribeiro, também conhecido como Beijódromo, localizado no campus Darcy Ribeiro na Universidade de Brasília em Brasília – DF que é um prédio com arquitetura diferente e faz uso algumas soluções passivas em climatização. Outros objetivos deste trabalho consistem em:

- Realizar uma revisão bibliográfica;
- Mostrar a relevância do estudo da eficiência energética em edificações nos dias atuais;
- Apresentar algumas certificações de eficiência energéticas;
- Dominar a ferramenta computacional DesignBuilder;
- Simular o edifício caso de estudo e fazer uma análise da atual situação da eficiência energética do mesmo com base na sua arquitetura;
- Realizar uma simulação de escoamento de ar dentro da edificação;
- Realização de medições de campo no prédio.

1.4 Metodologia

A metodologia de trabalho usada para chegar aos objetivos propostos no projeto consiste, primeiramente, em uma revisão bibliográfica sobre o tema em estudo, mostrando um breve histórico de simulações realizadas e o avanço alcançado ao longo dos anos com o desenvolvimento de simulações e novos programas na avaliação energética de edificações.

Feito a revisão bibliográfica, o próximo passo será a revisão de conceitos teóricos para melhor entendimento do tema e obter base de conhecimento para o desenvolvimento do trabalho. Assim, será feito uma revisão sobre a eficiência energética de edificações, carga térmica, conforto térmico, termorregulação, índice de conforto e ferramentas computacionais.

Em seguida, será realizado um levantamento de várias soluções usadas por arquitetos na busca de melhorar a climatização da edificação e o conforto térmico interno para seus ocupantes, com base em soluções passivas sem o uso artificial de condicionamento de ar.

A seguir serão apresentadas algumas das certificações energéticas de mais importância internacional e nacional.

Depois, será apresentada a edificação caso de estudo desse trabalho, com base em uma caracterização, localização e uso de soluções passivas que possui.

A seguir será realizada a modelagem dos edifícios no Design Builder e a realização de simulações diante da atual situação construtiva do prédio, detalhando condição atual energética do mesmo. Também será realizada a simulação de escoamento de ar para ver como o ar está se comportando dentro do prédio.

Depois de apresentado as simulações será mostrado os resultados das medições em campo dos dias de medição no Memorial Darcy Ribeiro.

Em seguida será feito uma análise dos resultados das simulações de conforto térmico usando o programa DesignBuilder e de escoamento de ar usando o SolidWorks 2012. Também será feito uma análise das medições de campo, uma comparação entre resultados de campo e resultados computacionais e uma avaliação no nível de ruído dentro da edificação.

Por fim, será falado das considerações finais do trabalho.

1.5 Estrutura do trabalho

O capítulo 1 apresenta uma visão geral sobre o tema em estudo e sua relevância. Após a introdução é apresentada uma revisão bibliográfica dos estudos relacionados ao tema, seguida dos objetivos traçados e metodologias a serem empregadas.

O segundo capítulo busca uma revisão dos conceitos teóricos que será usado no projeto. Serão apresentados conceitos sobre a eficiência energética das edificações, carga térmica, conforto térmico, termorregulação, índice de conforto e as ferramentas computacionais usadas.

O terceiro capítulo consiste em mostrar várias soluções passivas em climatização que o arquiteto dispõe na hora de projetar uma edificação, detalhando as características de cada uma delas.

O capítulo quatro apresenta os aspectos gerais do processo de certificação de eficiência energética e mostra em detalhes os requisitos necessários para alcançar a certificação LEED, a certificação AQUA e a certificação do PROCEL EDIFICA.

O quinto capítulo consiste no detalhamento da edificação caso de estudo, mostrando suas características construtivas externas e internas, localização do edifício e soluções passivas usadas para melhorar o conforto térmico para seus usuários.

O sexto capítulo mostra os resultados e como foi realizado as simulações de conforto térmico e de escoamento de ar no caso de estudo do trabalho.

No sétimo capítulo são mostrados os resultados de diversas medições in loco na edificação caso de estudo. Para isso foram usados instrumentos tais como Câmera Termográfica, Termômetro de Globo, Termo-Higrômetros, Decibelímetro e Termo-Anemômetro Digital.

O oitavo capítulo faz uma análise completa das simulações realizadas. Analisa também os resultados das medições de campo e faz uma comparação entre resultados obtidos em campo e computacionais.

Por fim, o nono capítulo discorre sobre as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO E CONCEITOS TEÓRICOS

Na revisão e conceitos teóricos serão apresentados todos os elementos necessários e base de estudo para a execução e compreensão do trabalho.

2.1 Considerações preliminares

Diante do potencial de economia de energia que o setor de edificações representa, o papel de arquitetos e engenheiros em projetar ou até mesmo reformar edificações já existentes que funcionem de modo mais eficiente é bastante importante. Para isso, eles lançam mão de diversas soluções arquitetônicas que contribua em muito para tal benefício, como o uso de soluções passivas de climatização e iluminação. De início, o uso de soluções passivas podem aumentar o custo de um projeto, mas com o tempo esse investimento pode pagar-se, pois com uma conseqüente diminuição da carga térmica da edificação e um aumento do conforto térmico interno dos usuários o gasto com equipamentos de ar condicionado e iluminação vão diminuir.

A economia gerada devido à redução de equipamentos de condicionamento de ar pode ser usado para instalação de equipamentos mais modernos e eficientes, pois usar somente soluções passivas para climatização não garantem o conforto térmico e renovação de ar para os ambientes. Hoje existe uma série de novos equipamentos e soluções em climatização que agridem menos o meio ambiente, são mais higiênicos e silenciosos. Assim, podemos destacar sistemas de condicionamento de ar alimentados com energia solar, filtros de ar mais eficientes e usos de fluidos refrigerantes menos poluentes e menos danosos a saúde humana. A seguir segue uma imagem (Fig. 2.1) de um edifício localizado na Espanha, cujo sistema de ar condicionado é alimentado com energia solar.



Figura 2.1 - Edifício com sistema de ar condicionado alimentado com energia solar (NTT, 2010).

Assim, uma nova idéia de concepção de projetos de edificações pode provocar uma série de conseqüências positivas diretas e indiretas, levando a um aumento de construções mais sustentáveis e

com menos gastos de energia e contribuem para o surgimento de novas tecnologias que levam a menores gastos de energia e outros recursos naturais.

2.2 Eficiência energética de edificações

A eficiência energética pode ser definida como a obtenção de um serviço com baixo gasto de energia. Assim, pode-se dizer que uma edificação é mais energeticamente eficiente do que outra quando a mesma tarefa gera menor consumo de energia nas mesmas condições ambientais. Na análise do desempenho energético de uma edificação existem muitos fatores que devem ser levados em consideração, tais como características construtivas, sistema de iluminação, o regime de ventos no local da construção, trocas térmicas através das paredes e cobertura, equipamentos eletrônicos e ganhos de calor interno devido ao calor gerado pelos usuários.

A fase de projeto é a etapa crucial para otimizar gastos e aumentar a eficiência energética da edificação. O desempenho energético da edificação diante da sua envoltória, do seu sistema de iluminação artificial e do seu sistema de condicionamento do ar são três pontos determinantes para a redução no gasto de energia. Assim, diante dos fatores e pontos fundamentais citados para melhorar o desempenho energético, podem ser usadas diversas idéias e decisões construtivas para alcançar essa eficiência, tais como:

- Aproveitamento dos recursos naturais para reduzir o uso de sistemas artificiais;
- Uso de equipamentos menos prejudiciais ao ambiente ao longo de seu ciclo de vida;
- Projetos que facilitem possíveis reformas e modernizações futuras;
- Seleção criteriosa de materiais de construção levando em consideração sua capacidade térmica.

Todas as decisões tomadas para melhorar a eficiência térmica da edificação não podem representar desconforto térmico para seus ocupantes, sendo o conforto térmico um pré-requisito inicial de projeto, que deve ser adequado às necessidades dos ocupantes.

Recentemente a Petrobrás inaugurou uma nova sede administrativa localizada em Vitória no Espírito Santo, que é um exemplo a ser seguido, no quesito eficiência energética (Fig. 2.2). O projeto foi desenvolvido pelo arquiteto Sidônio Porto, que adotou diversos conceitos de condições locais e construtivos que visam melhorar a eficiência energética da edificação, tais como o conhecimento das condições locais para aproveitar a circulação de ventos e obtenção da energia solar, proteções térmicas das fachadas, criação de zonas sombreadas e sistemas de energia renovável.



Figura 2.2 - Nova sede administrativa da Petrobrás em Vitória –ES (Sidônio Porto).

Outro exemplo de modelo de edificação que busca o uso racional de fontes energética, diga-se de passagem é bastante criativo e inteligente, é o Eastgate Center localizado em Harare no Zimbabwe (Fig. 2.3), que foi projetado para usar apenas 10% da energia consumida por um edifício de seu tipo e porte .O projeto colaborado pelo arquiteto Mick Pearce, arquiteto de referência mundial do uso racionalizado de recursos, não conta com sistemas de ar condicionado e ainda permanece fresco graças a um sistema de ventilação inspirado em cupinzeiros, que mantêm uma temperatura interna mesmo com variações bruscas de temperatura durante o dia.



Figura 2.3 - Eastgate Center em Harare, Zimbabwe (Biomimicry Institute).

2.3 Carga térmica

A carga térmica pode ser entendida como a taxa a qual o calor deve ser retirado do ambiente condicionado com o objetivo de manter a temperatura e umidade interna constante e adequada para os ocupantes. No projeto de uma edificação, o conhecimento e análise da carga térmica podem ser

importantes para o projetista, pois o mesmo pode lançar mão de idéias construtivas que reduza seu valor a fim de melhorar a eficiência energética da construção.

O cálculo de carga térmica fornece informações básicas para dimensionamento de um sistema de refrigeração ou aquecimento interno de um ambiente. Os fatores principais que determinam o valor da carga térmica de um ambiente são:

- Ocupantes: quantidade de pessoas e tipo de atividade que desenvolvem dentro de um ambiente;
- Equipamentos elétricos: quantidade e tipo de equipamentos elétricos que dissipam calor no ambiente;
- Ganho e perda de calor devido ao envelope da edificação: tipo de materiais constituintes das paredes, piso, forro, janelas e fachada;
- Localização geográfica da edificação: influenciando parâmetros como incidência de radiação solar, umidade, ventos, temperatura ambiente, altitude e clima;
- Aumento da quantidade de calor devido ao ar de ventilação e infiltração;
- Iluminação artificial: tipo e quantidade de iluminação usada;
- Diferença entre temperatura externa e interna no local da edificação.

O maior detalhamento possível levando em conta os fatores que determinam o valor da carga térmica citados acima leva a uma maior aproximação do valor real da carga térmica, e conseqüentemente o dimensionamento do sistema de condicionamento do ar será mais eficiente.

Transferência de calor para o ambiente:

A transferência de calor para o ambiente pode acontecer de algumas formas, que são:

- Infiltração de ar;
- Ar de renovação;
- Condução por paredes e telhado;
- Radiação através de superfícies transparentes;
- Geração interna de calor.

Calor sensível e latente:

O calor sensível é o calor que entra no ambiente devido a condução, radiação e/ou convecção. O calor latente de acordo com (ASHRAE, 1993) é o calor adicionado ao ambiente através de seus ocupantes e do ar externo. A necessidade de condensação na serpentina de refrigeração a uma taxa

igual àquela em que a umidade é introduzida no ambiente é importante para manter a taxa de umidade relativa constante.

Calor radiante:

O calor radiante consiste na energia que é radiada por todos os corpos quentes e pertence ao intervalo do espectro eletromagnético respeitante aos infravermelhos e origina aquecimento quando é absorvida. É um calor que não influencia diretamente na carga térmica, pois é acrescentado à carga térmica depois de ocorrer a absorção desse calor pelo envelope da edificação, equipamentos internos e outros componentes internos do ambiente. Quando a temperatura desses corpos citados aumenta, uma parte do calor é transferido por convecção ao ar ambiente e outra é emitida pelas superfícies em forma de radiação. Esse potencial de acumulação térmica por corpos determinam a relação entre a quantidade de calor radiante ganho e sua perda na carga térmica.

Ganho de calor no ambiente:

Taxa com que o calor sensível e/ou latente entra ou é gerado no interior de um ambiente.

Principais métodos de cálculo da carga térmica:

Os seguintes métodos podem ser usados para calcular a carga térmica:

- Método da TFM (Transfer Function Method – Método da Função da Transferência);
- Método TETD (Total Equivalent Temperature Difference);
- Método CLTD (Cooling Load Temperature Difference);
- Método CLF (Cooling Load Factor);
- Método SLF (Solar Load Factor).

O método de cálculo que será tratado no trabalho será o método TFM (Transfer Function Method), pois é usado na ferramenta EnergyPlus. Esse método é o que mais se aproxima do balanço de calor entre as superfícies do ambiente. A aplicação através da ferramenta computacional primeiramente concebe o ganho de calor de todas as fontes e depois faz a conversão desse calor em carga térmica.

2.4 Conforto-térmico

A definição de conforto térmico é bastante subjetiva, pois pode ser analisado sob o ponto de vista pessoal e ambiental. Sob o ponto de vista pessoal pode ser definido como a condição mental de uma pessoa que expresse satisfação com o ambiente térmico. Sob o ponto de vista físico, um ambiente é confortável quando suas condições permitem a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de o corpo acionar seus mecanismos de termo-regulação.

A sensação de conforto térmico depende de quatro fatores, que são:

Fatores de troca de calor:

- Convecção;
- Evaporação;
- Radiação;

Fatores fisiológicos:

- Nível de atividade;
- Idade;
- Saúde;

Fator de isolamento térmico:

- Vestimenta;

Fatores ambientais:

- Temperatura superficial;
- Umidade relativa;
- Movimento do ar;
- Temperatura do ar.

Em um projeto de condicionamento do ar, a meta é controlar os quatro parâmetros ambientais citados. Assim, segundo ASHRAE (1993), baseado em um estudo estatístico, existe uma zona (Fig. 2.4) onde a maioria das pessoas que participaram do estudo se sente confortável.

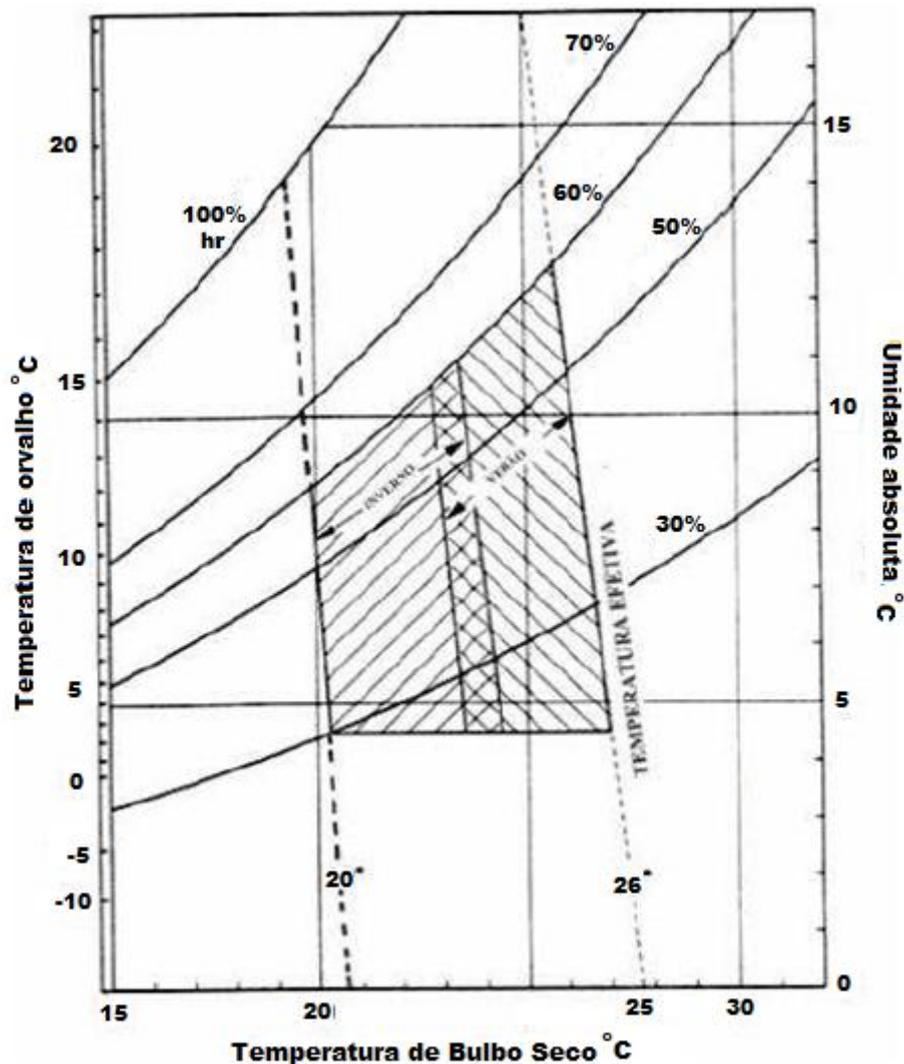


Figura 2.4 – Zona de conforto térmico, carta psicrométrica (ASHRAE, 1993).

2.4.1 Termorregulação

A capacidade que o corpo humano tem de adaptar ao ambiente que o cerca é muito interessante, podendo adaptar-se a condições adversas de temperatura no ambiente através do mecanismo de termorregulação. A termorregulação é a capacidade que o corpo humano tem de manter a temperatura corpórea dentro de certos limites, mesmo quando a temperatura do ambiente é diferente da do corpo humano. O órgão que realiza esse mecanismo é a pele, que controla as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. O fluxo sanguíneo na pele reage às variações do ambiente, quando o corpo sente calor a circulação sanguínea na periferia do corpo aumenta, realizando a transpiração. No caso onde o corpo sente frio, o fluxo sanguíneo diminui nas camadas subcutâneas, evitando que o corpo perca calor para o ambiente.

As trocas térmicas podem ser através do calor latente e do calor sensível. No calor latente as trocas térmicas acontecem por meio da evaporação, já no calor sensível essas trocas acontecem por condução, convecção e/ou radiação.

A temperatura interna do corpo humano deve ficar constante, em torno de 37°C, sendo que seus extremos para a sobrevivência ficam no intervalo de 32°C a 42°C. Desta forma, o processo em que a energia interna é criada a partir de elementos combustíveis orgânicos, o metabolismo, fornece energia ao organismo, fatores como tipo de atividade desempenhada, idade e condições de saúde da pessoa tem influência no mesmo. Da energia produzida pelo corpo humano, 20% vira trabalho útil e 80% é transformado em calor que deve ser dissipado, a fim de que a temperatura do corpo fique em torno de 37°C, ativando assim os mecanismos de termorregulação (LabEEE, 2005). A seguir segue uma tabela (Tab. 2.1) que fornece dados do metabolismo em função do tipo de atividade desempenhada.

Tabela 2.1 - Taxa metabólica de várias atividades (ISO 7730, 1994).

TIPO DE ATIVIDADE	METABOLISMO [W/m ²]
Reclinado	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (sala, escritório, etc)	70
Atividade laboratorial, fazer compras	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

A mudança no tipo de vestimentas acontece ao decorrer do ano em função das estações, a fim de manter o conforto térmico sob uma faixa mais larga de condições ambientais. A vestimenta funciona como um isolante térmico, uma vez que, mantém junto ao corpo uma camada de ar. O tipo de roupa altera os efeitos da radiação solar direta e dos ventos sobre o corpo humano e pode dificultar também a troca de calor evaporativo. A seguir segue uma tabela (Tab. 2.2) que mostra o índice de resistência térmica, que é a capacidade que a vestimenta tem de reter calor, quanto maior o valor do índice, melhor o seu desempenho térmico/ isolamento térmico do material.

Tabela 2.2 - Índice de resistência térmica para vestimentas (ISO 7730, 1994).

VESTIMENTA	ÍNDICE DE RESISÊNCIA TÉRMICA (<i>fcl</i>)
Meia calça	0,10
Meia fina	0,03
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Camiseta de baixo	0,09
Camiseta de baixo mangas longas	0,12
Camisa manga curta	0,15
Camisa fina mangas longas	0,20
Camisa manga comprida	0,25
Camisa flanela manga longa	0,30
Blusa de mangas longas	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Vestido grosso manga longa	0,40
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Calça flanela	0,28
Sapatos	0,04

Portanto, o mecanismo de termorregulação do nosso organismo é influenciado por variáveis do ambiente (temperatura superficial, temperatura do ar, movimento do ar, e umidade relativa), variáveis de isolamento térmico (vestimenta) e variáveis fisiológicas (tipo de atividade desempenhada, idade e saúde da pessoa).

2.4.2 Índice de conforto

O uso das normas internacionais relacionadas com a qualidade ambiental dos ambientes interiores tem levado a que, em muitos casos, seja necessário o cálculo do índice de conforto pelo método PMV (Predicted Mean Vote – Voto Médio Predito). Esse método foi desenvolvido por P. O. Fanger em 1967, publicado em 1972 e adaptado a Norma ISO 7730, que consiste no método utilizado pelo programa. Ele leva em consideração variáveis climáticas e individuais, e foi desenvolvido com base em uma pesquisa estatística levando em conta o número de pessoas satisfeitas.

Com relação ao meio pelo qual o cálculo do PMV é realizado no programa EnergyPlus, tem-se que:

$$M = L \quad (1)$$

Onde:

M – taxa de energia produzida pelo metabolismo humano (W/m^2);

L – taxa de calor perdido pelo corpo (W/m^2).

Tem-se que:

$$L = Q_{res} + Q_{dry} + E_{sk} \quad (2)$$

Onde:

Q_{res} – Taxa de calor perdida pela respiração (W/m^2);

Q_{dry} – Taxa de calor sensível dissipado pela pele (W/m^2);

E_{sk} – Perda de calor por evaporação pela pele (W/m^2).

A taxa de calor perdida pela respiração (Q_{res}) tem a seguinte formulação:

$$Q_{res} = E_{res} + C_{res} = 0,0023M (44 - P_a) + 0,0014M (34 - T_a) \quad (3)$$

Onde:

E_{res} – Taxa de calor de convecção (W/m^2);

C_{res} – Taxa de calor radiante (W/m^2);

P_a – Pressão de vapor do ambiente (kPa);

T_a – Temperatura do ar ($^{\circ}C$).

A taxa de calor sensível dissipado pela pele (Q_{dry}) tem a seguinte formulação:

$$Q_{dry} = Q_c + Q_r = h_c f_{cl} (T_{cl} - T_a) + f_{eff} f_{cl} \epsilon \sigma (T_{cla}^4 - T_{ra}^4) \quad (4)$$

onde,

Q_c – Taxa de calor de convecção (W/m²);

Q_r – Taxa de calor radiante (W/m²);

f_{eff} – Fração da superfície efetiva para radiação (W/m²);

h_c – Coeficiente de convecção (W/m².K);

f_{cl} – Fator de vestimenta;

T_{cla} – Temperatura da superfície da vestimenta (°C);

T_{ra} – Temperatura média radiante (°C).

A perda de calor da pele por evaporação (E_{sk}) tem a seguinte formulação:

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{diff} = 0,42 (H - 58,2) + 0,4148 (P_{sk} - P_a) \quad (5)$$

Onde:

E_{rsw} – Taxa de calor perdido pelo processo de evaporação do suor (W/m²);

E_{diff} – Taxa de calor perdido por evaporação da água de difusão pela pele (W/m²);

P_a – Pressão de vapor de água a uma temperatura ambiente (kPa);

H – Taxa de produção interna de calor por unidade de área corporal (W/m²);

P_{sk} – Pressão de vapor de água à temperatura da pele (kPa), definida por:

$$P_{sk} = 1,92T_{srk} - 25,3 \quad (6)$$

Onde:

T_{srk} – Temperatura da pele necessária para o conforto térmico, que possui a seguinte formulação:

$$T_{srk} = 35,7 - 0,028H \quad (7)$$

Para chegar ao resultado final do método de Fanger (PMV) chega-se a uma formulação que leva em consideração três variáveis, que é a taxa metabólica (M), a taxa de produção interna de calor por unidade de área corporal (H) e a perda de energia (L), tal formulação é apresentada a seguir:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)(H - L) \quad (8)$$

A tabela a seguir (Tab. 2.3) apresenta a escala térmica de Fanger, que representa uma sensação em função de valores encontrados na equação (8).

Tabela 2.3 - Escala térmica de Fanger

ESCALA	SENSAÇÃO
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
- 1	Levemente frio
- 2	Frio
- 3	Muito Frio

2.5 Ferramentas computacionais

Avaliar as edificações por meio de simulações computacionais é uma boa maneira de conhecer o desempenho energético de edificações, tanto com relação à iluminação, térmico ou do consumo de energia. Com relação às ferramentas computacionais mostradas será detalhado o DesignBuilder, que será a plataforma usada para simular as edificações caso de estudo do trabalho e o EnergyPlus, que é a base de cálculo usada pelo DesignBuilder. Será mostrado também alguns detalhes dos softwares Analysis CST que foi usado pra gerar valores de PMV para as medições in loco e o SolidWorks 2012 que foi usado pra gerar uma simulação do escoamento de ar dentro do edifício caso de estudo.

2.5.1 EnergyPlus

O EnergyPlus é um software de simulação de carga térmica e análise energética de edificações distribuído e criado pelo Departamento Americano de Eficiência Energética e Energia Renovável (EERE), que foi criado a partir de características de outros dois programas computacionais, o Blast e o DOE-2.

Ele possui características que o torna melhor do que muitos programas de simulação termoenergéticas, tais como:

- Cálculo de índices de conforto térmico;
- Tem capacidade de integração com outros sistemas (aquecimento solar, fotovoltaico, etc);
- Arquivos de entrada, saída e climática que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias (até um quarto de hora) e relatórios padrões que podem ser modificados pelo usuário;
- A interação entre as zonas térmicas e o ambiente podem ser definidos pelo usuário com fração de hora;
- Usa o método de balanço de energia para as cargas térmicas das edificações, que permite em cada intervalo de tempo definido, o cálculo simultâneo dos efeitos convectivo e radiante na superfície interior e exterior;
- Tem a capacidade de configuração de sistemas de condicionamento do ar, que permite simular sistemas comuns e sistemas pouco modificados;
- Possui uma biblioteca de dados bastante completa;

Para realizar a simulação são necessárias três etapas, que é a modelagem, simulação e análise dos resultados. Para criar um modelo, os parâmetros de entrada são inseridos através do *IDF-Editor* mostrado na Figura (2.5), que gera um arquivo “idf”. Esta ferramenta recebe os dados que fazem parte das variáveis de ganho de calor externo e interno. A seguir segue uma imagem da tela de entrada do programa.

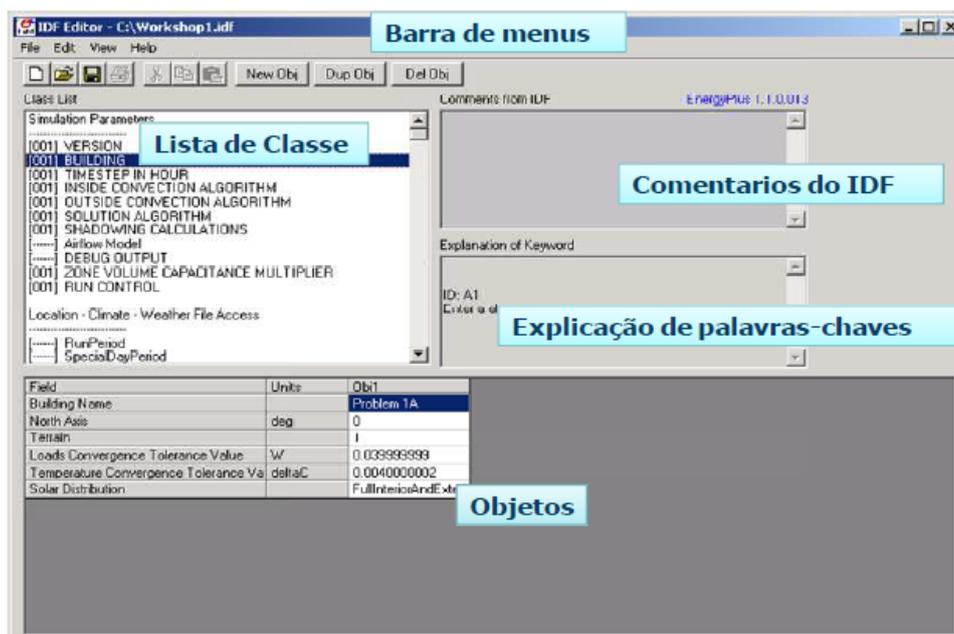


Figura 2.5 – Tela de entrada do EnergyPlus (EnergyPlus Engineering, 2009).

O programa possui as seguintes ferramentas de entrada de dados:

- *Simulation Parameters*: define aspectos como quantidade de dados por hora a serem gerados, nome do edifício, orientação com relação ao norte verdadeiro, tipo de terreno, incidência solar, entre outros.
- *Location – Climate Weather File Access*: define a longitude e latitude da edificação, o arquivo climático, datas de início e fim da simulação, o dia típico de projeto, temperatura do chão.
- *Schedule*: programação horária de vários parâmetros tais como a densidade de ocupação, iluminação.
- *Surface Construction Elements*: descreve as propriedades físicas e a configuração do envoltório e dos elementos internos da edificação
- *Thermal Zone Descripion/Geometry*: detalhamento da geometria da edificação e suas divisões internas.
- *Internal Gains*: caracterização dos ocupantes quanto a quantidade as vestimentas e tipo de atividade.
- *Design Objects*: recebe os dados necessários para o programa calcular as cargas de aquecimento, resfriamento e de vazão de ar para a definição do sistema de climatização
- *Plant Equipment*: recebe os dados dos equipamentos do sistema de climatização tais como consumo energético, temperatura, vazão, COP.

O balanço de energia no EnergyPlus para cada ambiente da edificação envolve os processos de condução, convecção e radiação. A metodologia usada para analisar os ganhos e perdas de calor é com base no cálculo do fluxo de calor por convecção entre temperaturas das superfícies internas de um ambiente e com base na temperatura do ambiente, a figura a seguir (Fig. 2.6) representa um esquema de balanço térmico em um ambiente.

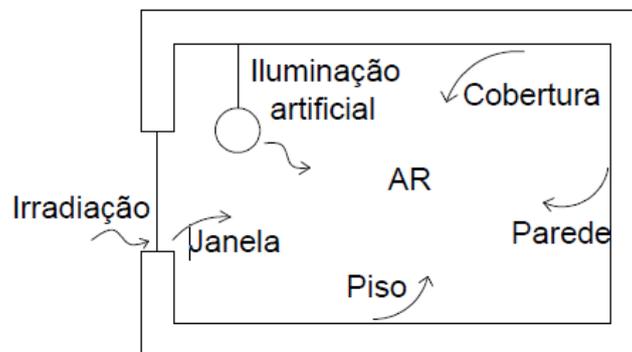


Figura 2.6 - Balanço térmico em um ambiente (LabEEE, 2008).

Assim, o EnergyPlus permite ao usuário fazer simulações com um nível de detalhes bastante aprofundado, aproximando os resultados encontrados com a realidade da edificação, proporcionando projetos mais eficientes.

2.5.2 DesignBuilder

O DesignBuilder será a ferramenta computacional usada no presente trabalho para a simulação energética do caso de estudo a ser analisado. Esse software é uma ferramenta para simulação do desempenho térmico e energético de edificações. A interface usa os algoritmos do EnergyPlus e corrige suas limitações gráficas no processo de modelagem. Dentre as principais funções do programa pode-se destacar:

- Cálculo do desempenho térmico: o programa fornece relatórios de saída com relação às trocas de calor através de paredes externas, paredes internas, pisos, coberturas, forros, infiltração, ventilação, etc. São fornecidos também dados referentes a ganhos de calor internos devido à ocupação e incidência de radiação, dados para análise do conforto térmico;
- Cálculo do consumo de energia: pode ser obtido dados referentes ao consumo devido a climatização de ambientes, iluminação e equipamentos;
- Cálculo de ventilação: o software fornece dados das perdas térmicas por ventilação e taxa de renovação de ar por hora de um ambiente.

Ao se iniciar um novo projeto no software, Figura (2.7), o usuário deve selecionar a localidade que deseja, mostrado na Figura (2.8). O que irá definir o arquivo climático que será usado nos cálculos pelo EnergyPlus, que está incorporado ao DesignBuilder.

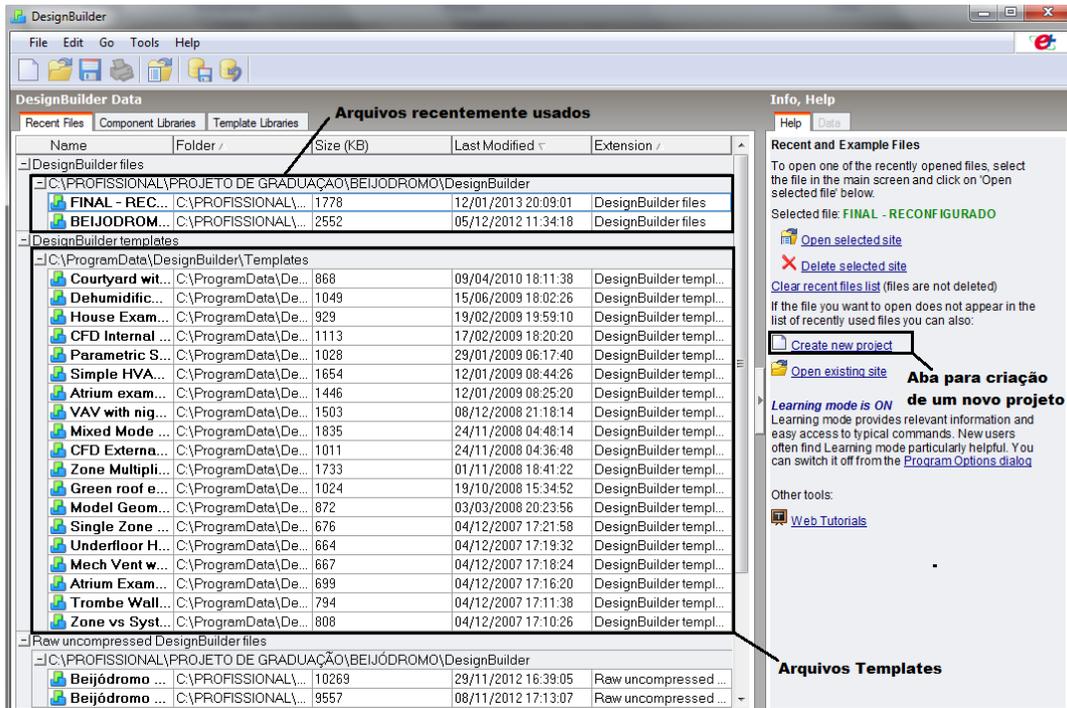


Figura 2.7 – Tela inicial do programa DesignBuilder.

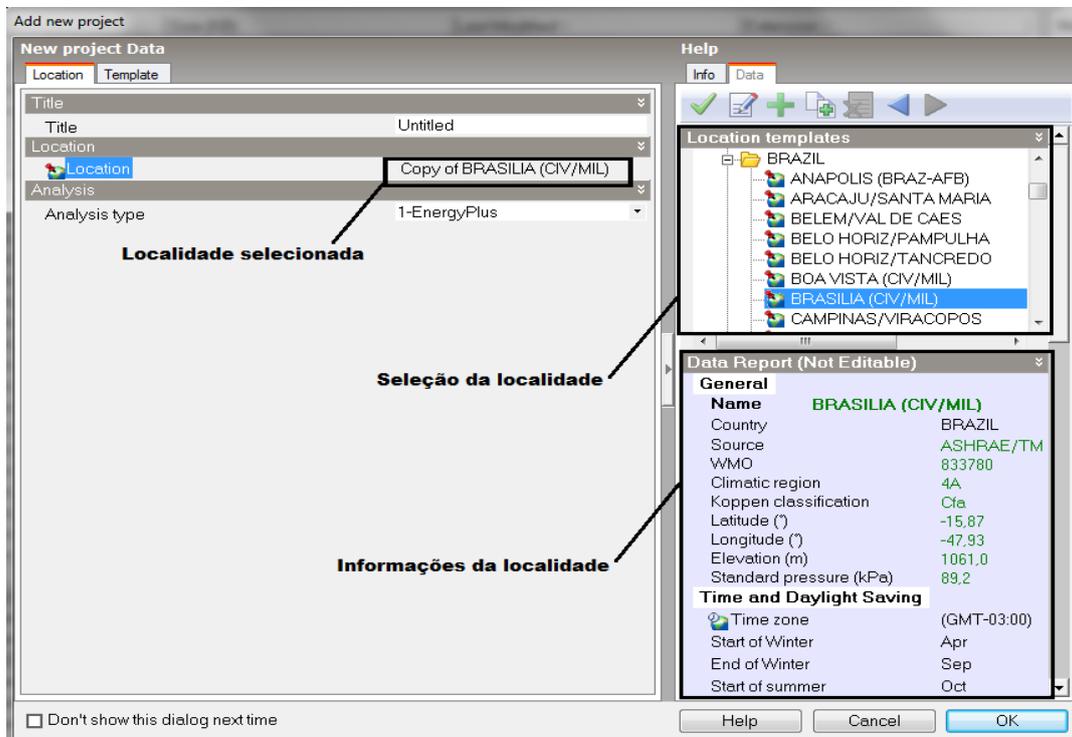


Figura 2.8 – Tela apresentada para seleção da localidade desejada.

Feito a seleção da localidade da edificação o programa abre sua interface de construção geométrica do modelo do edifício, mostrado na Figura (2.9). Neste caso, o usuário seleciona a opção de adicionar um prédio e pode assim começar desenhar a geometria de acordo com o desejado.

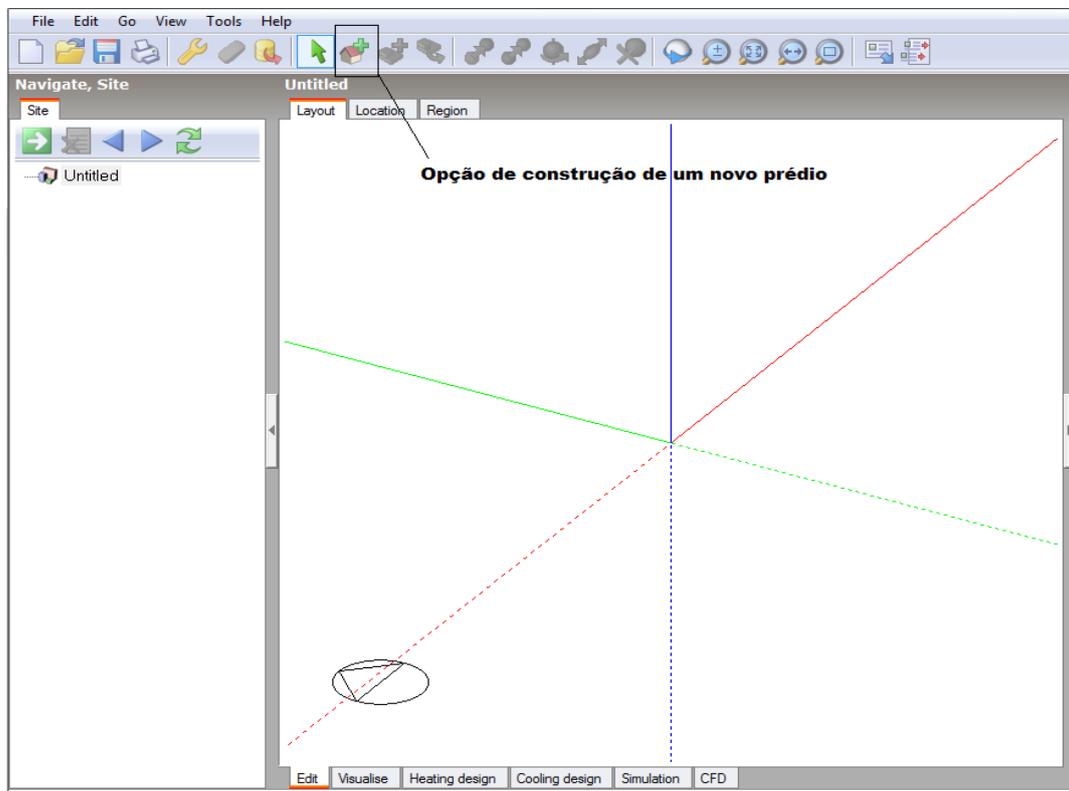


Figura 2.9 – Representação da tela para iniciar a construção de um novo prédio no DesignBuilder.

O usuário possui várias opções de comandos de construção que permite fazer os mais variados tipos de edificações, Figura (2.10). Depois de feito a geometria o usuário parte pra fase de divisão interna do prédio, criando suas respectivas zonas, Figura (2.11).

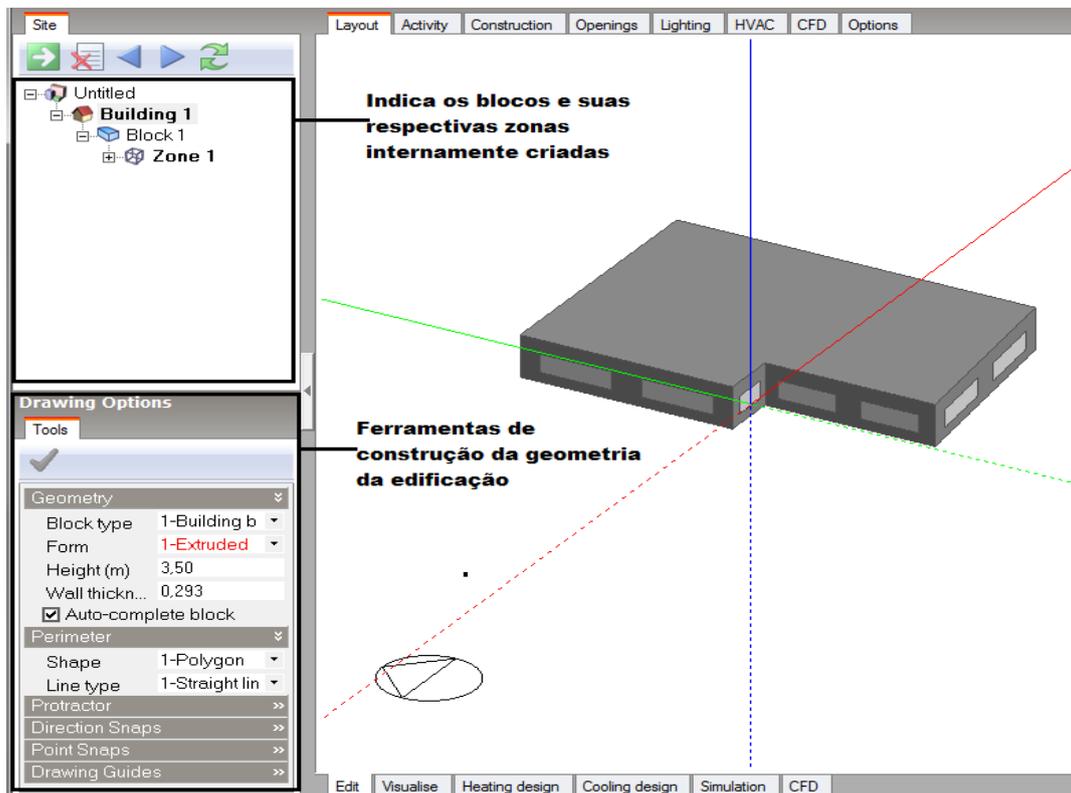


Figura 2.10 – Tela para criação da geometria da edificação.

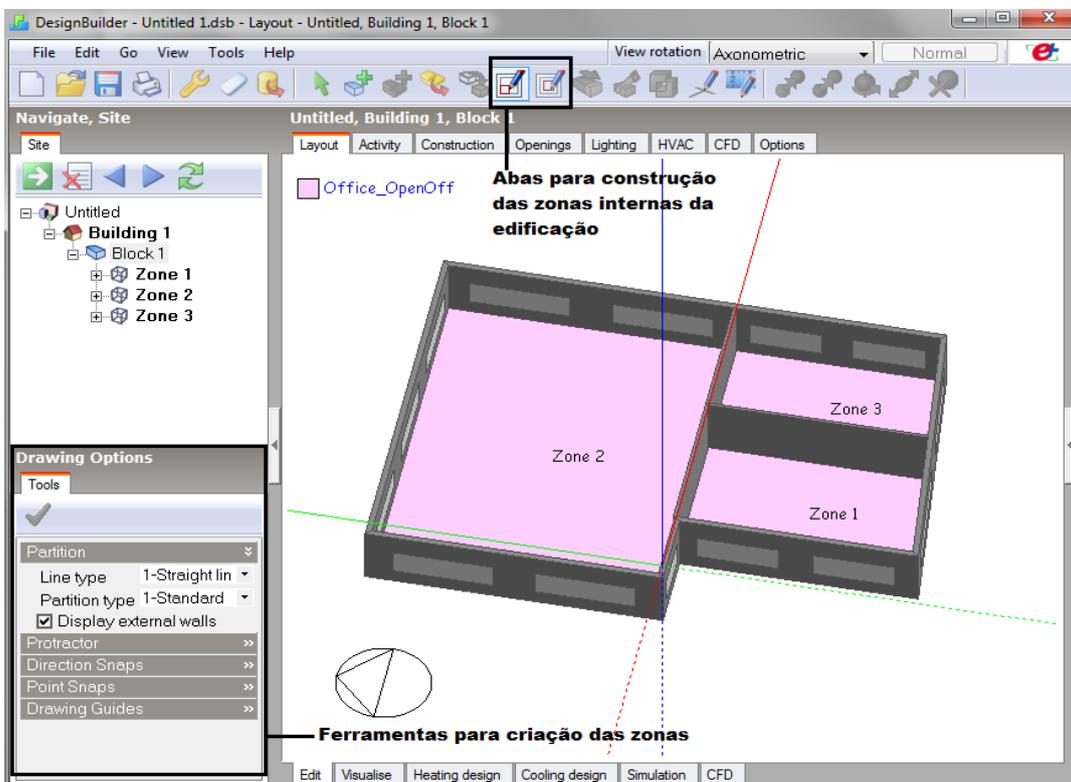


Figura 2.11 – Tela para criação das zonas.

Criado a geometria e suas zonas internas, o usuário parte para a fase de caracterização detalhada da modelagem, para isso ele conta com diversas abas, Figura (2.12), que possibilitam as mais diversas seleção de parâmetros.



Figura 2.12 – Abas de seleção dos parâmetros da edificação.

A aba *Activity* é destinada às variáveis de ocupação da edificação, como rotinas de ocupação (presença de pessoas e uso de equipamentos), temperaturas de *set point*, dissipação de carga de computadores e outros equipamentos nos ambientes, etc. A Figura (2.13) mostra sua interface.

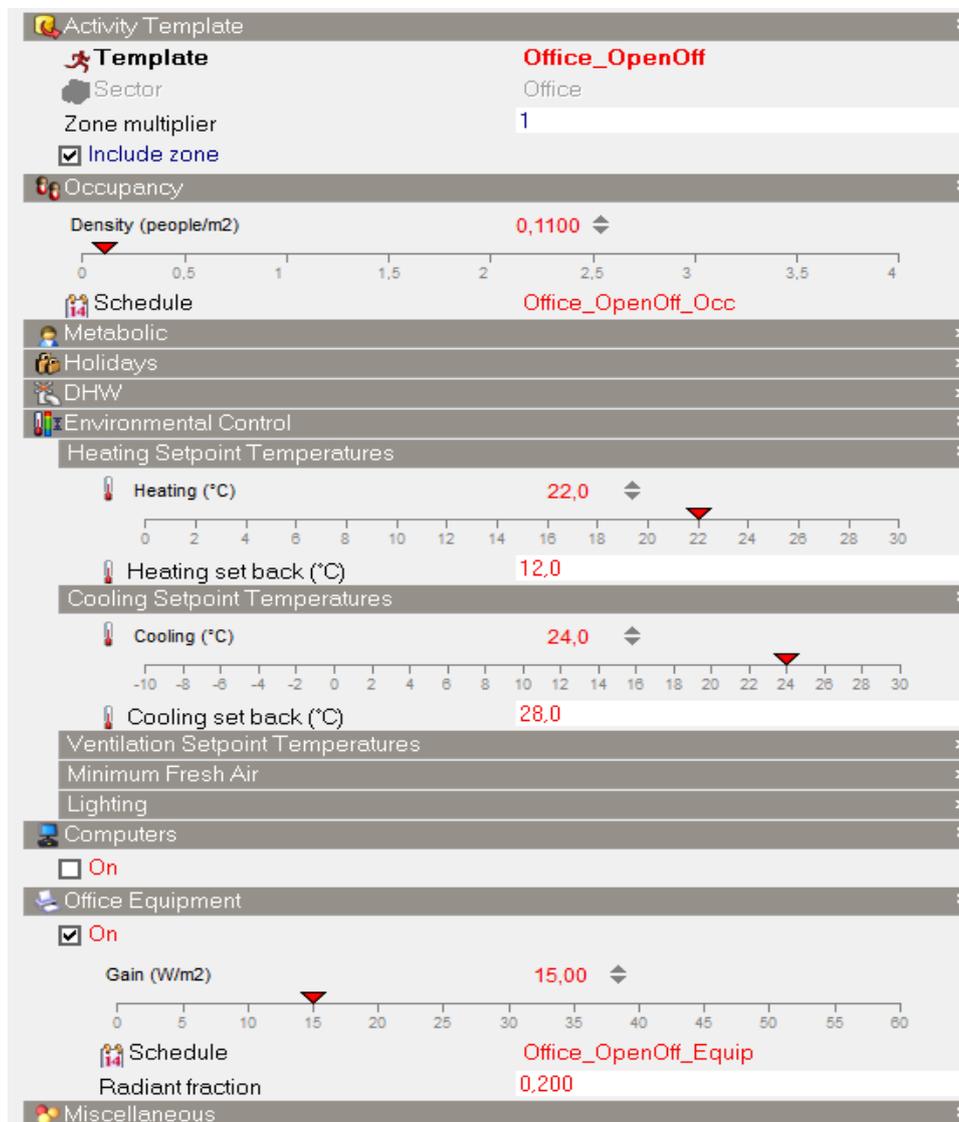


Figura 2.13 – Interface da aba *Activity*.

A aba *Construction* é destinada para a seleção de variáveis referentes aos sistemas construtivos usados na construção da edificação, tais como paredes, lajes, forros, pisos e outros. A Figura (2.14) mostra a interface desta aba.

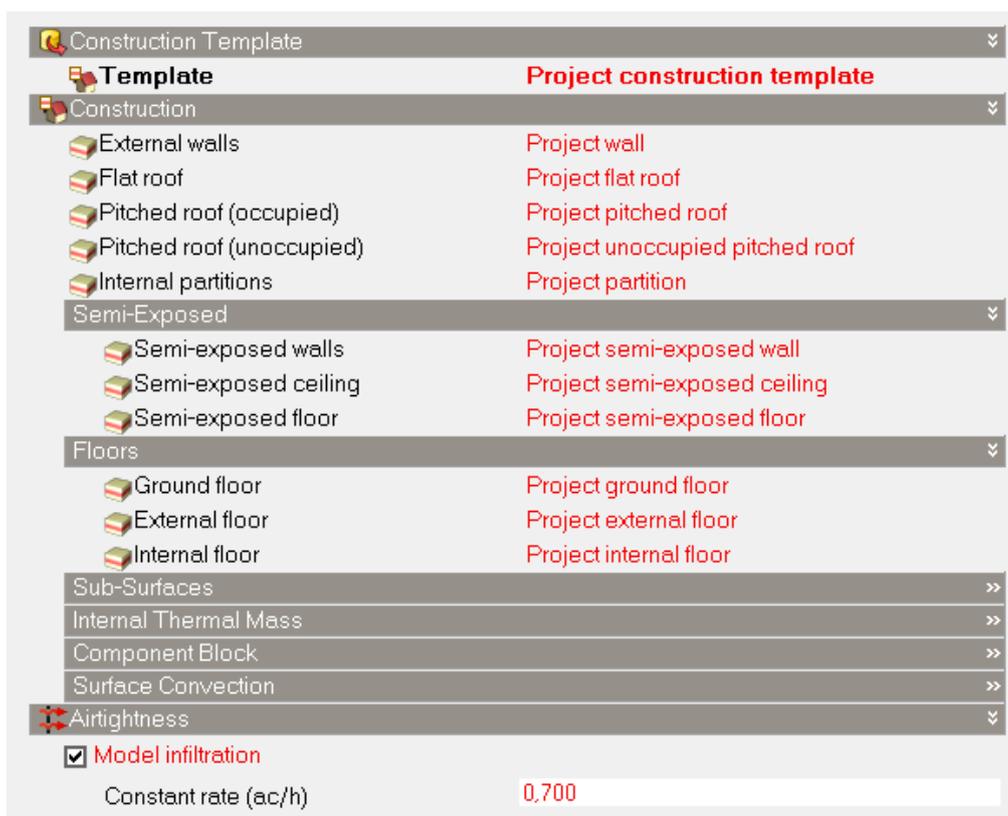


Figura 2.14 – Interface da aba *Construction*.

A aba *Opening* é voltada para a seleção de parâmetros de aberturas, janelas, portas, proteções solares existentes na edificação. A Figura (2.15) mostra sua interface.

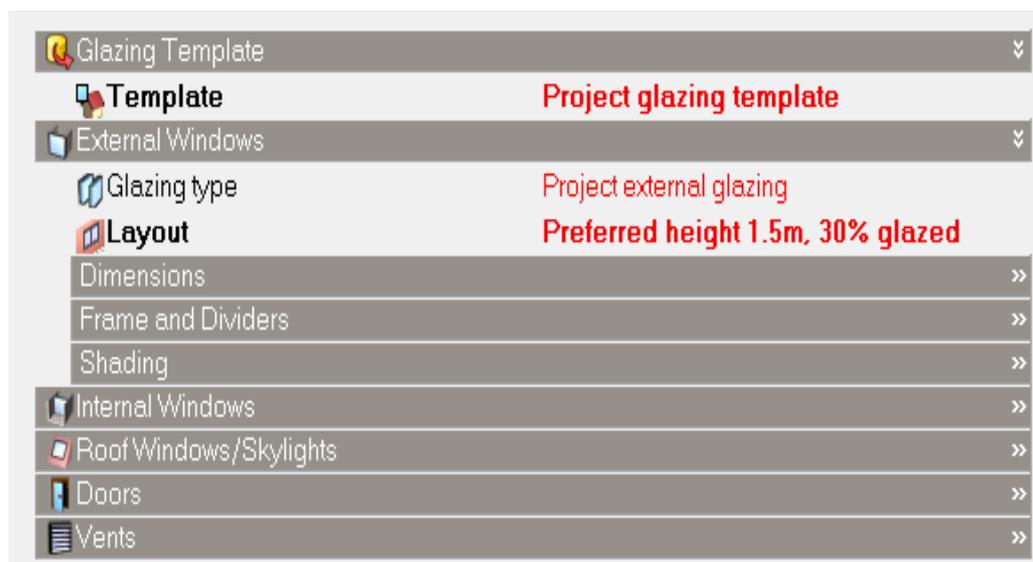


Figura 2.15 – Interface da aba *Opening*.

A aba *Lighting* é voltada para a seleção de variáveis de iluminação da edificação, tais como densidade de iluminação, rotinas, tipos de luminárias, localização das luminárias. A Figura (2.16) mostra sua interface.

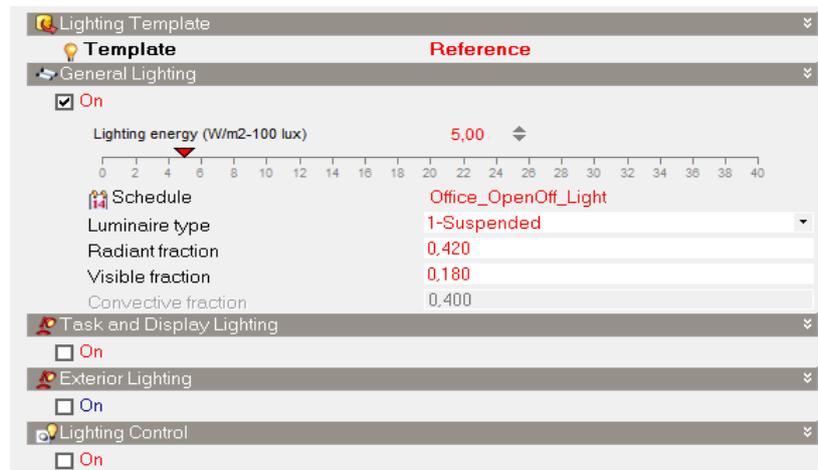


Figura 2.16 – Interface da aba *Lighting*.

A aba HVAC é destinada para a realização das configurações do sistema de condicionamento de ar, que no caso do caso de estudo deste trabalho não possui esse sistema, pois a edificação somente faz uso da ventilação natural e mecânica. É possível realizar configurações de climatização tais como resfriamento, aquecimento, ventilação mecânica ou ventilação natural. A Figura (2.17) mostra a interface desta aba.

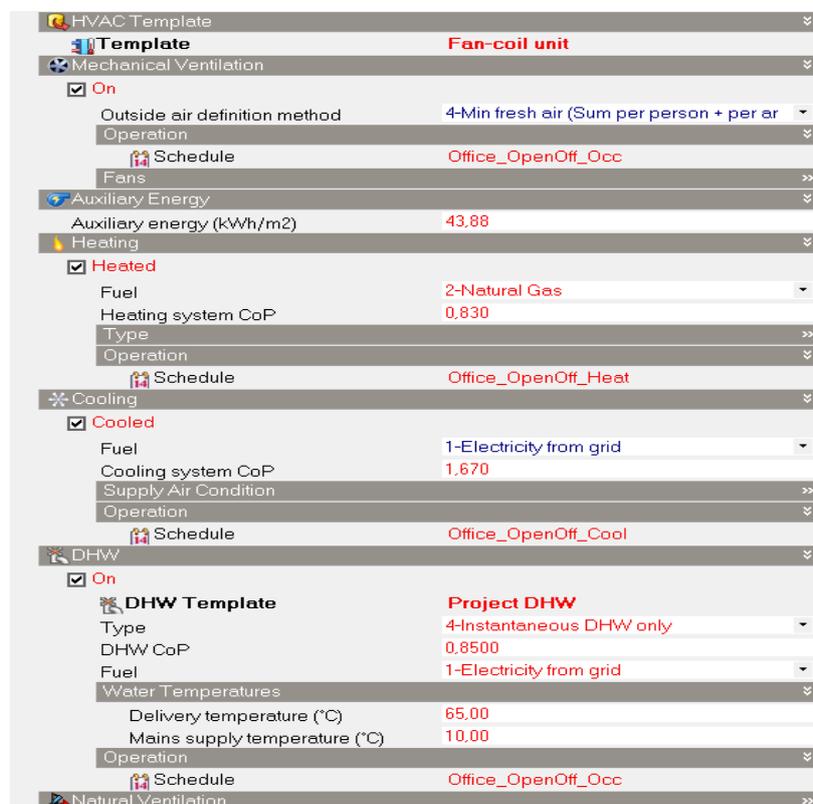


Figura 2.17 – Interface da aba HVAC.

A seguir, depois de ter construído a geometria e indicado todos os parâmetros necessários para caracterizar o edifício, pode-se realizar a simulação, cuja aba está localizada na parte inferior da interface do DesignBuilder. É possível realizar diversas configurações para o processo de modelagem, tais como realizar as simulações em intervalos de tempos diferentes, desde a um dia ou até mesmo a um ano. O usuário pode escolher também quais resultados ele vai querer no final da simulação, basta ele clicar na aba output e selecionar. A Figura (2.18) mostra alguns detalhes da interface que o programa dispõe para seleção dos parâmetros desejados para simulação.

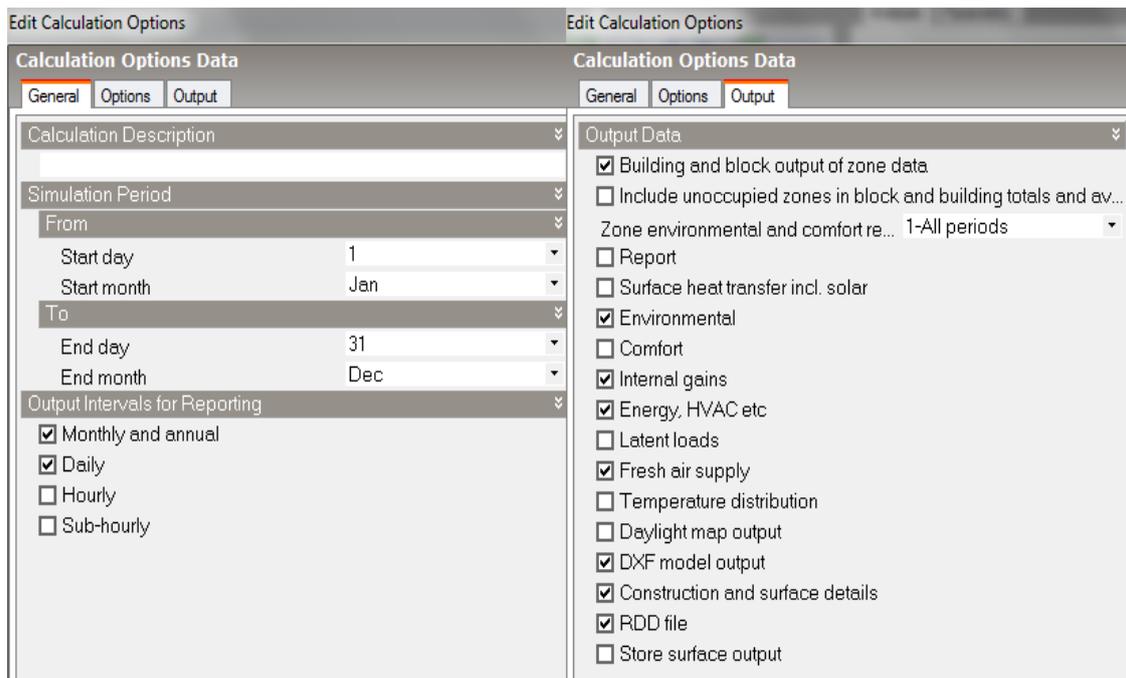


Figura 2.18 – Interface de simulação das abas *General* e *Output*.

Assim, de uma maneira geral, foi apresentado diversos comandos e interfaces que o DesignBuilder apresenta com o decorrer do processo de criação do projeto, mas o programa oferece diversos outros recursos que não foi mostrado, uma vez que o objetivo aqui foi mostrar os principais comandos e interfaces que o programa vai gerando para o desenvolvimento deste projeto.. O DesignBuilder é uma ferramenta muito boa para realizar diversas simulações, uma vez que possui todas as ferramentas do EnergyPlus, que não é um software que possui uma interface amigável, e corrige suas dificuldades no processo de modelagem, dispensando assim um conhecimento intenso pelo usuário do software. O programa também permite respaldar decisões de projetos novos bem como oferece suporte para propostas de *retrofit*.

2.5.3 Analysis CST

O Analysis CST é um *software* desenvolvido pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) que faz uma análise do conforto térmico e stress térmico de ambientes. No trabalho foi usado o módulo de conforto térmico para fazer um levantamento do PMV ao longo dos dias de medição para comparação com os resultados do DesignBuilder.

O programa possui a seguinte interface:

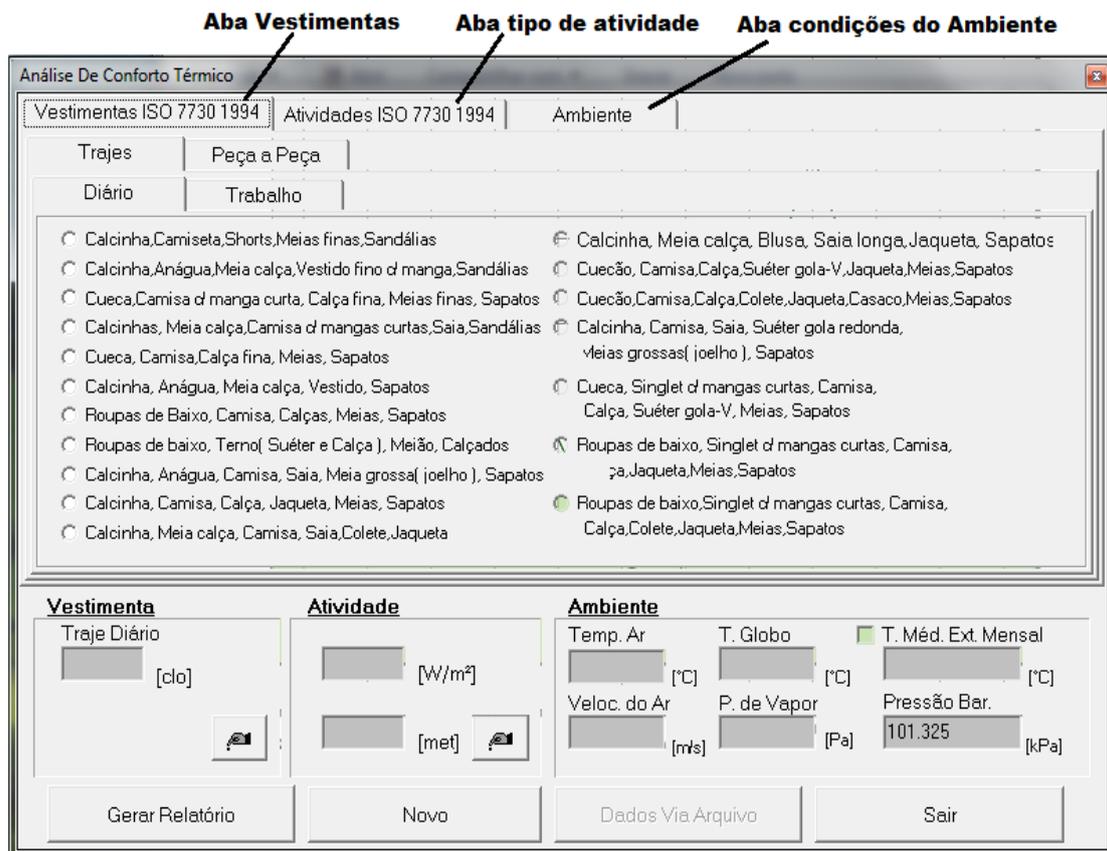


Figura 2.19 – Tela de entrada de dados no Analysis CST.

Para gerar um relatório do conforto térmico do ambiente é necessário fazer a seleção de parâmetros das seguintes abas:

- **Aba Vestimentas:** Caracterização do tipo de vestimentas dos ocupantes do ambiente. É possível fazer essa seleção selecionando as roupas peça a peça, selecionando com base no trabalho dos ocupantes, com base em trajes pré-combinados ou trajes diários. A seleção do tipo de roupa dá um valor para o índice de resistência térmica da roupa (clo).
- **Aba Tipo de Atividade:** Seleção do tipo de atividade que a pessoa desempenha no ambiente.

- Aba Condições do Ambiente: Caracterização do ambiente da partir dos seguintes dados:
 - Temperatura do ar.
 - Temperatura de Globo.
 - Velocidade do ar.
 - Umidade relativa.

Ao final das configurações dos parâmetros do programa é possível gerar um relatório das condições de conforto do ambiente, onde é dado um valor de PMV para o local de interesse.

2.5.4 SolidWorks 2012

O SolidWorks 2012 é um software bastante conhecido entre os estudantes de Engenharia Mecânica, e neste trabalho foi usado para realizar as simulações de escoamento de ar dentro do Beijódromo. Ele é um programa bastante complexo, permitindo a construção de geometrias com grau de complexidade muito maior do que o DesignBuilder e a realização de simulações de escoamento de ar.

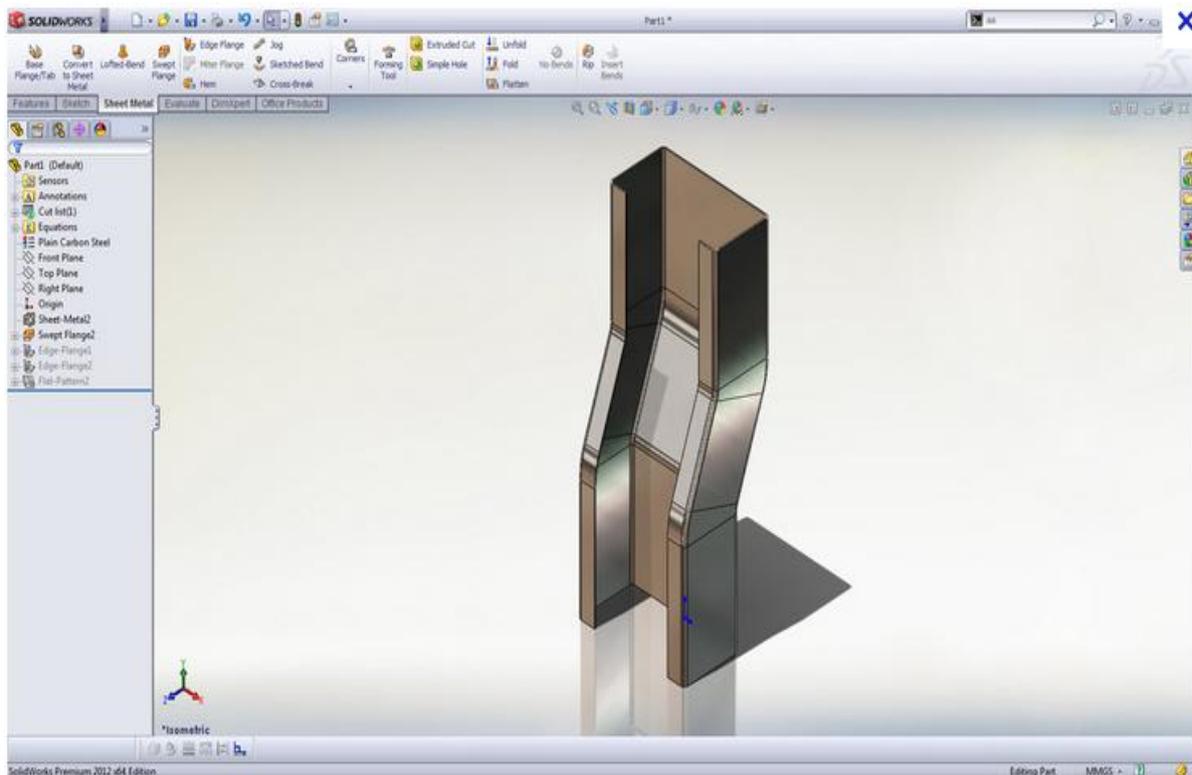


Figura 2.20 – Exemplo de imagem da interface do programa.

A realização do escoamento compreende os seguintes passos:

- Construção da modelagem da edificação;
- Escolha das entradas por onde o ar vai entrar;
- Seleção dos parâmetros de entrada;
- Simulação.

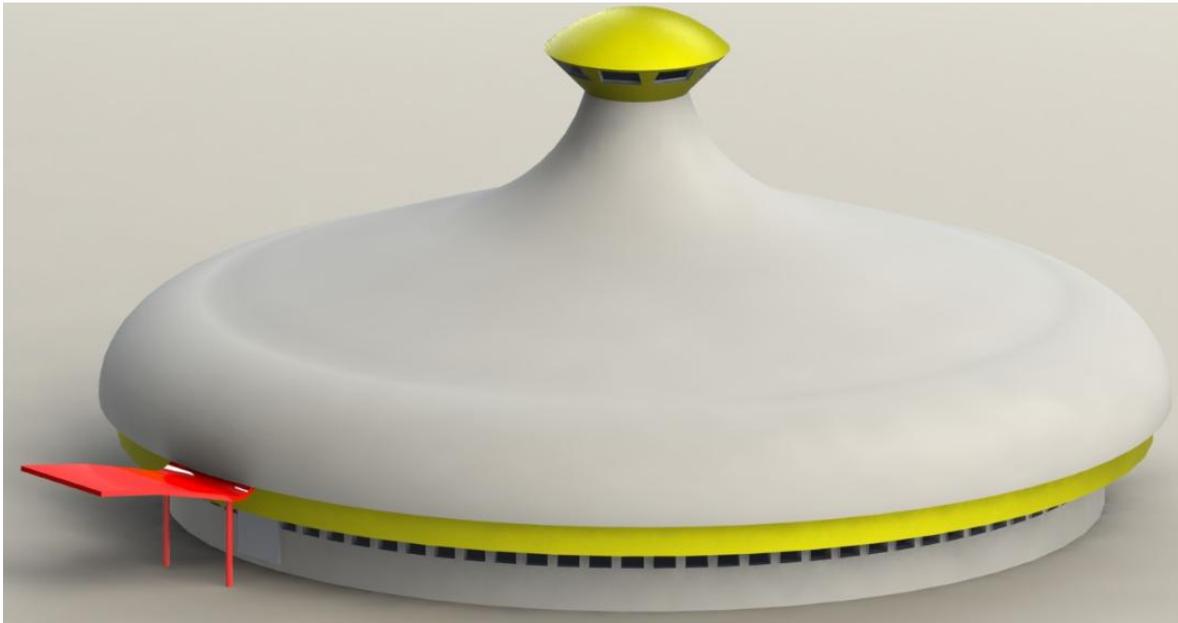


Figura 2.21 – Modelagem do Memorial Darcy Ribeiro no SolidWorks 2012.

3 SOLUÇÕES PASSIVAS EM CLIMATIZAÇÃO

Neste tópico serão apresentadas várias soluções passivas em climatização usadas na construção de edificações visando melhorar o conforto térmico para seus ocupantes.

3.1 Considerações iniciais

A eficiência energética de edificações começa no seu planejamento e construção. Em cada edifício, as soluções construtivas que são adotadas são determinantes na obtenção de eficiência energética nos edifícios. Um ponto bastante importante é conciliar idéias estéticas da arquitetura com o uso das soluções passivas em climatização, sem que elementos arquitetônicos sejam prejudicados.

A Tabela 3.1 (NTT, 2010) mostra uma relação de custo e eficiência do uso de algumas soluções passivas, que foi feita com base em uma simulação considerando um hipotético escritório localizado em Roma (Latitude 43° N), caracterizado por uma inércia média e uma fachada com 80% de envidraçado. A simulação considerou diversas orientações da edificação e diferentes medidas de economia de energia. Os resultados, que estão mostrados na tabela seguinte demonstram uma redução nas necessidades de arrefecimento com a adoção de simples elementos passivos.

Tabela 3.1 - Intervenções técnicas para a redução da carga térmica no verão (NTT, 2010).

	Descrição das intervenções	Custo	Redução da carga térmica
Gestão do edifício	Regulação da temperatura interna de cada espaço	baixo	0% - 6%
	Aumento da temperatura ambiente (p.ex.: 27°C em vez de 25°C)	nulo	4% - 8%
	Aumento da umidade relativa (p.ex.: 60-55% em vez de 50%)	nulo	1% - 5%
	Utilização correta do sistema de iluminação e dos aparelhos elétricos	nulo	3% - 7%
	Gestão correta das aberturas exteriores, das janelas e persianas	nulo	0% - 5%
Redução das cargas internas	Regulação da iluminação (variação da intensidade, sensores de movimento, etc) com lâmpadas incandescentes	Baixo	4% - 6%
	Regulação da iluminação (variação da intensidade, sensores de movimento, etc) com lâmpadas fluorescentes	Baixo	2% - 4%
	Utilização de iluminação de baixo consumo (p.ex.: lâmpadas fluorescentes em vez de lâmpadas incandescentes)	médio	10% - 13%
Intervenções na envolvente exterior do edifício	Estruturas de sombreamento interior (persianas internas, cortinas...)	baixo	2% - 5%
	Estruturas de sombreamento exterior (persianas externas, toldos...)	médio	8% - 19%
	Aplicação de avançados verticais (0,6m)	elevado	2% - 18%
	Aplicação de avançados horizontais (1,5m)	elevado	1% - 9%
	Aplicação de avançados horizontais (0,6m)	elevado	2% - 8%
	Aplicação de vidros duplos refletores	elevado	4% - 7%
	Aplicação de película refletora	médio	3% - 11%
	Paredes exteriores com cores claras com baixo poder de absorção	baixo	1% - 8%
	Isolamento da cobertura	médio	3% - 6%
	Estruturas de sombreamento na cobertura	elevado	3% - 6%
	Cobertura ventilada	elevado	2% - 8%
Cobertura com vegetação	elevado	4% - 15%	
Intervenção nos equipamentos	Central de duplo fluxo com recuperação térmica do ar extraído	elevado	2% - 4%
	Sobre ventilação noturna	médio	4% - 8%
	Sistema de regulação eficiente	elevado	2% - 8%

Dentre todas as soluções mostradas na tabela anterior, podemos destacar o uso de estruturas de sombreamento interior e exterior, que não possuem um custo alto e possuem um potencial de redução da carga térmica muito boa, se comparado com as outras opções. Podemos destacar também o uso de cobertura com vegetação e uso de vidros duplos refletores, que vem sendo usados mais recentemente em projetos, mas que possuem um custo mais elevado.

Assim, o presente capítulo discorrerá sobre quatro destas soluções passivas que arquitetos projetistas têm a disposição, sendo que algumas delas aplicada à edificação caso de estudo desse trabalho, que será tratado no capítulo seguinte. As soluções abordadas foram escolhidas por fazerem parte do projeto arquitetônico do caso de estudo (Ventilação Natural e Estruturas de sombreamento exterior e interior) e por serem novas opções que vem sendo usadas nos dias atuais (Vidros duplos e Telhados Vegetados).

3.2 Ventilação natural

O estudo dos mecanismos da ventilação natural é importante e tem influência em fatores de muita necessidade em uma edificação como questões térmicas, para geração de conforto térmico aos ocupantes de uma edificação e questões higiênicas. A ventilação natural é a ventilação que surge devido à diferença de pressão causada pelo vento e devido à diferença de temperatura, onde essa diferença entre temperaturas do ar interior e exterior provocam um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. A ventilação natural pode ser subdividida em vários tipos, tais como:

- Efeito chaminé;
- Ação dos ventos;
- Efeito combinado;
- Ventilação noturna;

Com base em uma análise do envelope de uma edificação, o coeficiente de pressão do vento (C_p) é um parâmetro importante para o efeito da ventilação natural. O coeficiente de pressão é um número adimensional que mostra as relações entre as pressões em diferentes pontos das superfícies externas de um sólido. Cada ponto da edificação que está sobre a ação da pressão do vento possui seus próprios valores de C_p (coeficiente de pressão), que podem modificar o escoamento exterior do ar. Os valores de C_p dependem da forma da edificação, da direção do vento e da influência de obstáculos como edificações ao redor, vegetação e características locais do terreno. Diante dessa quantidade de variáveis, valores precisos de C_p são só possíveis de obter com modelos de testes em túneis de vento.

Com base na análise do desempenho da ventilação no interior da edificação existem três fatores que moldam a configuração dos fluxos de ar, que são:

- Dimensões e localização das aberturas por onde o ar vai entrar e sair;
- Modelo e configuração das aberturas;
- Localização e posicionamento de componentes internos, tais como divisórias e paredes.

Esses fatores são de muita importância, pois vão permitir que o ar entre e circule através do ambiente. Assim, deve-se garantir que o projeto da edificação possua aberturas com dimensões suficientes para que o ar possa entrar e sair, além de um bom posicionamento de componentes internos para permitir que o ar consiga circular internamente através do edifício.

3.2.1 Efeito chaminé

A diferença de temperatura do ar dentro de edificações cria uma força conhecida como efeito chaminé, onde essa diferença faz subir o ar dentro da edificação. Considera-se que a taxa de ventilação aumenta com a diferença de temperatura do ar, uma vez que, o ar interno mais quente tende a sair através de aberturas mais altas da edificação, sendo substituído por ar mais frio que entra através das aberturas mais baixas.

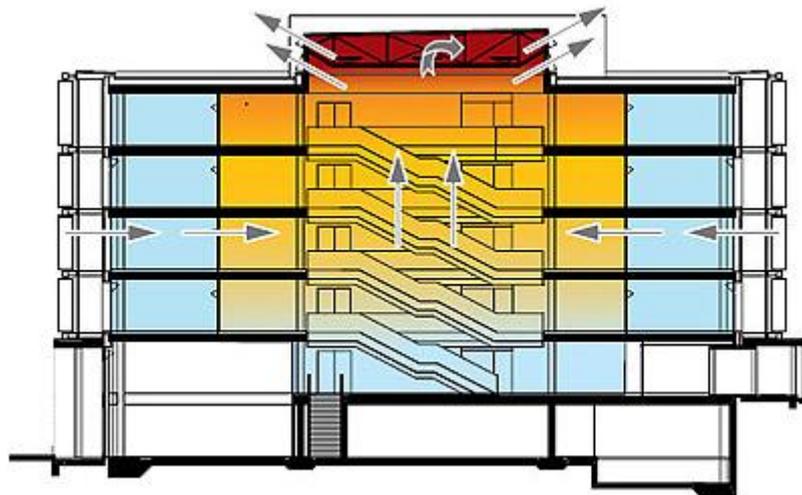


Figura 3.1 - Efeito Chaminé (Bob Gysin, 2012).

O efeito chaminé será tratado na Fundação Darcy Ribeiro (Beijódromo) com certo destaque, pois existe a possibilidade de que seu efeito esteja provocando desconforto térmico. Esse efeito será tratado mais a frente, onde serão usados aparelhos de medição para análise.

3.2.2 Ação dos ventos

O vento provoca variação de pressão nas superfícies das edificações e faz alterar o regime de entrada e saída de ar pelas aberturas, fazendo com que ocorra a ventilação natural. As formas da arquitetura das edificações podem gerar padrões de fluxos de ar muito complexos. Para determinação da influência das condições de fluxo de ar envolta das edificações são necessários testes em túneis de vento, escoamento em fluxo de água em maquetes ou testes em modelos reais (ASHRAE, 2003).

A instabilidade no comportamento do vento, com suas rajadas e turbulências, provoca variações de pressão sobre as superfícies que atingem. Em uma análise, por norma, essas pressões são medidas por valores médios em períodos de 600s. A pressão medida pode ser menor ou muito maior que os valores médios medidos, onde os valores de pico são indicados para cálculo estrutural e os valores médios indicados para cálculo da ventilação natural. Por recomendação da ASHRAE (2003), o uso dos valores médios são suficientes para cálculo de ventilação.



Figura 3.2 – Ação dos ventos através de uma edificação (Casa Ecológica, 2012).

3.2.3 Efeito combinado

O efeito combinado é a combinação do efeito chaminé e a ventilação por ação dos ventos, que pode funcionar muito bem, melhorando a renovação de ar e o conforto interno para os usuários de uma edificação. Alguns cuidados devem ser tomados no dimensionamento para o aproveitamento desses dois fenômenos, pois os efeitos provocados pelos mesmos podem agir de maneira tal que um anula o outro, onde a oposição do efeito dos ventos sobre o efeito chaminé pode provocar o refluxo do ar a ser retirado, dificultando a renovação de ar para os ambientes (VERSAGE, 2009).

3.2.4 Ventilação noturna

A ventilação noturna é uma estratégia bioclimática que faz uso da ventilação natural para resfriar as superfícies internas da envoltória de um edifício à noite. Os fluxos de ar devem ser direcionados para as áreas ocupadas no interior de ambientes, promovendo o contato do ar em movimento com a pele ajudando na evaporação do suor, necessária para manutenção da

sensação de conforto térmico em climas quentes e úmidos. A ventilação noturna afeta as condições de temperatura nos ambientes sob as seguintes perspectivas:

- Reduz os picos de temperatura do ar nos ambientes internos (amortecimento térmico);
- Reduz as temperaturas do ar durante todo o dia, principalmente no período da manhã;
- Reduz as temperaturas do solo;
- Realiza o atraso térmico, que é o atraso dos picos de temperatura do ar interno em relação à temperatura externa.

Ao se realizar uma análise do desempenho da ventilação noturna é feito um estudo da distribuição dos fluxos e da velocidade do ar, avaliando a capacidade bioclimática da região de realizar o resfriamento das superfícies internas.

3.3 Resfriamento evaporativo

O resfriamento evaporativo consiste na retirada de calor do ar pela evaporação da água ou pela evapotranspiração das plantas. A criação de espelhos d'água e áreas verdes ao redor de uma edificação produz um microclima mais ameno, refrescando e umidificando os espaços interiores da edificação.

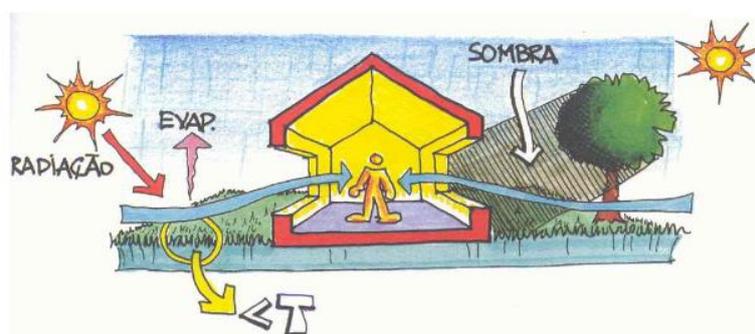


Figura 3.3 - Resfriamento evaporativo com áreas verdes e espelho d'água (Arqbio, 2010).

Uma combinação do uso da ação dos ventos e do resfriamento evaporativo para melhorar a climatização de uma edificação é muito benéfica, pois além de melhorar o conforto térmico para os usuários, o ar estará sendo umidificado. O arquiteto que projetou a Fundação Darcy Ribeiro baseou-se nessa concepção ao projetar o prédio.

3.4 Telhado vegetado

Os telhados vegetados são sistemas de coberturas compostos por camadas especiais que favorece a conservação e a sobrevivência de vegetação sobre a superfície superior de uma edificação. Neste

trabalho, a principal vantagem no uso dos telhados vegetados consiste na estratégia bioclimática em usá-los, pois permitem um aumento do conforto térmico dos usuários e aumentam a eficiência energética da edificação. A imagem a seguir (Fig. 3.4) exemplifica o uso dos telhados vegetados.

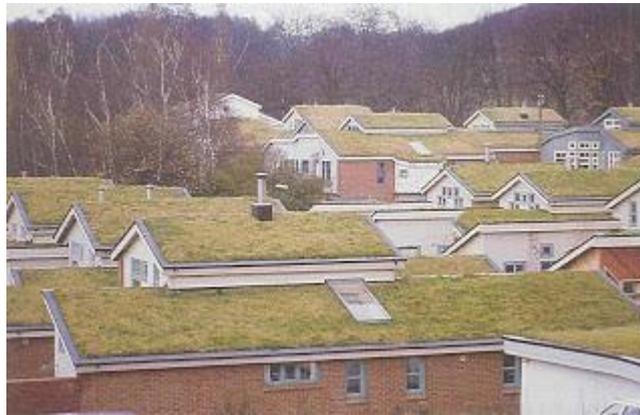


Figura 3.4 – Bairro residencial em Dusseldorf na Alemanha (Gernot Minke, 2007).

A partir da metade do século XX os telhados vegetados deixam de ser uma prática construtiva vernacular remanescente e passam a ser bastante usados no norte da Europa. Esse uso ocorreu devido ao surgimento de questões relativas à qualidade do ambiente urbano e perda crescente dos espaços verdes nas áreas muito desenvolvidas (Peck et al, 1999).

Hoje em dia o uso dos telhados vegetados espalhou para diversas partes do mundo como muitos países Europeus, América do Norte e Ásia. Em muitos países, entidades governamentais incentivam a pesquisas e projetos desse tipo de prática construtiva, tendo como pontos motivadores os benefícios ligados ao potencial de mitigação de ilhas de calor, isolamento termo-acústico, diminuição do estresse urbano, criação de novas paisagens na morfologia urbana.

Existem basicamente dois tipos de telhados vegetados, que são:

- Extensivos: Caracterizados pelo seu baixo peso (70 a 170 kg/m^2), pela camada de substrato delgada (5 a 15 cm), pela vantagem de baixa necessidade de manutenção e baixo custo. Podem ser usados em coberturas já existentes sem necessidade de modificações estruturais e podem ser implementados em superfícies com inclinação de até 40% (PECK;KUHN, 1999);
- Intensivos: Caracterizados pelo alto peso (300 a 900 kg/m^2 podendo suportar até árvores), pela camada de substrato espessa (20 a 60 cm), por uma necessidade muito grande de manutenção devido a uma maior variedade de plantas e necessidade de irrigação freqüente, e pelo seu alto custo. Devido sua área verde ser bem maior que os extensivos, seus efeitos de isolamento são maiores. Esse tipo de cobertura possui também a vantagem de permitir em o acesso de pessoas dependendo da sua estrutura.

Recentemente, foram realizadas pesquisas científicas para avaliar o comportamento térmico dos telhados vegetados, e sugerem que as funções biológicas das plantas são responsáveis pela absorção de certa porção da radiação solar incidente, promovendo o resfriamento passivo da cobertura. Além do efeito citado, deve-se mostrar que o efeito de sombreamento da camada de vegetação sobre as superfícies construídas, a baixa difusividade térmica devido à camada de solo úmida, o albedo (poder refletor de um corpo não luminoso que difunde a luz recebida) da vegetação, ajudam na diminuição de temperaturas superficiais e uma conseqüente diminuição do fluxo de calor para o interior do edifício (DEL BARRIO, 1998).

Por algum tempo imaginou-se que os telhados vegetados funcionavam como isolantes térmicos, e com o passar do tempo mostraram que eles funcionam como dispositivos armazenadores de calor. Sua eficiência neste processo é devido, principalmente, à sua grande capacidade térmica ligado a grandes trocas de calor latente.

A redução do fluxo de calor para dentro de edifícios é de grande importância e interesse para ajudar a melhorar o conforto térmico interno, devido à diminuição de ganhos térmicos excessivos na cobertura nas horas mais quentes. Essa diminuição de ganhos térmicos implica em menos consumo de energia e gasto com equipamentos de condicionamento do ar.

Com o objetivo de verificar mais detalhadamente a melhoria do desempenho térmico e a economia de energia da edificação usando a prática do telhado vegetado, muitas pesquisas foram realizadas. Liu (2003) realizou estudos em uma edificação experimental em Ottawa, que possuía um telhado vegetado e um telhado convencional de concreto de mesmas dimensões, sendo os dois monitorados e com as condições de utilização controladas. Ao final do trabalho chegou-se à conclusão de que a energia requerida para o condicionamento devido ao fluxo de calor através do telhado vegetado foi reduzido em mais de 75%. Foi mostrado também nos estudos que o telhado convencional tem uma demanda diária média de energia de 6,0 a 7,5 kW/dia, enquanto que o telhado vegetado possui uma demanda de 1,5 kW/dia para resfriamento.

3.5 Sistemas de sombreamento

O sombreamento é um fator bastante importante para um bom comportamento térmico de fachadas de edificações. O projeto das dimensões e características devem seguir algumas regras, levando em consideração as diferentes alturas e azimutes do sol durante o ano, e pela análise das respectivas cartas solares.

O sombreamento pode ser feito através de elementos naturais, através de vegetação e posição com relação ao relevo geográfico. Pode ser feito também por meio da concepção arquitetônica da edificação, através da posição relativa da edificação com relação a outras edificações ao redor, através do volume e forma da construção. Além dos elementos citados, o sombreamento pode ser realizado

por meio de alguns elementos construtivos acessórios tais como palas (metálicas, de concreto armado, de madeira, etc), brises e estores reguláveis, com a versatilidade de possuir vários graus de transparência e regulação do fluxo solar, e com a vantagem de ter baixo peso e custo. A imagem a seguir (Fig. 3.4) mostra alguns dos modelos de sistemas de sombreamento que podem ser usados.

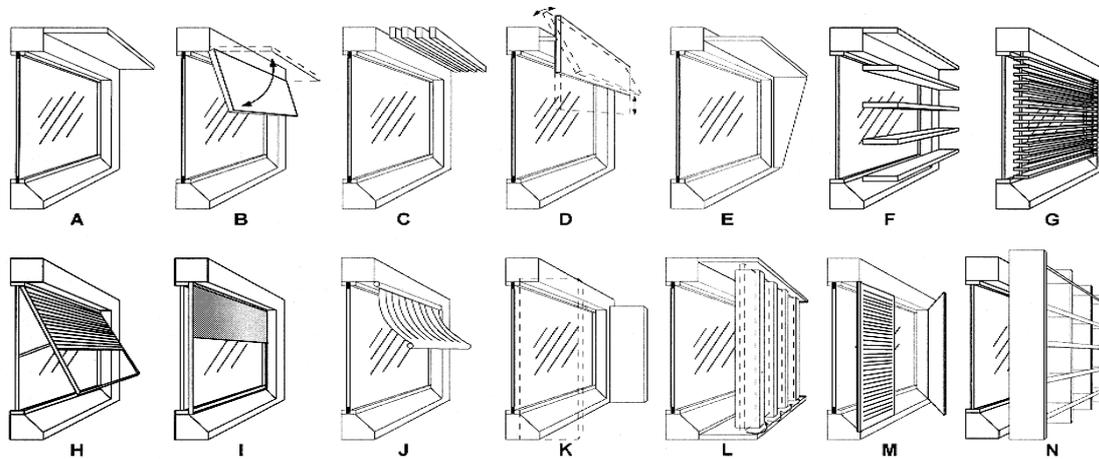


Figura 3.5 - Exemplos de sistemas de proteção solar exteriores de janelas (NTT, 2010).

O uso de sistemas de sombreamento fixos são menos versáteis do que os elementos móveis e/ou com orientação regulável. Outro fator importante na vantagem do uso de sistemas de sombreamento móveis e/ou com orientação regulável é com relação ao inverno e verão, devido à redução das perdas de calor por transmissão e do controle da penetração do sol. O efeito dos elementos de sombreamento pode ser expresso pelo coeficiente de sombreamento ou pelo fator de ganhos solares (fração de energia solar que passa por um envidraçado em relação à energia incidente).

As tabelas (3.2) e (3.3) mostram, respectivamente, o coeficiente de sombreamento para sistemas de sombreamento e isolamento noturno, e valores do fator solar de alguns tipos de proteção solar de vãos envidraçados geralmente utilizados. Com base nas tabelas e levando em consideração o verão, que é a época mais quente do ano, o uso de proteções de cor clara no exterior é bastante eficaz, uma vez que, impede que a radiação direta atinja o vidro e faz com que a ventilação obtida no exterior permita a dissipação do calor absorvido pelo elemento de sombreamento e refletido pelo vidro.

Tabela3.2 - Coeficiente de sombreamento (FABUTE, 2003).

Tipo	Só vidro	Estore veneziano ou cortina interiores			Estore veneziano exterior		Pala exterior		Tecido exterior		
		claro	médio	escuro	claro	médio	médio	escuro	claro	Médio ou escuro	
Vidro incolor 3 mm	1,00	0,56	0,65	0,73	0,15	0,13	0,22	0,15	0,15	0,25	
Vidro incolor 6 mm	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,21	0,14	0,24	
Vidro absorvente	a = 0,40-0,48	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,18	0,12	0,20
	a = 0,48-0,58	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
	a = 0,58-0,70	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,14	0,10	0,16
Vidro duplo	d = 3 mm	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,20	0,14	0,22
	d = 6 mm	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,18	0,12	0,20
	a = 0,48-0,58 ext.	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,13
	d = 3 mm int.	0,50	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,12
Vidro triplo	d = 3 mm	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,18	0,12	0,20
	d = 6 mm	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	0,17

Tabela 3.3 – Valor do fator solar de alguns modelos de proteção solar (RCCTE, 2006).

Tipo		Vidro simples			Vidro duplo		
		Cor da protecção			Cor da protecção		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Protecções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persiana metálica ou plástica	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano metálico	-	0,14	-	-	0,09	-
	Estore de lona opaco	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Estore de lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Estore de lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
	Pala (ou equivalente) com sombreamento total de Junho a Setembro	-	0,25	-	-	0,22	-
Protecções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,34	0,45	0,57	0,39	0,54	0,63
	Cortinas pouco transparentes	0,36	0,47	0,59	0,39	0,54	0,63
	Cortinas muito transparentes	0,39	0,50	0,61	0,42	0,55	0,68
	Portadas de madeira	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas de madeira	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65

Ao se usar elementos de proteção solar, um efeito de isolamento é criado. Isso se deve ao fato de que o espaço de ar formado entre o dispositivo de sombreamento e o vidro aumenta a resistência térmica. Segundo FABUTE (2003), esse isolamento pode ser melhorado de algumas formas, tais como:

- A radiação enviada para o ambiente pode ser diminuída usando proteções solares que possuem revestimentos de baixa emissividade;
- O uso de dois ou mais elementos de sombreamento formam mais espaços de ar, aumentando ainda mais a resistência térmica;
- Quanto mais fechados forem os espaços de ar formados, maior será a resistência térmica;

- Um aumento da resistência térmica pode ser obtido usando materiais isolantes, como por exemplo o PVC, a madeira ou o alumínio com núcleo de espuma.

3.6 Vidros especiais

O uso de vidros especiais tem sido cada vez maior, beneficiando os espaços interiores em termos de isolamento, cujo comportamento térmico consiste em diminuir a quantidade de energia solar que entra nos ambientes evitando o aquecimento indesejado do interior e deixando entrar luz solar natural. Hoje existe uma variedade de vidros especiais disponíveis no mercado, tais como os vidros refletivos (metalizados), vidros duplos, vidros triplos, etc.

O vidro refletivo (metalizado) recebe uma camada de metalização que reflete os raios solares. O desempenho térmico desse tipo de vidro varia de acordo com o processo de metalização, cor do substrato e o tipo de óxido metalizado usado. É um dos tipos de vidros mais usados em edificações, pois possui um preço mais acessível e garante um bom conforto térmico interno para os ambientes da edificação. A Figura (3.6) mostra como acontece a proteção solar desse tipo de vidro, onde a radiação solar incidente é amortizada pela camada de vidro externa através de reflexão, uma parte do calor é re-irradiado para o exterior devido a camada metalizada e outra parte desse calor é absorvido pela camada metalizada, deixando passar apenas uma parte da radiação solar total incidente para o ambiente interno.

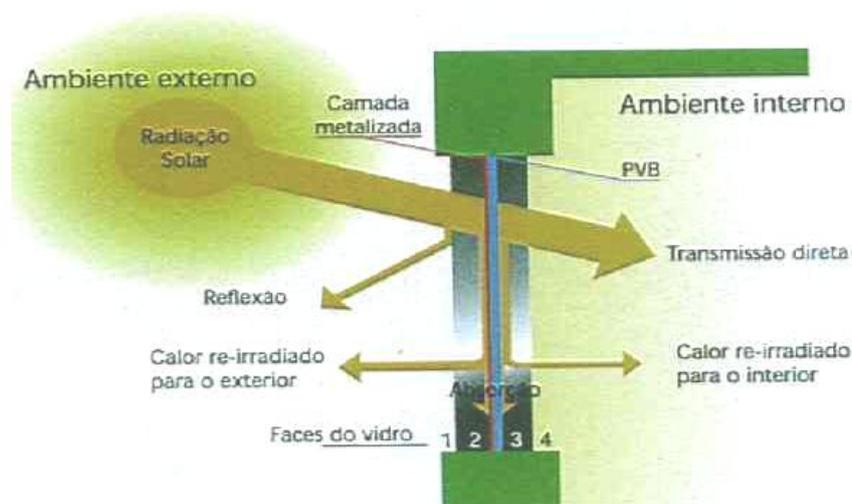


Figura 3.6 – Efeito da proteção dos vidros refletivos (UFS, 2002).

O vidro duplo é um dos tipos mais conhecidos de vidros especiais e é formado por duas folhas de vidro separadas por um perfil em alumínio, cujo espaço formado entre elas é preenchido com ar desidratado ou um gás inerte. Ao se usar um gás inerte ou ar desidratado no interior das folhas de vidro em vez de ar normal evita-se a condensação no interior dos vidros, e as trocas de calor entre os

dois painéis é bastante reduzido, aumentando o isolamento térmico. A figura (3.7) ilustra como um vidro duplo é formado.

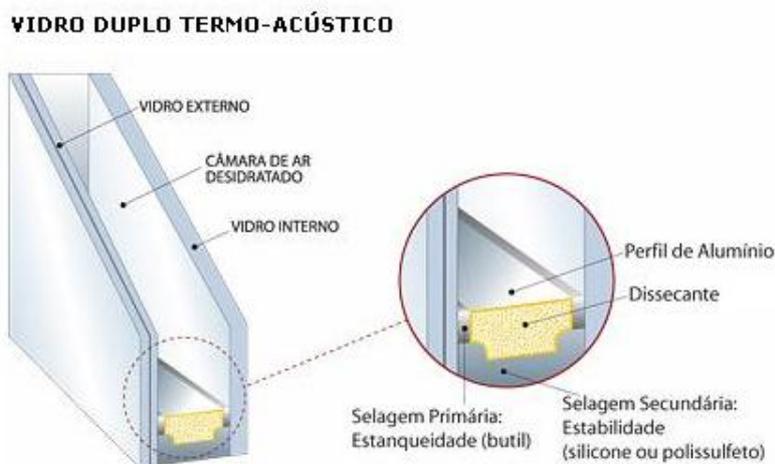


Figura 3.7 - Esquema das partes de um vidro duplo (Scheid, 2009).

Além de funcionar como isolante térmico, os vidros duplos podem também funcionar como isolantes acústicos, reduzindo bastante o ruído transmitido. Essa característica de isolamento sonoro é bastante interessante para locais que se deseja obter o mínimo de ruído e que esteja localizado em alguma região com excesso de barulho (ruas movimentadas, centros de comércio, etc.).

Apesar de possuir boas características termo-acústicas e ajudar a aumentar a eficiência de uma edificação, os vidros duplos possuem algumas desvantagens, tais como o seu alto custo e o fato a pessoa não poder abrir a janela, precisando assim colocar um sistema de condicionamento de ar para suprir a falta de ventilação e renovação de ar, que é muito importante em locais onde há a presença de muitas pessoas.

Os vidros estão sujeitos a mecanismos de transferência de calor por condução, convecção e radiação. A seguir (Fig. 3.8) segue um exemplo de comparação dos mecanismos de transferência de calor para janelas de vidro simples e duplo, onde a perda de calor a partir da sala é significativamente reduzida pelo painel de dupla construção.

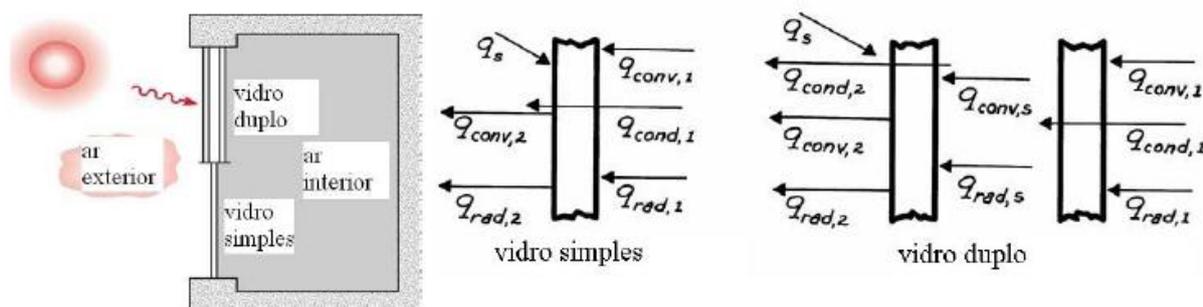


Figura 3.8 – Mecanismo de transferência de calor em vidros simples e duplos (INCROPERA, 2008).

Onde:

q_s – Radiação solar incidente durante o dia, onde a fração transmitida pelo vidro duplo é menor que a transmitida pelo vidro simples;

$q_{\text{conv},1}$ – Convecção entre a superfície interior da janela e o ar interior;

$q_{\text{rad},1}$ – Fluxo radiativo útil trocado entre as paredes do quarto e a superfície interior da janela;

$q_{\text{cond},1}$ – Condução através do vidro que tem superfície interior em contato com o ar interior;

$q_{\text{conv},2}$ – Convecção entre a superfície exterior da janela e o ar exterior;

$q_{\text{rad},2}$ – Fluxo radiativo útil trocado entre a envolvente e a superfície exterior da janela;

$q_{\text{cond},2}$ – Condução através do vidro que tem superfície interior em contato com ar exterior na janela de vidro duplo;

$q_{\text{conv},s}$ – Convecção no espaço entre vidros (janela de vidro duplo);

$q_{\text{rad},s}$ – Fluxo radiativo útil entre as superfícies dos vidros que limitam o espaço entre vidros.

Muitas pesquisas e estudos estão sendo realizados para desenvolver novos vidros capazes de melhorar a eficiência térmica em ambientes. A Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Santa Catarina (UFSC) realizou pesquisas demonstrando que certos materiais aplicados às janelas garantem isolamento em cerca de 50%, tratando-se da janela térmica. Segundo o professor Kamal Abdel Radi Ismail (2003) o sistema é simples, é realizado uma mistura com glicol (substância líquida muito usada na indústria cosmética e facilmente encontrada no mercado) que é aplicado diretamente no vidro da janela, que acaba se solidificando. A radiação solar faz com que as camadas do composto se derretam e calor seja absorvido. No período da noite o calor absorvido durante o dia é liberado para o ambiente, estando pronto para absorver mais energia no dia seguinte.

3.6.1 Softwares para determinação de características de vãos envidraçados

Para um estudo mais complexo, engenheiros e arquitetos dispõem de ferramentas computacionais para análise térmica de vãos envidraçados. Hoje existe uma série de ferramentas que permitem determinar características térmicas, solares e ópticas de vãos envidraçados, tais como os softwares WINDOW 6, THERM 6, WIS, etc. Eles facilitam bastante o trabalho de análise térmica de projetistas, pois permitem um estudo completo dos envidraçados antes de aplicá-los em construções de edificações.

O WINDOW 6 e o THERM 6 são softwares desenvolvidos pelo Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL) para engenheiros, arquitetos e estudantes. O WINDOW 6 permite definir e calcular as propriedades térmicas e ópticas dos envidraçados e dispositivos de oclusão. O THERM 6 é baseado em uma análise de elementos finitos e permite determinar a condução de calor através de geometrias complexas. Os dois softwares estão interligados, pois uma vez que calculadas as

propriedades no WINDOW 6, estas podem ser integradas no THERM 6 para determinar o desempenho de todo o vão envidraçado (MENDES, 2011).

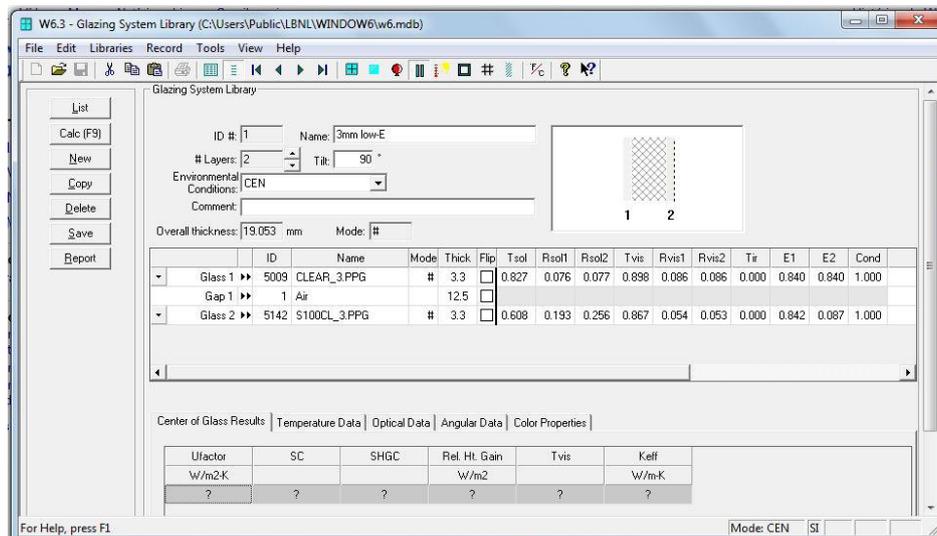


Figura 3.9 – Interface do WINDOW 6 para definição de características do envidraçado (MENDES, 2011).

Estes programas são geralmente usados por fabricantes de janelas para avaliar o desempenho térmico de seus produtos. Estes softwares foram escolhidos pelo NFRC (National Fenestration Rating Council), que é um organismo americano responsável pela classificação do desempenho das janelas produzidas nos Estados Unidos, para desenvolvimento da classificação energética das janelas. Na figura a seguir segue um exemplo de simulação feito no THERM 6, onde as cores representam as temperaturas que se verificam no interior das janelas.

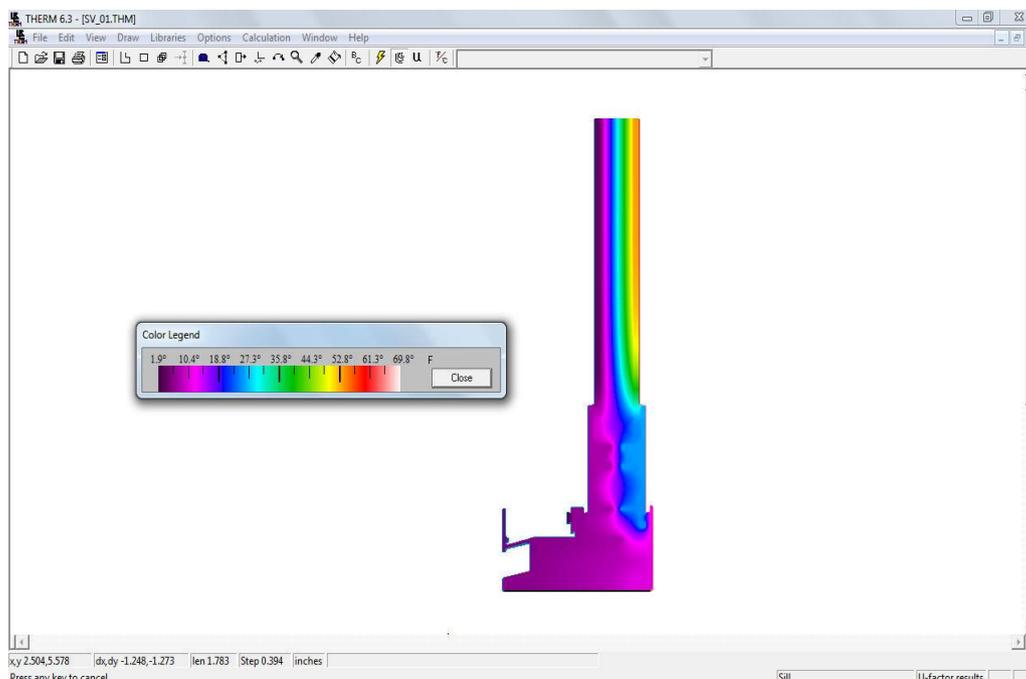


Figura 3.10 – Interface de simulação do THERM 6 (MENDES, 2011)

4 CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Este capítulo apresenta os aspectos gerais e alguns exemplos de certificações de eficiência energética de relevância nacional e internacional.

4.1 Aspectos gerais

A preocupação com a conservação da energia vem crescendo a cada dia que passa em todo o mundo. Assim, a proposta de certificação energética para racionalização dos recursos energéticos é um conceito já usado em diversos países como EUA, Canadá, Espanha, Portugal, Austrália, entre outros. A primeira norma de eficiência energética em edificações foi a Standard 90 – *Energy Conservattion in New Building Design*, que foi criada como parte do programa dos EUA de incentivo à eficiência energética. Em evolução ao longo dos anos essa norma tornou-se cada vez mais importante, para edificações não-residenciais a ASHRAE, em 1989, apresentou a norma Standard 90.1.

O objetivo desta norma é apresentar os requisitos mínimos de eficiência energética para as edificações. Mais de 40 estados dos Estados Unidos utilizam a Standard 90.1, e no mundo ela é a base da certificação de mais de 78 países. Algumas certificações, tais como a certificação LEED e o PROCEL EDIFICA usam a Standard 90.1 como base de parâmetros.

As certificações aqui apresentadas servirão também, para o próximo capítulo, para ver a contribuição que cada solução passiva em climatização, de cada edificação apresentada, possui na pontuação e avaliação de cada certificação energética mostrada nesse capítulo.

A seguir são mostradas algumas das certificações mais importantes no Brasil e no mundo, que são:

- Certificação BREEAM
- Certificação LEED;
- Certificação AQUA;
- PROCEL EDIFICA.

4.2 Certificação BREEAM

A certificação BREEAM foi o primeiro sistema em todo o mundo, criado na década de 90 na Inglaterra, a oferecer um selo ambiental para edificações. A denominação BREEAM significa – *Building Research Establishment Enviromental Assessment Method* – Método de Avaliação Ambiental do Estabelecimento de Pesquisa do Edifício.

O principal objetivo da certificação BREEAM é contribuir para o desenvolvimento do ambiente construído, fazendo avaliações e propostas mais sustentáveis para diferentes programas de projeto, incentivando a transparência e o atendimento de conforto e necessidades das pessoas agora e em gerações futuras.

O sistema de pontuação da BREEAM pontua edificações que geram benefícios ambientais, de conforto e saúde para os ocupantes a partir do conceito de prevenção de impactos no planeta. A seguir segue as áreas de avaliação da edificação:

- Energia – trata da eficiência energética e dióxido de carbono.
- Gerenciamento – trata da política de gerenciamento da obra do edifício.
- Bem estar e saúde – trata de aspectos quanto à qualidade do ar, iluminação e som.
- Transporte – CO₂ e localização relacionados a transporte.
- Água – trata do seu consumo e eficiência do seu uso nas edificações.
- Materiais – trata de aspectos do tipo de material usado, impactos incorporados nos materiais, incluindo ciclo de vida e CO₂.
- Resíduos – trata da eficiência dos recursos usados para construção e gerenciamento dos seus descartes.
- Uso da terra – trata do uso ecológico dos terrenos da obra.
- Poluição – trata do controle de poluição do ar exterior e da água.
- Ecologia – valor ecológico e preservação do terreno.

A pontuação total obtida na avaliação da certificação é feita com base soma dos créditos somados em cada área vezes um fator de peso ambiental que cada uma tem nas diferentes regiões do planeta. A soma dos créditos é traduzida para a escala de pontuações da sustentabilidade do empreendimento, dada por:

- Pass – 30%.
- Good – 55%
- Very Good – 55%
- Excellent – 70%
- Outstanding – 85%

No Brasil já existe um conjunto de oito casas, dentro de um conceito de vila sustentável, que está sendo implantado na região serrana do Rio de Janeiro denominado Movimento Terras. Este empreendimento será o primeiro do Brasil a obter uma certificação BREEAM.



Figura 4.1 – Projeto Movimento Terras (Fabrício Pinheiro, 2012).

4.3 Certificação LEED

A certificação LEED (*“Leadership in Energy and Environmental Design”*) é um sistema americano de certificação aplicado pelo USGBC (*“United States Green Building Council”*) que leva em consideração o impacto gerado ao meio ambiente em consequência dos aspectos relacionados à edificação (projeto, construção e operação). Hoje em dia no Brasil a GBC Brasil (*“Green Building Council Brasil”*) é a entidade responsável pela adaptação dos critérios do LEED para as condições e realidades brasileiras.

Na a certificação LEED versão v3 o prédio é avaliado em sete categorias, que são:

- Materiais e Recursos (MR);
- Espaço Sustentável – Site (SS);
- Qualidade do Ambiente Interno (EQ);
- Eficiência no Uso de Água (WE);
- Energia e Atmosfera (EA);
- Inovação e processo do projeto;
- Questões Regionais.

No LEED no existem diferentes pesos atribuídos às categorias e critérios de avaliação. Cada uma das sete categorias (LEED v3, 2009) de avaliação tem o mesmo peso na avaliação, entretanto algumas categorias podem dispor de mais indicadores pontuáveis, representando uma maior contribuição para a obtenção da classificação final.

No processo de obtenção do certificado, o primeiro passo é registrar o projeto no USGBC a fim de indicar se atenderá a todos os pré-requisitos exigidos. Essa parte de candidatura pode ser realizado por meio do site da USBCG. A certificação só será concluída depois da construção da edificação e a confirmação dos pré-requisitos. A quantidade de pontos obtida na avaliação vai determinar a classificação do prédio, que pode ser: Platinum (“platina”), Gold (“ouro”), Silver (“prata”) ou Certificação LEED.



Figura 4.2 – Classificação da avaliação LEED (LEED v3, 2009)

Os pré-requisitos e pontuações de uma certificação LEED vão depender do tipo de empreendimento, que são divididos nas seguintes categorias:

- LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação;
- LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades);
- LEED CS – Projetos de envoltória e parte central do edifício;
- LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo;
- LEED Healthcare – Unidades de saúde;
- LEED EB_OM – Operações de manutenção de edifícios existentes;
- LEED School – Escolas;
- LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais.

Para edificações já existentes a pontuação é dada pela Tabela (4.1), e a distribuição dos créditos de acordo com a categoria de análise é mostrado na Tabela (4.2).

Tabela 4.1 – Créditos necessários de cada tipo de classificação LEED (LEED v3, 2009).

Certificação LEED	LEED Prata	LEED Ouro	LEED Platina
(40 – 49 créditos)	(50 – 59 créditos)	(60 – 79 créditos)	(80 – 110 créditos)

Tabela 4.2 – Distribuição dos créditos de cada categoria de avaliação LEED (LEED v3, 2009).

Categoria de avaliação	Créditos
Materiais e Recursos (MR)	02 pré-requisitos e 10 créditos
Eficiência no uso da água (WE)	01 pré-requisito e 14 créditos
Energia e Atmosfera (EA)	03 pré-requisitos e 35 créditos
Qualidade do Ambiente Interno (EQ)	03 pré-requisitos e 15 créditos
Materiais e Recursos (MR)	02 pré-requisitos e 10 créditos
Inovação e processo do projeto	06 créditos
Questões Regionais	04 créditos

No Brasil temos exemplos de prédios que possuem certificação LEED. Um deles é o Rochaverá Corporate Towers (Fig. 4.2), que é um complexo de escritórios de alto padrão localizado na cidade de São Paulo que recebeu certificação LEED CS – Core and Shell Development Project, na categoria Gold. Dentre as soluções de projeto a fim de ganhar a certificação, foi usado elevadores com sistema de antecipação de chamada e regenerador de energia para reduzir o consumo e ar-condicionado que usa um sistema descentralizado, que possibilita seu desligamento quando não há usuários em um determinado ambiente.



Figura 4.3 – Rochaverá Corporate Towers (Laurimar Coelho, 2012).

4.4 Certificação AQUA

A certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é um processo de gestão de projeto implantado pela Fundação Vanzolini com o objetivo de obter a qualidade ambiental de um empreendimento de construção ou de reabilitação. Essa certificação é uma adaptação da certificação francesa “*Démarche HQE*” para o Brasil.



Figura 4.4 – Símbolo da certificação AQUA

O prédio é avaliado em todas as etapas de sua construção e em cada uma das etapas o empreendimento passa por auditorias e recebe uma certificação daquela fase. A avaliação compreende as seguintes fases:

- Programa – definição das necessidades e o desempenho do projeto;
- Concepção – realização da proposta do projeto e correção de eventuais desvios;
- Realização – é a parte da obra, onde a meta é alcançar o máximo de eficiência com a menor presença de desvios do projeto original;
- Operação – avaliação do desempenho do prédio em uso.

Todo o processo conta com 14 categorias ou objetivos distribuídos em quatro grupos, que são: ecoconstrução, ecogestão, conforto e saúde. A pontuação acontece em três níveis de desempenho: excelente, superior e bom. Para que a edificação seja certificada ela deve obter pelo menos três níveis de desempenho “excelente” e quatro “superior”.

A primeira construção brasileira a receber a certificação Alta Qualidade Ambiental (AQUA) foi a unidade de uma grande revendedora de materiais para construção em Niterói-RJ. Dentre os aspectos construtivos que contribuíram para a certificação pode se citar o uso de piso de concreto polido, que dispensa cera ou removedor e requer pouca água para a limpeza, foi criado um depósito de 150 mil litros de água de reuso para os vasos sanitários, limpeza da loja e manutenção dos jardins. Outros

aspectos importantes foram o uso de ar-condicionado com controle automático e uso de coletores solares para aquecimento da água e iluminação da fachada com leds, que gasta menos energia.



Figura 4.5 – Sede da revendedora em Niterói-RJ (Leroy Merlin, 2012).

4.5 PROCEL EDIFICA

Em dezembro de 1985 foi criado pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), cujo objetivo é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica com o intuito de acabar com desperdícios e reduzir custos. O programa utiliza recursos da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão (RGR). Com base no potencial de conservação de energia que pode ser gerado no setor de edificações, foi criado em 2003 o subprograma, Procel Edifica, voltado à eficiência energética das edificações – EEE aliada ao conforto ambiental. Um dos objetivos principais do Procel Edifica é investir em capacitação tecnológica e profissional, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira para reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações. O programa busca consolidar a etiquetagem de nível de eficiência de edifícios comerciais, de serviços e públicos como obrigatória a prédios que ainda serão construídos.

Os requisitos técnicos e os métodos para classificação das edificações quanto à eficiência energética estão no regulamento da certificação. A avaliação tem como base critérios de normas vigentes da ABNT e ASHRAE Standard 90.1.

Para a certificação são levados em consideração os seguintes parâmetros:

- Desempenho térmico da envoltória do prédio;
- Desempenho do sistema de iluminação;
- Desempenho do sistema de ar-condicionado.

Onde o desempenho térmico da envoltória do prédio corresponde a 30% da nota da avaliação, o desempenho do sistema de iluminação corresponde a 30% e do sistema de ar-condicionado 40% da nota final.

A etiquetagem energética das edificações será obrigatória a partir de 2012 e entraram nessa avaliação edifícios com área útil mínima de 500 m² e/ou com tensão de abastecimento igual ou superior a 2,3 kV, incluindo edifícios com ar-condicionado, parcialmente com ar-condicionado e sem sistema de condicionamento de ar. A classificação, conforme a Figura (4.6), varia de A (maior eficiência) a E (baixa eficiência).

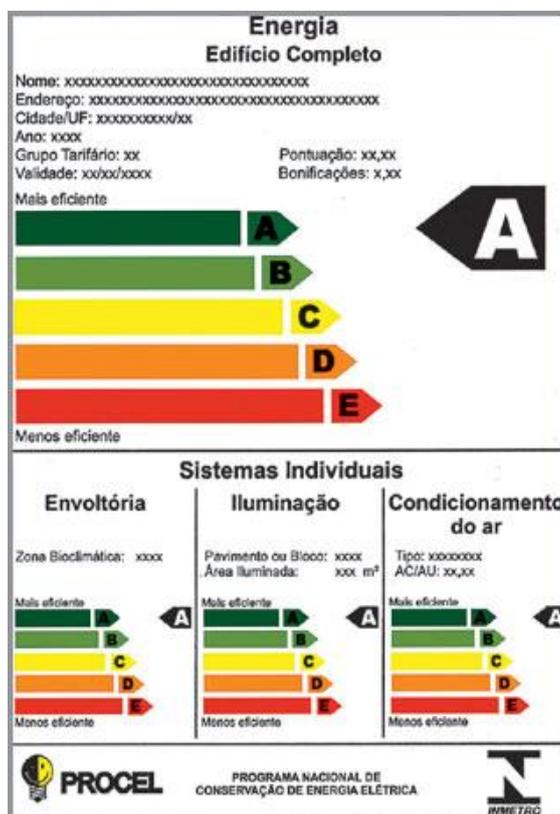


Figura 4.6 – Etiqueta de desempenho energético do programa Procel (Lamberts, 2008).

Com relação ao sistema de ar-condicionado, que possui o maior peso entre os parâmetros de avaliação, sua eficiência será avaliada pelo PBE/Inmetro e de acordo com as normas brasileiras e/ou internacionais de condicionadores de ar. Os equipamentos que não estiverem etiquetados pelo PBE/Inmetro terão de estar com eficiência mínima estabelecidas em tabelas do manual do PROCEL, que seguem o padrão das Tabelas (4.3) e (4.4).

Tabela 4.3. Eficiência mínima de torres de resfriamento e condensadores para classificação nos níveis A e B. Adaptado de ASHRAE (2004).

TIPO DE EQUIPAMENTO	SUBCATEGORIA	DESEMPENHO REQUERIDO	PROCEDIMENTO DE TESTE
Torres de esfriamento com ventiladores helicoidais ou axiais	Temperatura da água na entrada = 35 °C Temperatura da água na saída= 29 °C TBU do ar externo = 24 °C	$\geq 3,23 \text{ l/s}\cdot\text{kW}$	CTI ATC-105
Torres de esfriamento com ventiladores centrífugos	Temperatura da água na entrada = 35 °C Temperatura da água na saída= 29 °C TBU do ar externo = 24 °C	$\geq 1,7 \text{ l/s}\cdot\text{kW}$	CTI ATC-105
Condensadores resfriados a ar	Temperatura de condensação = 52 °C Fluido de teste R-22 Temperatura de entrada do gás = 88 °C Sub-resfriamento = 8 °C TBS na entrada = 35 °C	$\geq 69 \text{ COP}$	ARI 460

Tabela 4.4. Eficiência mínima de resfriadores de líquido para classificação nos níveis A e B. Adaptado de ASHRAE (2004).

TIPO DE EQUIPAMENTO	CAPACIDADE	EFICIÊNCIA MÍNIMA	PROCEDIMENTO DE TESTE
Condensação a ar, com condensador	Todas	2,80 COP 3,05 IPLV	ARI 550/590
Condensação a ar, sem condensador	Todas	3,10 COP 3,45 IPLV	
Condensação a água (compressor alternativo)	Todas	4,20 COP 5,05 IPLV	
Condensação a água compressor do tipo parafuso e scroll	< 528 kW	4,45 COP 5,20 IPLV	
	$\geq 528 \text{ kW}$ e < 1.055 kW	4,90 COP 5,60 IPLV	
	$\geq 1.055 \text{ kW}$	5,50 COP 6,15 IPLV	
Condensação a água (compressor centrífugo)	< 528 kW	5,00 COP 5,25 IPLV	
	$\geq 528 \text{ kW}$ e < 1.055 kW	5,55 COP 5,90 IPLV	
	$\geq 1.055 \text{ kW}$	6,10 COP 6,40 IPLV	

Os cálculos das cargas térmicas de resfriamento e aquecimento devem ser feitos com base em normas e manuais de engenharia de comprovada aceitação nacional ou internacional. O uso de um

sistema de ar-condicionado central deve ser adotado em edificações que possuam carga térmica superior a 350 KW, ou pode ser usado sistemas individuais desde que exista uma comprovação de que os mesmos consomem menos energia para as condições do prédio.

O controle térmico de cada zona térmica, seja para resfriamento ou aquecimento, deverá ter controle individualizado usando termostatos, dando à temperatura do ar indicada para determinada zona. Todo o sistema de ar-condicionado deve ser equipado com pelo menos um dos tipos de controle indicados a seguir:

- Um sensor de ocupação que desliga quando não detectar nenhum ocupante num período de até 30 minutos;
- Um temporizador de acionamento manual capaz de ter ajuste para operar o sistema por até duas horas;
- Sistema com integração com o sistema de segurança e alarmes da edificação, onde o sistema de ar-condicionamento é desligado quando o sistema de segurança é ativado;
- Controles que possam acionar e desativar o sistema sob diferentes condições de rotina de funcionamento, para todos os dias da semana, capazes de manter a programação e possuírem ajustes durante a falta de energia por pelo menos 10 horas.

Além dos requisitos para o sistema de condicionamento do ar, vale ressaltar também alguns pré-requisitos do sistema de iluminação, tais como soluções de iluminação que permitam combinar iluminação natural e artificial e sistemas que permitam desligamento automático da iluminação de acordo com a ocupação. Alguns pré-requisitos da envoltória da edificação também são importantes, tais como a adequação dos materiais das fachadas às condições bioclimáticas da região em que o prédio está localizado e fachadas que promovam sombreamento em aparelhos de ar condicionado de janela.

4.6 Quadro comparativo

A seguir segue o quadro comparativo entre as certificações energéticas. A partir dele pode-se observar as diferenças entre cada uma delas.

Tabela 4.5 – Tabela comparativa entre as certificações de eficiência energética.

Símbolo	Certificação	Método
	<p>LEED (“Leadership in Energy and Environmental Design”) é um sistema americano de certificação aplicado pelo USGBC (“United States Green Building Council”) que leva em consideração o impacto gerado ao meio ambiente em consequência dos aspectos relacionados à edificação (projeto, construção e operação)</p>	<p>Avaliação da edificação em sete categorias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiais e Recursos (MR); • Espaço Sustentável – Site (SS); • Qualidade do Ambiente Interno (EQ); • Eficiência no Uso de Água (WE); • Energia e Atmosfera (EA); • Inovação e processo do projeto; • Questões Regionais.
	<p>BREEM (“Building Research Establishment Environmental Assessment Method”) é uma certificação inglesa que visa contribuir para o desenvolvimento do ambiente construído, fazendo avaliações e propostas mais sustentáveis para diferentes programas de projeto. Incentiva a transparência e o atendimento de conforto e necessidades das pessoas agora e em gerações futuras.</p>	<p>Avaliação da edificação em dez categorias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energia • Gerenciamento • Bem estar e saúde • Transporte • Água • Materiais • Resíduos • Uso da terra • Poluição • Ecologia
	<p>AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é um processo de gestão de projeto implantado pela Fundação Vanzolini com o objetivo de obter a qualidade ambiental de um empreendimento de construção ou de reabilitação. Essa certificação é uma adaptação da certificação francesa “Démarche HQE” para o Brasil.</p>	<p>Todo o processo conta com 14 categorias ou objetivos distribuídos em quatro grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ecoconstrução • ecogestão • conforto • saúde
	<p>PROCEL EDIFICA foi criado em 2003 visa investir em capacitação tecnológica e profissional, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira para reduzir o consumo de energia elétrica nas edificações. O programa busca consolidar a etiquetagem de nível de eficiência de edifícios comerciais, de serviços e públicos como obrigatória a prédios que ainda serão construídos.</p>	<p>Para a certificação são levados em consideração as categorias de análise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desempenho térmico da envoltória do prédio; • Desempenho do sistema de iluminação; • Desempenho do sistema de ar-condicionado.

5 CARACTERIZAÇÃO DE EDIFICAÇÕES E CASO DE ESTUDO

Este capítulo apresenta vários edifícios que fazem o uso de soluções passivas para climatização. Os mesmos são caracterizados e mostrados as soluções passivas que possuem. Dentre os mesmos, um deles é o caso de estudo do trabalho.

O presente capítulo apresenta o caso de estudo desse trabalho, o Memorial Darcy Ribeiro. O mesmo é caracterizado e apresentado suas características construtivas de importância para o estudo desse trabalho. Além do caso de estudo, também é apresentado e caracterizado alguns exemplos de edificações que fazem uso de soluções passivas em climatização, tais como o Centro de Desenvolvimento Sustentável, o TJDFT e a sede de Salvador da Rede Sarah de Hospitais.

5.1 Memorial Darcy Ribeiro

O Memorial Darcy Ribeiro, também conhecido como Beijódromo, é um espaço dedicado à convivência, que foi projetado pelo arquiteto João Filgueiras Lima, mais conhecido como Lelé, cujo trabalho é especialmente reconhecido pelos trabalhos que realizou junto à Rede Sarah de hospitais. O Beijódromo é um local público que abriga o acervo com cerca de 30 mil volumes de Darcy Ribeiro, que foi um dos fundadores da Universidade de Brasília (UnB). O local ainda conta com salas de aula, salas de exposições, cineclube e espaço para estudo.



Figura 5.1 – Memorial Darcy Ribeiro.

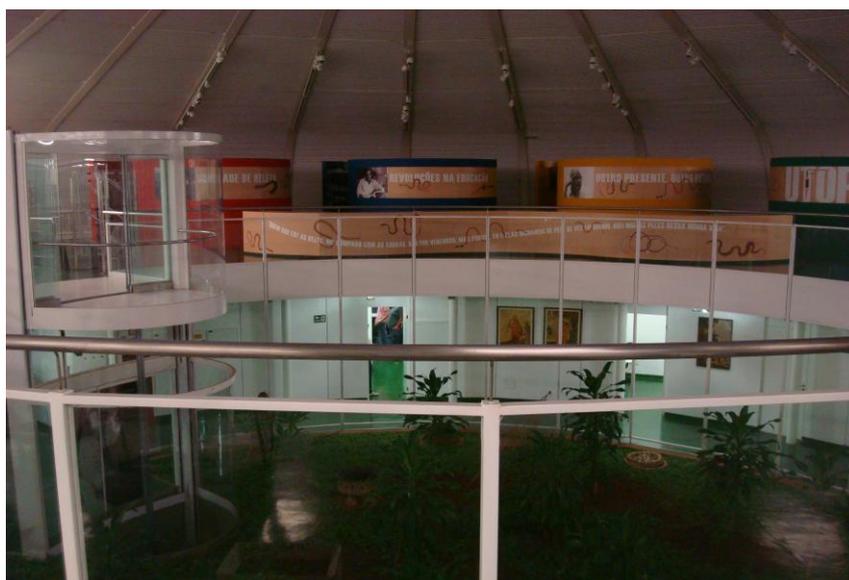


Figura 5.2 - Vista do interior do Beijódromo.

5.1.1 Localização

O Beijódromo está localizado ao lado da Reitoria da UnB, ocupando uma área construída de cerca de 2062,81 m². As imagens a seguir dão uma idéia do posicionamento e orientação do prédio tendo como referencial a cidade de Brasília e a Universidade de Brasília.

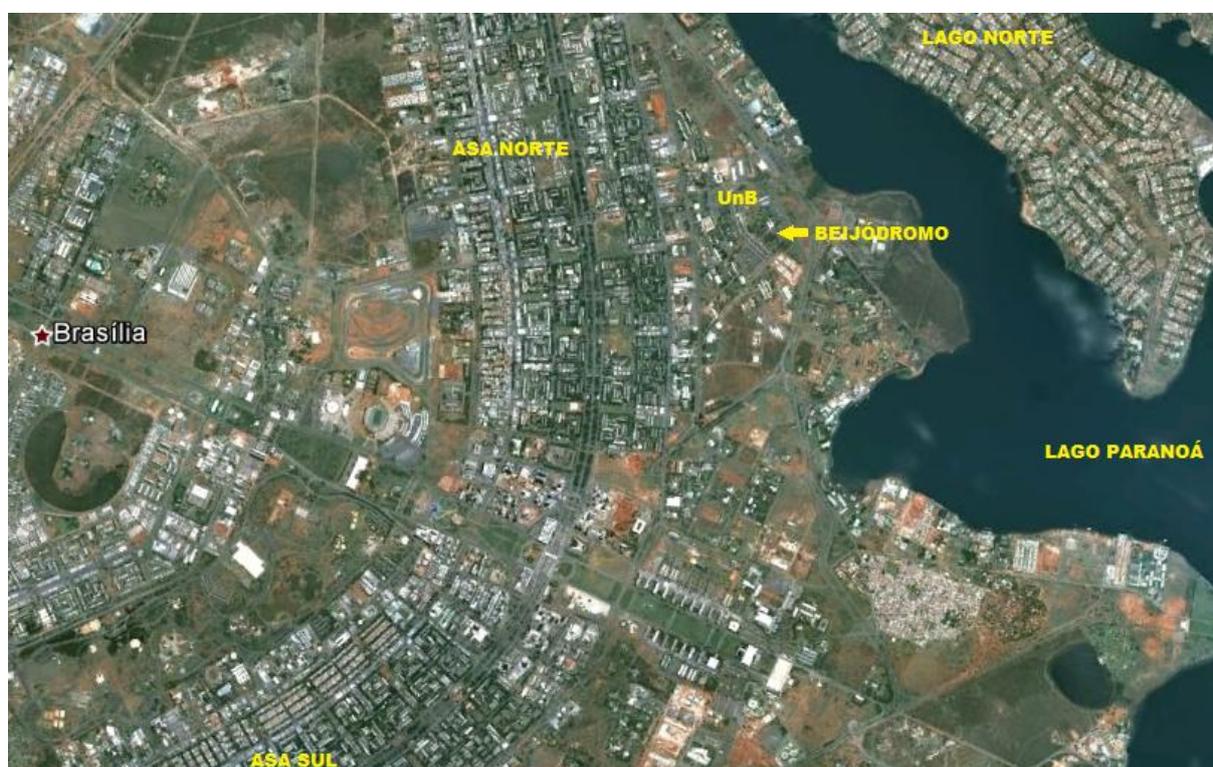


Figura 5.3 - Localização do Beijódromo em Brasília (Google Earth, 2012).



Figura 5.4 - Localização do Beijódromo na UnB (Google Earth, 2012)

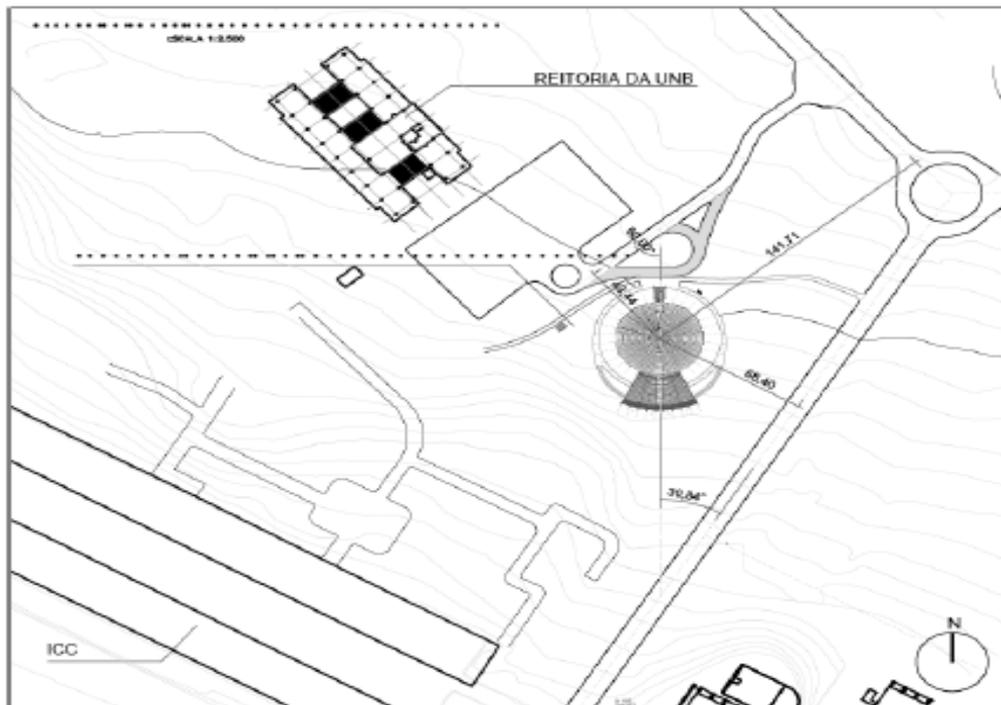


Figura 5.5 - Orientação espacial do Beijódromo.

5.1.2 Caracterização

O Beijódromo é composto por dois pavimentos. No térreo (Figura 5.6) ficam basicamente as salas de aula, recepção, salas de administração, lanchonete e cineclubes. Já o pavimento superior (Figura 5.7) é composto pelo acervo de Darcy Ribeiro, espaço para exposição, ambientes de pesquisa e espaço de estudo composto de mesas de estudo e computadores. O térreo e o pavimento superior possuem uma área construída respectivamente, de 818,38 m² e 685,38 m².

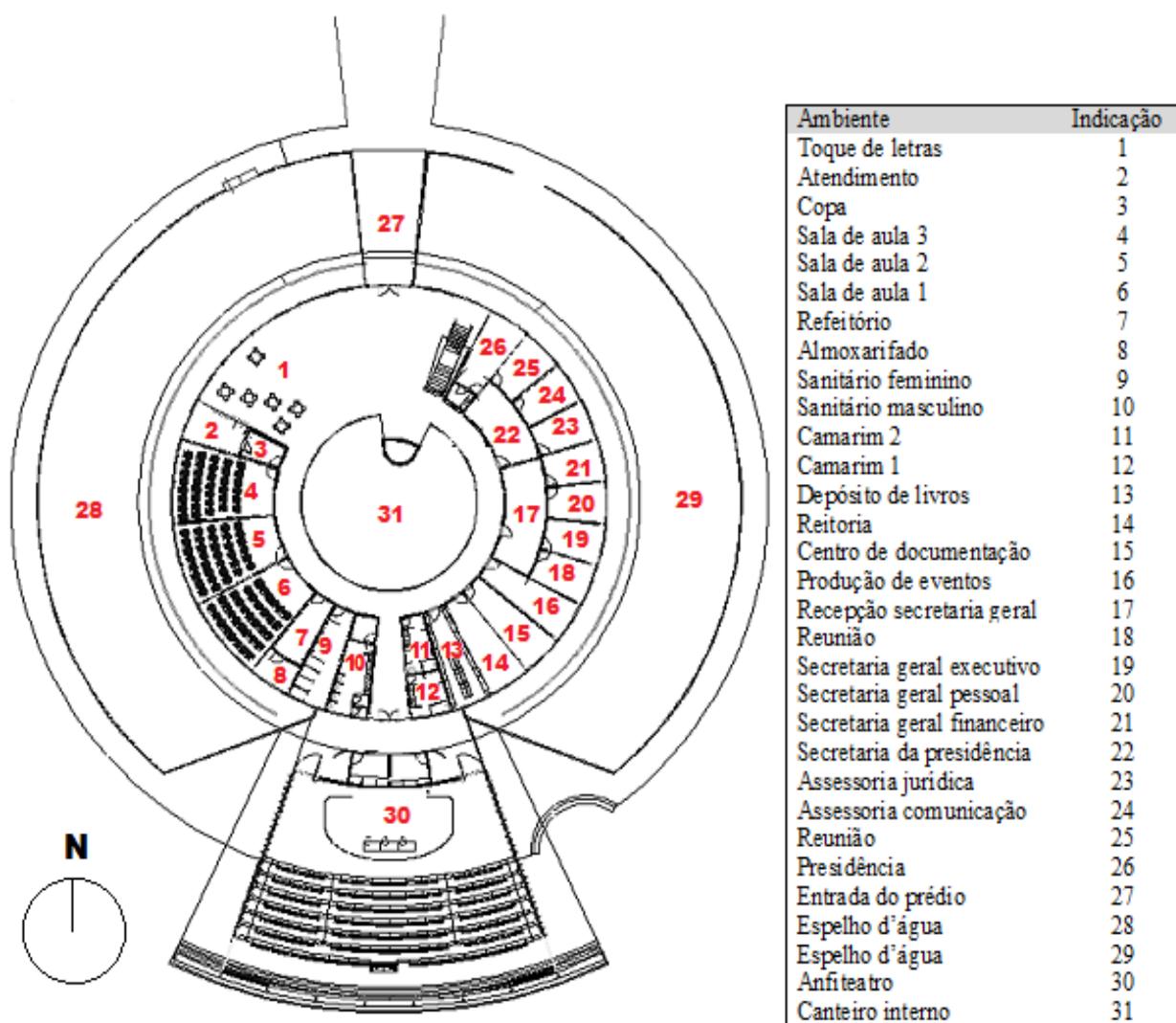


Figura 5.6 - Planta baixa pavimento térreo Beijódromo.

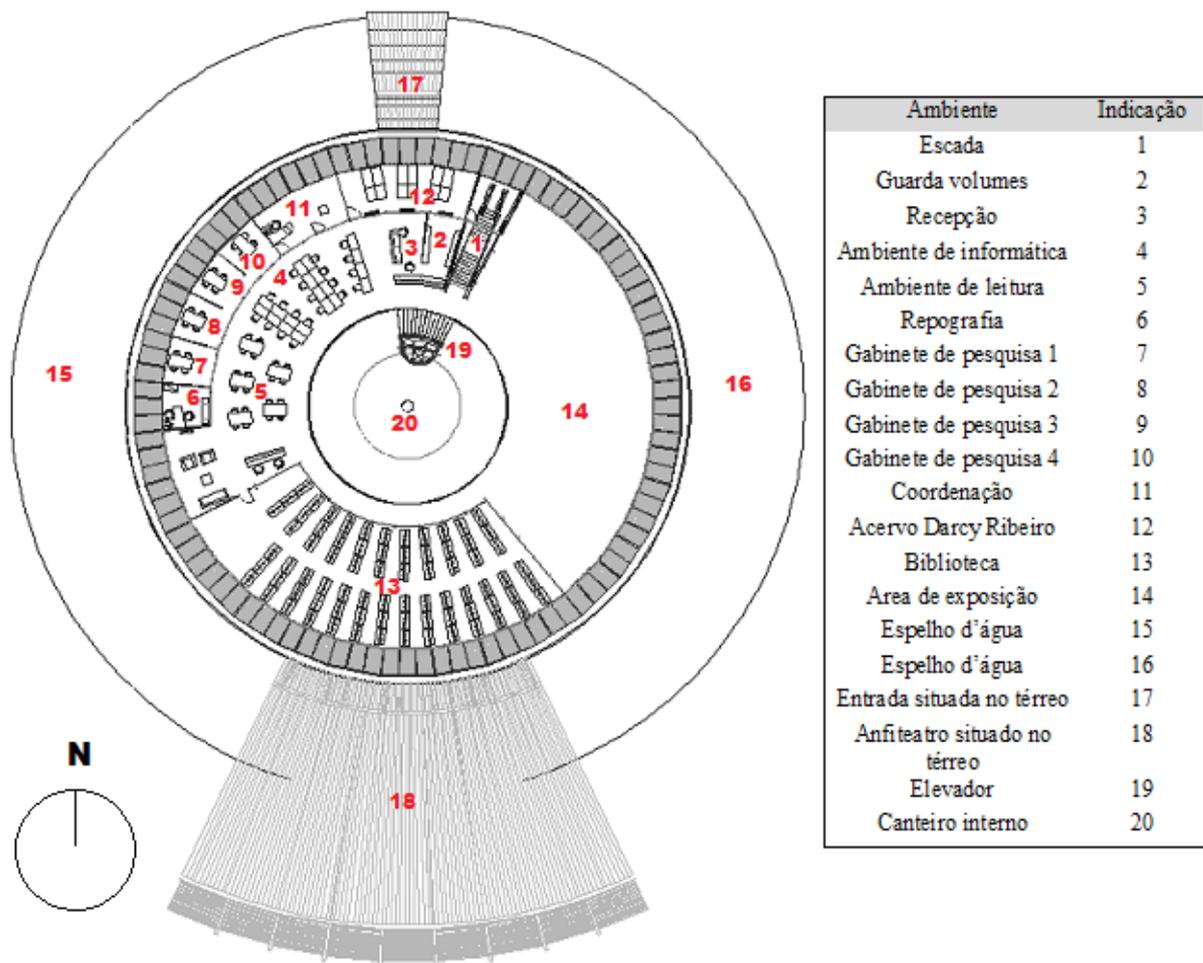


Figura 5.7 - Planta baixa do pavimento superior do Beijódromo.

5.1.3 Soluções passivas adotadas

Além de ser bastante reconhecido pelos trabalhos que realizou junto à Rede Sarah de hospitais, o arquiteto Lelé, é famoso também pela busca da racionalização, da industrialização na arquitetura, uso da iluminação e ventilação natural. No projeto do Beijódromo o arquiteto buscou usar muitas soluções passivas para melhorar a eficiência energética do prédio.

Uma das soluções passivas de climatização usadas pelo arquiteto é o uso de elementos de proteção solar, que no caso foi usado brises, para reduzir a radiação solar incidente no prédio. O tipo de brise usado foi do tipo vertical, que vai fazer com que se evite a passagem de raios solares para a parte envidraçada, que é onde ficam as salas de aula, salas administrativas, etc. A figura a seguir (Fig. 5.8) mostra os brises, em cor amarela, ao longo do prédio.

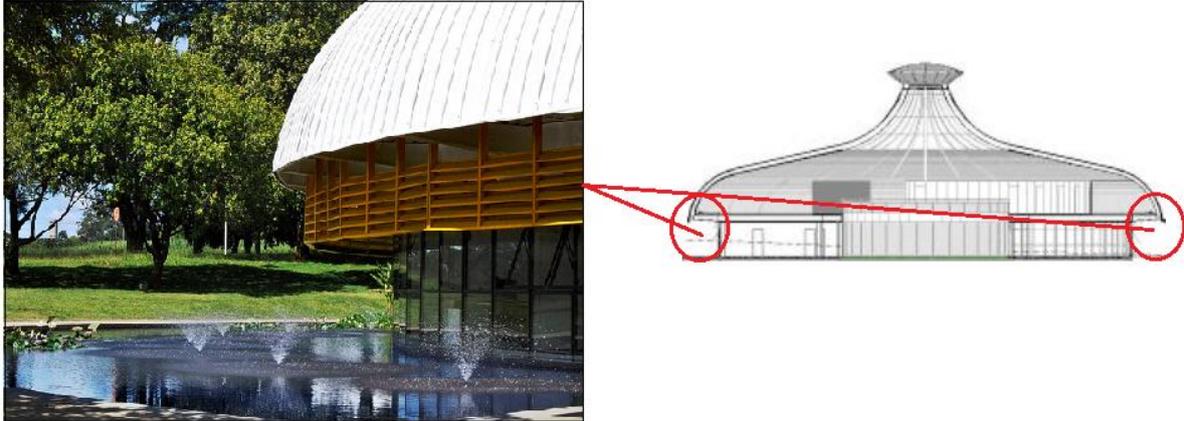


Figura 5.8 - Vistas dos brises usados e sua localização na edificação.

Além dos brises, o arquiteto também usa a ventilação natural em seu projeto. Para isso, ao longo das laterais do pavimento superior do prédio foram usadas telas (Fig. 5.9) ao invés de outro material que fechasse a entrada de ar. Através dessas telas o ar entra para dentro do prédio através da parte superior.

Dentro da edificação o ar é posto a circular dentro de todo o prédio através de um grande exaustor (Fig. 5.10) localizado na cúpula do prédio. É importante ressaltar que o exaustor não é uma solução passiva para climatização, mais sim uma solução mecânica.

Na concepção do projetista o espelho d'água localizado ao redor do prédio tem o papel de umidificar o ar que entra para dentro do prédio, a fim de aumentar o conforto térmico para seus usuários.

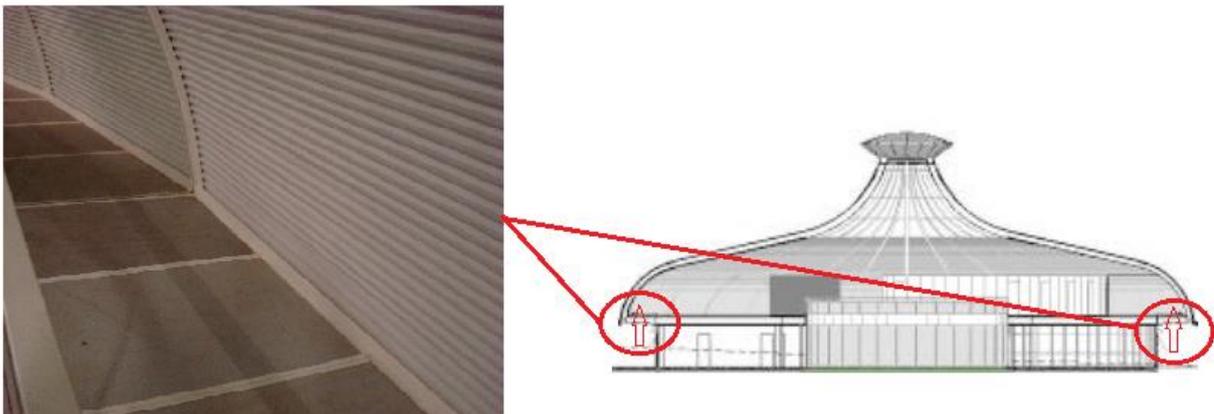


Figura 5.9 - Telas para passagem de ar, sua localização e sentido do fluxo de ar na edificação.

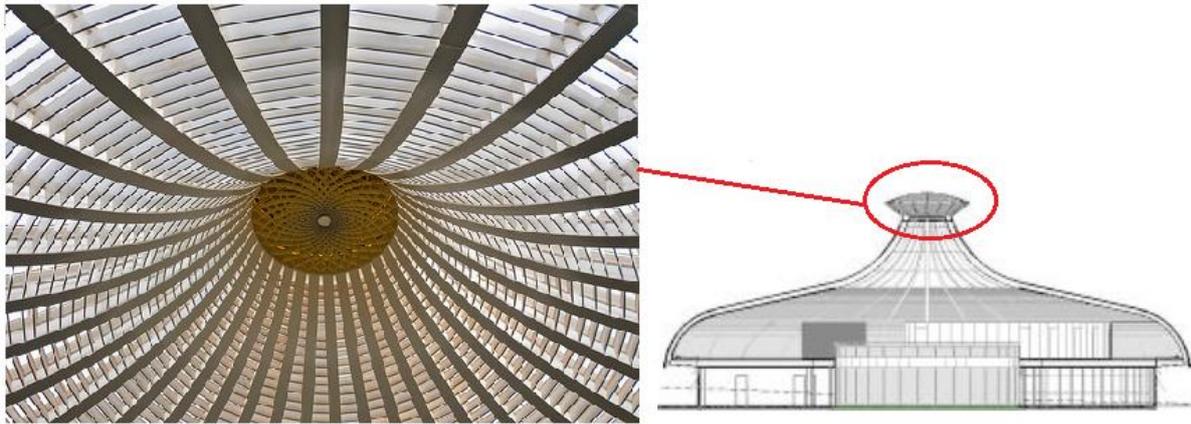


Figura 5.10 - Ventilador localizado atrás da grade amarela na cúpula do prédio.

Assim, o Beijódromo é uma edificação inovadora no aspecto de eficiência energética, que possui diversos elementos para climatização passiva. Com base na sua arquitetura e elementos de climatização passiva será feita uma simulação termo-energética pra avaliar se as soluções passivas são suficientes para garantir o conforto térmico para os usuários, ou se é necessário o uso de equipamentos de condicionamento do ar para garantir esse conforto.

Com base em uma avaliação de certificação energética, tomando como base as certificações de eficiência apresentadas no capítulo anterior, o Beijódromo iria poder pontuar nos seguintes quesitos de cada certificação:

- BREEAM: Quesitos de Energia e Bem Estar e Saúde;
- LEED: Quesitos de Energia e Atmosfera, Qualidade do Ambiente Interno e Inovação e Processos do Projeto;
- AQUA: Quesitos de Conforto e Saúde;
- PROCELEDIFICA: Quesito de desempenho térmico da envoltória do prédio.

5.2 Centro de desenvolvimento sustentável (CDS)

Criado em 1995, o Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS) é uma unidade permanente da UnB, cuja nova sede projetada pelo CEPLAN (Centro de Planejamento Oscar Niemeyer), está em construção. Dedicado ao ensino, à pesquisa e à extensão, o CDS mantém o Programa de pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável, que começou em 1996. O CDS desenvolve estudos interdisciplinares sobre a sociedade e o meio ambiente, que se concentra em sete linhas de pesquisa:

- Políticas Públicas, governança e conflitos socioambientais;
- Energia, resíduos e mudanças climáticas;
- Educação ambiental;

- Ciência, tecnologia e inovação;
- Gestão do território, uso da terra e áreas protegidas;
- Condições de vida e meio ambiente;
- Economia do meio ambiente e negócios.



Figura 5.11 – Maquete da nova sede do CDS.



Figura 5.12 – Construção do CDS (CDS).

5.2.1 Localização

A nova sede do CDS está sendo construída abaixo do CET (Centro de Excelência em Turismo). As imagens a seguir mostram a localização e orientação do CDS tendo como referencial a cidade de Brasília e a Universidade de Brasília.



Figura 5.13 - Localização espacial do CDS em Brasília (Google Earth, 2012).



Figura 5.14 - Localização do CDS na UnB (Google Earth, 2012).

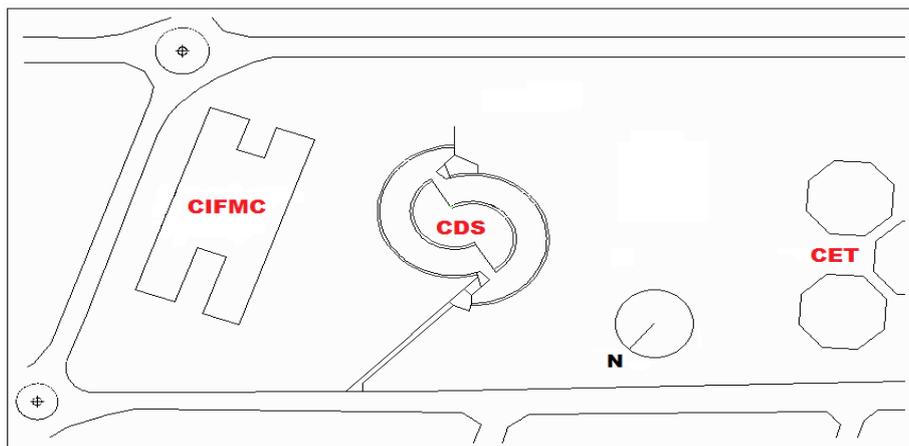


Figura 5.15 - Orientação espacial do CDS (CEPLAN).

5.2.2 Caracterização

A nova sede do centro de desenvolvimento sustentável é composta por dois pavimentos. A figura a seguir (Fig. 5.16) mostra as especificações dos ambientes da planta baixa do térreo.

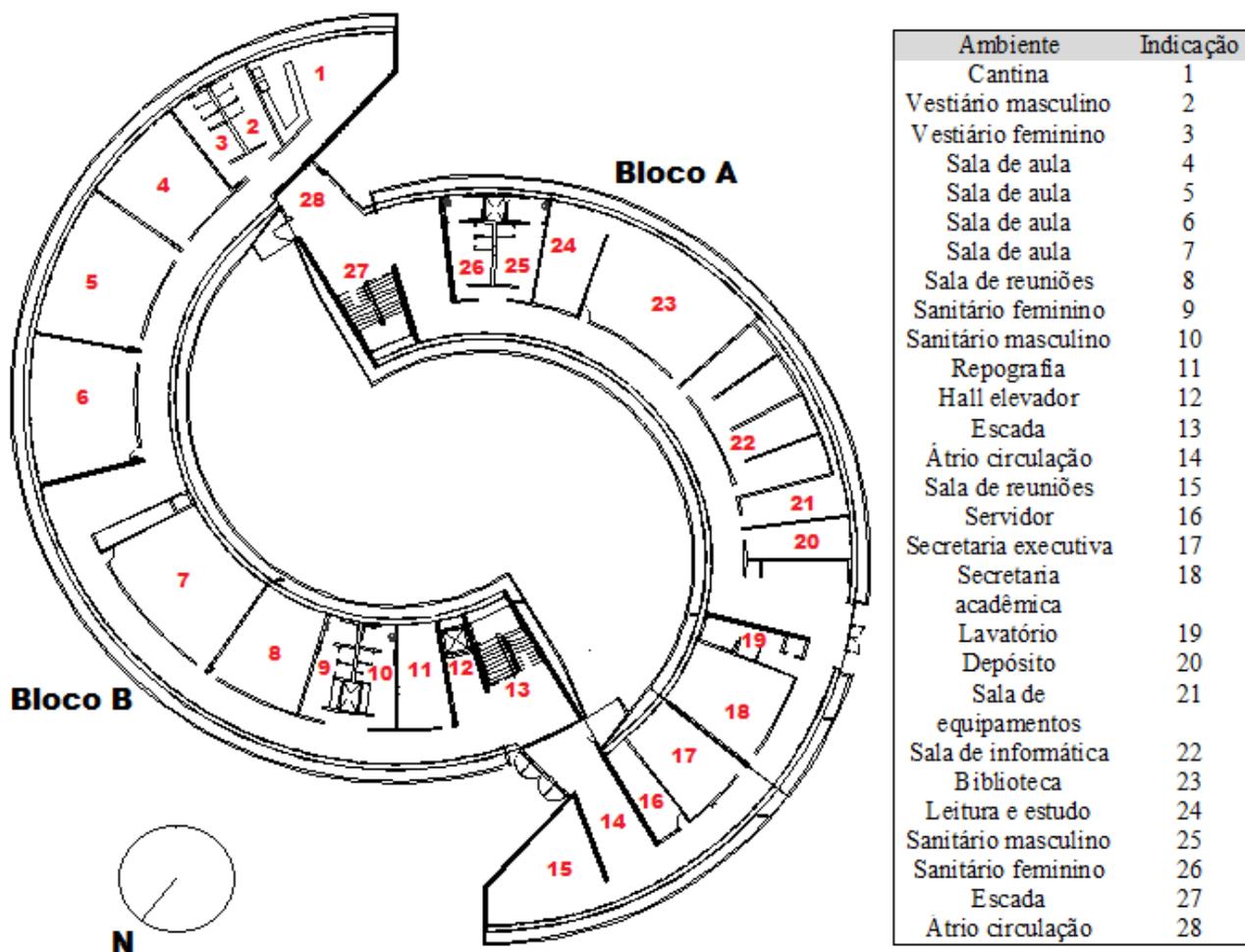


Figura 5.16 - Planta baixa do térreo do CDS (CEPLAN).

A figura a seguir (Fig. 5.17) mostra as especificações dos ambientes da planta baixa do pavimento superior.

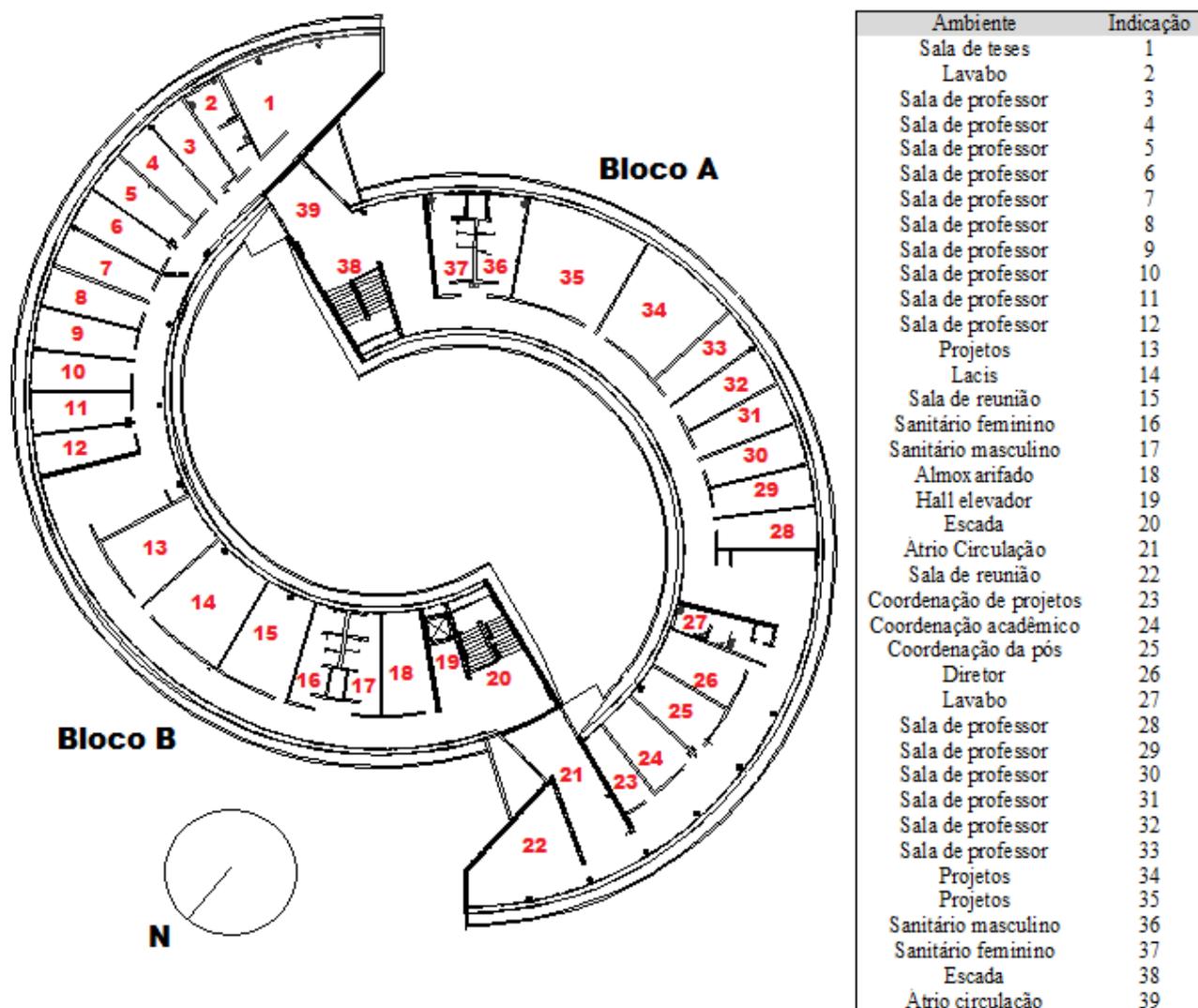


Figura 5.17 – Planta baixa do pavimento superior do CDS (CEPLAN).

5.2.3 Soluções passivas adotadas

O novo prédio do CDS foi projetado pelo CEPLAN da UnB. A edificação possui uma arquitetura inovadora e diferenciada, que faz uso de algumas soluções passivas de climatização, que são:

- Ventilação natural;
- Estruturas de sombreamento.

A arquitetura circular e com uma grande área de circulação de ar no centro do prédio faz com que a ventilação natural contribua para climatização passiva. O ar entra pelo grande vão do prédio e

distribuiu-se para o interior do prédio. Como falado, o resfriamento evaporativo pode ser obtido pelo aumento de áreas verdes ao redor e no interior de edificações, cujo efeito pode ser observado no CDS, onde há a previsão de uso de vegetação no vão interno circular do prédio e a existência de vegetação ao redor do prédio. Com um estudo das características bioclimáticas de Brasília, o uso da ventilação noturna poderia ser usado em determinados períodos de tempo para melhorar ainda mais a eficiência da climatização passiva do prédio.

Outra solução passiva usada no prédio é a previsão, em projeto, da instalações de brises externos para barrar a entrada de raios solares.

Com base em uma avaliação de certificação energética, tomando como base as certificações de eficiência apresentadas no capítulo anterior, o CDS iria poder pontuar nos seguintes quesitos de cada certificação:

- BREEAM: Quesitos de Energia e Bem Estar e Saúde;
- LEED: Quesitos de Energia e Atmosfera e Qualidade do Ambiente Interno;
- AQUA: Quesitos de Conforto e Saúde;
- PROCELEDIFICA: Quesito de desempenho térmico da envoltória do prédio.

5.3 Tribunal de justiça do distrito federal e dos territórios (TJDFT)

Composto por juízes na primeira instância e desembargadores na segunda instância, o Tribunal de Justiça do Distrito Federal e Territórios (TJDFT), é um órgão colegiado que tem a missão de “Proporcionar à sociedade do Distrito Federal e dos Territórios o acesso à justiça e a resolução dos conflitos, por meio de um atendimento de qualidade, promovendo a paz social”. A sede do TJDFT da cidade de Brasília é formada por um conjunto de quatro edifícios, como mostrado na figura seguinte (Fig. 5.18).



Figura 5.18 – Complexo do TJDF (Google Earth, 2012).

O Bloco 1 é um edifício mais restrito, onde estão situados o plenário e o gabinete do Presidente. No Bloco 2 fica os gabinetes dos desembargadores, toda a estrutura da segunda instância e a secretaria geral. O Bloco 3 é usado para ocupação das atividades do tribunal onde se localizam os departamentos de recursos humanos, pagamento, corregedoria, engenharia, e outras. Por fim, no Bloco 4 fica as varas de família, criminal, cíveis, e outras que tratam de processos na primeira instância.

5.3.1 Localização

O complexo do TJDF localizado na cidade de Brasília é situado no eixo monumental e fica perto de edificações muito conhecidas, tais como o Ministério Público do Distrito Federal e dos Territórios, o Palácio do Buriti, o estádio Mané Garrincha e o Memorial JK.



Figura 5.19 – Localização espacial do TJDFT em Brasília (Google Earth, 2012).



Figura 5.20 – Localização do TJDFT com relação a algumas edificações referenciais (Google Earth, 2012).

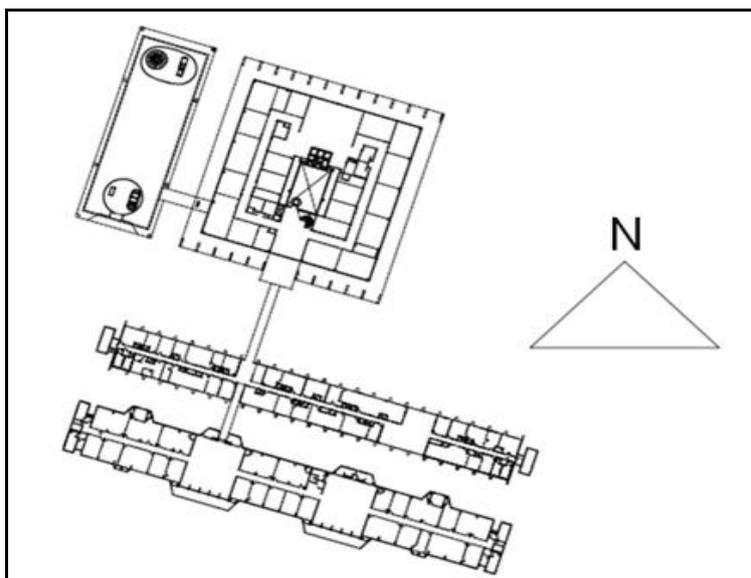


Figura 5.21 – Orientação do complexo TJDFT (CASTRO, 2010).

5.3.2 Caracterização

Para tomar como exemplo, será descrito o Bloco 1 do TJDFT que possui dois pavimentos. No térreo ficam duas alas circulares que são as portarias para acesso ao pavimento superior. No primeiro pavimento, mais importante, ficam as salas e ambientes de trabalho. A imagem a seguir mostra um esquema da planta baixa do pavimento superior.

O uso de grandes estruturas de sombreamento em sua arquitetura e o fato de estar sendo protegida do sol em certas horas do dia por edificações vizinhas contribuem para que a incidência direta de raios solares seja reduzida. Esse sombreamento observado afeta diretamente no valor da carga térmica, diminuindo-a e melhorando o conforto térmico interno para os usuários.

Além das grandes estruturas de sombreamento, o prédio conta também com o uso de vidros refletivos para reduzir ainda mais a incidência de raios solares para o interior do prédio.

Com base em uma avaliação de certificação energética, tomando como base as certificações de eficiência apresentadas no capítulo anterior, o TJDFT iria poder pontuar nos seguintes quesitos de cada certificação:

- BREEAM: Quesitos de Energia e Bem Estar e Saúde;
- LEED: Quesitos de Energia e Atmosfera e Qualidade do Ambiente Interno;
- AQUA: Quesitos de Conforto e Saúde;
- PROCELEDIFICA: Quesito de desempenho térmico da envoltória do prédio.

5.4 Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação

A Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação teve sua primeira unidade construída em Brasília (DF) no ano de 1980 e a ampliação da rede se deu a partir de 1987. O arquiteto responsável pela construção, assim como no Beijódromo, foi João Filgueiras Lima. A rede é composta por nove unidades hospitalares localizadas em Brasília (DF), com um hospital e um Centro Internacional de Neurociências e Reabilitação em Salvador (BA), São Luís (MA), Belo Horizonte (MG), Fortaleza (CE), Rio de Janeiro (RJ), Macapá (AP) e Belém (PA). A seguir segue alguns exemplos das sedes:

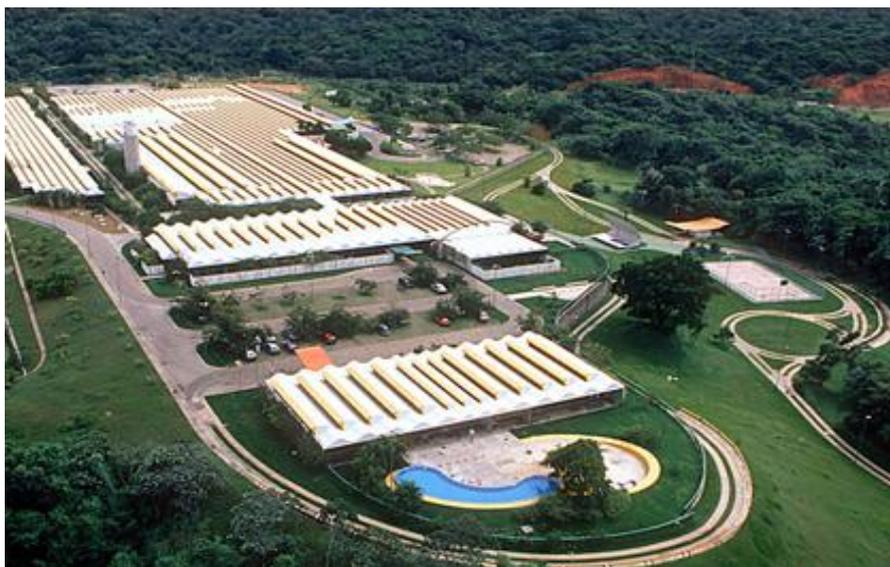


Figura 5.23 – Sede da Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação em Salvador (Rede Sarah, 2012).



Figura 5.24 – Sede da Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação no Rio de Janeiro (Rede Sarah, 2012).



Figura 5.25 – Sede da Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação em Brasília (Rede Sarah, 2012).

5.4.1 Rede Sarah de Hospitais – Unidade Salvador (BA)

Cada uma das sedes tem sua própria individualidade quanto ao uso de soluções passivas, sendo o hospital com sede em Salvador um dos que consta de soluções inovadoras. A edificação consta da seguinte solução passiva:

- Ventilação Natural;
- Resfriamento Evaporativo.

Uma das concepções do arquiteto foi usar as galerias de manutenção das instalações para torná-las também galerias para ventilação natural. As entradas das galerias para captação do ar foram orientadas no sentido dos ventos dominantes (nordeste). A princípio ar é canalizado, criando um diferencial de pressão necessário para favorecer a ventilação vertical. A ventilação natural de baixo para cima (efeito chaminé) ajuda a retirar o calor para o exterior.



Figura 5.26 – Galeria de tubulações no subsolo (UFSC, 2012).

O resfriamento evaporativo foi uma das soluções em climatização usadas pelo arquiteto. Em Salvador foi implantado um sistema de nebulização de água do lado de dentro das galerias, que faz com que o ar que vem do exterior passe por esse dispositivo que aumenta sua umidade relativa para o interior do prédio. É importante notar que o resfriamento evaporativo nesse caso não é uma solução passiva, uma vez que é produzido por efeito mecânico.

O arquiteto lançou mão de sistemas mecânicos para auxiliar na ventilação. O sistema de ventilação mecânico instalado no prédio é usado principalmente em dias de ausência de vento, ventiladores localizados na entrada das galerias são acionados para fazer a captação do ar e o insuflar para os ambientes internos.

Com base em uma avaliação de certificação energética, tomando como base as certificações de eficiência apresentadas no capítulo anterior, o Rede Sarah de Hospitais – Sede de Salvador iria poder pontuar nos seguintes quesitos de cada certificação:

- BREEAM: Quesitos de Energia e Bem Estar e Saúde;
- LEED: Quesitos de Energia e Atmosfera, Qualidade do Ambiente Interno e Inovação e Processos do Projeto;
- AQUA: Quesitos de Conforto e Saúde;
- PROCELEDIFICA: Quesito de desempenho térmico da envoltória do prédio.

6 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

O presente capítulo discorre sobre os resultados das simulações usando o software DesignBuilder e as simulações de escoamento de ar no caso de estudo desse trabalho.

6.1 Simulação usando o DesignBuilder

As simulações foram realizadas com o auxílio do *software* DesignBuilder, cujas características e ferramentas foram descritas anteriormente. Para o presente caso de estudo será realizado simulações para análise de conforto térmico no Memorial Darcy Ribeiro.

Em visita de campo, foi relatado por ocupantes do prédio que existe certo desconforto térmico nos ambientes. Assim, o foco das simulações é validar tais informações dos ocupantes do prédio, comprovando que existe desconforto térmico na edificação.

6.1.1 Metodologia

A metodologia adotada desde o processo da configuração do sítio até a análise das simulações compreende seis etapas que serão descritas a seguir:

- 1^a Etapa: Configuração do sítio.
 - Definição da localização da edificação.
 - Seleção do arquivo climático.
- 2^a Etapa: Construção da geometria.
 - Criação de novo edifício (*add building*).
 - Subdividir os blocos em zonas.
 - Criar novos blocos ou componentes (se necessário).
- 3^a Etapa: Configurando o modelo.
 - Ajustamento das opções de modelagem e simulação.
- 4^a Etapa: Caracterização da geometria construída através das seguintes abas:
 - Activity.
 - Construction.
 - Openings.

- Lighting.
- HVAC.
- 5ª Etapa: Simulação da atual configuração do Memorial Darcy Ribeiro.
 - Configuração dos parâmetros desejados para simulação.
 - Realização da simulação.
- 6ª Etapa: Análise dos resultados.
 - Identificação dos aspectos que comprovem o desempenho da simulação encontrada.

6.1.2 Parâmetros de simulação

A divisão dos blocos térreo e primeiro andar do Memorial Darcy Ribeiro em zonas são os primeiros parâmetros a serem adotados. Cada bloco tem um zoneamento diferente, como mostram as figuras (6.1) e (6.2).

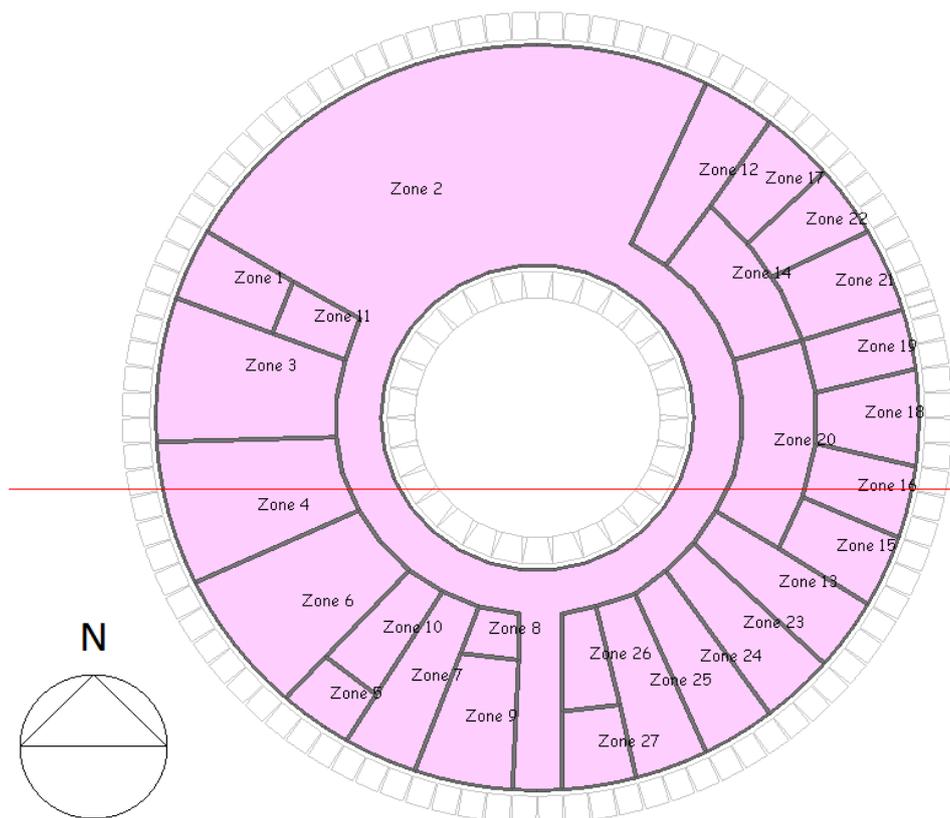


Figura 6.1 – Zoneamento do pavimento térreo.

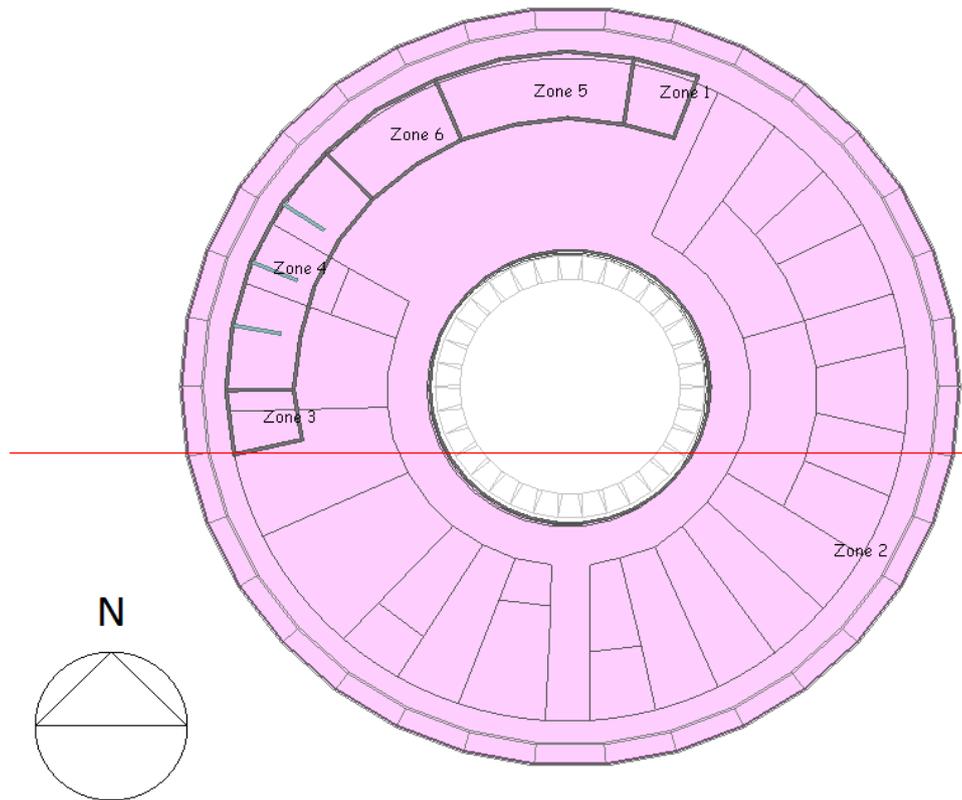


Figura 6.2 – Zoneamento do pavimento 1º andar.

Uma visão geral da geometria gerada no processo de modelagem pode ser observada nas figuras que seguem.

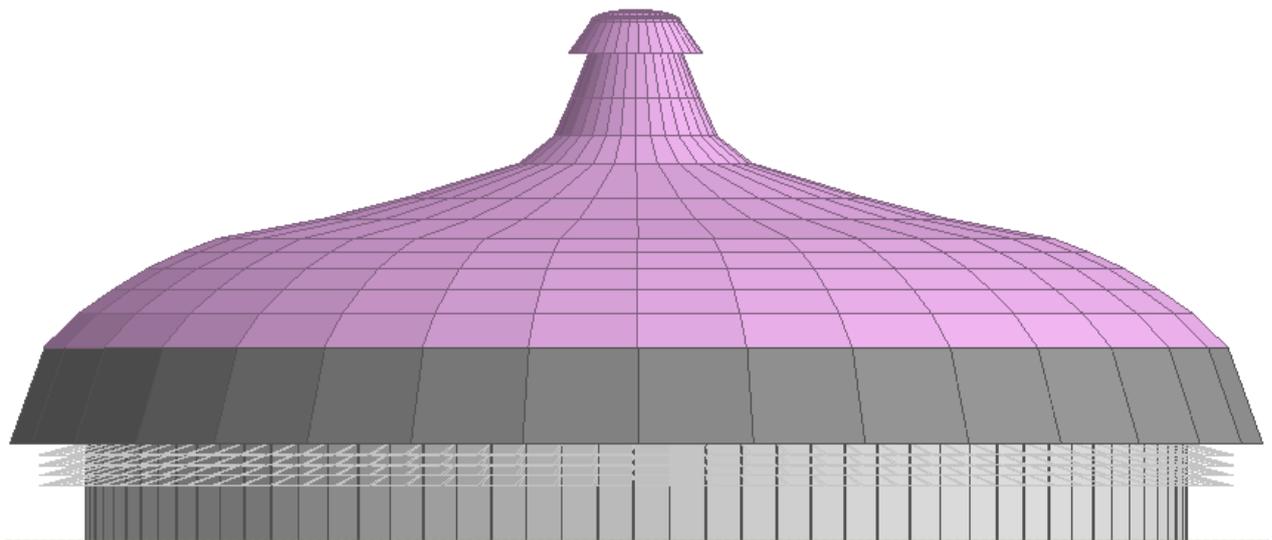


Figura 6.3 – Visão da geometria gerada na modelagem do Memorial Darcy Ribeiro.

Além do zoneamento da edificação outros parâmetros são necessários para realizar a simulação, que são:

- Taxas de ocupação - Escolhidas da Tabela 1 da norma ABNT NBR 6401- 3 (2008):
 - Ambientes de escritório: 2 m²/pessoa, que equivale a um ambiente de escritório de média densidade.
 - Ambientes de ensino: 3,5 m²/pessoa, que equivale a uma sala de aula.
 - Ambientes de recepção e Hall: 1 m²/pessoa.
- *Set point* de temperatura - 23 °C.
 - Define a temperatura operativa da zona, considerando um ambiente formal de trabalho onde os ocupantes possuem vestimentas próximo de 0,7 clo.
- Taxa de Iluminação - Seleccionada com o apoio da norma ABNT NBR 16401-1 (2008) tabela C.2 e análise de campo da iluminação.
 - 16 W/m² – Potência dissipada pelas lâmpadas fluorescentes nos ambientes de escritório e ensino.
 - 9 W/m² – Potência dissipada pelas lâmpadas fluorescentes nos ambientes de recepção e Hall.
- Dissipação de energia pelos computadores - 11 W/m².
 - Foi seleccionado com base na norma ABNT NBR 16401-1 (2008) tabela C.6, com base numa densidade de carga de equipamento de escritório tipo média.
- Dissipação de energia para outros equipamentos diversos - 11 W/m².
 - Foi seleccionado com base na norma ABNT NBR 16401-1 (2008) tabela C.6, com base numa densidade de carga de equipamento de escritório tipo média.
- Materiais de construção da edificação:
 - Alvenaria – usado em parte das paredes externas, paredes internas, forro e laje.

Tabela 6.1 Propriedades da alvenaria usada no Beijódromo.

CONDUTIVIDADE (W/m ² .K)	
Paredes internas	2,238
Forro	4,651
Laje	0,899

- Vidros – Escolhidos com base numa análise de campo e definidos com base na biblioteca de materiais do DesignBuilder. A seguir segue algumas características conforme Tabela (6.2):

Tabela 6.2 Propriedades do vidro do Modelo de Referência.

VIDRO SIMPLES 3mm	
Transmitância solar	0,858
Transmitância visível	0,898
Condutividade (W/m ² .K)	5,894

- Estrutura Metálica – Usado na estrutura de cobertura superior da edificação. Foi definido com de aço. . A seguir segue algumas características conforme Tabela (6.3):

Tabela 6.3 Propriedades da estrutura metálica de aço que cobre o Beijódromo.

PROPRIEDADES	
Densidade (kg/m ³)	7800
Calor específico (J/kg.K)	450
Condutividade (W/m.K)	50

- Brises: Foi escolhido brises metálicos de 1,5 metros de altura conforme análise de campo e definido conforme biblioteca padrão do DesignBuilder.
- As Simulações foram realizadas com e sem ventilação mecânica.

6.1.3 Resultados de Conforto Térmico

A simulação de conforto térmico faz uma análise dos parâmetros térmicos de temperatura e vê se os mesmos estão aceitáveis ao ambiente e ao metabolismo das pessoas. O método para medição do conforto é em função do grau de satisfação das pessoas com relação ao ambiente, vale lembrar que essa satisfação é subjetiva, pois um ambiente tecnicamente confortável para uma pessoa pode não ser para outra. A norma ABNT NBR 16401-2 (2008) que trata dos parâmetros de conforto térmico, em conjunto com a norma da ASHRAE 55-2004 e com a ISO7730/2005 estabelece que para determinação do conforto térmico deve-se usar o modelo de Fanger, indicado através dos índices PMV e PPD. A norma assegura que os níveis aceitáveis para o conforto térmico se encontram num intervalo de valores entre 0,5 e $-0,5$.

A seguir segue os resultados das simulações anuais para o Beijódromo, através da Figura (6.4). A simulação foi realizada para o prédio com o exaustor ligado e em outro caso desligado. A figura mostra os resultados com e sem ventilação mecânica, onde pode ser observada uma leve diferença entre eles, provocada pelo efeito da ventilação mecânica.

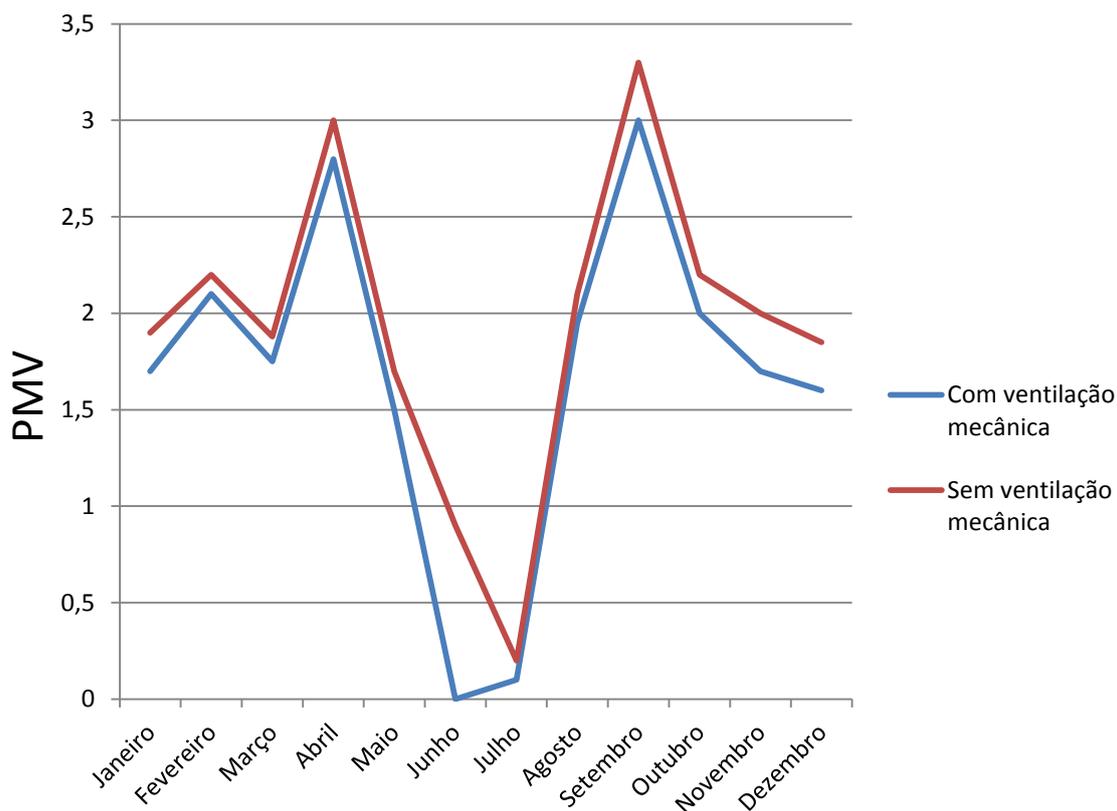


Figura 6.4 – Resultados das simulações de PMV para o Beijódromo para o ano todo.

Foi realizada a simulação do PMV para um ambiente em específico escolhido que servirá para uma análise mais específica, que foi o ambiente de estudo e pesquisa no 1º andar (Fig. 6.5), que de acordo com informações dos ocupantes do prédio é um lugar de bastante desconforto térmico. Foi escolhido um dia específico para essa simulação, dia 18/01/2013, que permite avaliar o conforto térmico ao longo do dia e também comparar com o dia correspondente de medições horária do ambiente de análise.

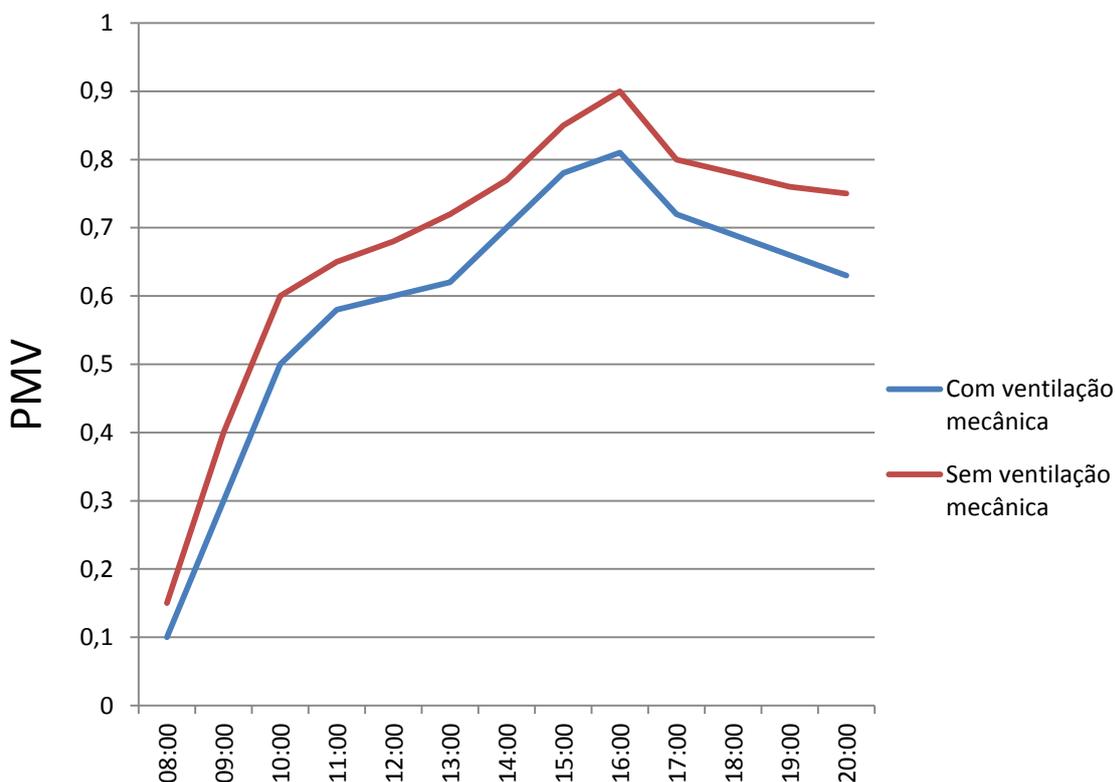
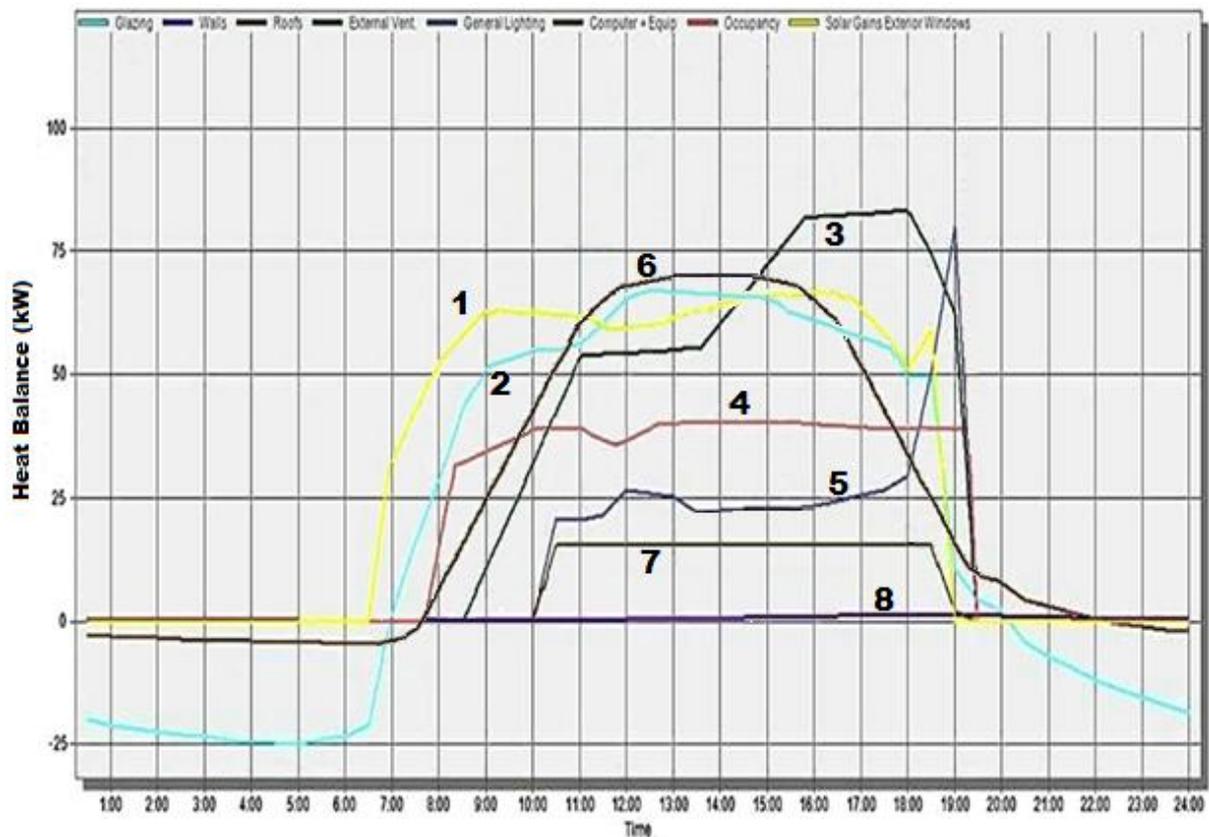


Figura 6.5 – Simulações horárias para o dia 18 de janeiro do ambiente de pesquisa e estudo.

6.1.4 Carga térmica

A simulação de carga térmica faz uma análise da distribuição dos componentes que contribuem para ganho de calor no ambiente. A seguir segue o gráfico de distribuição da carga do Memorial Darcy Ribeiro.



Componentes da carga térmica:

- 1 - Radiação solar através das janelas**
- 2 - Transmissão de calor pelas janelas**
- 3 - Ventilação externa**
- 4 - Ocupação**
- 5 - Iluminação**
- 6 - Ganhos pela cobertura**
- 7 - Computadores e outros equipamentos**
- 8 - Transmissão de calor pelas paredes**

Figura 6.6 – Carga térmica ao longo do dia para o Memorial Darcy Ribeiro.

6.1.5 Simulação de ar condicionado

Foi mostrado anteriormente através dos resultados de conforto térmico que o Memorial Darcy Ribeiro se encontra em desconforto térmico, com PMV podendo chegar a 2,5 em determinada época do ano. Isso mostra que as soluções passivas e mecânicas (exaustor) em climatização na edificação não garantem conforto térmico na maior parte do ano.

Assim, foi realizado uma simulação onde considerou-se um sistema de condicionamento de ar para o Beijódromo. Isso permite avaliar o conforto térmico do prédio e consumo de energia do mesmo nessa situação. Os resultados estão a seguir.

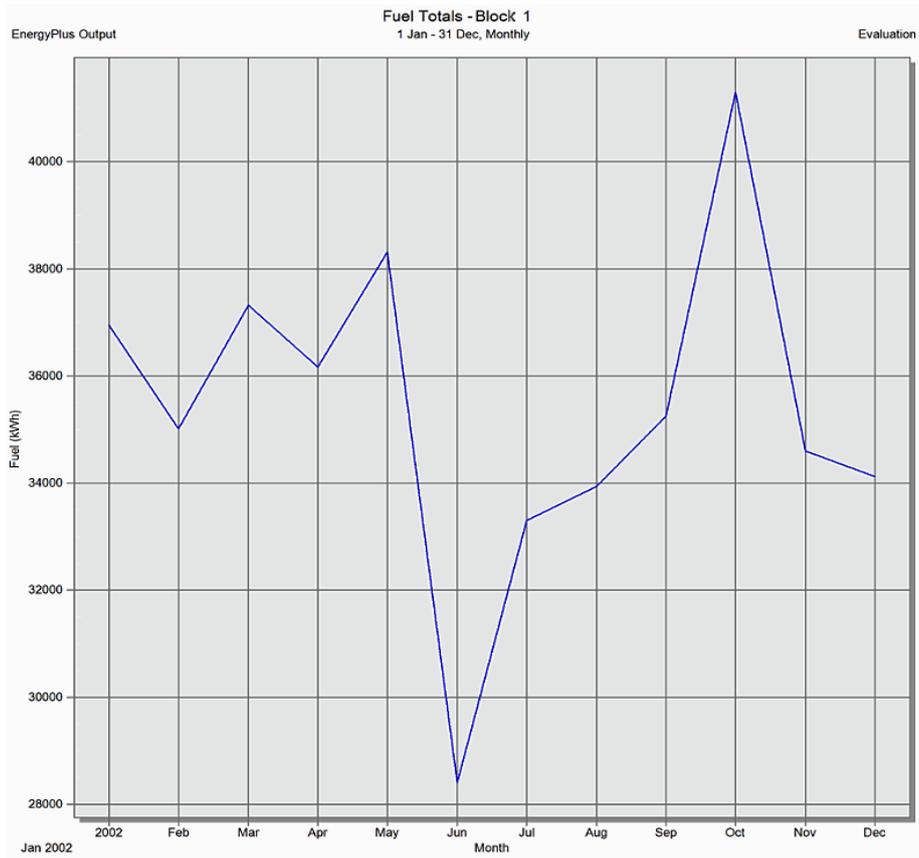


Figura 6.7 – Distribuição do gasto de energia anual.

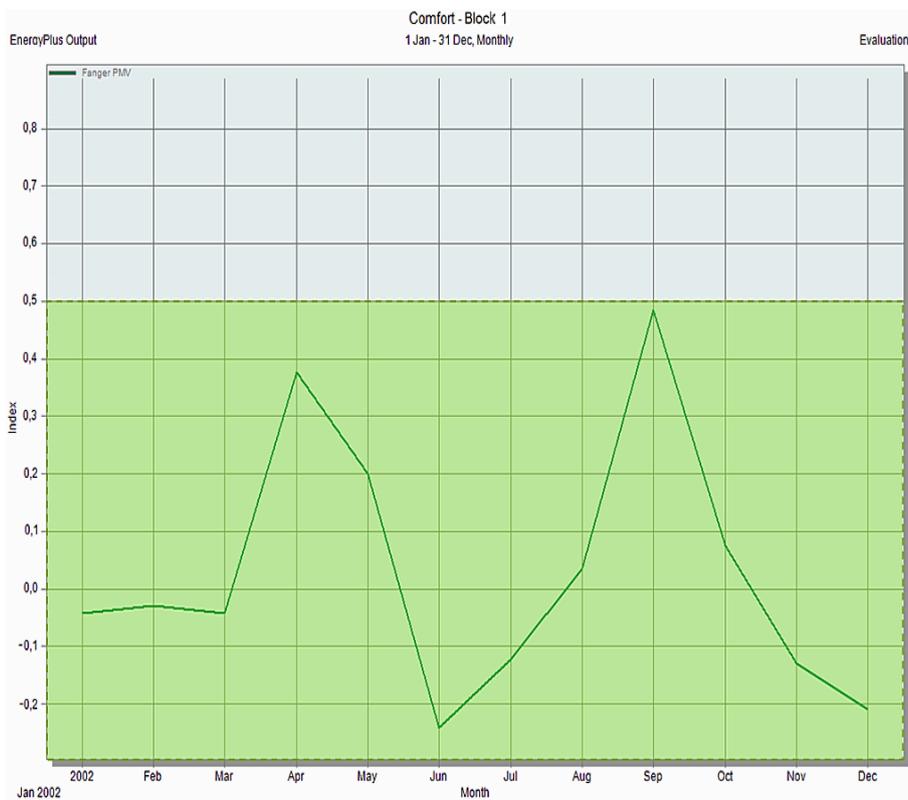


Figura 6.8 – PMV para prédio com sistema de ar condicionado.

6.2 Simulação de escoamento de ar

A simulação de escoamento de ar foi realizada com o apoio do *software* SolidWorks 2012, que é uma ferramenta que possibilita todo o processo de modelagem do prédio e posteriormente a simulação do escoamento de ar.

A realização do escoamento compreende os seguintes passos:

- Construção da modelagem da edificação;
- Escolha das entradas por onde o ar vai entrar;
- Seleção dos parâmetros de entrada;
- Simulação.

A modelagem da edificação foi feita com o máximo de detalhamento possível, a fim de avaliar com clareza qualquer obstáculo que possa comprometer o fluxo de ar. Como o DesignBuilder, o SolidWorks possui ferramentas e comandos que possibilitam a criação de objetos de diversas formas, que possibilitou a criação de um modelo Fig. (6.9).

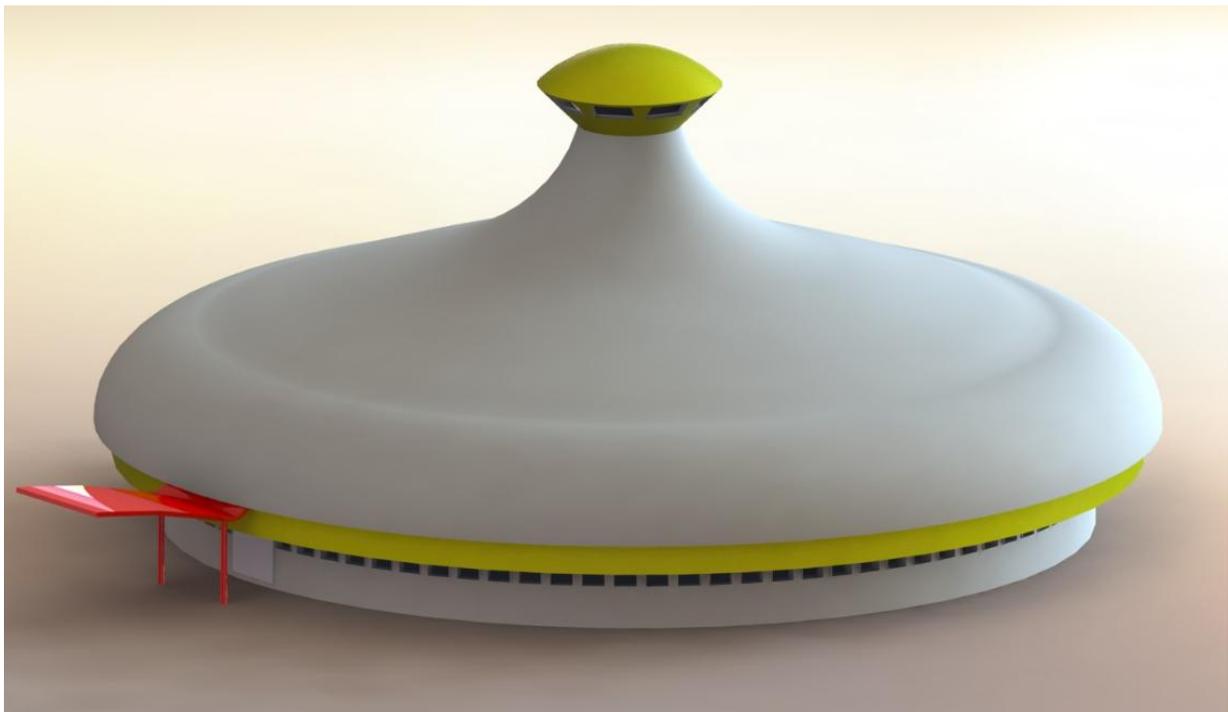


Figura 6.9 – Modelagem do prédio no SolidWorks 2012.

Na criação do modelo foram criados os detalhes externos da edificação que possuem a função de possibilitar a entrada de ar para dentro da edificação, que foram as janelas e as telas do 1º andar. A partir dessas entradas de ar é possível fazer uma caracterização das mesmas para realizar a simulação de escoamento de ar.

Na realização da caracterização das entradas de ar é feito um detalhamento das condições de contorno das mesmas. Nessa etapa é selecionado cada entrada de ar, e inserido os parâmetros de entrada da mesma, que foram a velocidade do ar que está entrando pela abertura, a temperatura do ar e a umidade relativa.

Os parâmetros de entrada escolhidos foram adotados com base nas medições realizadas em campo no dia 17/01/2013 no período da tarde.

Os parâmetros de entrada usados foram:

- Janelas:
 - Velocidade do ar na entrada da janela: 1,4 m/s.
 - Temperatura do ar na entrada das janelas: 25 °C.
 - Umidade Relativa: 60%.

- Telas de entrada de ar no 1º andar:
 - Velocidade do ar na entrada da tela: 0,5 m/s.
 - Temperatura do ar na entrada da tela: 26 °C.
 - Umidade relativa: 58%.

- Exaustor:
 - Potência de 2 cv, rotação de 1800 RPM e vazão de 22000 m³/h.

O processo de simulação foi realizado com o auxílio do simulador de escoamento do SolidWorks que permite realizar as simulações de escoamento.

Depois de entrar com os dados e configurar alguns comandos do programa começa-se com a simulação. A seguir seguem os resultados mostrando como o ar está se comportando em direção à cúpula do prédio e mostrando também através de uma vista em corte como o ar está se comportando nos ambientes internos como um todo.

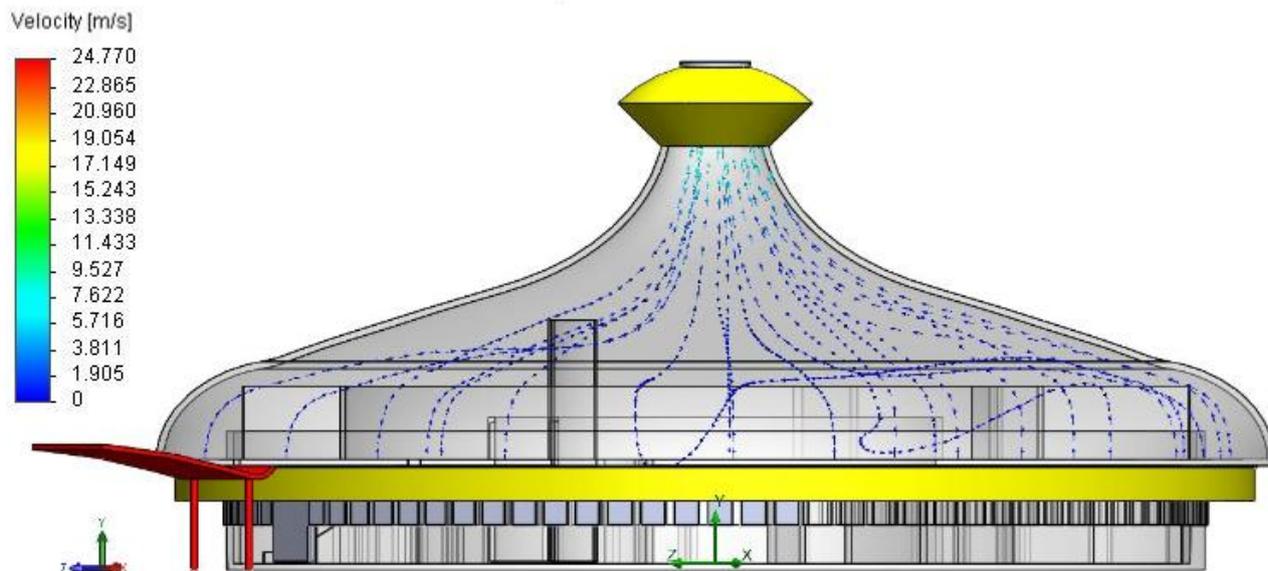


Figura 6.10 – Escoamento na através da cúpula do prédio devido as telas do 1º andar.

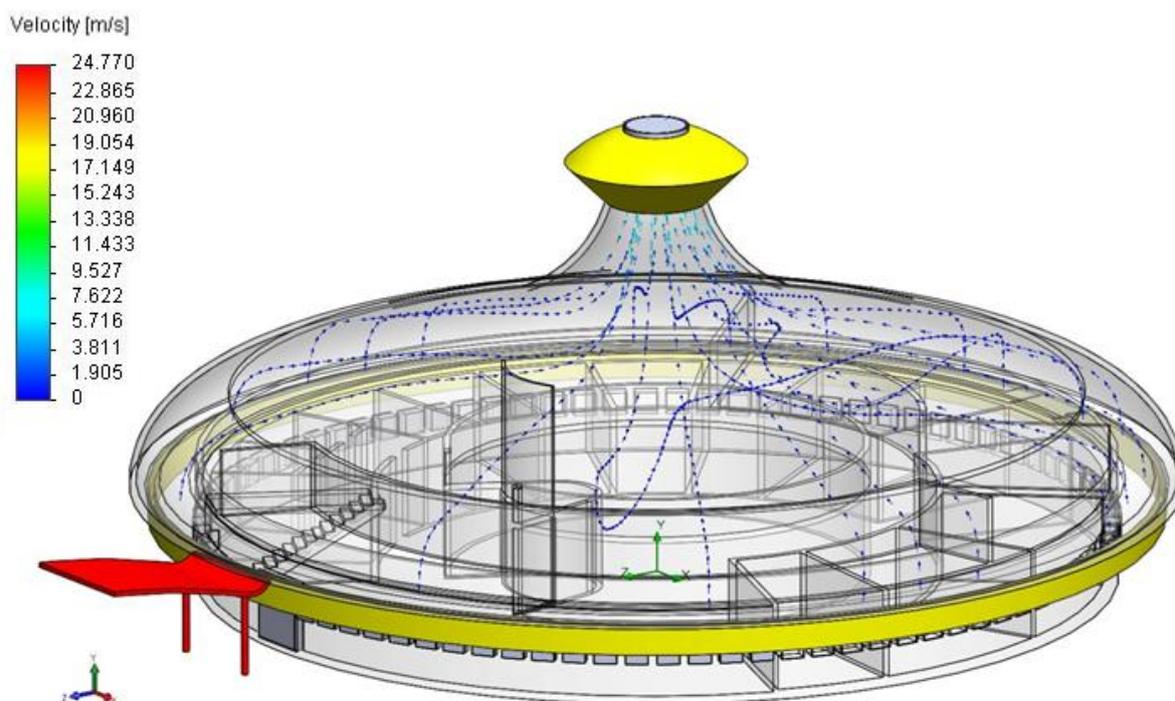


Figura 6.11 – Escoamento no interior do prédio das entradas de ar nas telas.

Nota-se que o ar que entra pelas telas laterais segue o contorno da cúpula, não afetando muito os ambientes internos do 1º andar, não contribuindo para melhorar muito o conforto térmico como previsto pelo arquiteto.

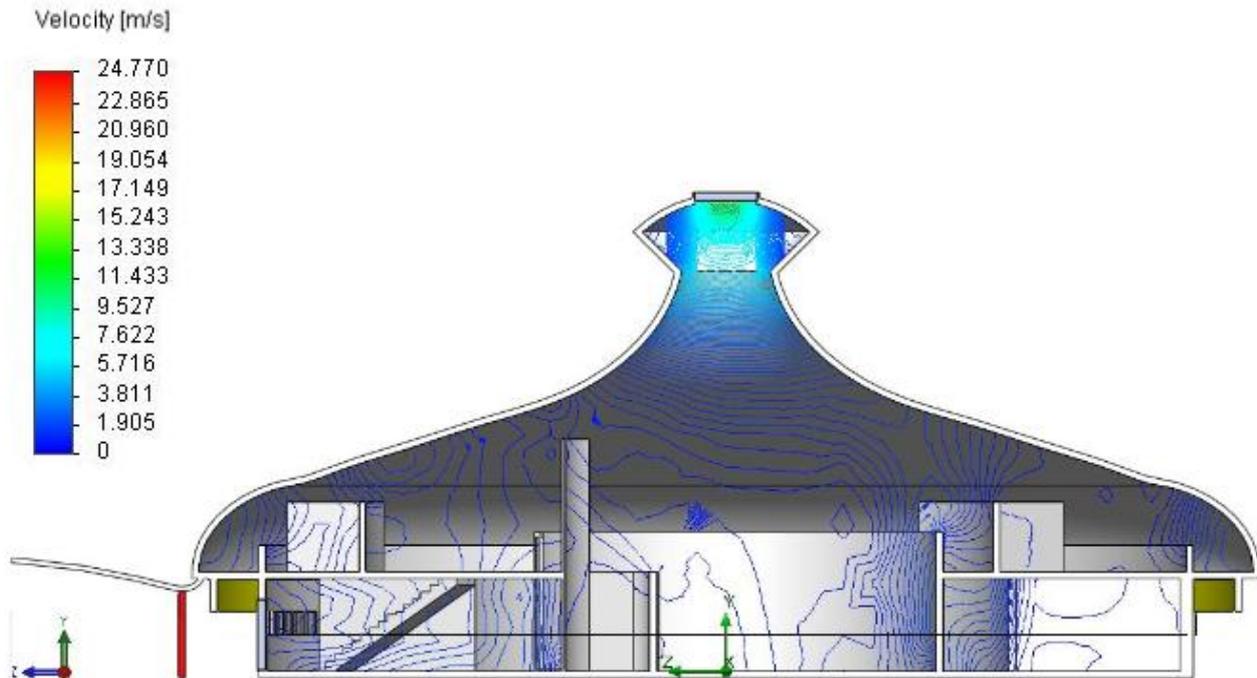


Figura 6.12 – Distribuição do ar no interior do prédio.

A Figura (6.12) mostra a distribuição de linhas isométricas de velocidade e é importante notar o perfil de distribuição do ar, quanto mais linhas aglomeradas maior a intensidade do ar no local.

7 MEDIÇÕES IN LOCO

O presente capítulo discorre sobre a metodologia e os resultados das medições de campo realizadas no Memorial Darcy Ribeiro usando diversos aparelhos de medição.

7.1 Metodologia

As medições de campo buscam verificar o conforto térmico da edificação, que permitem analisar se as soluções do arquiteto para oferecer conforto ambiental para os ocupantes do prédio foram bem sucedidas. As medições também permitem fazer uma análise comparativa entre os resultados de conforto térmico obtidas dos resultados de campo e entre os computacionais. Para as medições foram usados diversos equipamentos de medição, que foram:

- Termo-Anemômetro Digital;
- Termo-Higrômetros;
- Termômetro de globo;
- Câmera Termográfica;
- Decibélímetro.

O Termo-Anemômetro Digital foi o instrumento usado para verificar a velocidade do ar nos diversos pontos, para isso foi usado um aparelho da marca INSTRUTHERM modelo TAFR-180. Os Termo-Higrômetros foram usados para avaliação da temperatura de bulbo seco e umidade relativa, o aparelho usado é da marca EXTECH modelo TAFR-180. Já o termômetro de globo foi usado para medir as temperaturas de bulbo seco, umidade relativa e temperatura de globo, onde o modelo utilizado é da marca INSTRUTHERM modelo TGD-300.

A Câmera Termográfica foi usada para analisar a cobertura do prédio, a fim de verificar o perfil térmico da mesma ,principalmente, em dias quentes, o aparelho usado é da marca FLIR Série E. O Decibélímetro foi usado para verificar o conforto acústico dentro do Beijódromo, principalmente por causa do barulho do exaustor quando ligado, o instrumento usado é da marca MINIPA modelo MSL-1351C.

A instrumentação utilizada deve estar calibrada por um estabelecimento pertencente à Rede Brasileira de Calibração (RBC), segundo as recomendações dos fabricantes.



Figura 7.1 – 1 – Decibelímetro 2 – Câmera Termográfica 3 – Termo-Anemômetro Digital 4 – Termômetro de Globo 5 – Termo- Higrômetro.

A norma ABNT NBR 16401-2 (2008) estabelece critérios para realização das medições, que foram seguidos na obtenção dos dados de medição desse trabalho. A norma recomenda que as medições de velocidade e temperatura devem ser realizadas nos pontos das zonas que possuem valores mais críticos, como em janelas por exemplo. Outra recomendação é que a instrumentação deve estar a 1,1 m do piso para análise de zonas que as pessoas estão sentadas e 1,7 m para zonas onde as pessoas se encontram em movimento.

As medições foram realizadas entre os dias 17/01/2013 e 23/01/2013 e a metodologia adotada para a realização das medições foi fazer as medições em diversos pontos fora e dentro do Beijódromo.

No dia 17/01/2013 às 14h00min foram realizadas medições de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar no centro do prédio, nas telas de entrada de ar no 1º andar, no ambiente de estudo e pesquisa e perto da escada no 1º andar. Essas medições servirão de parâmetros para realização do escoamento de ar e para comparação entre resultados de campo e resultados computacionais.

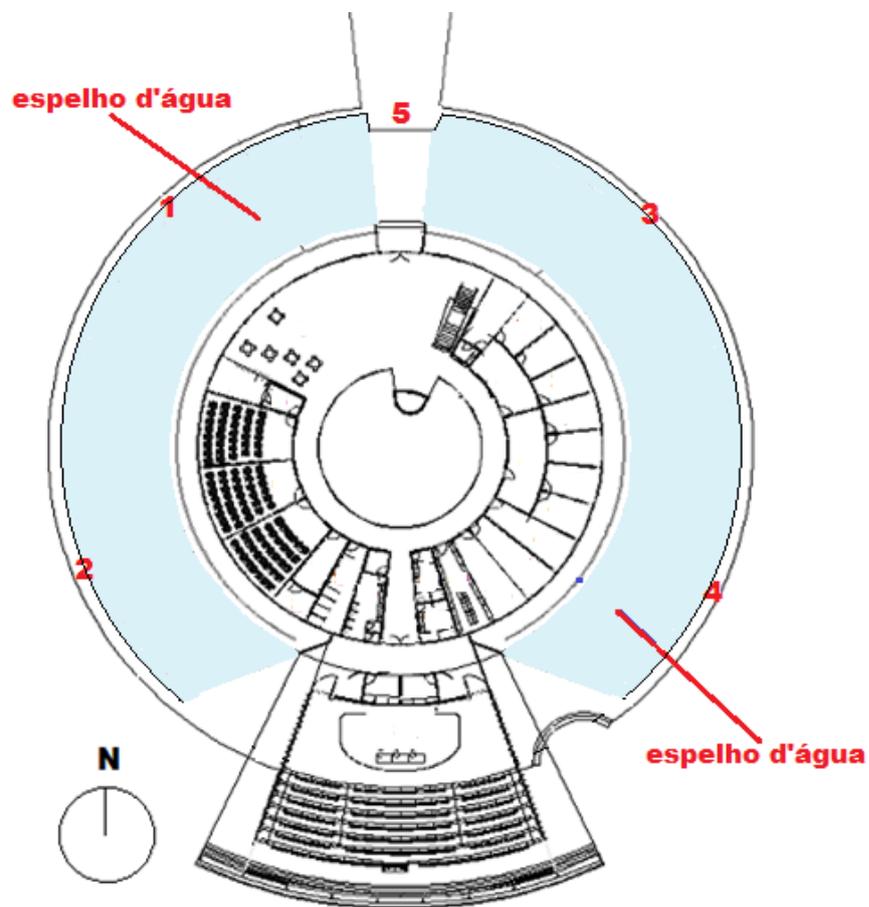
Além de medições de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, no dia 17/01/2013, também foram realizadas medições de nível de ruído pela manhã e geração de imagens termográficas com a câmera termográfica no período da tarde.

No período do dia 18/01/2013 ao dia 23/01/2013 foram realizadas medições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em pontos do lado de fora do prédio, na sala de aula e na sala de

produção de eventos. As mesmas foram realizadas às oito, doze, dezesseis e às vinte horas, permitindo uma análise de cada local de medição em diversos horários do dia.

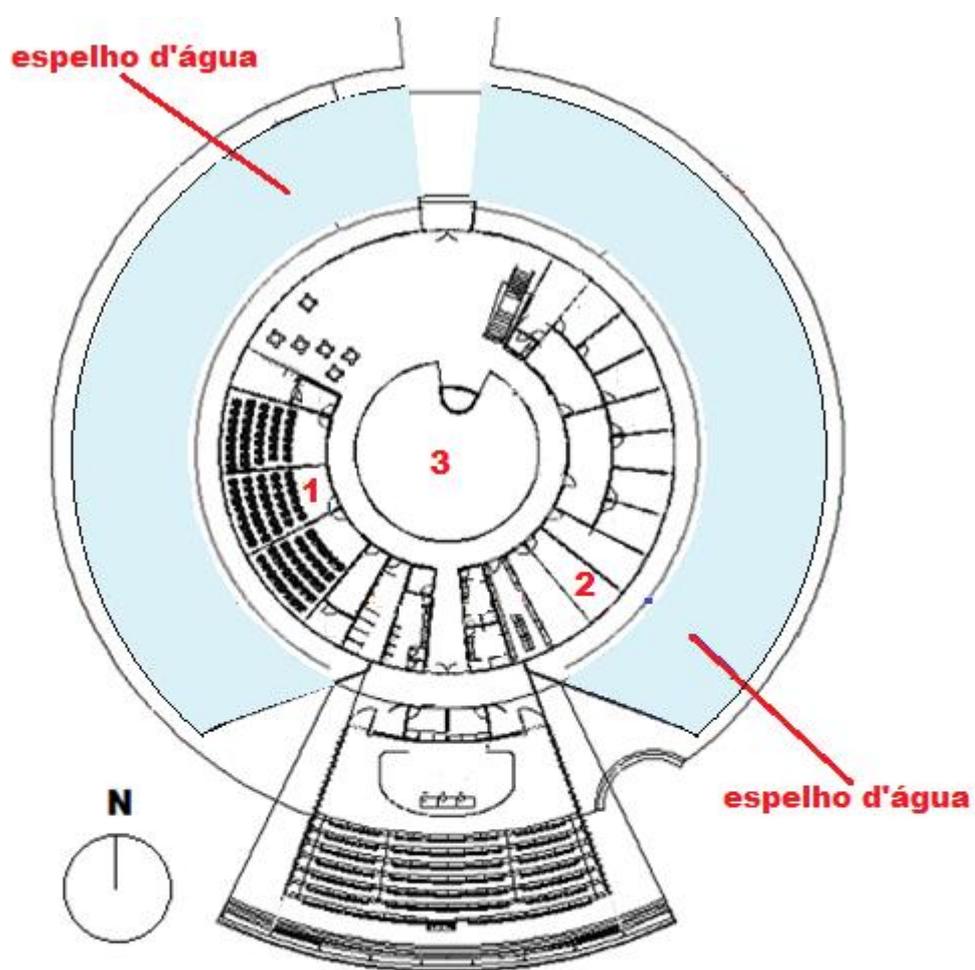
No ambiente de estudo e pesquisa localizado no 1º Pavimento, no dia 18/01/2013 em específico, foi feito uma medição mais detalhada onde as medições foram apuradas a cada hora do período de ocupação do prédio e em duas situações, onde o exaustor estava ligado e onde ele estava desligado. Os resultados também servirão para confrontar com os resultados das simulações usando o DesignBuilder, permitindo uma comparação entre resultados obtidos em análises de campo e resultados computacionais.

As figuras a seguir mostram os pontos de medição fora do prédio, dentro do prédio no pavimento térreo e dentro do prédio no 1º andar. As mesmas ajudam a compreender melhor os locais de medição.



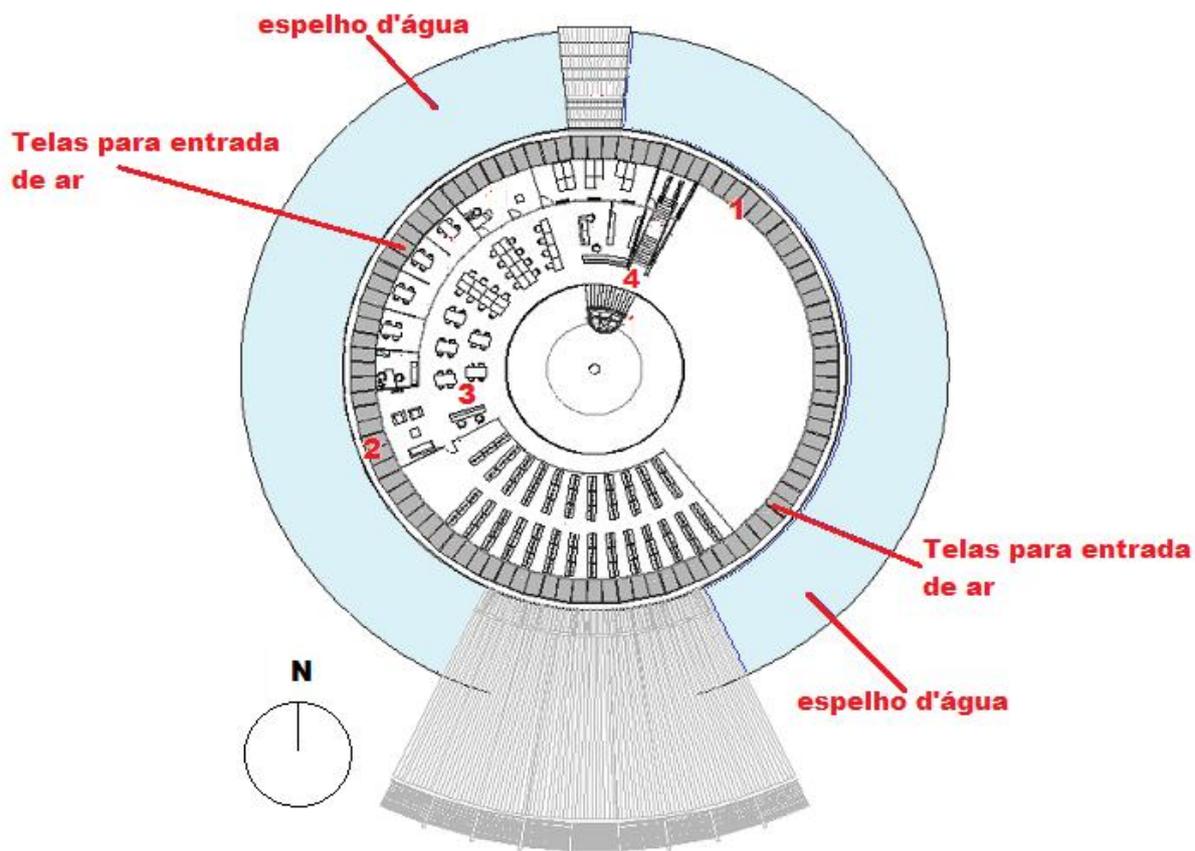
LOCAL DE MEDIÇÃO	INDICAÇÃO
Anel externo do prédio ao lado do espelho d'água	1
Anel externo do prédio ao lado do espelho d'água	2
Anel externo do prédio ao lado do espelho d'água	3
Anel externo do prédio ao lado do espelho d'água	4
Entrada do prédio	5

Figura 7.2 – Pontos de medição ao redor do Memorial Darcy Ribeiro.



Local de Medição	Indicação
Sala de aula	1
Sala de produção de eventos	2
Centro do prédio	3

Figura 7.3 - Pontos de medição no interior do térreo do Memorial Darcy Ribeiro.



Local de Medição	Indicação
Tela para entrada de ar para o interior	1
Tela para entrada de ar para o interior	2
Ambiente de estudo e pesquisa	3
Perto da escada	4

Figura 7.4 - Pontos de medição no interior do 1º Pavimento do Memorial Darcy Ribeiro.

As temperaturas de bulbo seco, temperatura de globo, velocidade do ar e umidade relativa foram obtidas facilmente com os aparelhos de medição, mas as temperaturas radiantes médias e temperaturas operativas tiveram que ser calculadas.

A norma ABNT NBR 16401-2 (2008) fornece as equações necessárias para realização do cálculo, como mostrado abaixo:

A temperatura operativa é definida por:

$$T_o = \frac{T_{ar} + T_r}{2} \quad (9)$$

onde,

T_o é a temperatura operativa;

T_{ar} é a temperatura do ar;

T_r é a temperatura radiante média.

Como o cálculo da temperatura operativa depende da temperatura radiante média a norma também fornece uma equação para cálculo da temperatura radiante média dada por:

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + 2,5 * 10^8 * V_{ar}^{0,6} * (t_g - t_{ar})]^{0,25} - 273 \quad (10)$$

onde,

t_g é a temperatura de globo;

V_{ar} é a velocidade relativa do ar.

Assim, com base nas informações da norma foram gerados os gráficos completos incluindo todas as temperaturas, dentre elas a operativa, que é a temperatura que a norma toma como base para avaliar o conforto térmico do ambiente.

É importante ressaltar que os gráficos de PMV para as medições em campo foram traçados com o apoio do *software* Analysis CST descrito anteriormente, onde os parâmetros de entrada do programa são fornecidos pelo termômetro de globo (Temperatura de Bulbo Seco, Temperatura Radiante Média e Umidade Relativa) e pelo Termo-Anemômetro Digital (Velocidade do ar).

Outro dado a ressaltar é quanto a vestimenta das pessoas a considerar no programa Analysis CST, que foi de roupas típicas de trabalho (cueca, calça, camisa, meias e sapatos, representando 0,7clo), e o tipo de atividade desempenhada pelas pessoas, que foi de atividade sedentária (escritório, escolas, laboratório).

7.2 Medições na sala de produção de eventos

A seguir seguem as medições realizadas na sala de produção de eventos ao longo dos dias de medição. São apresentados os gráficos da temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, temperatura radiante média, temperatura operativa, umidade relativa, velocidade do ar e PMV para os dias de medição.

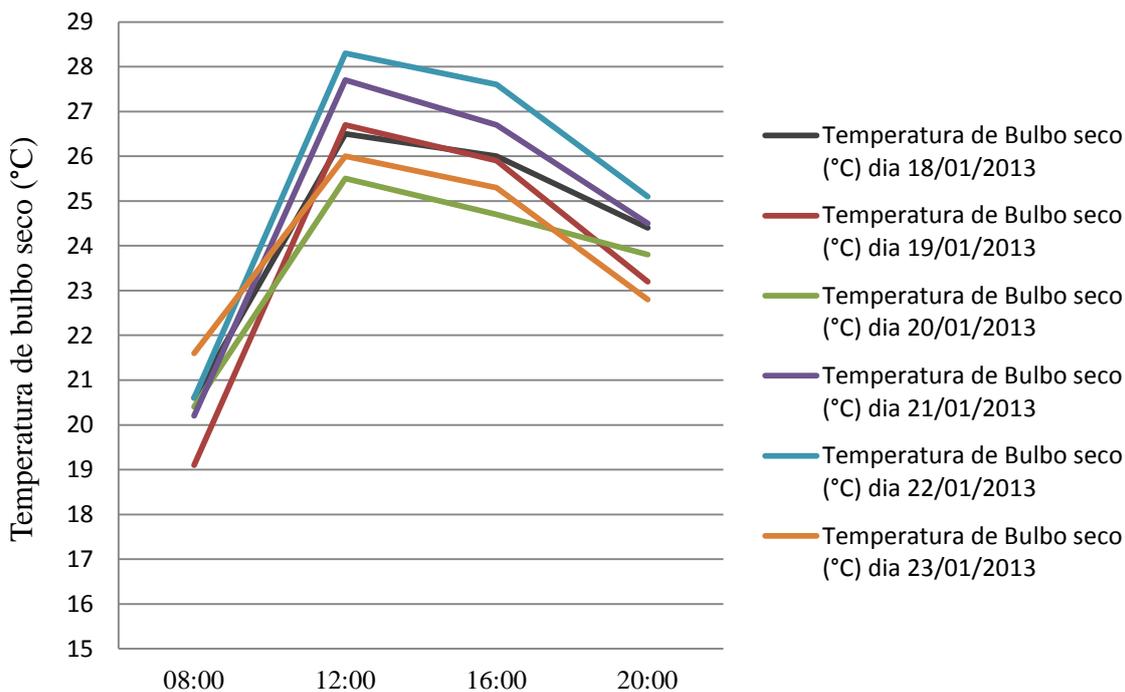


Figura 7.5 – Temperatura de bulbo seco para sala de produção de eventos.

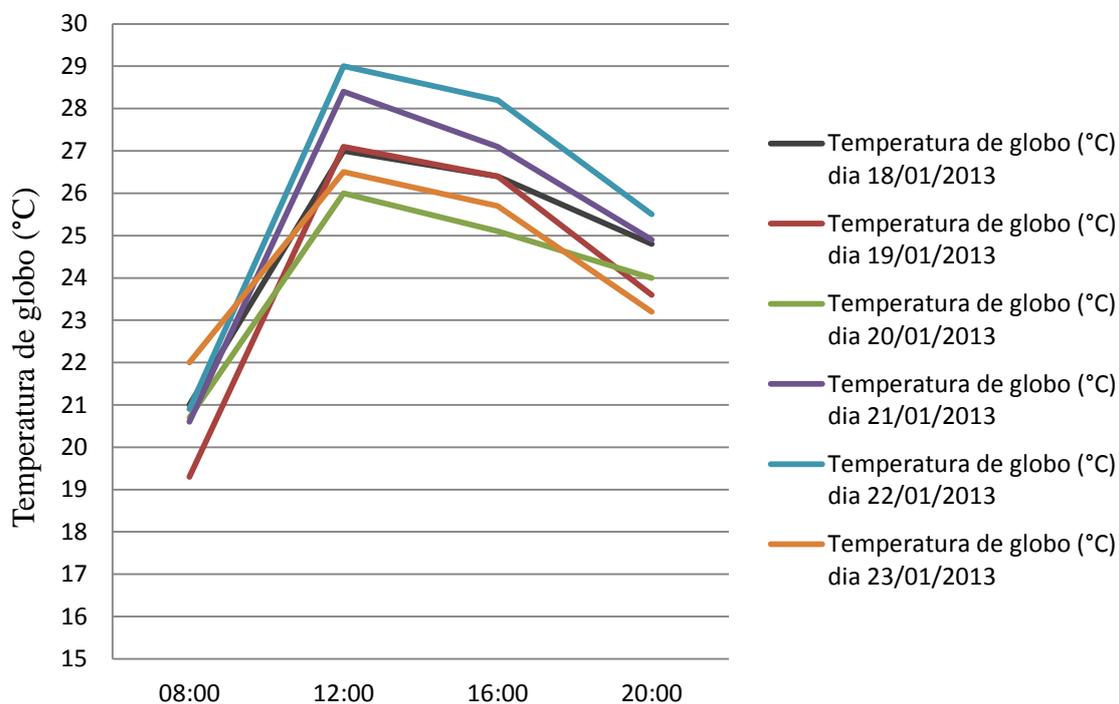


Figura 7.6 – Temperatura de globo para sala de produção de eventos.

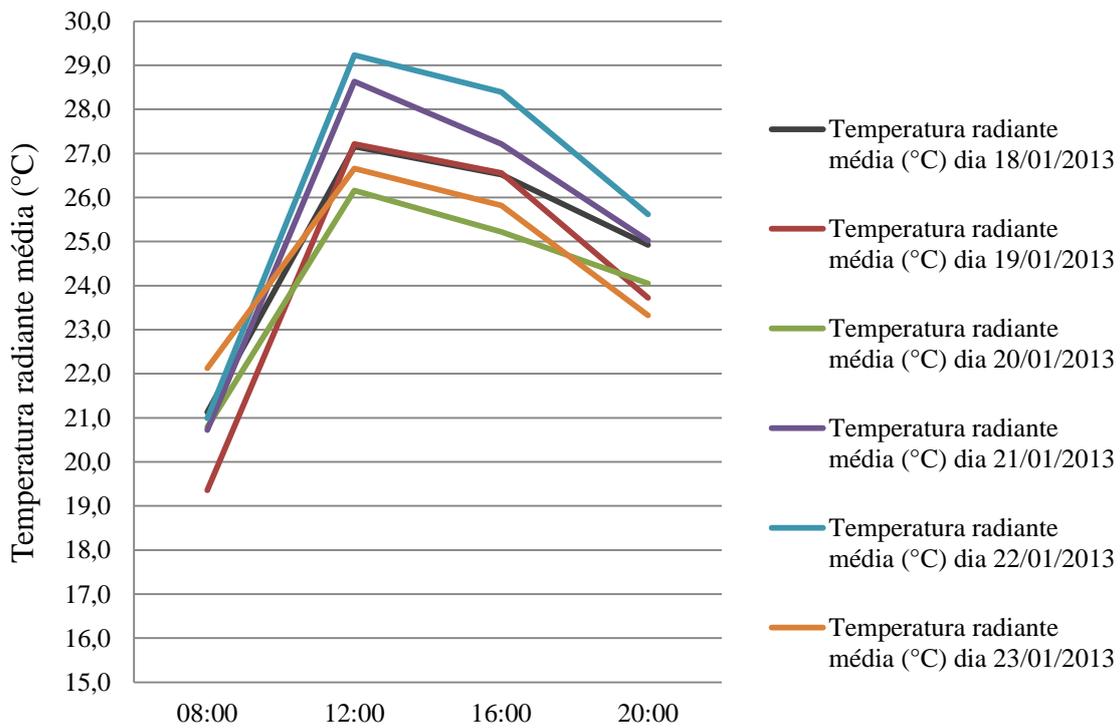


Figura 7.7 – Temperatura radiante média para sala de produção de eventos.

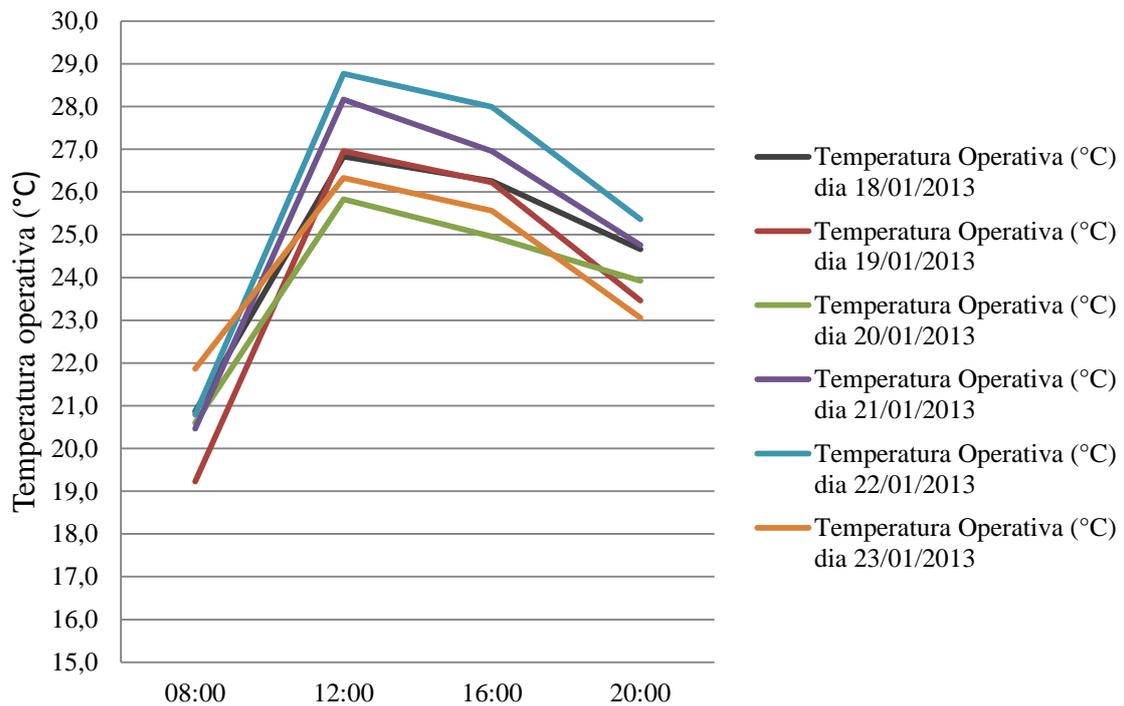


Figura 7.8 – Temperatura operativa para sala de produção de eventos.

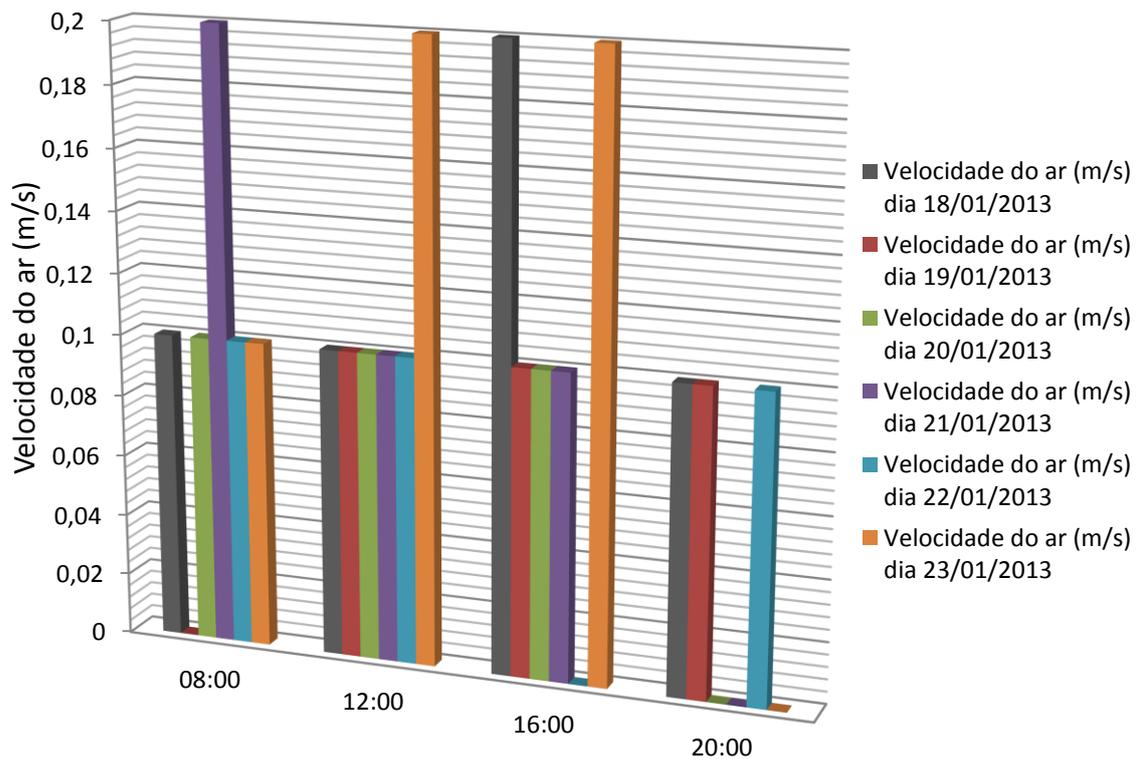


Figura 7.9 – Velocidade do ar para sala de produção de eventos.

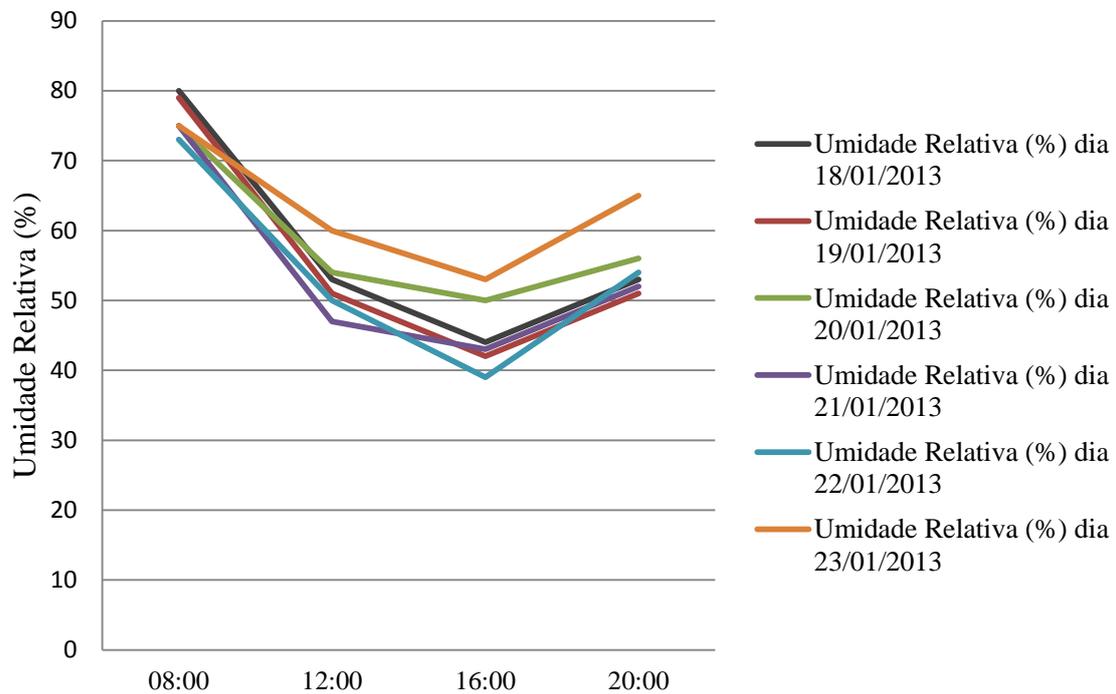


Figura 7.10 – Umidade relativa para sala de produção de eventos.

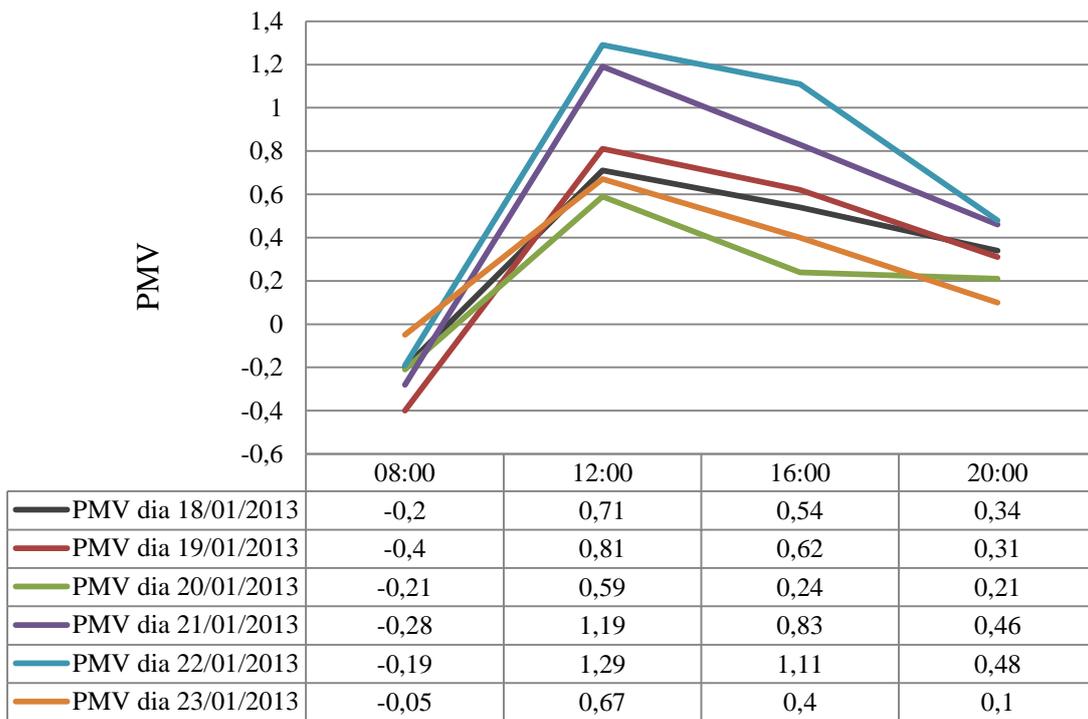


Figura 7.11 – PMV para sala de produção de eventos.

7.3 Medições na sala de aula

A seguir seguem as medições realizadas na sala de aula escolhida ao longo dos dias de medição. São apresentados os gráficos da temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, temperatura radiante média, temperatura operativa, umidade relativa, velocidade do ar e PMV para os dias de medição.

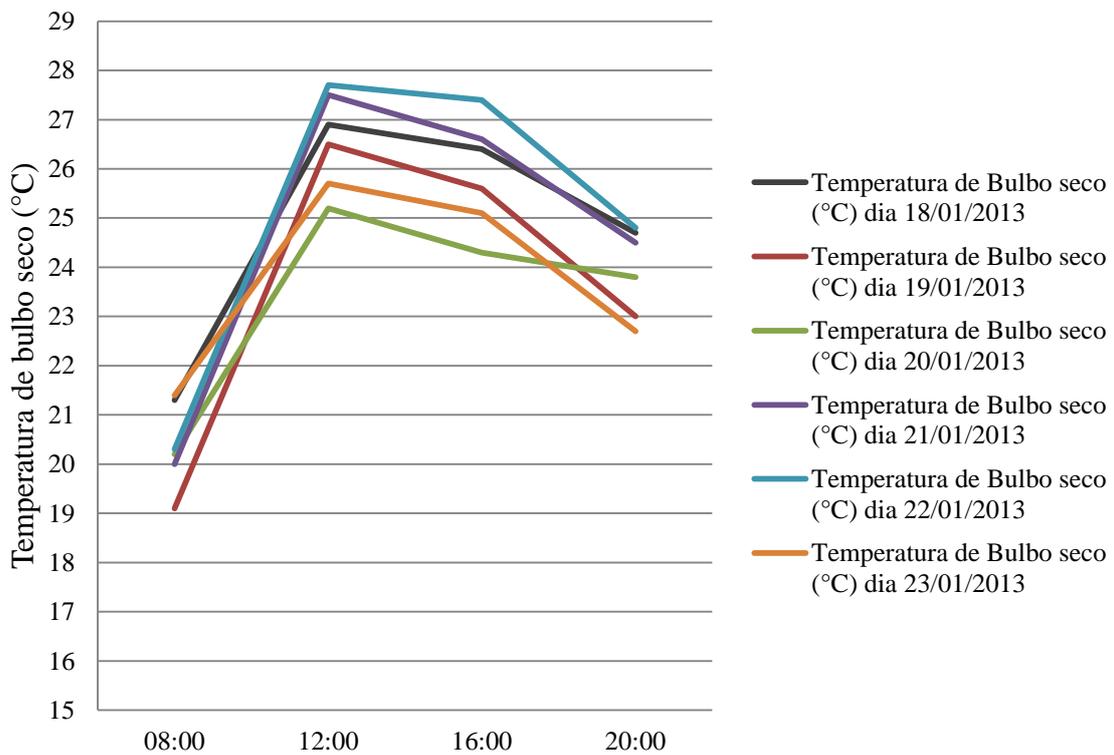


Figura 7.12 – Temperatura de bulbo seco para sala de aula.

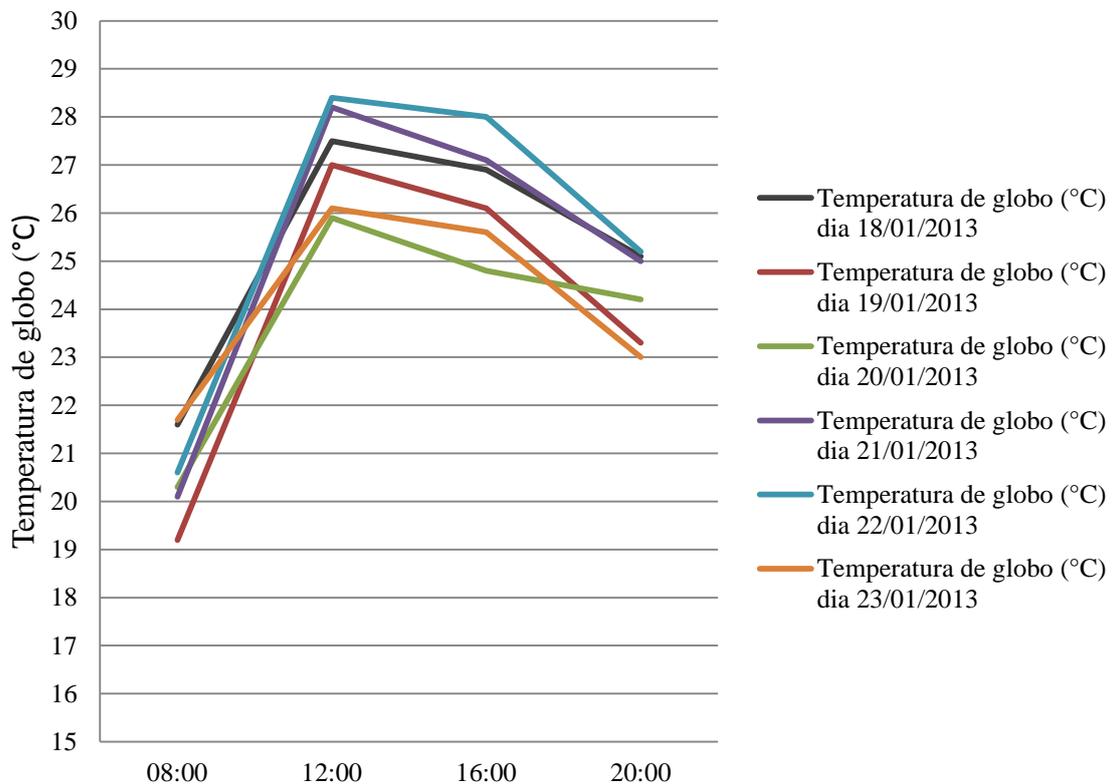


Figura 7.13 – Temperatura de globo para sala de aula.

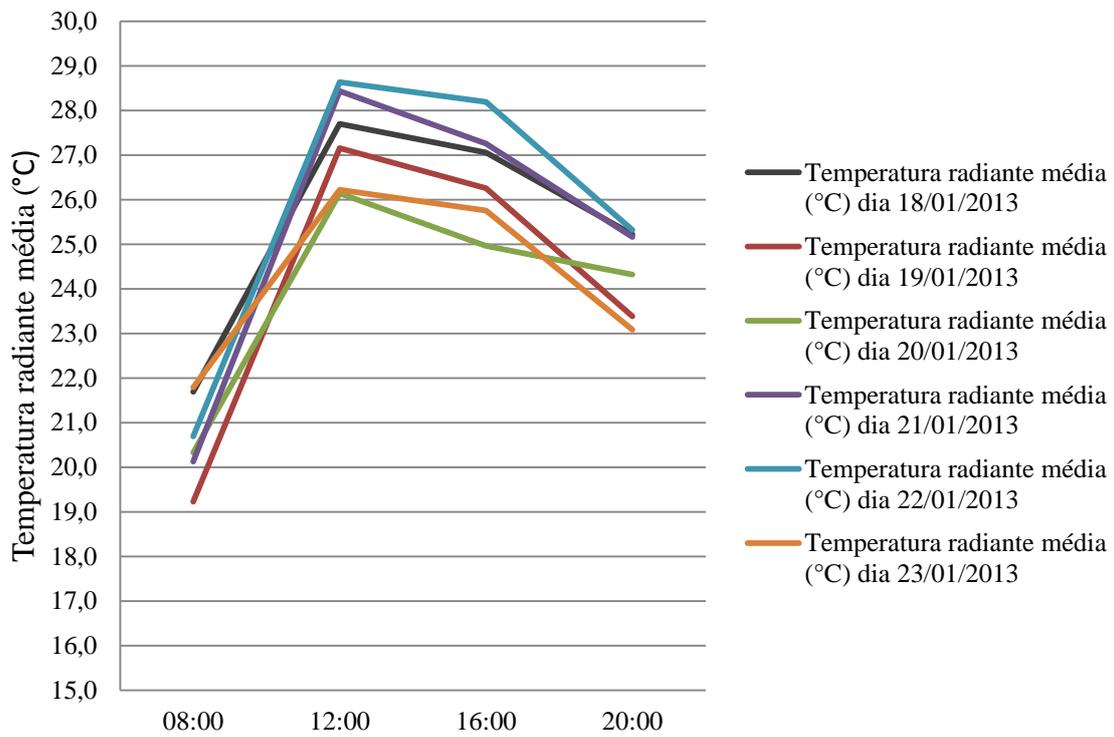


Figura 7.14 – Temperatura radiante média para sala de aula.

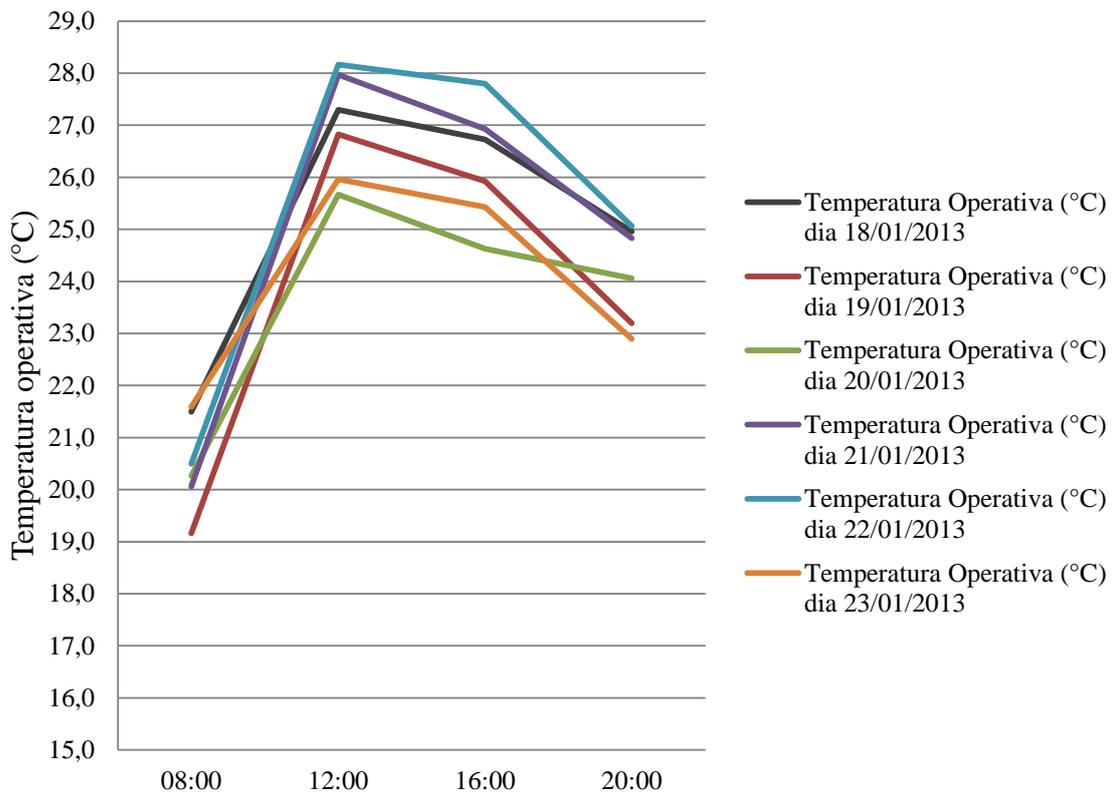


Figura 7.15 – Temperatura operativa para sala de aula.

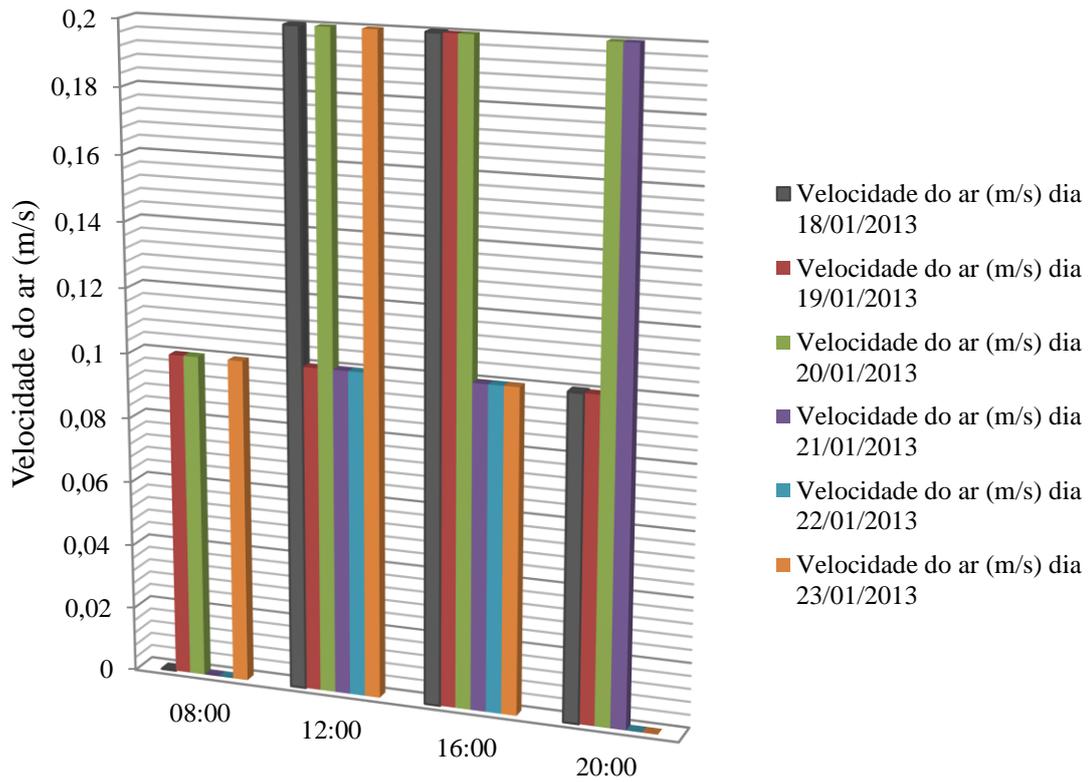


Figura 7.16 – Velocidade do ar para sala de aula.

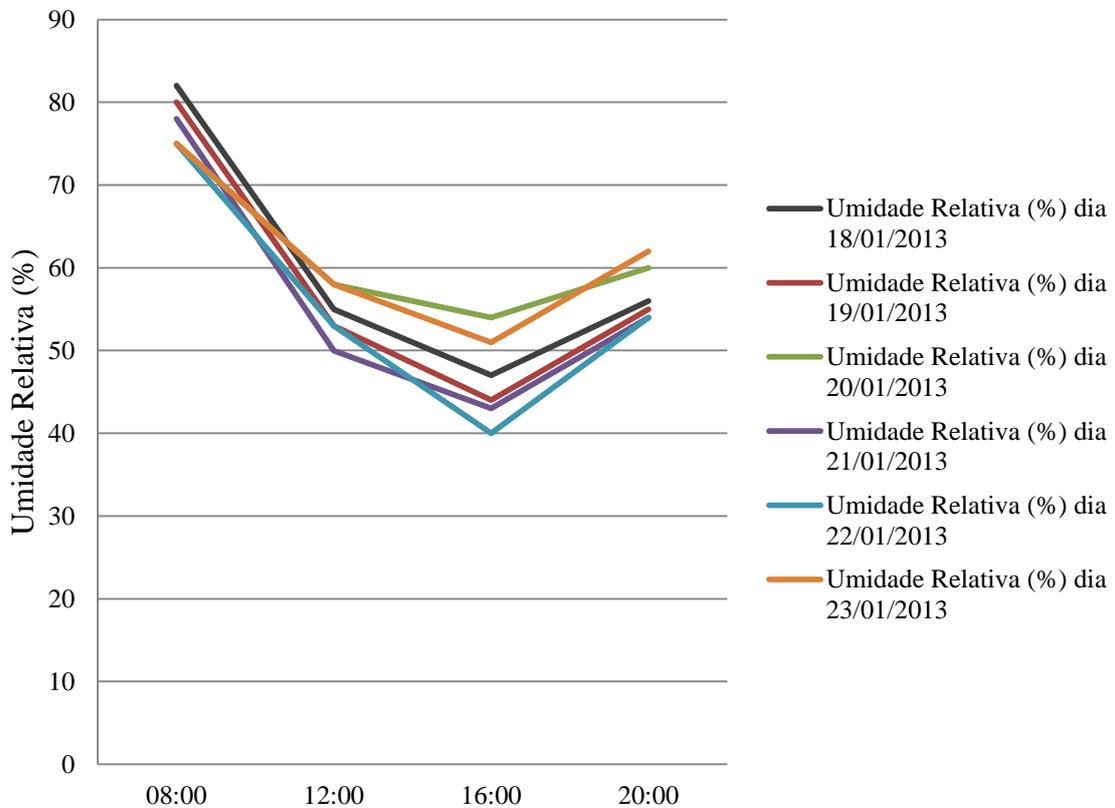


Figura 7.17 – Umidade relativa para sala de aula.

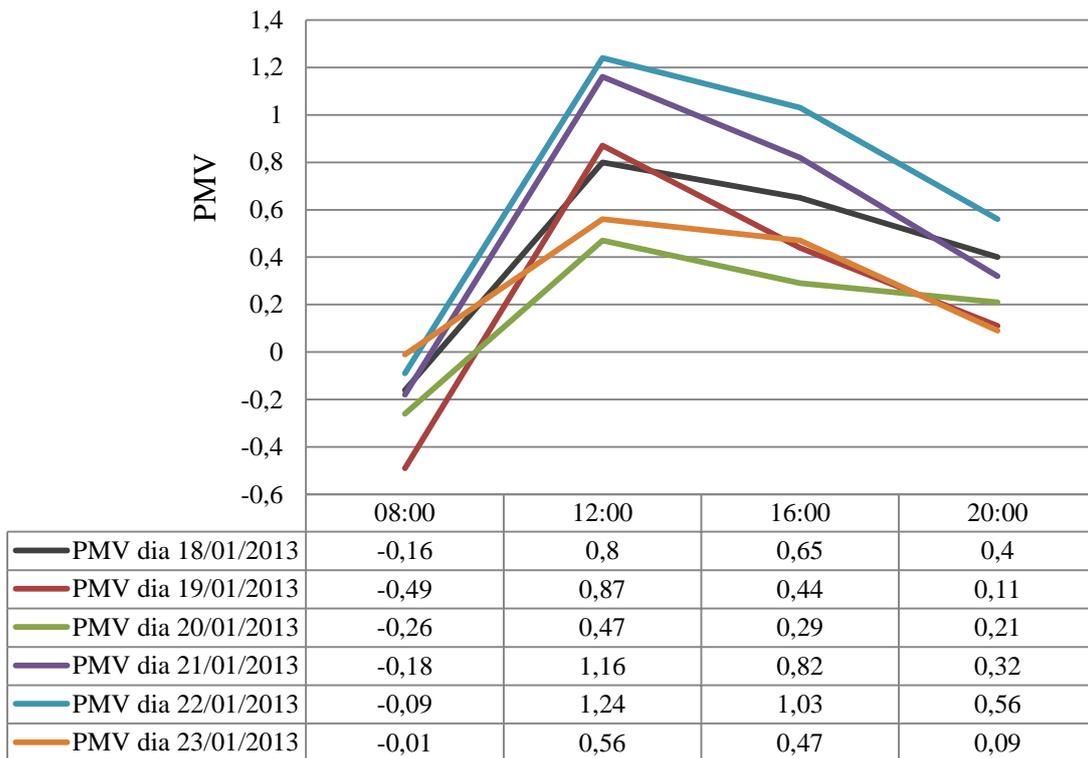


Figura 7.18 - PMV para sala de aula.

7.4 Medições dos pontos fora do prédio

A seguir seguem as medições realizadas nos pontos fora do prédio. Como as medições em cada ponto eram muito semelhantes em cada momento, foi gerada uma média das medições dos pontos em cada momento de medição. São apresentados os gráficos da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar.

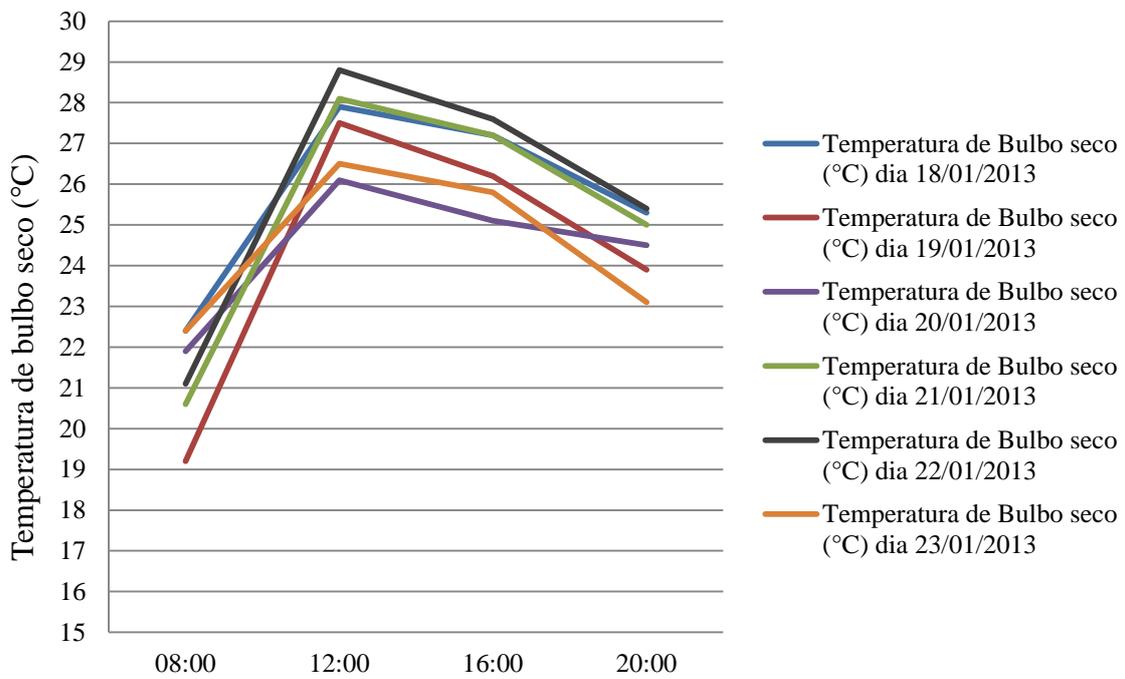


Figura 7.19 – Temperatura de bulbo seco dos dias de medição fora do prédio.

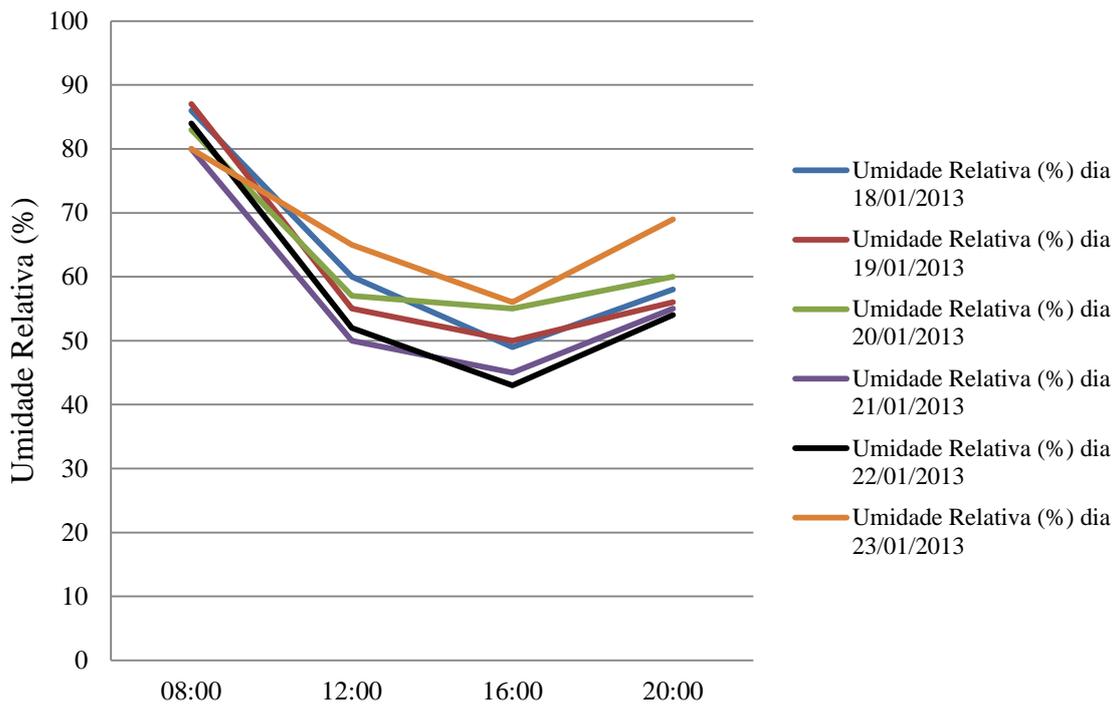


Figura 7.20 – Umidade relativa ao longo dos dias de medição fora do prédio.

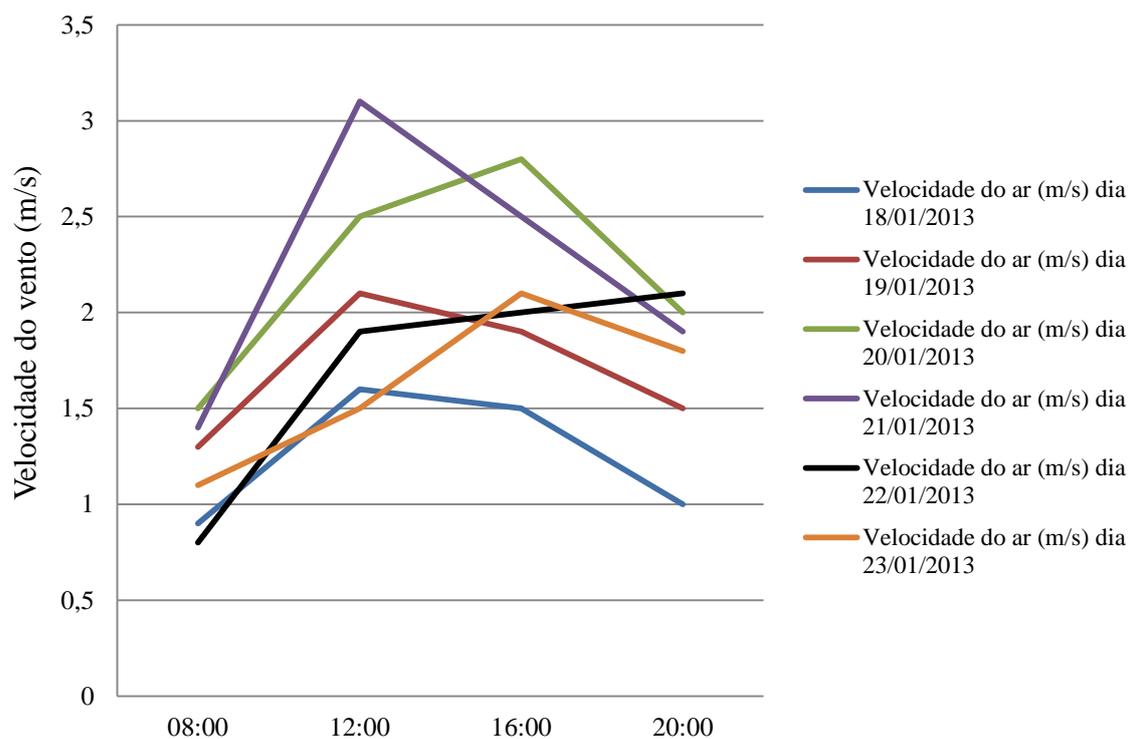


Figura 7.21 – Velocidade do ar ao longo dos dias de medição fora do prédio.

7.5 Resultado das medições no ambiente de estudo e pesquisa

A seguir seguem os resultados das medições realizadas hora a hora ao longo do período de ocupação do prédio no dia 18/01/2013 do ambiente de estudo e pesquisa. São apresentados os gráficos para as temperaturas (temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, temperatura radiante média e temperatura operativa), para a velocidade do ar, para a umidade relativa e distribuição do PMV ao longo do período de medição.

Abaixo seguem as medições na situação em que o exaustor está desligado.

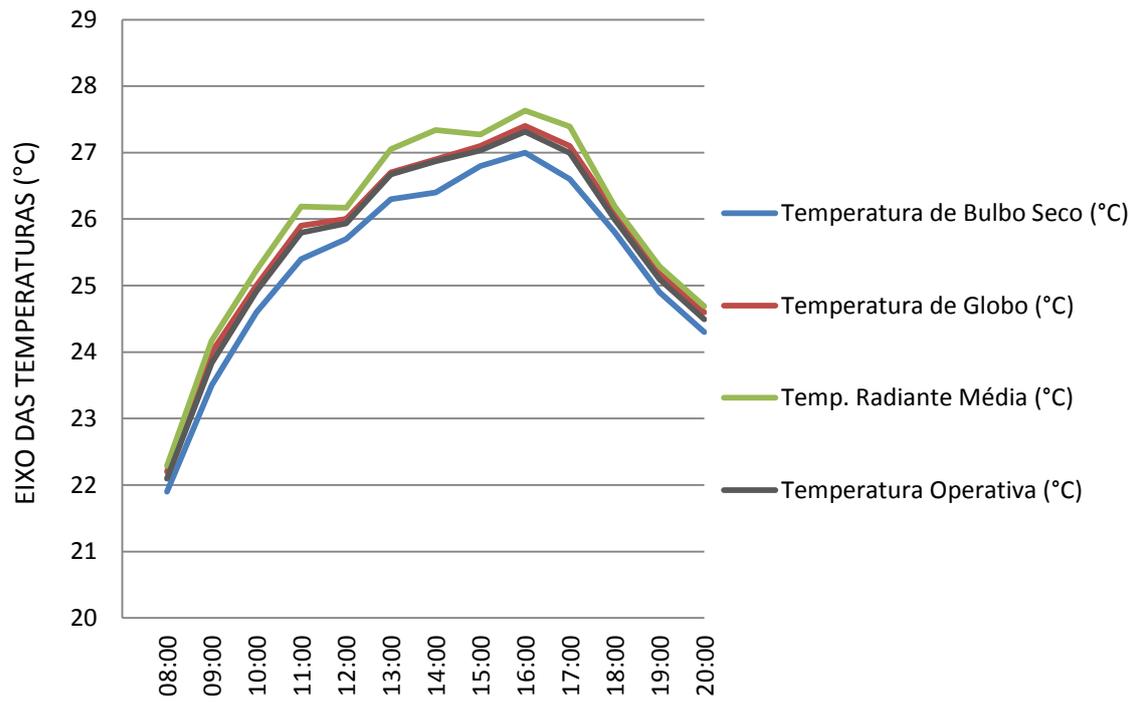


Figura 7.22 – Distribuição das temperaturas com exaustor desligado.

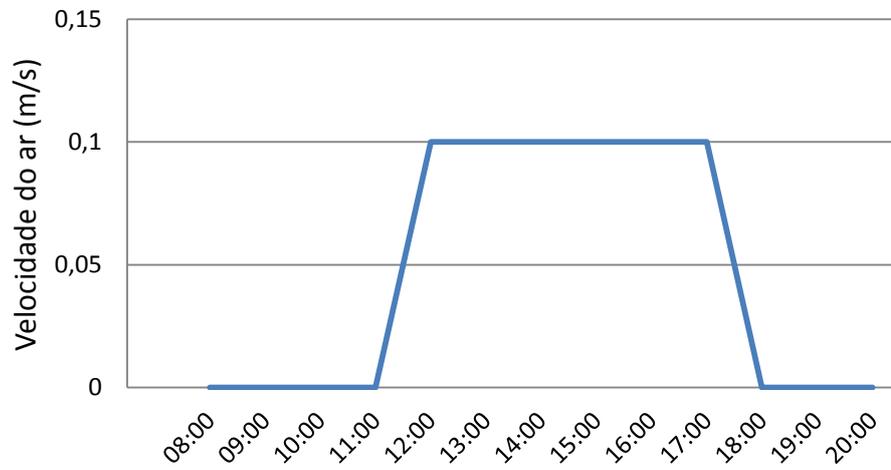


Figura 7.23 – Distribuição da velocidade do ar com exaustor desligado.

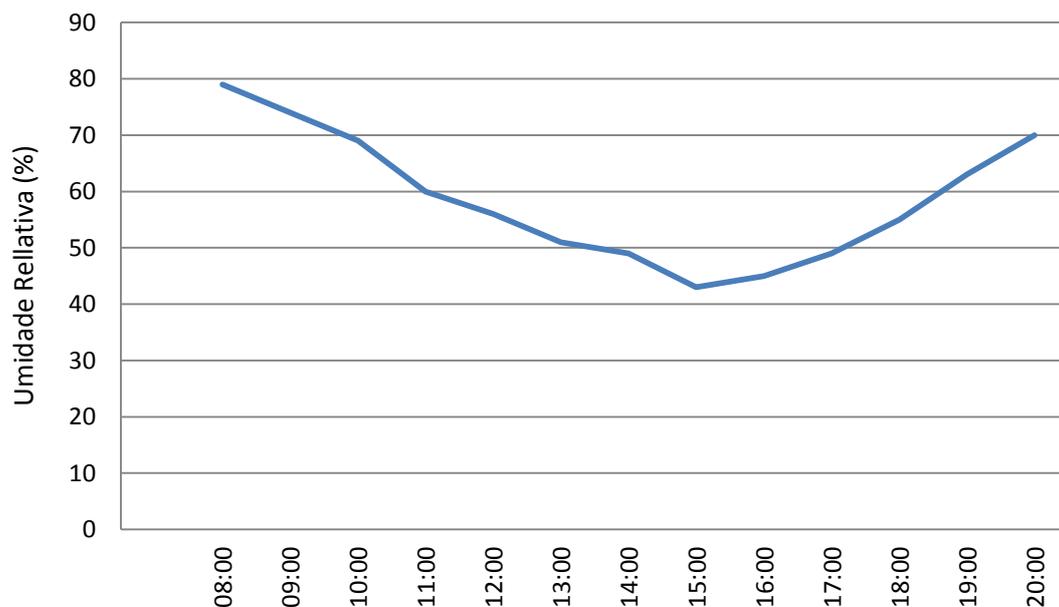


Figura 7.24 – Distribuição da humidade relativa com exaustor desligado.

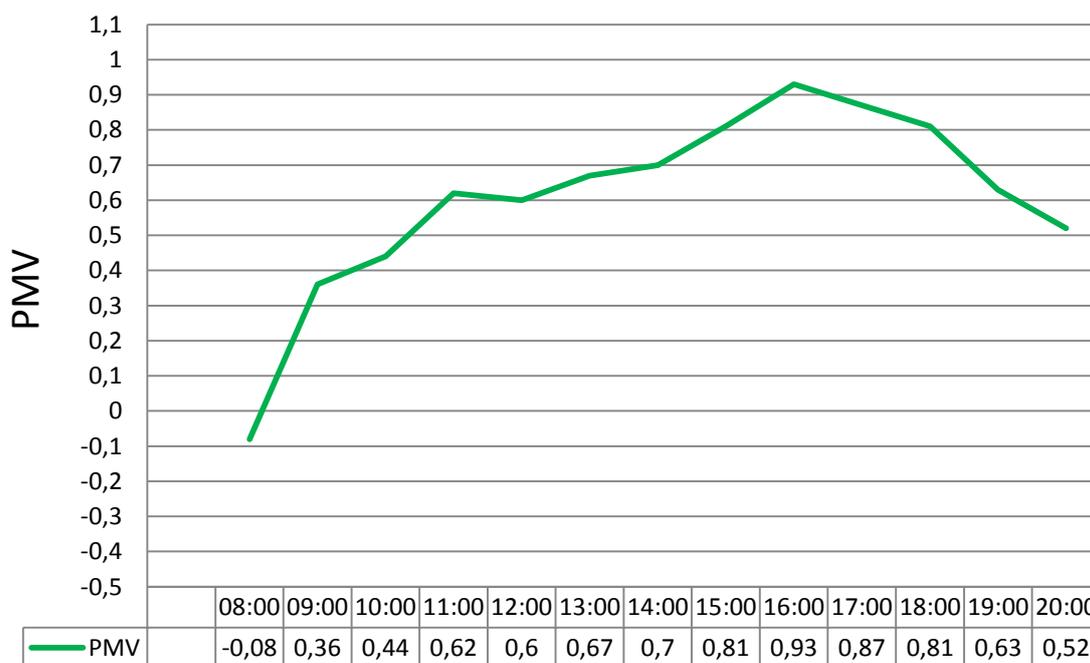


Figura 7.25 – Gráfico do PMV para o ambiente de estudo e pesquisa sem o exaustor ligado.

A seguir seguem os resultados das medições realizadas no dia 18/01/2013 do ambiente de estudo e pesquisa na situação em que o exaustor está ligado.

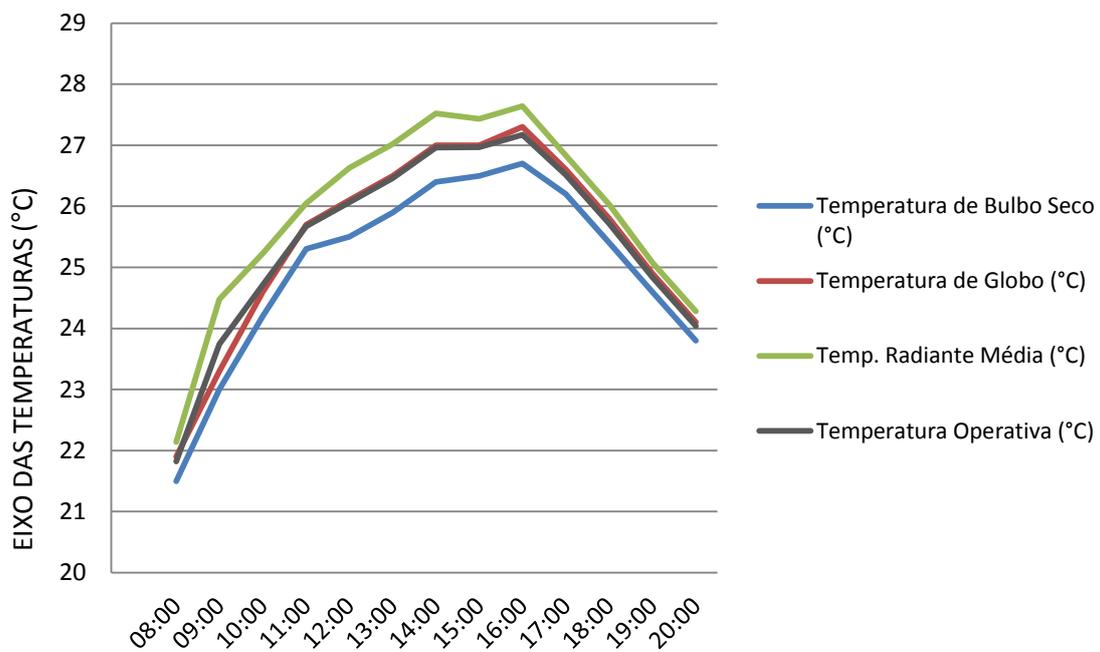


Figura 7.26 – Distribuição das temperaturas com exaustor ligado.

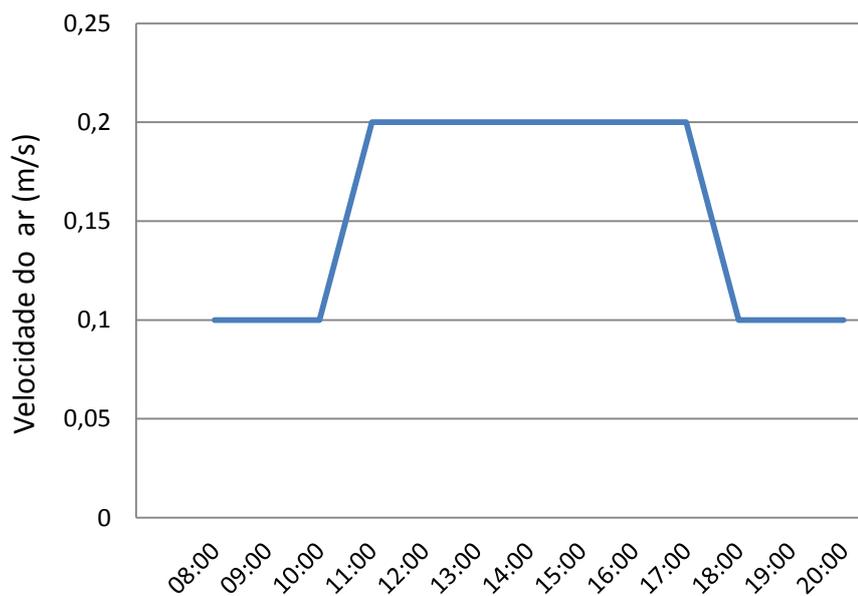


Figura 7.27 - Distribuição da velocidade do ar com exaustor ligado.

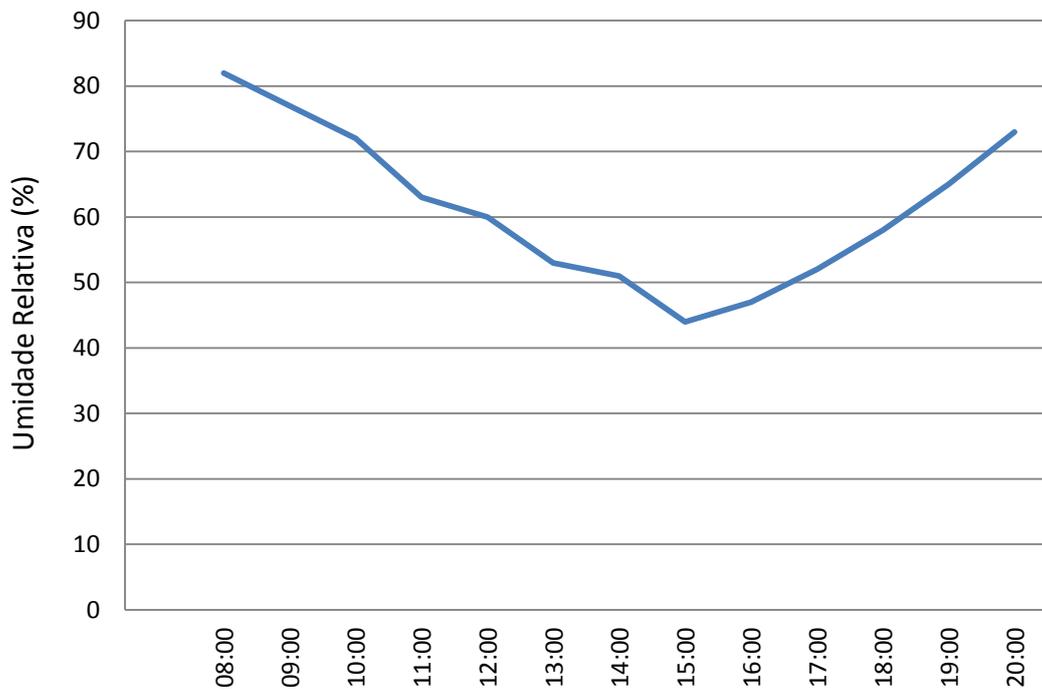


Figura 7.28 – Distribuição da umidade relativa com exaustor ligado.

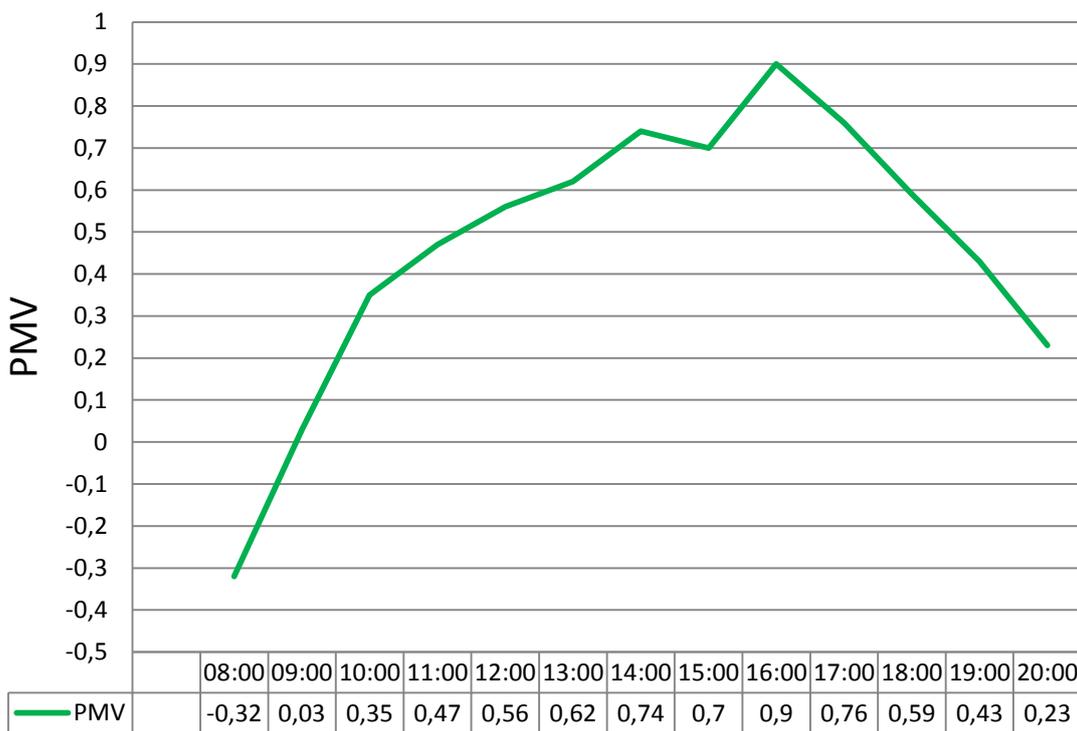


Figura 7.29 - Gráfico do PMV para o ambiente de estudo e pesquisa com o exaustor ligado.

7.6 Medições de velocidade do ar no dia 17/01/2013

A realização do escoamento de ar foi feita com base nas medições de velocidade do ar no dia 17/01/2013. Assim, foram realizadas medições de vários pontos do prédio para comparar com os resultados da simulação, o gráfico a seguir mostra os resultados.

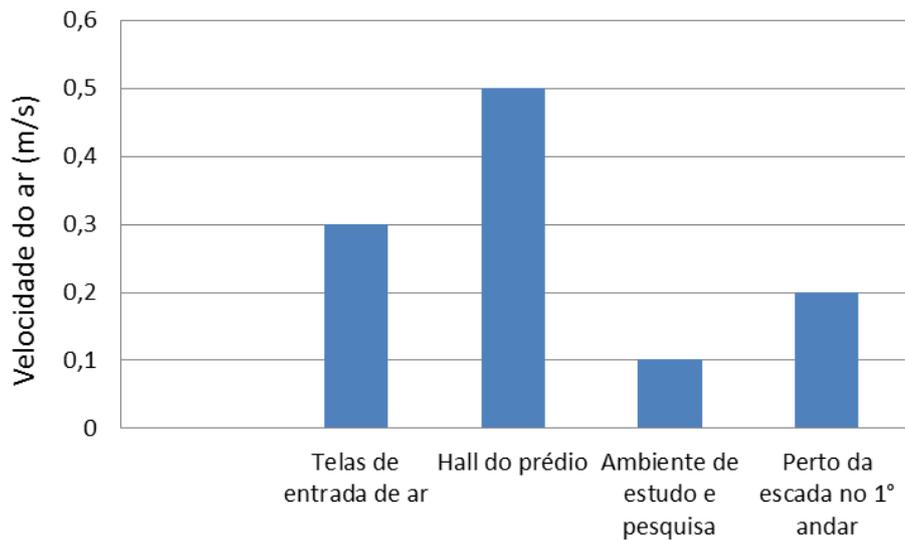


Figura 7.30 – Velocidade do ar em diversos pontos no dia 17/01/2012 a tarde.

7.7 Medições de velocidade do ar nas telas do 1º andar

A seguir seguem dois gráficos fazendo a comparação das velocidades do ar nas telas laterais do 1º Pavimento com o exaustor ligado e desligado para fazer uma análise da influência do mesmo no comportamento do vento no interior do prédio ao longo dos dias de medição.

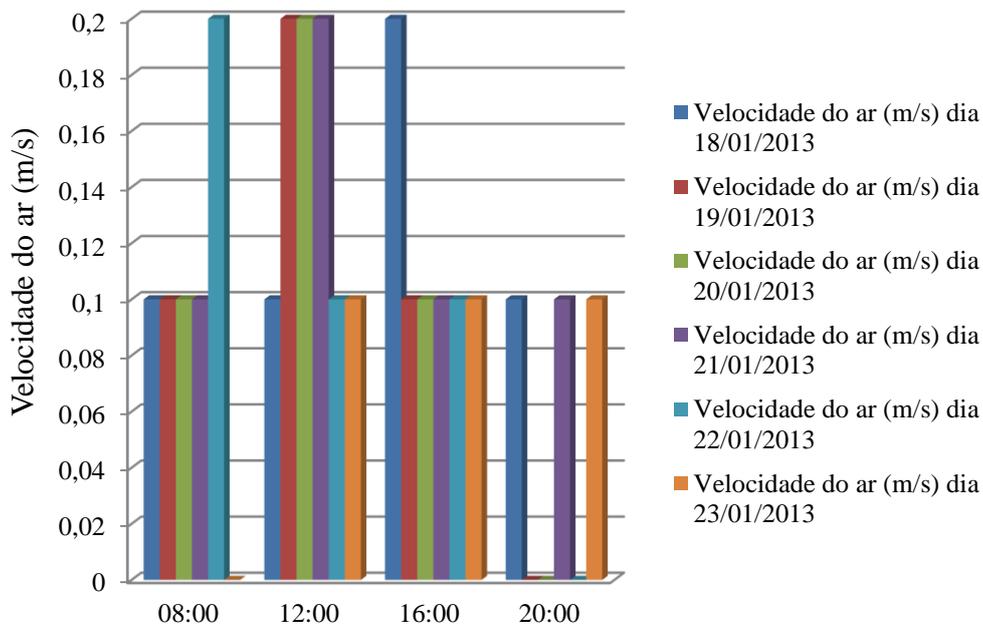


Figura 7.31 – Velocidade do ar nas telas com exaustor desligado.

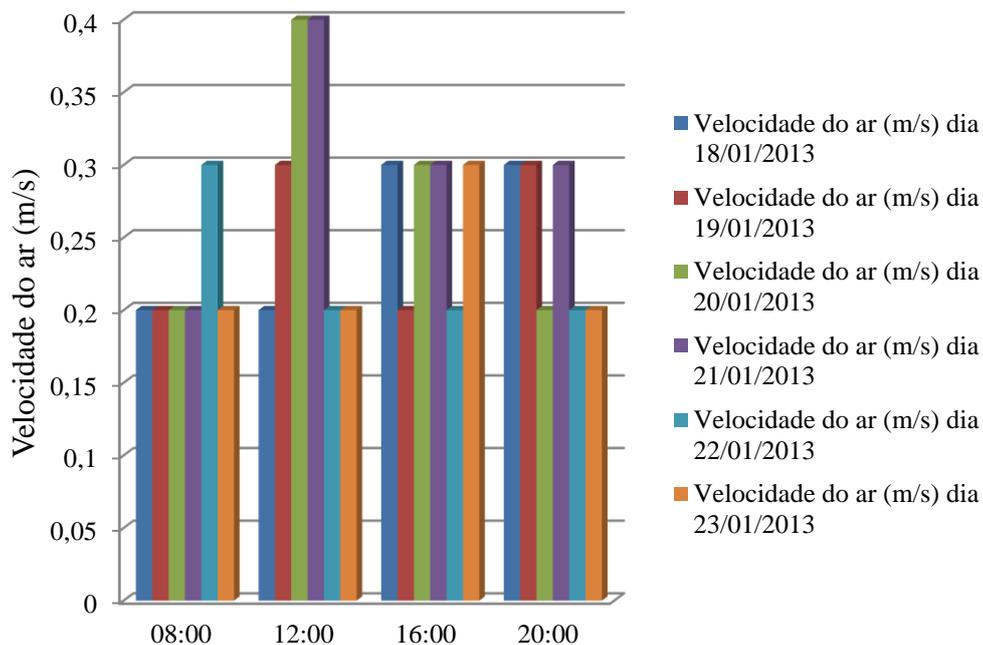


Figura 7.32 – Velocidade do ar nas telas com exaustor ligado.

7.8 Medições com Câmera Termográfica

A cobertura do Memorial Darcy Ribeiro foi construída em uma estrutura de aço e revestida com folhas de alumínio. Sendo o alumínio um material que esquentam com facilidade uma análise térmica dessa cobertura é importante para verificar se a mesma tende a transmitir calor pra dentro da

edificação. Para isso foi usado uma câmera termográfica da marca FLIR série E, que gerou imagens do perfil térmico da cobertura como mostra a seguir.

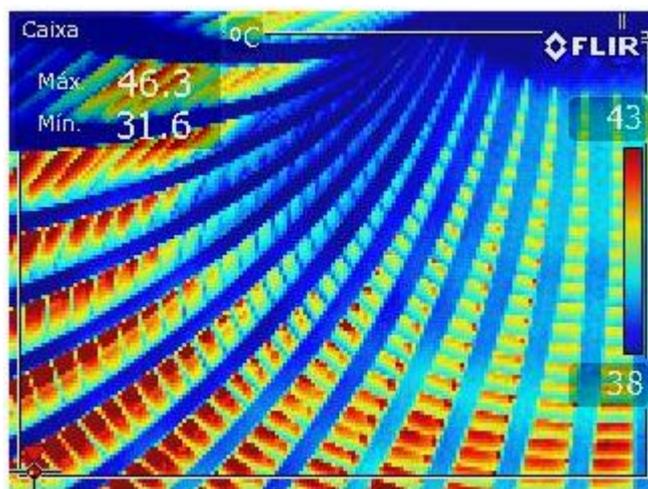


Figura 7.33 – Detalhes termográficos da cobertura do Beijódromo.

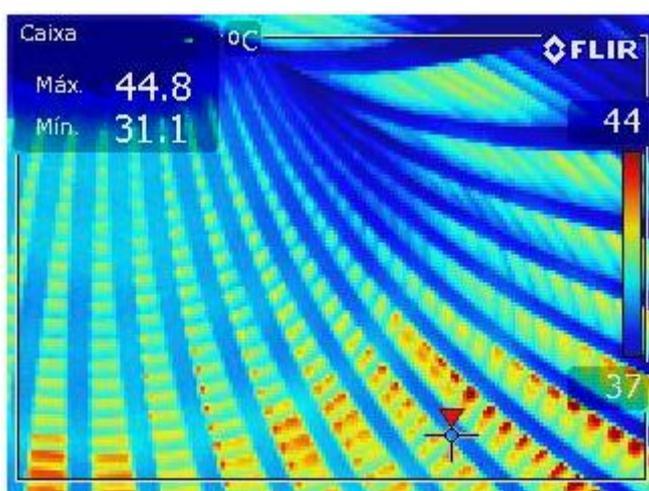


Figura 7.34 – Perfil térmico da cúpula interna do Beijódromo.

Os parâmetros de entrada da câmera para realizar as imagens adequadas (emissividade, temperatura do ar e umidade relativa) foram devidamente selecionados conforme a natureza do material e condições climáticas do dia de medição, que foi no dia 17/01/2013. Considerou emissividade 0,81 para o material, a temperatura do ar encontrava-se a 28 °C e a umidade relativa a 52%.

7.9 Medições com Decibelímetro

Durante as realizações das várias medições foi detectado um nível de ruído alto do exaustor instalado na cúpula do prédio. Com o auxílio do decibelímetro descrito

anteriormente foi realizado medições do nível de ruído em diversos pontos com o exaustor ligado e com o mesmo desligado. A tabela a seguir (Tab. 7.1) mostra os detalhes das medições.

Tabela 7.1 – Medições do nível de ruído em diversos pontos no Beijódromo.

Local de Medição	Nível de ruído com exaustor ligado (dB)	Nível de ruído com exaustor desligado (dB)
Ambiente de leitura e estudo no 1° andar	70,1	50,8
Anel Interno no térreo	62,5	53,1
Sala de aula vazia com porta fechada	49,1	46,4
Sala de produção de eventos com porta fechada	50,3	48,2
Hall de entrada do prédio	64,5	55,3

Ao realizar as medições tomou-se o cuidado de não deixar que interferências (ruídos externos e pessoas dentro do prédio) afetassem a eficácia das medições. Assim, as medições foram realizadas logo no início da manhã, que é um período em que somente o segurança está no prédio e não há muita movimentação de carros e pessoas.

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo faz uma análise das simulações e das medições in loco apresentadas no capítulo anterior. É falado sobre a situação da eficiência energética e conforto térmico para os usuários diante da atual configuração arquitetônica da edificação caso de estudo desse trabalho.

8.1 Análise das simulações no DesignBuilder

Foram realizadas as simulações para o Memorial Darcy Ribeiro em dois casos basicamente, com e sem ventilação mecânica. As simulações foram realizadas para o ano todo e para um dia em específico de um ambiente escolhido.

A avaliação de conforto térmico é realizada com base na norma ABNT NBR 16401-1 (2008) que trata de parâmetros de conforto térmico. A mesma diz que as sensações térmicas são avaliadas numericamente pela escala ASHRAE, em que 0 indica sensação neutra, +1, +2 e +3 sensação de um pouco quente a bastante quente, e -1, -2 e -3 sensação que vai de um pouco frio a bastante frio. Esses parâmetros são baseados no modelo de Fanger e a norma indica que valores de PMV entre +0,5 e -0,5 estão entre valores aceitáveis de conforto térmico.

As simulações considerando o ano todo mostraram que o prédio se encontra em situações de desconforto o ano todo praticamente, com valores de PMV podendo chegar a 3,3 em determinada época do ano. Apenas durante o período que vai do mês de maio ao início de julho o prédio se encontra em melhores condições de conforto.

Agora fazendo uma comparação entre os gráficos com e sem ventilação mecânica para o ano todo, pode se observar que não há grande variação nos valores de PMV de um para outro, variação que ocorre na faixa de 0,2. Isso ocorre porque os efeitos do exaustor não são capazes de provocar muita variação de velocidades do ar, que pode ser verificado nas medições in loco.

Os resultados de PMV para o dia 18/01/2013 do ambiente de pesquisa e estudo no 1º andar foram gerados com o intuito analisar o conforto térmico de um dos dias de medição e de confrontar os dados medidos em campo com os resultados da simulação computacional. O gráfico (6.5) mostra a variação de PMV para o período de ocupação do prédio, que vai das oito da manhã às oito da noite. Com base no gráfico pode-se verificar que durante praticamente todo o período de ocupação, exceto por volta oito horas da manhã, ocorre desconforto térmico. Os gráficos também mostram que não há grande alteração de PMV para as situações onde exaustor foi ligado e onde ele estava desligado.

A carga térmica ao longo do dia mostra os ganhos de calor ao longo do dia no Memorial Darcy Ribeiro e que os maiores ganhos de calor acontecem por volta das 15:00 horas, que é o horário que o prédio está com a máxima carga acumulada durante o dia. Nota-se que os maiores componentes da

carga térmica são a transmissão de calor pela cobertura, a ventilação externa, a radiação através das janelas e a transmissão de calor pelas janelas.

A carga térmica devido à transmissão de calor pela cobertura metálica é um dos maiores componentes da mesma e também tem sua carga máxima por volta das 15h00min, isso acontece devido ao acúmulo de calor durante o dia. As imagens termográficas ajudam a observar esse ganho térmico, mostrando o perfil térmico da cobertura em um dia de calor.

A carga térmica devido a radiação através das janelas e a transmissão de calor pelas janelas são elevadas por causa dos envidraçados ao redor do prédio e na cobertura, para aproveitamento da luz solar no período do dia e ajudar no racionamento da energia elétrica. A carga térmica devido à ventilação mecânica é devido às aberturas de ar na edificação (janelas abertas e telas para entrada de ar no 1º andar).

A carga térmica devido às paredes é muito pequena, porque as mesmas são poucas e não estão sujeita a aquecimento, uma vez que estão todas internas.

A dissipação de calor através da iluminação também contribui para aumento da carga térmica, nota-se no gráfico que a mesma possui um acréscimo considerável por volta das 18h00min, isso acontece porque é o período que o sol está se pondo e uma maior quantidade de luzes passa a ser acesas. Quanto à carga térmica devido à ocupação e equipamentos, observa-se que as mesmas ocorrem durante o período de ocupação do prédio.

Através da simulação de ar condicionado nota-se que o conforto térmico do prédio melhorou bastante, passando a ficar em condições de conforto. Observa-se que o consumo de energia varia de acordo com o mês, os maiores valores de consumo são encontrados nas épocas de maior desconforto térmico que vai de janeiro ao final de abril e de setembro a dezembro. Nos meses de maio a agosto o consumo de energia é menor por causa da estação de inverno, que exige menos do sistema de ar condicionado.

8.2 Análise das medições in loco

As medições em campo mostraram que a combinação entre temperatura do ar, umidade relativa e velocidades do ar no interior do prédio não são suficientes para propiciar conforto térmico para os ocupantes. Mesmo em dias em que as temperaturas não estavam muito altas, como os dias de medição, o prédio encontra em desconforto térmico. Isso é comprovado através do PMV calculado com o auxílio do programa Analysis CST para cada momento de medição mostrado através dos resultados apresentados anteriormente.

Essa análise é realizada também com base na norma ABNT NBR 16401-2 (2008), que para a estação de realização das medições, que é o verão, temos os seguintes parâmetros:

Tabela 8.1 – Parâmetros de conforto ambiental para o Verão (NBR 16401-2, 2008).

VERÃO – Roupa típica (0,5 clo)
Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada
22,5 °C a 25,5 °C e umidade relativa de 65%
23,0 °C a 26,0 °C e umidade relativa de 35%

Tabela 8.2 – Parâmetros de conforto ambiental para o Verão (NBR 16401-2, 2008).

VERÃO – Roupa típica (0,5 clo)
A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar
0,2 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%)
0,25 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência menor a 10%)

Para fazer uma análise com base na norma tomaremos como base as medições no ambiente de estudo e pesquisa no dia 18/01/2013 mostrado anteriormente sem o exaustor ligado, que é a realidade do prédio, uma vez que ele não é ligado porque causa muito barulho dentro da edificação. A temperatura operativa foi calculada para cada momento e é mostrada no gráfico abaixo. A seguir segue também o gráfico da umidade relativa.



Figura 8.1 – Temperatura operativa ao longo do dia para o ambiente de estudo e leitura.

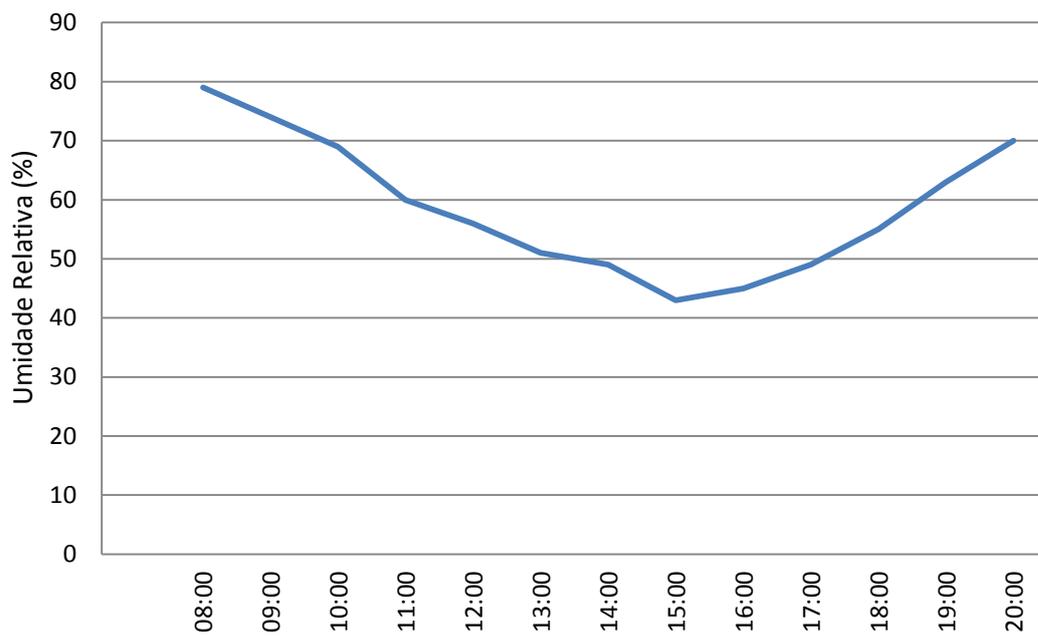


Figura 8.2 – Umidade relativa para o ambiente de estudo e leitura ao longo do dia.

Analisando os gráficos fica claro que as medições estão fora da zona de conforto estipuladas pela norma mostrada anteriormente, principalmente no período das 12h00min às 18h00min, onde as temperaturas estão além das estabelecidas e a umidade do ar na faixa de 50%, que é uma combinação de alta temperatura com uma umidade média, capaz de provocar alto desconforto térmico.

A partir das medições realizadas na sala de aula e na sala de produção de eventos foi possível obter gráficos de PMV ao longo dos dias de medição. É possível observar que nos dias 18/01/2013, 19/01/2013, 21/01/2013 e 22/01/2013 as soluções passivas e a solução mecânica (exaustor) não são capazes de manter o conforto térmico nos períodos críticos, que vai do meio dia até por volta das 16h00min horas. Nos outros dias as temperaturas estavam amenas ao longo do dia por causa do tempo nublado e chuvoso e os valores de PMV estavam dando condições de conforto térmico.

A avaliação de desconforto térmico na sala de aula e na sala de produção de eventos também pode ser feita analisando a norma. As medições de temperatura de bulbo seco mostram que na maioria dos dias de medição as temperaturas estão acima do permitido, principalmente no horário mais crítico que vai do 12h00min às 16h00min.

Foi realizado medições ao redor do prédio para fazer uma análise das condições ambientais ao redor do Beijódromo e sua influência no interior do mesmo ao longo dos dias de medição. É importante notar que as velocidades do ar ao longo dos dias de medição oscilaram entre valores de 0,8 m/s a 3,1m/s e que essa velocidade não teve muita influência em um aumento da velocidade do ar nas telas de entrada de ar no 1° andar. Nota-se também uma queda da temperatura de bulbo seco e umidade relativa no interior do prédio com relação

ao ambiente de fora.

Outra análise que pode ser feita é com relação às diferenças entre as medições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar produzida pelo efeito do exaustor, que são pequenas e não contribuem muito para aumentar o conforto térmico.

A velocidade do ar medida que entra pelas telas laterais do 1º Andar apresentadas anteriormente é pequena e não se distribui para o meio do pavimento, não ajudando assim a melhorar o conforto térmico interno. Uma das razões para isso ocorrer é que não foram usadas as telas propostas em projeto, que possuíam um material que permitisse maior entrada de ar, e acabaram colocando telas muito finas e que não permitem que o ar entre em maior quantidade.

Quanto às velocidades do ar nas telas do 1º andar nota-se que não houve muita alteração no regime de velocidade do ar nas situações com e sem o exaustor ligado, evidenciando ainda mais que o exaustor não está fazendo muita diferença para melhorar o conforto térmico interno.

As imagens com a câmera termográfica mostraram altas temperaturas da cobertura do prédio, chegando a 45° C em alguns pontos. Essas estruturas a alta temperatura irradiam calor pra dentro do prédio, aumentando ainda mais a sensação de calor.

8.3 Análise comparativa das simulações com as medições in loco

Feito uma análise dos resultados das simulações no DesignBuilder e dos resultados das medições in loco, agora faz-se uma comparação entre os resultados dos gráficos de PMV gerados pelas medições de campo e pelos computacionais para o caso sem exaustor ligado e para o caso com exaustor ligado.

Observando primeiramente os gráficos onde o exaustor estava desligado percebe-se que os gráficos são muito semelhantes, ou seja, a distribuição do PMV ao longo do período de ocupação do prédio é compatível entre os dois gráficos (Fig. 6.6) e (Fig. 7.29). Quanto aos valores encontrados em cada horário para cada tipo de análise nota-se uma variação aceitável de um para outro. Essa variação existe, uma vez que o DesignBuilder se baseia em um arquivo climático que toma como base uma média de medições ao longo de anos e o Analysis CST tomou como base os dados medidos em um dia específico.

Analisando agora a situação em que o exaustor estava desligado observa-se que os gráficos também são muito semelhantes, ou seja, a distribuição do PMV ao longo do período de ocupação do prédio é compatível entre os dois (Fig. 6.7) e (Fig. 7.25). Outra análise é quanto aos valores de PMV a cada hora, variando em uma faixa aceitável entre os resultados de cada gráfico.

Assim, com base na análise feita pode-se dizer que os resultados obtidos em uma análise experimental mostraram que os resultados obtidos computacionalmente são satisfatórios. Isso mostra que o DesignBuilder é uma boa ferramenta pra avaliar o desempenho térmico da edificação.

8.4 Análise do escoamento de ar

Analisando os resultados apresentados das simulações de escoamento de ar dentro do prédio pode-se observar que o mesmo não demonstrou ter um fluxo capaz de distribuir todo o ar que entra por ele de uma maneira satisfatória para todos os ambientes.

A Figura (8.3) mostra alguns pontos importantes para a análise do fluxo de ar.

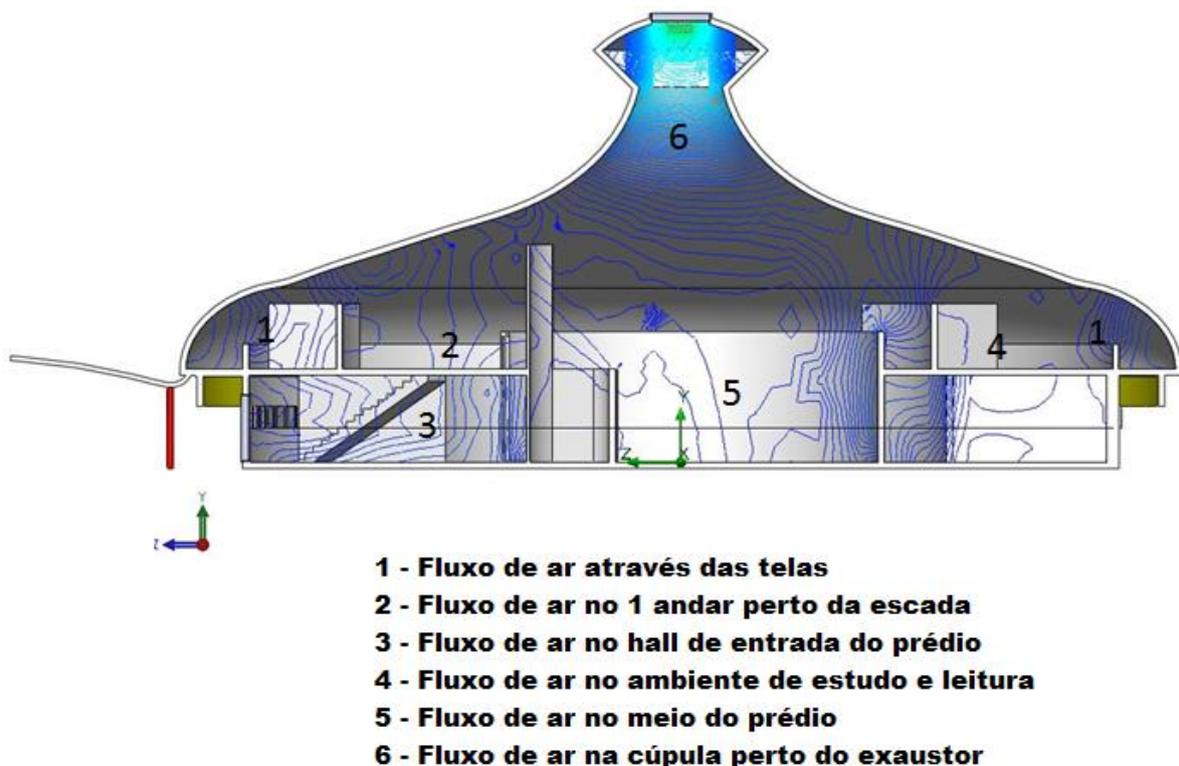


Figura 8.3 – Pontos de análise do fluxo do ar.

O ponto 1 está mostrando o local onde o ar está entrando pelas telas do 1º pavimento e mostra claramente o fluxo maior através do mesmo. Através da figura pode ser observado também que o ar que entra através das telas não circula para o interior do prédio, pois ele tende a subir junto à cobertura da edificação.

Observa-se que existe uma diferença de fluxo de ar entre os pontos 2 e 4 que representam, respectivamente, o fluxo de ar perto da escada no 1º andar e o ambiente de estudo e pesquisa. Essa diferença existe porque a abertura da escada induz um fluxo de ar para o 1º pavimento, abertura que

não existe no ponto 4. O ambiente de estudo e leitura é um dos ambientes mais críticos no prédio, porque não possui nenhuma abertura de ar capaz de induz um fluxo diretamente para o local e ainda está sobre a influência do aquecimento da cobertura do prédio.

O ponto 3 mostra o fluxo de ar que entra pelo hall de prédio e demonstra uma maior quantidade de fluxo de ar, isso acontece porque no local existe muitas aberturas para que o ar possa entrar (janelas). Esse ar que entra tende a se distribuir para o interior do prédio, onde pouco circula ao redor do anel interno do prédio e um pouco entra pelas aberturas ao lado do elevador e sobe para a cúpula.

O ponto 5 mostra o ar que entra para o interior do prédio onde existe um jardim que é cercado por vidro, tendo como únicos pontos de fluxo de ar para seu interior, no térreo, duas aberturas ao lado do elevador. O escoamento mostra que o ar entra pelo hall, passa pelas aberturas e vai para o fundo do ambiente que acaba subindo para a cúpula pela indução do exaustor. É importante notar que o ar sobe diretamente para a cúpula, não se distribuindo para os ambientes no primeiro andar.

O ponto 6 representa o fluxo de ar que vem de todos os pontos do prédio (térreo e 1º andar), comprime na cúpula e sai pelo exaustor.

Depois de analisado o perfil do fluxo de ar em alguns pontos importantes no interior do prédio é necessário fazer uma comparação entre as medições realizadas em campo no dia 17/01/2013 do período da tarde com as obtidas na simulação. A Figura 8.8 mostra essa comparação.

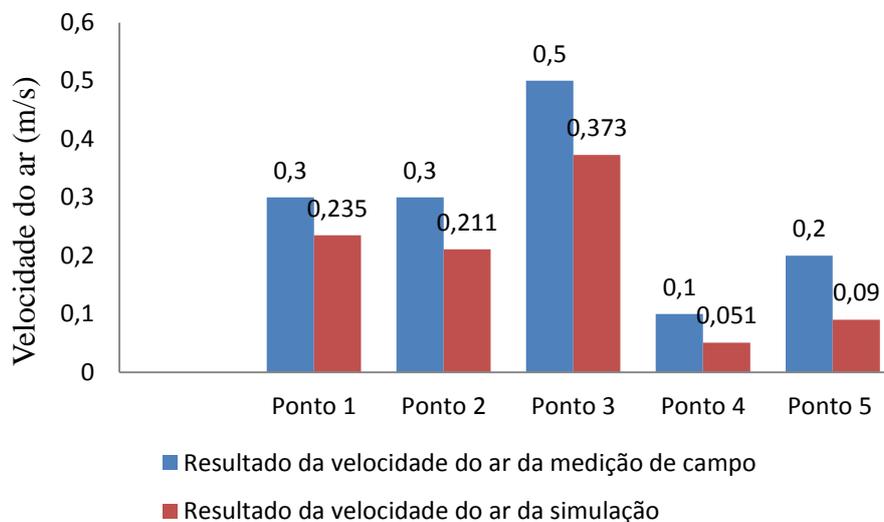


Figura 8.4 – Comparação entre as velocidades medidas em campo com as da simulação.

Analisando o gráfico pode-se observar que as velocidades de campo sempre estiveram um pouco maior que as velocidades obtidas da simulação. Embora estejam diferentes, elas estão compatíveis e não representam discrepância de valores muito grande de uma para outra, mostrando assim que o simulador de escoamento do SolidWorks é uma boa ferramenta para esse tipo de análise de escoamento de ar.

8.5 Análise do nível de ruído

Antes de fazer qualquer conclusão é necessário consultar a norma que trata dos níveis de ruídos aceitáveis para determinado tipo de ambiente. A norma que trata disso é a ABNT NBR 10152 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico – Tabela 1. Dentre os diversos ambientes que a norma dispõe alguns se enquadram nos ambientes medidos no Beijódromo. Abaixo segue uma tabela comparativa entre os níveis de ruídos aceitos pela norma, entre os níveis de ruídos medidos nos ambientes com o exaustor ligado e entre os níveis de ruídos medidos nos ambientes com o exaustor desligado.

Tabela 8.3 – Tabela comparativa dos níveis de ruído.

Local de Medição	Níveis aceitáveis de ruído de acordo com a norma (dB)	Nível de ruído com exaustor ligado (dB)	Nível de ruído com exaustor desligado (dB)
Ambiente de leitura e estudo no 1° andar	35 – 45	70,1	50,8
Anel Interno no térreo	45 – 55	62,5	53,1
Sala de aula vazia com porta fechada	40 – 50	49,1	46,4
Sala de produção de eventos com porta fechada	35 – 45	50,3	48,2
Hall de entrada do prédio	45 – 55	64,5	54,8

Com base na norma e nos resultados apresentados conclui-se que todos os ambientes medidos, exceto a sala de aula, estão em desconforto acústico no momento em que o exaustor é ligado. O ambiente de estudo localizado no 1° andar tem um destaque especial, uma vez que o nível de ruído no local, de 70,1 dB, está quase o dobro acima do aceitável.

As medições mostraram que quando o exaustor se encontra desligado o conforto acústico melhora bastante, pois o nível de ruído apresenta uma queda significativa. É possível ver que a maioria dos ambientes passam a ficar em níveis de conforto acústico aceitos em norma, apenas o ambiente de estar e leitura e a sala de produção de eventos estão fora dos limites da norma, mais o nível de conforto acústico já tem uma melhora significativa.

8.6 Análise geral do prédio

O Memorial Darcy Ribeiro foi projetado para que as soluções passivas usadas no mesmo pudessem propiciar conforto térmico para os ocupantes ao longo do ano. A partir de simulações computacionais e medições in loco é possível ver que esse conforto térmico não é alcançado.

O exaustor colocado na cúpula do prédio com o intuito de fazer com que o ar que entre na edificação circulasse pelas zonas no interior do prédio não tem o efeito esperado. É possível ver que o escoamento produzido pelo mesmo não faz com que o ar circule no prédio, principalmente no 1º andar. O ar entra pelas telas laterais do 1º pavimento e sobem para a cúpula do prédio acompanhando a curvatura da mesma, não circulando para o centro do prédio onde é ocupado.

As telas de entrada de ar não permitem que entre muito fluxo de ar para dentro da edificação. Isso acontece porque não foram usadas as telas propostas em projeto, que possuíam um material que permitia um maior fluxo de ar devido maiores espaços internos. O fluxo de ar já é bastante barrado pelos brises, e com as telas finas o mesmo tende a ser ainda menor.

A cobertura metálica do prédio é uma característica do prédio que contribui para que aumente a sensação de calor dentro do mesmo. A partir das imagens termográficas pode ser observado que em um dia de calor a temperatura da superfície chegou a cerca de 46 °C, fazendo com que o ar quente ainda mais no 1º andar devido a irradiação do calor absorvido pelo metal.

A partir das visitas de campo algumas outras características do prédio puderam ser avaliadas. Uma delas é quanto ao envidraçado interno que circunda o jardim dentro da edificação, que cria um corredor interno fechado que não permite que o ar circule de forma melhor no local. O ambiente do corredor tende a ficar abafado por causa dessa barreira. Esse problema poderia melhorar se esse local no térreo fosse todo aberto, permitindo que o ar se distribua melhor pelo ambiente (Fig. 8.5).



Figura 8.5 – Interior do Beijódromo.

Outra característica avaliada no prédio é quanto ao local onde fica armazenado o acervo de livros de Darcy Ribeiro no 1º andar. O ambiente onde os livros ficam é fechado lateralmente por vidros, mas o ambiente não possui proteção superior ou qualquer outra meio que o proteja contra humidade e calor, isso pode fazer com que os livros estraguem com o decorrer do tempo.

Foi observado que há um uso indevido do local, que é com relação ao funcionamento de um restaurante dentro do prédio. Sendo o Memorial Darcy Ribeiro uma edificação voltada principalmente ao estudo e pesquisa, que pode ser notado através dos ambientes de estudo, pesquisa e salas de aula que possui, um restaurante dentro do prédio provoca alguns problemas de conforto ambiental, tais como aumento do nível de ruído e odores.

O nível de ruído provocado pelas atividades dos clientes e pelas atividades internas do restaurante aumenta bastante o desconforto acústico do local, nota-se que a cozinha do restaurante faz divisa de parede com uma das salas de aula. Os odores das atividades e produtos do restaurante é sentido significativamente, principalmente nos horários do almoço, levando ao desconforto ambiental e um possível engorduramento de superfícies internas do prédio.

9 CONCLUSÃO

Este último capítulo apresenta as considerações finais a respeito dos resultados obtidos e análises realizadas do projeto.

A utilização do *software* DesignBuilder para análise de conforto térmico no Memorial Darcy Ribeiro foi satisfatória. Elas permitiram avaliar o desempenho das características construtivas da edificação usadas pelo arquiteto para tentar melhorar o conforto térmico para os ocupantes do prédio.

Apesar do DesignBuilder ter facilitado o processo de modelagem com relação ao EnergyPlus, o mesmo possui algumas deficiências de comandos que ajudam na construção de modelos com geometrias mais complexas internas e externas. Assim, em muitos casos é necessário a realização de aproximações do modelo real da edificação.

Foram apresentadas algumas certificações de eficiência energética de importância nacional e internacional. A partir das mesmas e de seus critérios de avaliação, pode ser destacado os quesitos que o caso de estudo e os outros edifícios mostrados como exemplo, possuem para pontuar no processo de avaliação, com base nas características das soluções de climatização que apresentam.

Com relação aos resultados obtidos através das medições de campo, as mesmas foram muito importantes para o trabalho, pois propiciaram uma análise mais detalhada do Beijódromo, desde as medições de temperatura, umidade e velocidade do ar até a realização de imagens termográficas e medições do nível de ruído dentro do prédio.

As simulações de escoamento de ar foram realizadas de forma adequada, ajudando a avaliar o modo como o ar se comporta dentro do edifício depois que entra através das janelas e das telas no 1º andar. Elas mostraram que algumas características do prédio, como o exaustor e as telas de entrada de ar, não propiciaram a devida circulação de ar dentro da edificação como foi previsto pelo arquiteto.

Desta forma, as simulações usando o DesignBuilder, as simulações de escoamento de ar e as medições *in loco* permitem concluir que as soluções passivas de arquitetura utilizadas na climatização do edifício não conseguem manter a condição de conforto térmico adequada dentro dos ambientes. Assim, fica claro que é muito difícil garantir o conforto térmico interno para um edifício com essas proporções apenas usando soluções passivas, o que pode se fazer é aliar o uso de soluções passivas às soluções mecânicas, ajudando no uso racional dos recursos energéticos.

Como sugestão de trabalhos futuros indica-se a realização de simulações termoenergéticas alterando características da arquitetura, tais como a inserção de maiores entradas de ar nas telas do 1º andar, alteração do tipo de material da cobertura e tipo de vidro, e analisar a influência das mesmas numa melhora do conforto térmico. Indica-se também a realização de simulações de condicionamento

de ar com as modificações da arquitetura, e realizar uma análise da influência das mesmas quanto a sua contribuição numa redução de consumo de energia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABNT NBR 16401-1: 2008, Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários; Parte 1 - Projeto de Instalações.
- ABNT NBR 16401-3: 2008, Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários; Parte 3 - Qualidade do ar interior.
- ABNT NBR 10152: 1987, Níveis de Ruído para Conforto Acústico.
- ASHRAE, 1993, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., SI Edition, Atlanta, USA.
- BORDUNI, R. Nunes, 2006. “Simulação Computacional para Análise de Eficiência Energética em Edificações”. LAAR, Universidade de Brasília.
- Casa eficiente : Bioclimatologia e desempenho térmico, v.1 (123p) / editores: Roberto Lamberts... [et al.]. – Florianópolis : UFSC/LabEEE, 2010.
- CASTRO, M. A. S. N., 2010. “Otimização do Desempenho de um Sistema Central de Climatização via Simulação Computacional – Caso de Estudo: TJDFT”. LAAR, Universidade de Brasília.
- DEL BARRIO, E. P. “Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings”, 1998.
- DEON, G., 1996. “Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais do Comportamento Térmico de uma Ambiente” ,Dissertação de Mestrado em Engenharia, UFRGS.
- DESIGNBUILDER TUTORIALS, 2007 em www.designbuilder.co.uk/content/view/54/68/
- FANGER, P. O., 1972. “Thermal Comfort: Analyses and applications in environmental engineering.” McGraw Hill, New York, USA.
- FARIAS, G. H. N. F., 2007. ”Definição de Soluções de Climatização para Diferentes Regiões Climáticas – Caso de Estudo: Projeto MEC Proinfância” LAAR, Universidade de Brasília.
- GRINGS, E. T. O., 2003. “Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais do Comportamento Térmico de um Ambiente”, Dissertação de Mestrado em Engenharia, UFRGS.
- Google Earth, Vr 5.1.3533.1731 GOOGLE INC.
- INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- KARASHIMA, T. M., 2006. “Avaliação de Diferentes Ferramentas para o Cálculo de Carga Térmica e Sua Aplicação na Análise Energética de Edifícios”, LAAR, Universidade de Brasília.
- KIERKUS, W., COLBORNE, W. e WILSON, N., 1991. “The effect of differences in solar radiation data on the energy requirements of a residence”. ASHRAE Transactions, vol. 97, p. 325–327.
- KUSUDA, T., BEAN, J. W., 1981. “Comparison of calculated hourly cooling load and Atiic temperature with measure data for Houston test house”. ASHRAE Transactions vol. 87.
- LabEEE - Apostila de Desempenho Térmico em Edificações, 2005.

- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 1997.
- LEED, 2009, LEED v3 2009 for Existing Buildings: Operations & Maintenance Rating System. USGBC, 2009.
- LIU, K. Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. In: 18th International Convention of the Roof Consultants Institute. Proceedings... p. 93-103, 2003.
- MENDES, V. G. P., 2011. “Quantificação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Vãos Envidraçados”, Universidade do Porto.
- Ministério de Minas e Energia - 2003.
- MORAIS, A. V. S., 2012. “Sobre os limites da solução passiva de climatização na manutenção do conforto térmico em edificações”, LAAR, Universidade de Brasília.
- NASCIMENTO, A. L. R., 2007. “Simulação Energética de Edifícios como Ferramenta de Projeto – Caso de Estudo: Museu de Ciência e Tecnologia de Brasília”, LAAR, Universidade de Brasília.
- NTT – Apostila do curso Engenharia do ar condicionado.
- PECK, S.; KUHN, M. Design guidelines for Green Roofs. Canadá Mortgage and Housing Corporation, Canadá, 1999.
- PORTO, C.E., (2010). “O Beijódromo de Darcy e Lelé: Um Presente para Brasília”, Universidade de Brasília”.
- PECK, S.; KUHN, M. Design guidelines for Green Roofs. Canadá Mortgage and Housing Corporation, Canadá, 1999.
- PROCEL (1993). Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais. PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 3ª edição. P. 20.
- SILVA, C. J. C. da, 2003. “Simulação Termoenergética de um Sistema de Ar Condicionado para Comparação dos Resultados Medidos e Simulados”. UFRGS
- VERDI, R. E., 2003. “Análise Termo-Energética de um Prédio Comercial”. UFRGS.
- VERSAGE, R. S., 2009. “Ventilação Natural e Desempenho Térmico de Edifícios Verticais Multifamiliares em Campo Grande, MS”, UFS