



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
MACPS – MESTRADO AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO
SUSTENTÁVEL**

SANDRA RICARDO BOTREL E SILVA

**DECISÕES ARQUITETÔNICAS x POTÊNCIA INSTALADA
PARA O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR:
ESTUDO DE CASO PALÁCIO GUSTAVO CAPANEMA**

**Belo Horizonte
Maio de 2014**

SANDRA RICARDO BOTREL E SILVA

**DECISÕES ARQUITETÔNICAS x POTÊNCIA INSTALADA
PARA O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR:
ESTUDO DE CASO PALÁCIO GUSTAVO CAPANEMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Bens Culturais, Tecnologia e Território

Linha de pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

**Belo Horizonte
2014**

FICHA CATALOGRÁFICA

S586

Silva, Sandra Ricardo Botrel e.

Decisões arquitetônicas x potência instalada para o sistema de condicionamento de ar [manuscrito] : estudo de caso Palácio Gustavo Capanema / Sandra Ricardo Botrel e Silva. - 2016.

120 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Arquitetura e conservação de energia - Teses. 2. Energia elétrica – Consumo - Teses. 3. Edifícios – Propriedades térmicas - Teses. 4. Energia – Conservação - Teses. 5. Sol – Proteção - Teses 6. Palácio Gustavo Capanema (Rio de Janeiro, RJ) – Edifícios - Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG

SANDRA RICARDO BOTREL E SILVA

" Decisões Arquitetônicas X Potência Instalada para o sistema de condicionamento de ar: Estudo de Caso Palácio Gustavo Capanema ".

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais

Comissão Examinadora:



Prof. Dra. Patrícia Romeiro da Silva Jota (CEFET / MG)



Prof. Dr. Ricardo Nicolau Nassar Koury (EEUFMG)



Prof. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza (EAUFMG - orientadora)

Belo Horizonte, 06 de maio de 2014

DEDICATÓRIA

Mais do que agradecer, eu dedico este trabalho aos meus pais, Olga e Pérides, meus maiores incentivadores desde sempre.

Se hoje eu sou quem sou devo a eles que, durante toda a vida me incentivaram e apoiaram minhas escolhas. Sou uma mistura interessante destas duas pessoas especiais, que passaram por este mundo e deixaram principalmente, para nós seus filhos, uma riqueza incalculável.

É uma pena vocês não estarem aqui para poder colher comigo mais esta vitória.

Ela também é de vocês.....

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer à minha família (irmãos, cunhados e sobrinhos) que tem me apoiado no dia a dia. Eles me sustentaram nos momentos mais difíceis da minha vida e não me deixaram desistir de continuar caminhando. Amo vocês.....

Agradeço às professoras Eleonora Sad de Assis e Roberta Vieira Gonçalves de Souza, por me incentivarem a fazer o mestrado e em especial à professora Roberta, minha orientadora, pela dedicação e paciência ao longo deste tempo.

Agradeço à Victoria M. de León Grego, secretária no MACPS por todo o apoio.

Aos meus colegas da Protherm, agradeço por terem me ajudado durante este tempo quando precisei dividir meu tempo, para poder dar conta do recado e em especial ao Bruno, meu braço direito no aprendizado da utilização do TRACE 700 e nas simulações e à Luzia, pela ajuda nas revisões e na formatação do texto.

Ao meu tio Carlos Alberto Bottrel Coutinho agradeço pelo presente que foi a revisão do texto da minha dissertação. Ter meu texto revisado pelo senhor foi mais do que um privilégio, foi uma honra.

Ao IPHAN, nas pessoas das arquitetas Jurema de Souza Machado e Ana Lúcia Gonçalves pela oportunidade de me envolver no projeto de restauração do Palácio Gustavo Capanema. Foi uma experiência incrível.

A TRANE, nas pessoas dos engenheiros José Manuel Gameiro, Edson Ferrara e Matt Chmielewski pelo incentivo e pelo apoio técnico na utilização do TRACE 700.

Para finalizar, mas não por último, agradeço à Deus, pela benção da vida e pela capacitação que veio d'Ele:

Soli Deo Gloria!!!!

*O saber a gente aprende
com os mestres e com os livros.
A sabedoria se aprende é
com a vida e com os humildes.
(Cora Coralina)*

RESUMO

O dimensionamento do sistema mecânico de Condicionamento de Ar é de fundamental importância quando se pensa na eficiência energética dos edifícios e na redução do consumo, uma vez que este sistema é responsável por uma parcela significativa da energia gasta em edificações condicionadas artificialmente. Diversas decisões arquitetônicas tomadas no desenvolvimento do projeto arquitetônico impactam diretamente na carga térmica a ser combatida. Entretanto, estes impactos, nem sempre são avaliados de forma conjunta e integrada, durante a elaboração do projeto. O presente estudo teve como objetivo apresentar a avaliação dos resultados da carga térmica calculada para o Palácio Gustavo Capanema, localizado no Rio de Janeiro, tendo como base a utilização de medidas de proteção passiva adotadas no projeto original, bem como a possibilidade de redução da carga em função da variação do coeficiente de sombreamento do vidro. Com base nas simulações, realizadas adotando-se o *software* TRACE 700, foram elaboradas análises comparativas dos resultados da carga térmica, do investimento inicial, do consumo e do custo operacional da energia do sistema de Condicionamento de Ar. Verificou-se que as variações da carga térmica obtidas apresentaram percentuais diferentes da variação do investimento inicial, da potência elétrica e do consumo, em função da modulação da capacidade dos equipamentos existentes. A carga térmica variou entre + 12,5%, caso não fossem adotadas as medidas passivas na edificação e - 9,3%, caso fossem substituídos os vidros existentes por vidros mais eficientes. O investimento inicial do sistema de HVAC variou entre +16,7% e - 5,0%, o consumo anual de energia variou entre + 31% e - 13,1 % e o custo da energia entre + 21,3% e - 6,5%. A operação do sistema de condicionamento de ar de forma híbrida com a ventilação natural apresentou uma redução no consumo de energia de - 11%, para a operação automática e de - 9,8%, para a operação manual.

ABSTRACT

The design of a mechanical air conditioning system is of fundamental importance when considering the energy efficiency of the buildings and the reduction in energy consumption, once this system is responsible for a large share of energy consumption in artificially conditioned buildings. Several decisions made during the development of the architectural design have direct implication on the thermal loads. However, this impacts are not evaluated in an integrated way during the project design. This study presents a comparative evaluation of the results of the calculation of the thermal loads of the Gustavo Capanema Palace, located in Rio de Janeiro, based on the utilization of passive solar protections used in the original design, as well as, variations of the glass shading coefficient. The simulations were carried out using the *software* TRACE 700. Based on the simulations, the calculation of the thermal load was carried out, comparative analyses were prepared the results of the thermal load, the initial investment, the electrical consumption and the cost of the energy. It was verified that the variation of the thermal load showed different values from the variation of the initial investment, electric power and consumption, due to the modulation of the capacity of the commercial equipment. The thermal load ranged from +12,5% if they were not used the passive measures in the building and -9,3% if the existing windows were replaced with more efficient glasses. The initial investment of the HVAC system ranged from +16,7 % and -5,0% the annual energy consumption ranged between +31% and -13,1% and the cost of energy between +21,3% and - 6,5%. The operation of the air conditioning system in a hybrid mode with the natural ventilation presents a reduction in the energy consumption of -11% in an automatic operation and - 9,8%, in a manual operation.

LISTA DE SIGLAS / ABREVIACÕES / NOMENCLATURA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

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

BN - Biblioteca Nacional

BNS - Biblioteca Noronha Santos

CAG - Central de Água Gelada

FS - Fator de Sombreamento

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

FBN - Fundação Biblioteca Nacional

FUNARTE - Fundação Nacional das Artes

HVAC - Heating, Ventilating and Air Conditioning

IBRAM - Instituto Brasileiro de Museus

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

MESP - Ministério da Educação e Saúde Pública

MinC - Ministério da Cultura

PGC - Palácio Gustavo Capanema

SE/RJ - Secretaria do Estado do Rio de Janeiro

SMACNA - Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association

SPHAN - Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

TBS - Temperatura de Bulco Seco

TBU – Tenperatura de Bulbo Úmido

U – Coeficiente de Transmissão de Calor

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

UR - Umidade Relativa

VAV – Volume de Ar Variável

VRF – Fluxo de Refrigerante Variável

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do programa TRACE 700 – Fonte: TRACE 700 User’s Manual - Version 6.2, 2010....	14
Figura 2 – Diagrama da distribuição das pressões na ventilação natural por ação dos ventos – Fonte: Frota, 2001.	17
Figura 3 – Diagrama esquemático da ventilação natural por ação dos ventos – Fonte: Frota, 2001.	18
Figura 4 - Faixa de temperatura operativas aceitáveis para ambientes ventilados naturalmente de acordo com a temperatura média mensal e a porcentagem de ocupantes insatisfeitos - Fonte: Ashrae 55/2004.....	21
Figura 5 - Parcelas carga térmica - Fonte: site http://www.sistemasdearcondicionado.com.br	23
Figura 6 - Parcelas da radiação solar / Efeito estufa. Fonte: Lamberts,2004.....	25
Figura 7 – <i>Brise</i> misto/ Palácio Gustavo Capanema -Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki	27
Figura 8 - Carta solar do Rio de Janeiro - Fonte: http://www.arq.ufmg.br/labcon	28
Figura 9 - Esquema do ciclo frigorígeno - Fonte: Silva, 2011 (Adaptado pela autora)	30
Figura 10 - Ciclo frigorígeno - Fonte: Silva, 2011(Adaptado pela autora).....	31
Figura 11 - Aparelho de Janela - Fonte: http://blog.poloar.com.br/tag/ar-condicionado-de-janela	33
Figura 12 - Sistema <i>Multi Split</i>	34
Figura 13 - Exemplo de unidades na fachada Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki	34
Figura 14 - Sistema <i>Multi Split</i> VRF - Fonte: Catálogo LG.....	35
Figura 15 – Sistema <i>Self Contained</i> Integrado ou Gabinete - Fonte: SILVA , 2011	35
Figura 16 - Sistema <i>Self Contained</i> , condensação a água - Fonte: http://wiki.sj.ifsc.edu.br	36
Figura 17 - Fluxograma Hidráulico – Sistema de Água Gelada - Fonte: TRACE 700 Manual, 2010	37
Figura 18 - Central de Água Gelada, com condensação a ar - Chongqing, China - Foto: Acervo próprio.....	38
Figura 19 - Unidades Resfriadoras/ CAG do prédio do Palácio da CAMG - Foto: Acervo próprio	38
Figura 20 - Torres de Resfriamento instaladas na CAG do prédio do Palácio da CAMG - Foto: Acervo próprio	39
Figura 21 - Diagrama esquemático da operação do sistema no “modo misto co-corrente” Fonte: http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode	42
Figura 22 - Diagrama esquemático da operação exclusiva da climatização - Sistema no “modo misto alternado” Fonte: http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode	42
Figura 23 - Diagrama esquemático da operação exclusiva da ventilação natural - Sistema no “modo misto alternado” Fonte: http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode	42
Figura 24 - Diagrama esquemático da operação do sistema no “modo misto por zonas” Fonte: http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode	43
Figura 25 - Imagem aérea do Palácio Gustavo Capanema	44
Figura 26 - Orientação das fachadas - Fonte: Elaborado pela autora	48
Figura 27 - Vista interna do sistema de acionamento dos <i>brises</i> – PGC, Rio de Janeiro - Foto: Acervo pessoal .	49
Figura 28 - Sistema de proteção solar Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro Fonte: Acervo pessoal	50
Figura 29 - Sistema de proteção solar – Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro - Fonte: Acervo pessoal	50
Figura 30 - Fachada Sudeste - Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro Fonte: Nelson Kon.....	50
Figura 31 - Fachada Sudeste – Estado de conservação atual das Persianas (nota-se que estas necessitam de reparação) Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro - Fonte: Acervo pessoal.....	51
Figura 32 - Fachada Sudeste – Persianas / Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro Fonte: Acervo pessoal...	51

Figura 33 - Fachada sudeste – Testes do restauro das persianas / Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro Fonte: Acervo pessoal	52
Figura 34 - Fachada Sudeste / Vista externa – Caixilharia móvel - Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro Fonte: Acervo Próprio	53
Figura 35 - Fachada Noroeste / Vista interna Caixilharia móvel – PGC, Rio de Janeiro Fonte: Acervo próprio	53
Figura 36 - Fachada Sudeste / Vista interna - Caixilharia móvel – PGC, Rio de Janeiro Fonte: Acervo próprio	53
Figura 37 - Planta do 13º pavimento / Pavimento tipo – Fonte: IPHAN.....	46
Figura 38 - Planta do 13º pavimento / Pavimento tipo – Fonte: IPHAN.....	49
Figura 39 - Corte Longitudinal – PGC – Fonte: IPHAN.....	50
Figura 40 - Corte Transversal – PGC – Fonte: IPHAN.....	51
Figura 41 - Planta baixa do <i>brise</i> existente - Fonte: IPHAN	54
Figura 42 - Corte <i>brise</i> existente (Pavimento Tipo) - Fonte: IPHAN.....	55
Figura 43 - <i>Brise</i> existente posicionado na angulação de 45° - Fonte: Acervo próprio	55
Figura 44 – Gráfico das Velocidades Médias Mensais do Vento x Hora do dia- Fonte: Elaborado pela autora...	79
Figura 45 - Gráfico das Velocidades Médias Anuais do	79
Figura 46 – Gráfico das Temperaturas Médias x Hora do dia-Fonte: Elaborado pela autora.....	80
Figura 47 – Gráfico das Temperaturas Máximas / Verão x Hora do dia-Fonte: Elaborado pela autora.....	81
Figura 48 – Gráfico das Umidades Relativas Médias x Hora do dia -Fonte: Elaborado pela autora.....	82
Figura 49 - Temperaturas Médias Anuais / Biblioteca Noronha Santos -Fonte: Elaborado pela autora	84
Figura 50 - Gráfico Comparativo da carga térmica calculada obtida nos relatórios “Systems Checksums” e “Roms Checksums” – Simulações T1 à T9 -Fonte: Elaborado pela autora.....	85
Figura 51 – Comparativo do consumo mensal por pavimento do sistema de HVAC – Simulações T1 à T9.....	90
Figura 52 - Comparativo do consumo anual por pavimento do sistema de HVAC – Simulações T1 a T9 - Fonte: Elaborado pela autora.....	90
Figura 53 - Variação da temperatura ao longo do ano / Ventilação natural DIURNA E NOTURNA – Simulação T10	95
Figura 54 - Variação da temperatura ao longo do ano / Ventilação natural DIURNA – Simulação T11	95
Figura 55 - Comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de JANEIRO - Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11- Fonte: Elaborado pela autora	96
Figura 56 - Comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de ABRIL -Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11- Fonte: Elaborado pela autora	96
Figura 57 - Comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de JULHO -Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11-Fonte: Elaborado pela autora	97
Figura 58 - Comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de OUTUBRO -Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11- Fonte: Elaborado pela autora	97
Figura 59 - Comparativo consumo anual do consumo de energia por pavimento / Operação convencional x Operação híbrida-Fonte: Elaborado pela autora.....	99
Figura 60 - Comparativo consumo mensal de energia da operação convencional x operação híbrida Simulações T5, T12 e T13 -Fonte: Elaborado pela autora	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista dos programas creditados para simulação de eficiência energética pela ASHARE 140-2004....	11
Tabela 2 - Variáveis relacionadas a cada fonte de calor em uma edificação	24
Tabela 3 - Tipos de Sistemas de Condicionamento de Ar (Expansão direta e indireta)	32
Tabela 4 - Tipos de Sistemas de Condicionamento de Ar (Condensação ar e água)	33
Tabela 5 - Descrição das Simulações T1 à T9.....	53
Tabela 6 - Descrição das Simulações T10 à T13.....	53
Tabela 7 - Características da Película Prestige PR90, da 3M.....	56
Tabela 8 – Características da Película Prestige PR60, da 3M	57
Tabela 9 - Resumo das vazões circuladas em função da ação do vento	59
Tabela 10 - Características térmicas dos fechamentos translúcidos	60
Tabela 11 - Velocidade Média Mensal do Vento	78
Tabela 12 - Velocidade.....	79
Tabela 13 - Temperatura de Bulbo Seco - Valores Médios Mensais.....	80
Tabela 14 - Temperatura de Bulbo Seco - Temperaturas Máximas / Verão.....	81
Tabela 15 - Umidade Relativa Média Mensal	82
Tabela 15 – Temperaturas Médias Anuais / Biblioteca Noronha	83
Tabela 17 – Resumo da carga térmica calculada - Simulações T1 à T9.....	84
Tabela 18 - Comparativo da carga térmica calculada - Simulações T1 à T9.....	86
Tabela 19 - Resumo geral dos equipamentos do sistema de HVAC/ Simulações T1 à T9	87
Tabela 20 - Resumo do investimento inicial por pavimento - Sistema de HVAC/ Simulações T1 à T9.....	88
Tabela 21 - Consumo do sistema de HVAC por pavimento - Simulações T1 à T9	89
Tabela 22 - Resumo da potência pelas unidades condensadoras / Simulações T1 à T9.....	91
Tabela 23 - Resumo do demanda total sistema de HVAC/ Simulações T1 à T9.....	92
Tabela 24 - Resumo do custo da energia / Sistema de HVAC- Simulações T1 à T9	92
Tabela 25 - Comparativo geral dos resultados das Simulações T1 à T9	93
Tabela 26 - Comparativo consumo mensal de energia por pavimento / Operação convencional x Operação híbrida - Simulações T5, T12 e T13	99
Tabela 27 - Comparativo consumo e custo anual da energia - Operação convencional x Operação híbrida Simulações T5, T12 e T13.....	100

Sumário

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	JUSTIFICATIVA.....	2
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO	3
1.3	OBJETIVO.....	6
1.3.1	OBJETIVO GERAL	6
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4	HIPÓTESE.....	7
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	INTRODUÇÃO	9
2.2	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	9
2.3	APRESENTAÇÃO TRAC 700	13
2.3.1	MÉTODO CLTD / CLF.....	15
2.4	VENTILAÇÃO NATURAL	16
2.4.1	TIPOS DE VENTILAÇÃO NATURAL.....	17
2.4.2	CONDIÇÕES DE CONFORTO	20
2.5	CARGA TÉRMICA.....	22
2.5.1	RADIAÇÃO SOLAR.....	24
2.5.2	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR.....	25
2.5.3	ORIENTAÇÃO DA FACHADA.....	28
2.6	TIPOS DE SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	30
2.6.1	INTRODUÇÃO	30
2.6.2	CICLO FRIGORÍGENO.....	30
2.6.3	DESCRIÇÃO GERAL	32
2.6.4	TIPOS DE SISTEMAS	33
2.6.4.1	Aparelho de Janela	33
2.6.4.2	Mini / Multi-Split Convencional	34
2.6.4.3	Multi- Split Tipo VRF ou VRV	34
2.6.4.4	Self Contained ou Gabinete:.....	35
2.6.4.5	Split – System ou “splitão”:	36
2.6.4.6	Self Contained, Condensação a água	36
2.6.4.7	Sistema de Água Gelada	37
2.6.4.8	Uso dos sistemas em edifícios comerciais	39
2.6.4.9	Sistema Misto ou Híbrido	41

2.7	DESCRIÇÃO ESTUDO DE CASO.....	44
2.7.1	INTRODUÇÃO	44
2.7.2	PROJETO ORIGINAL	47
2.7.2.1	FORMA E ORIENTAÇÃO SOLAR	48
2.7.2.2	PROTEÇÕES SOLARES	49
2.7.2.2.1	Instalação de “Brise Soleil”.....	49
2.7.2.2.2	Persianas internas	50
2.7.2.2.3	Ventilação cruzada	53
2.8	SÍNTESE DO CAPÍTULO 2	54
3	METODOLOGIA	46
3.1	INTRODUÇÃO	46
3.2	SISTEMA ATUAL VERSUS PROPOSTA DE INTERVENÇÃO.....	46
3.2.1	DESCRIÇÃO GERAL.....	46
3.2.2	SISTEMA HÍBRIDO	48
3.2.3	RECORTE DO ESTUDO DE CASO	49
3.3	ANÁLISE CLIMÁTICA.....	52
3.4	SELEÇÃO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO	52
3.5	DETERMINAÇÃO DAS SIMULAÇÕES	52
3.5.1	DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES PROPOSTAS	54
3.5.1.1	SIMULAÇÃO T1_IPHAN_sBRsPE	54
3.5.1.2	SIMULAÇÃO T2_IPHAN_BR0sPE.....	54
3.5.1.3	SIMULAÇÃO T3_IPHAN_BR45sPE.....	55
3.5.1.4	SIMULAÇÃO T4_IPHAN_BR45PE0.....	56
3.5.1.5	SIMULAÇÃO T5_IPHAN_BR45PE45.....	56
3.5.1.6	SIMULAÇÃO T6_IPHANBR45PE45PR90.....	56
3.5.1.7	SIMULAÇÃO T7_IPHAN_BR45PE45PR60.....	57
3.5.1.8	SIMULAÇÃO T8_IPHAN_BR45PE45VDHN	57
3.5.1.9	SIMULAÇÃO T9_IPHAN_BR45PE45VDCL.....	57
3.5.1.10	SIMULAÇÕES T10_IPHAN_BR45PE45VN1 E T11_IPHAN_BR45PE45VN258	
3.5.1.11	SIMULAÇÃO T12_IPAHN_BR45PE45HIB E T13_IPAHN_BR45PE45MAN	59
3.6	PARÂMETROS DE CÁLCULO	60
3.6.1	Características dos elementos translúcidos	60
3.6.2	Características construtivas das paredes.....	61
3.6.3	Condições térmicas internas.....	61
3.6.4	Ocupação dos espaços	61
3.6.5	Taxa de iluminação	62

3.6.6	Dissipação de equipamentos	62
3.6.7	Taxa de renovação.....	62
3.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	62
3.8	SÍNTESE DO CAPÍTULO 3	63
4	TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	78
4.1	INTRODUÇÃO DO CAPÍTULO 4.....	78
4.2	ANÁLISE CLIMÁTICA.....	78
4.2.1	VELOCIDADE DO VENTO	78
4.2.2	TEMPERATURA DE BULBO SECO	80
4.2.3	UMIDADE RELATIVA	82
4.2.4	LEVANTAMENTO INTERNO DE TEMPERATURAS	83
4.3	ANÁLISE SIMULAÇÕES	84
4.3.1	COMPARATIVO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	85
4.3.2	ARQUITETURA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	87
4.3.3	COMPARATIVO INVESTIMENTO INICIAL	87
4.3.4	COMPARATIVO CUSTO OPERACIONAL	89
4.3.4.1	CONSUMO ELÉTRICO.....	89
4.3.4.2	DEMANDA ELÉTRICA	91
4.3.4.3	CUSTO DA ENERGIA	92
4.3.5	COMPARATIVO DOS RESULTADOS.....	93
4.3.6	AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA NA OPERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL	95
4.3.7	AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO CONVENCIONAL VERSUS OPERAÇÃO HÍBRIDA	98
4.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO 4	101
5	CONCLUSÕES.....	104
5.1	CONCLUSÕES SOBRE COMPARATIVOS DAS SIMULAÇÕES.....	105
5.2	CONCLUSÕES SOBRE A VENTILAÇÃO NATURAL	107
5.3	CONCLUSÕES SOBRE A OPERAÇÃO HÍBRIDA.....	108
5.4	LIMITAÇÕES ENCONTRADAS	109
5.5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	110
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
7	ANEXOS.....	116
7.1	ANEXO 1 :.....	116

CAPÍTULO 1

Introdução

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção consome 50% dos recursos mundiais, o que faz dela uma das atividades menos sustentáveis do planeta. Não obstante, nossa vida cotidiana gira ao redor de uma grande quantidade de construções: vivemos em casas, utilizamos carros, trabalhamos em edifícios e utilizamos estabelecimentos comerciais. A civilização contemporânea depende das edificações para seu abrigo e existência e nosso planeta não suporta mais o aumento do consumo dos recursos naturais. Portanto, é evidente que algo tem que mudar e a arquitetura tem um papel importante a desempenhar nesta mudança. Calcula-se que em 2050 o consumo de energia mundial terá dobrado, sendo grande parte desta energia provida pela exploração dos combustíveis fósseis, com o consequente aumento dos preços e dos impactos no aquecimento global. Entretanto, a cada dia uma porcentagem maior da energia consumida será produzida a partir de fontes renováveis. Enfrentar o desafio de atender as crescentes demandas de energia no mundo requer a adoção de medidas para promover o consumo de energia renováveis no lugar do petróleo e do gás (EDWARDS, 2008).

O que é desenvolvimento sustentável ? A Comissão de Brundtland, primeira Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento estabelecida pela ONU em 1987, definiu o desenvolvimento sustentável como aquele “capaz de suprir as necessidades dos seres humanos da atualidade, sem comprometer a capacidade do planeta para atender as futuras gerações”. Esta definição tem dado lugar a diversas subdefinições que respondem às necessidades de cada setor, entre elas, a definição feita pelo escritório de arquitetura *Norman Foster and Partners*, que em 1999 definiu arquitetura sustentável como sendo a criação de edifícios que sejam eficientes quanto ao consumo de energia, cômodos e flexíveis quanto ao seu uso e pensados para ter uma longa vida útil (EDWARDS, 2008).

A condição econômica da população tem melhorado e é importante que isso aconteça, entretanto, por outro lado, a riqueza permite que as pessoas consumam mais, viajem mais, vivam em casas maiores, etc. Tudo isso tem causando o aumento do consumo de recursos naturais e de energia, e o também o consequente aumento na produção de resíduos. No passado, o homem se preocupava em olhar ao seu redor ao construir e usar as condições climáticas e geográficas a seu favor. Os prédios eram construídos de acordo com o entorno, o que hoje é conhecido como “Arquitetura Bioclimática” (BUTERA, 2000).

A natureza pode ser um guia útil para o projeto das edificações desde que 04 (quatro) pontos sejam claramente diferenciados:

- a) Aprender sobre a natureza: a natureza utiliza padrões e ordens que podem e devem ser aplicados ao projeto arquitetônico. Aprender com a natureza estimula a avaliação das inter-relações dos recursos consumidos (energia, água e materiais) e dos resíduos e da contaminação produzida;
- b) Utilizar os modelos da natureza como fonte de informação para o projeto: as formas, composições, configurações e materiais utilizados na natureza são duráveis e sustentáveis;
- c) Fazer a natureza explícita: a natureza deve ser parte explícita do projeto arquitetônico, dentro e fora do edifício, ou por meio dos materiais utilizados na construção. A natureza é uma fonte de prazer palpável, visual e auditivo.
- d) Utilizar a natureza como medidor ecológico: a ideia de uma contabilidade baseada na natureza permite o estabelecimento de indicadores que evitem que os arquitetos tenham que analisar de forma pormenorizada todos os aspectos necessários. Os indicadores passam a servir de guia de boas práticas, que projetam luz sobre a saúde da edificação (EDWARDS, 2008).

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

O ato de construir é por si só, um ato de natureza complexa. Centenas de processos precisam ser desenvolvidos antes que as fundações da edificação possam ser feitas, que as paredes possam ser erguidas, que o interior seja finalizado e que as pessoas possam ocupar o espaço projetado. Fica também muito claro que precisamos construir de forma mais sustentável: construir gastando menos energia, menos água, usando o mínimo possível os recursos finitos da natureza e ao máximo, os produtos reciclados (BOECKER, 2009).

Há apenas um pouco mais de 150 anos, a natureza local e os recursos humanos eram a base e o limite para o que era projetado e construído. O resultado deste processo está muito distante da prática contemporânea. Antes da revolução industrial, o transporte mecânico era limitado, de modo que eram utilizados materiais locais e a força de trabalho, além de avaliados aspectos econômicos, culturais, tradições, microclima e condições do solo, específicos da área em questão. Como e quais eram os recursos locais era um aspecto entendido pelo projetista / construtor, bem como os limites impostos pelas condições locais. O resultado desta abordagem eram edificações e comunidades que realmente eram integradas com o seu entorno e que viviam, respiravam e cresciam para se tornar elementos atemporais do local (BOECKER, 2009).

Com a revolução industrial veio o avanço que removeu muitos dos limites existentes, limites estes que mantinham o projetista / construtor preso à estrutura local. A evolução global da comunicação e do transporte fez com que os materiais de construção e outros recursos não necessariamente precisassem estar localmente disponíveis, mas poderiam vir de qualquer lugar. Assim como novos materiais e tecnologias foram rápida e crescentemente introduzidos no processo, especialistas

passaram a ser necessários para resolver e implementar os aspectos complexos de eletricidade, iluminação, ergonomia, aquecimento, resfriamento, ventilação, fornecimento de água, controle automático das condições internas, prédios inteligentes, etc. Cada um desses sistemas passou a ser desenvolvido por diferentes profissionais e de forma separada. Em outras palavras, entramos no que pode ser chamado de “Era da Especialização”. O todo de um projeto passou a ser separado em uma miríade de partes (miríade no grego: dez mil). Cada especialista passou a se esforçar para projetar e otimizar apenas o sistema e os componentes sob sua responsabilidade. No final, apesar de cada especialidade apresentar um projeto otimizado, o projeto como um todo não o está.

Uma maneira de começar a mudança neste processo é pensar nessas edificações de forma metafórica como o corpo humano, onde os sistemas possuem uma relação simbiótica entre si, assim como a definição da cor de uma edificação possui uma relação direta com a definição da capacidade do sistema de condicionamento de ar, por exemplo. No corpo humano, os sistemas interagem entre si e funcionam em perfeita sintonia. Da mesma forma, os projetistas de cada especialidade devem desenvolver a compreensão de que as operações entre os sistemas de uma edificação são fundamentais para reduzir os custos de construção e operação, bem como, os impactos ambientais (BOECKER, 2009).

Esta abordagem integrada requer um processo que facilite a comunicação entre os membros da equipe de projeto, além do objetivo de atingir as metas de alto desempenho usando as tecnologias de ponta disponíveis em cada especialidade. Uma nova forma de projetar se faz necessária. É preciso entender que cada sistema impacta os outros sistemas e que, portanto, as disciplinas não podem ser desenvolvidas como sistemas separados (BOECKER, 2009).

O presente trabalho, por meio do estudo de Caso do Palácio Gustavo Capanema, mostra de forma clara a importância da inter-relação entre as decisões arquitetônicas, o dimensionamento do sistema de HVAC e do sistema elétrico, bem como do consumo de energia e consequentemente do investimento inicial e do custo operacional de uma edificação.

Como parte do projeto de restauro do Palácio Gustavo Capanema foi feita pela UNESCO, a contratação da autora do presente trabalho de dissertação, para prestar consultoria técnica com o objetivo de estabelecer as diretrizes básicas e conceituais para a contratação de projetos e obras de melhoria do conforto ambiental e climatização no edifício, por meio da elaboração de um termo de referência, obedecendo as premissas de preservação estabelecidas no tombamento da edificação e normas de proteção e conservação do IPHAN. O estudo foi direcionado de forma a avaliar os sistemas de conforto ambiental passivos projetados originalmente e dos sistemas de ventilação mecânica e climatização existentes, a complementação e/ou modernização dos mesmos com propostas de ações de manutenção, novos recursos, equipamentos e soluções sustentáveis de forma

a atualizá-los para atingir os padrões atuais de conforto e exigências legais de forma.

Em função do interesse e da peculiaridade do Palácio Gustavo Capanema no contexto histórico da arquitetura moderna no Brasil e no mundo, o presente trabalho propôs ampliar o processo de consultoria no sentido de fazer análises aprofundadas das possíveis decisões de projeto.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o peso das decisões arquitetônicas no consumo de energia, em função do dimensionamento do sistema de condicionamento de ar.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Além do objetivo geral deste estudo, o presente trabalho se propõe a:

- a) Avaliar o impacto das medidas passivas adotadas no conceito original da edificação e no dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar;
- b) Comparar os resultados do cálculo de carga térmica da simulação de opções de projeto e verificar as variações resultantes para cada opção;
- c) Verificar a variação da potência elétrica e do consumo do sistema de condicionamento de ar;
- d) Verificar como as decisões arquitetônicas afetam o investimento inicial do sistema de condicionamento de ar;
- e) Avaliar as condições de ventilação natural da edificação;
- f) Avaliar o consumo com a operação do sistema de condicionamento de ar na forma híbrida.

1.4 HIPÓTESE

A hipótese a ser demonstrada por meio deste estudo foi de que as alterações dos parâmetros arquitetônicos impactam no dimensionamento do sistema de condicionamento de ar e consequentemente no investimento inicial da edificação e no custo operacional, em função da capacidade dos equipamentos de HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) e do seu consumo de energia.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O texto desta dissertação está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a introdução sobre o tema, com a contextualização do problema, os objetivos gerais e específicos e a hipótese do estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre simulações computacionais, seu uso para a análise do comportamento térmico e energético de edificações, sobre o software TRACE 700, sobre ventilação natural, sobre o conceito de carga térmica, os tipos de sistema de condicionamento mecânico do ar existentes.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia proposta para o presente estudo e o quarto apresenta o tratamento estatístico dos resultados obtidos, variações da carga térmica, bem como a avaliação para cada opção da capacidade do sistema mecânico de condicionamento de ar a ser utilizada, sua potência elétrica, investimento inicial e o custo operacional.

O quinto capítulo descreve as conclusões obtidas pelo estudo.

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo constata revisão bibliográfica sobre simulações computacionais, “*softwares*” existentes e seu uso para a análise do comportamento térmico e energético de edificações, sobre ventilação natural, carga térmica e sobre os tipos de sistemas de condicionamento mecânico do ar existentes.

2.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

A simulação de sistemas é uma metodologia que busca descrever o comportamento de um sistema. Esta metodologia apresenta formas de quantificar o comportamento observado, prevendo o comportamento futuro. A proposta da simulação é produzir dados que, quando analisados, identificarão importantes aspectos do sistema estudado, auxiliando na explicação, compreensão e sua melhoria. A simulação propõe a construção de um modelo representativo de um sistema real e a experimentação do modelo. Os resultados das simulações apresentam uma visão futura do sistema, de modo que as informações geradas podem ser ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, necessárias no momento presente, e contribuem para uma melhor compreensão do sistema estudado, antes mesmo de sua execução (COSTA, 2002).

Avaliar o desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. O advento do computador foi fundamental para o desenvolvimento dos modelos físicos que representam o comportamento térmico e energético de edificações, permitindo a simulação de diferentes cenários. Através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, dos componentes construtivos, dos sistemas de iluminação ou dos sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela opção de projeto, antes mesmo de sua execução (MENDES, 2005).

A rapidez de processamento deste tipo de ferramenta possibilita o diagnóstico de um caso real modelado no programa (modelo) e a avaliação do seu desempenho quando submetido a alterações hipotéticas. O procedimento básico consiste em reproduzir as características de uma edificação, numa forma inteligível ao programa de simulação, representadas pelas variáveis de entrada. São centenas de variáveis que correspondem à forma geométrica da edificação, aos elementos

construtivos empregados e às suas propriedades termofísicas e radiantes, aos sistemas de iluminação e climatização artificial, aos equipamentos e às rotinas de uso. Os resultados de uma simulação permitem avaliar, entre outros pontos, as evoluções horárias dos fluxos de calor, o desempenho dos elementos do sistema de condicionamento de ar, o consumo de energia por uso final e os índices de desempenho energético (PETRINI, 1997).

Através da simulação computacional engenheiros e arquitetos podem quantificar os benefícios de determinada alternativa de projeto de uma edificação, antes mesmo de sua implementação, evitando os custos de execução de uma proposta que possa não ter o retorno econômico desejado. Apesar de reduzir o custo da obra, evitando a construção de opções de projeto menos vantajosas, o uso de simulação computacional gera um custo adicional na fase de projeto, envolvendo profissionais capacitados na manipulação de programas que, na maioria das vezes, requerem muitas horas de dedicação para o alcance dos resultados com a precisão desejada. A complexidade dos fenômenos físicos que descrevem o comportamento térmico de edificações requer o conhecimento multidisciplinar do usuário e exige grande quantidade de dados de entrada para a realização da simulação computacional (WESTPHAL, 2007).

Dentre as inúmeras vantagens, recursos e aplicações dos programas de simulação computacional, destacam-se as seguintes:

- Simulação da evolução de variáveis ambientais no interior da edificação;
- Identificação de opções de melhoria na eficiência energética da edificação;
- Estimativa da redução do consumo e da demanda de energia, a partir da implementação de medidas de conservação;
- Rapidez, baixo custo e precisão dos resultados de simulações se comparados aos outros métodos disponíveis.

O *Standard 140* da ASHRAE é o método padrão de teste de avaliação dos programas de simulação de eficiência energética para edificações, sendo que os procedimentos especificados pelas normas se aplicam a programas de computador que simulam o desempenho térmico de um edifício e de seus sistemas mecânicos. O objetivo desta norma é a especificação dos procedimentos de teste para avaliar as capacidades técnicas e os limites de aplicabilidade dos programas de computador que calculam o desempenho térmico dos edifícios e de seus sistemas de HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning (ASHRAE, 2004).

Durante os últimos 50 anos, centenas de programas de simulação energética foram desenvolvidos, aprimorados e estão sendo usados para a análise da eficiência energética das edificações. As principais ferramentas no campo de eficiência energética são os programas de simulação de energia de todo o edifício, que podem fornecer aos usuários os principais indicadores de desempenho da edificação, tais como consumo de demanda, temperatura, umidade, e os custos (CRAWLEY, 2005).

Conforme citado anteriormente, a ASHRAE implementou um programa de testes e validação de resultados obtidos por meio dos diversos programas, de modo a avaliar a precisão de cada um, identificando diferenças nos resultados obtidos, resultantes dos diferentes algoritmos envolvidos, limitações e erros de código, que resultou na lista inicial de programas acreditados, apresentados a seguir:

Tabela 1 – Lista dos programas creditados para simulação de eficiência energética pela ASHARE 140-2004

Programa	Organizações Responsáveis
Blast	<i>CERL- U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA</i>
DOE-2	<i>LANL- Los Alamos National Laboratory, USA</i> <i>LBNL- Lawrence Berkeley National Laboratory, USA</i> <i>James J. Hirsch & Associates, USA</i>
ESP	<i>Strathclyde University, GB</i>
SRES/SUN	<i>NREL- National Renewable Energy Laboratory, USA</i> <i>Ecotope, USA</i>
SRES/BBRE	<i>NREL- National Renewable Energy Laboratory, USA</i> <i>BRE - Building Research Establishment, GB</i>
S3PAS	<i>Universidade de Sevilha, Espanha</i>
TASE	<i>Tampere University, Finlândia</i>
TRNSYS	<i>University of Wisconsin, USA</i>
TRNSYS/TUD	<i>University of Wisconsin, USA</i> <i>Technische Universität Dresden, Alemanha</i>
CA-SIS	<i>Electricité de France, França</i>
CLIM2000	<i>Electricité de France, França</i>

Programa	Organizações Responsáveis
<i>ENERGYPLUS</i>	<i>LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA</i> <i>UIUC - University of Illinois Urbana/ Champaign, USA</i> <i>CERL- U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA</i> <i>OSU-Oklahoma State University, USA</i> <i>GARD Analytics, USA</i> <i>FSEC - University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, USA</i> <i>DOE-OBT Department of Energy, Office of Building Technology, USA</i>

Fonte: Cartas, 2011

Após a elaboração da lista inicial, apresentada anteriormente, os programas TRACE 700, HAP 4.31 e o *VisualDOE* 4.1 também foram acreditados no âmbito da ASHRAE 140-240 (CARTAS, 2011).

Diversas ferramentas de simulação de desempenho térmico e energético das edificações, desenvolvidos no mundo ao longo destes anos foram avaliadas por Crawley (2005), que concluiu que para todos os casos existe envolvida uma questão de confiabilidade, isto é, a dificuldade em saber se a ferramenta de simulação utilizada está realmente realizando aquilo para qual ela foi desenvolvida. Para que isso aconteça, importa o nível de detalhamento do modelo simulado, bem como a capacidade do usuário da ferramenta.

Portanto, pode-se concluir que o resultado obtido em uma simulação depende do tipo de programa utilizado, das premissas básicas adotadas, das simplificações necessárias para cada tipo de programa, bem como do usuário. Segundo Waltz (1992), uma ferramenta de simulação inferior nas mãos de um engenheiro bem consciente das suas características e capacidades é superior à melhor ferramenta de simulação nas mãos de um engenheiro pouco familiarizado com ela.

O Energyplus é uma ferramenta gratuita que surgiu com base em dois programas existentes, BLAST1 e DOE-2, desenvolvidos pelo DOE2 em colaboração com diversos investigadores de vários países, tendo sido desenvolvida em código aberto. Em relação a outras ferramentas disponíveis, o Energyplus destaca-se pelo rigor na modelagem da geometria do edifício (incluindo edifícios adjacentes), dos sistemas de HVAC e pela possibilidade de integração de modelos que facilitam os estudos de otimização energética (iluminação natural e artificial com *dimmers*, sistemas de ventilação natural e híbrida, superfícies "radiantes", painéis solares, etc.). No entanto, deve ser mencionado que a introdução de novos módulos no código do programa é uma tarefa complexa e que exige um elevado grau de formação por parte do usuário (RIBEIRO, 2008).

O programa de simulação TRACE 700 (*Trane Air Conditioning Economics*) é um programa de cálculo de carga térmica e de análise econômico energética, desenvolvido pelo grupo C.D.S. (Customer Direct Service Network), da empresa “*TRANE Company*”. A TRANE é um dos maiores fabricantes de equipamentos de condicionamento de ar e possui um centro de pesquisa onde são desenvolvidos diversos *softwares*, entre eles o TRACE 700. Ao contrário do Energyplus, este programa não é gratuito, necessitando de uma licença paga para sua instalação. É um programa de interface amigável, sendo de fácil interação com o usuário (RIBEIRO, 2008).

No TRACE 700 existem várias metodologias de cálculo de cargas térmicas de resfriamento, que podem ser utilizadas na simulação, sendo neste trabalho adotado o método **CLTD / CLF**, descrito em maior detalhe no item 2.3.1.

2.3 APRESENTAÇÃO DO TRACE 700

O TRACE 700 foi apresentado pela primeira vez em 1972, tendo como objetivo principal permitir que os projetistas de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) fizessem a estimativa das cargas térmicas máximas de um edifício, ainda durante a fase de projeto e também a análise econômica referente aos custos de instalação e de operação do sistema de HVAC, ao longo da sua vida útil de operação (CARTAS, 2011).

O TRACE 700 é constituído por cinco fases fundamentais, sendo que cada uma delas possui funções específicas que devem ser realizadas em conjunto, de modo a fornecer ao utilizador uma análise energética e econômica completa, a saber (Figura 1):

- Cálculo da Carga (*Load Phase*);
- Projeto (*Design Phase*);
- Simulação do Sistema de ar (*Air Side System Simulation Phase*);
- Simulação dos Equipamentos (*Equipment Simulation Phase*);
- Análise Econômica (*Economic Analysis*).

Na fase inicial (Cálculo de carga - *Load Phase*), os cálculos das cargas térmicas de resfriamento e de aquecimento são feitos levando-se em conta a envoltória (áreas opacas e áreas translúcidas) definida pelo projeto, horários de funcionamento, densidades de iluminação e de equipamento, bem como a orientação das zonas e a zona climática em que se encontra o edifício. Os cálculos efetuados para simular a operação do sistema de climatização, ao longo de um ano de funcionamento, permitem ao utilizador avaliar a eficácia do sistema projetado e os custos anuais associados.

Na fase seguinte (Projeto – *Design Phase*) é feito o cálculo de cargas para as condições de projeto,

sendo necessários os dados referentes ao sistema de climatização que se pretende utilizar e os dados definidos na etapa anterior. O programa determina então as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento nas condições de projeto e a quantidade de ar exterior necessária.

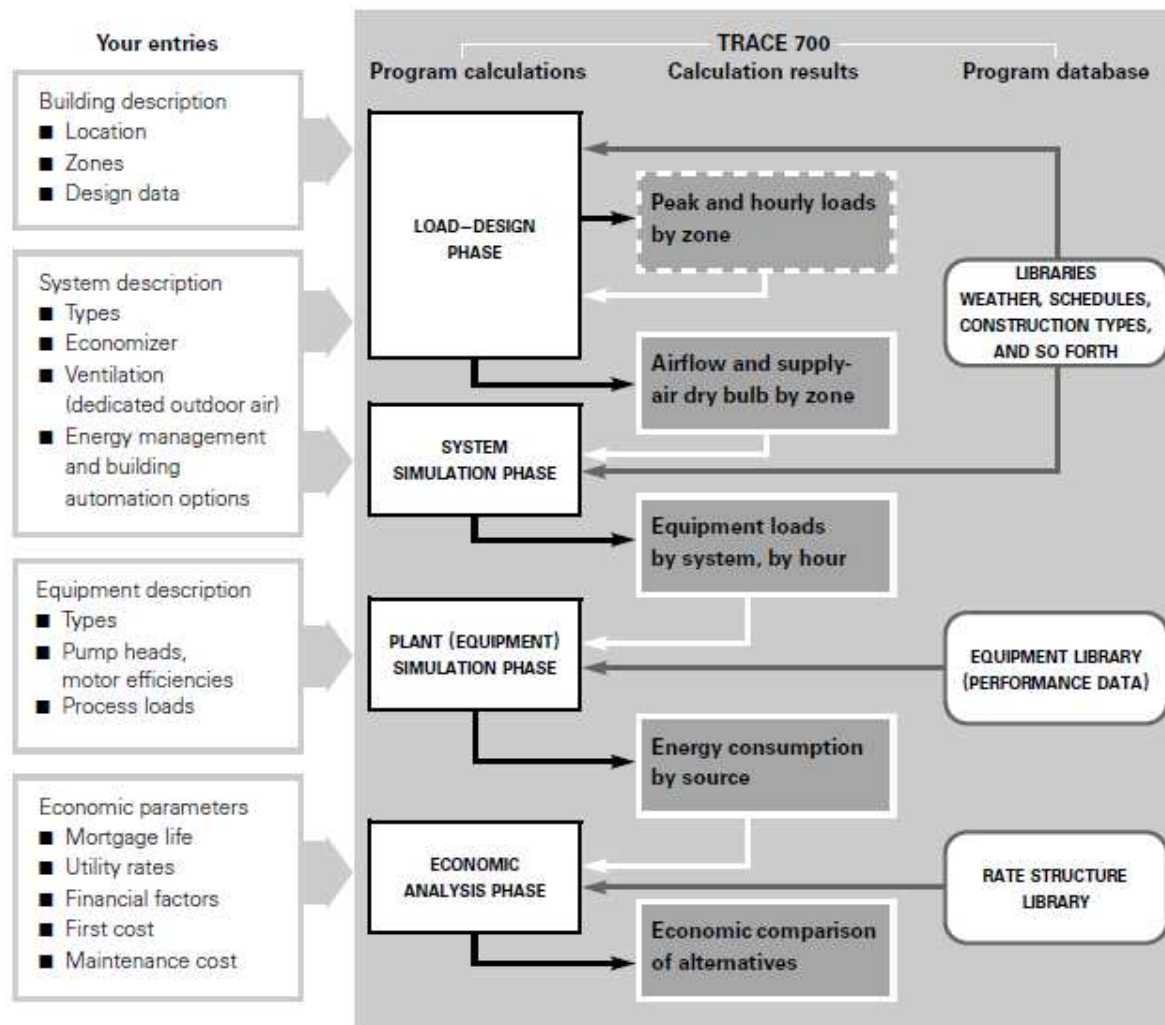


Figura 1 – Fluxograma do programa TRACE 700 – Fonte: TRACE 700 User's Manual - Version 6.2, 2010

A fase seguinte do programa (Simulação do Sistema de ar - *Air Side System Simulation Phase*) tem como função traduzir os ganhos térmicos do edifício e as perdas por atrito dos equipamentos de HVAC envolvidos para os fluxos de ar, no funcionamento geral do sistema de climatização e no tratamento de ar. O resultado final da fase de simulação do sistema é a carga horária dos equipamentos por sistema de tratamento de ar.

As cargas horárias resultantes dos equipamentos associados a cada sistema de tratamento de ar são então cedidas ao módulo de simulação do equipamento (Simulação dos Equipamentos – *Equipment Simulation Phase*). Nesta fase são traduzidas as cargas dos equipamentos em

consumo energético por fonte, sendo que os dados de entrada necessários se referem ao tipo de centrais de refrigeração, bombas, etc.

Na etapa final (Análise Econômica – “*Economic Analysis*”) são introduzidos os dados como custos de instalação, manutenção, períodos de amortização, entre outros, permitindo ao utilizador comparar diversas opções e otimizar o sistema a ser instalado (TRANE 2010).

No TRACE 700 é possível inserir e/ou alterar detalhes da construção e mudar o modelo em estudo a qualquer momento. É possível fazer a modelagem do sistema com várias opções de equipamentos, permitindo também a análise do custo energético e do tempo de retorno de investimento de cada modelo, ajudando a optar pela opção mais viável, podendo ser criados até 04 (quatro) opções de modelos diferentes, em um único arquivo, para avaliar o melhor resultado (TRANE, 2010).

O programa possui diversas bibliotecas com informações de materiais de construção, arranjos construtivos, cargas internas (pessoas e equipamentos), programação de funcionamento do edifício e dos equipamentos de climatização (*Schedules*), base de dados climáticos com 448 localidades, incluindo cidades do Brasil, no formato “EPW”. Os arquivos climáticos apresentam dados de 27 variáveis, hora-hora, para os 365 dias do ano, perfazendo um total de 8760 horas. Apesar da diversidade de materiais existentes na biblioteca de elementos construtivos, o sistema também permite a criação de elementos construtivos específicos para o projeto a ser simulado, se necessário (TRANE, 2010).

O programa de simulação apresenta diversos relatórios de saída, conforme apresentado no Anexo 1, sendo que para a análise dos resultados da carga térmica, entre eles estão os relatórios denominados *Rooms Checksums* e *Systems Checksums*. O resultado apresentado no relatório *Rooms Checksums* apresenta a carga máxima calculada para cada zona, sendo utilizado para o dimensionamento das unidades locais (unidades evaporadoras) e o relatório *Systems Checksums* apresenta a carga máxima simultânea, sendo utilizado para o dimensionamento da capacidade de refrigeração (unidades condensadoras)(TRANE, 2010).

2.3.1 MÉTODO CLTD / CLF

O software possui diversas opções de metodologia para o cálculo da carga térmica entre elas o método CLTD /CLF (*Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Temperature*), indicado pela NBR 16401 / ABNT como uma das opções de metodologia a ser utilizada para o cálculo da carga térmica em edificações. Normalmente, o método CLTD / CLF é utilizado para cálculos manuais, utilizando casos construtivos tabelados, entretanto, no TRACE 700 o método é realizado baseado no equacionamento utilizado para gerar as tabelas deste método, ou seja, quando o

programa se refere ao método CLTD / CLF significa que foi utilizado o método TFM (*Transfer Function Method*) para gerar os dados utilizados na metodologia CLTD / CLF. Uma vez que o TRACE 700 utiliza o método TFM (*Transfer Function Method*) para gerar os dados a serem utilizados no método CLTD/CLF, ao invés de utilizar valores tabelados, as limitações desta metodologia deixam de existir. Como são utilizadas as equações TFM para gerar os dados do método CLTD / CLF é possível exercer controle sobre aspectos de transmitância térmica, armazenamento e/ou resposta térmica das massas que compõem a edificação (TRANE, 2010).

Os ganhos internos por condução são convertidos em carga térmica para o espaço por meio da seguinte equação:

$$q = U \times A \times \text{CLTD} \quad (1)$$

sendo,

- q = quantidade de energia transferida por condução (W);
- U = coeficiente global de transferência de calor ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);
- A = área da secção (m^2);
- CLTD = diferença de temperatura ($^\circ\text{C}$), valores tabelados / Manual da ASHRAE.

Esta equação permite calcular as cargas térmicas do espaço associadas à contribuição de toda a envoltória opaca, paredes, pavimentos, coberturas e ainda das áreas envidraçadas. No que diz respeito às áreas envidraçadas, a contribuição energética para o espaço divide-se em duas parcelas: condutiva e radiativa (CARTAS, 2011).

2.4 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural de um ambiente proporciona a renovação do ar interno, sendo de fundamental importância para a higiene geral e para o conforto térmico de verão, em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido. A renovação do ar dos ambientes proporciona a dissipação do calor e a diluição de vapores, de fumaça, de poeiras e de poluentes (FROTA, 2001).

A ventilação natural é o deslocamento do ar através das aberturas, umas funcionando como entrada e outras como saída do ar, de forma que estas aberturas devem ser dimensionadas e posicionadas de modo a proporcionar um fluxo de ar adequado ao recinto. O fluxo de ar que entra e sai da edificação dependerá da diferença de pressão entre os ambientes internos e externos, da resistência ao fluxo oferecida pelas aberturas e pelas obstruções internas e de uma série de implicações relativas à incidência do vento e forma do edifício. Para a definição das vazões de ventilação, o primeiro critério se baseia no atendimento dos requisitos básicos de exigências humanas, a saber: o

suprimento de oxigênio e a limitação da concentração máxima de CO₂. Outra função importante da ventilação é a remoção do excesso de calor dos ambientes. Os excessivos ganhos de calor solar, principalmente no verão, assim como o calor gerado no próprio ambiente, devido à presença de fontes diversas, podem provocar o desconforto térmico. A ventilação natural desses ambientes pode promover melhorias nas condições termo-higrométricas, podendo representar um fator de conforto térmico ao incrementar as trocas de calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar do recinto (FROTA,2001).

2.4.1 TIPOS DE VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural se faz, basicamente, por meio de dois mecanismos:

- Ventilação térmica, por efeito chaminé;
- Ventilação dinâmica, por ação dos ventos.

A ventilação natural térmica se baseia na diferença entre as temperaturas do ar interior e do exterior, que origina pressões distintas, provocando um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. Quando nessas condições existem duas aberturas em diferentes alturas, se estabelece a circulação do ar de uma até a outra, denominada efeito “chaminé”, por ser este precisamente o princípio que rege seu funcionamento. A velocidade do ar, neste caso, depende da diferença dos níveis entre os vãos de entrada e saída do ar (RIVERO, 1985).

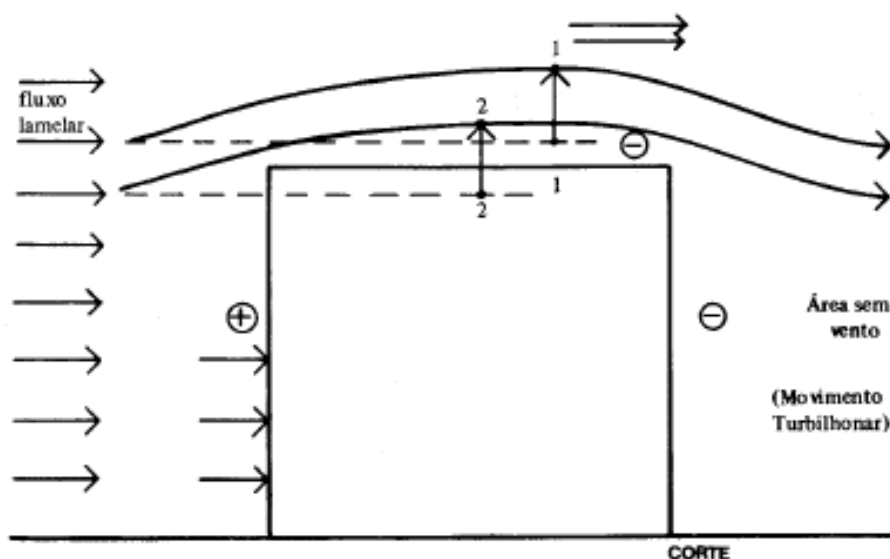


Figura 2 – Diagrama da distribuição das pressões na ventilação natural por ação dos ventos – Fonte: Frota, 2001.

A ventilação natural dinâmica é causada pelas pressões e depressões que são geradas nos volumes de ar como consequência da ação mecânica do vento. O vento é definido como o ar que se desloca paralelamente ao solo em regime lamelar, que ao encontrar um obstáculo sofre um desvio de seus filetes que, ultrapassando o obstáculo, tende a retomar o regime lamelar (FROTA,2001).

Conforme pode ser visto na Figura 2, as paredes expostas ao vento estarão sujeitas a pressões positivas (sobrepessões), enquanto que as paredes não expostas ao vento e a superfície horizontal superior estarão sujeitas a pressões negativas (subpressões). Essa situação proporciona condições de ventilação do ambiente pela abertura de vãos em paredes sujeitas a pressões positivas (sobrepessões) para a entrada de ar, e em paredes sujeitas a pressões negativas (subpressões), para a saída de ar, segundo esquematizado na Figura 3 (FROTA, 2001).

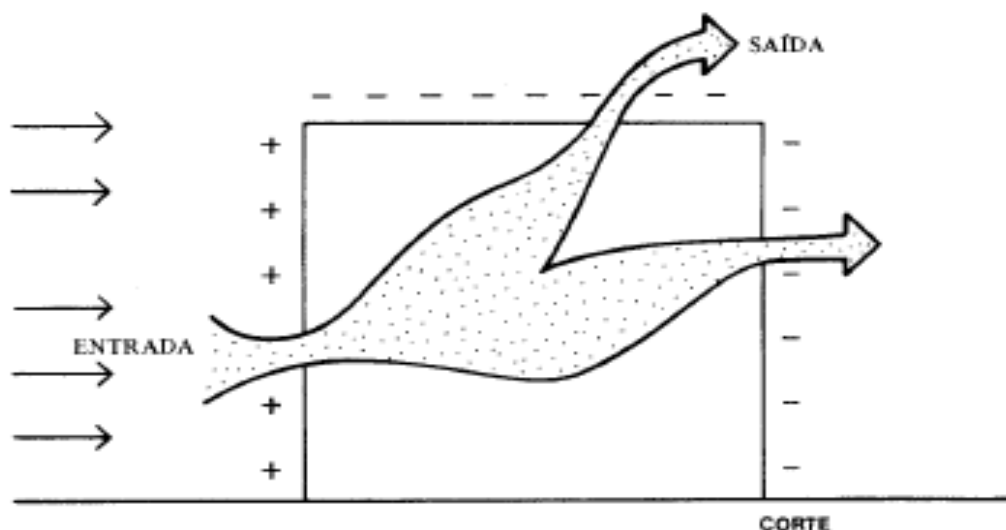


Figura 3 – Diagrama esquemático da ventilação natural por ação dos ventos – Fonte: Frota, 2001.

A distribuição das pressões sobre o edifício depende da direção dos ventos em relação a ele e também das condições do entorno, se existe obstrução às correntes de ar. A pressão exercida no ponto do edifício depende da velocidade do vento e do seu ângulo de incidência. O fluxo da ventilação natural devido à ação dos ventos pode ser calculado por meio da equação 2:

$$\phi_v = c_a \cdot A_0 \cdot v \cdot \sqrt{(c_e - c_s)} \quad (2)$$

onde:

- ϕ_v = fluxo ou vazão de ar pela ação dos ventos (m^3/s);
- c_a = coeficiente de perda de carga por ação dos ventos (0,6);
- A_0 = área equivalente das aberturas (m^2);
- v = velocidade do vento externo resultante na abertura (m/s);
- c_e = coeficiente de pressão da abertura de entrada de ar;
- c_s = coeficiente de pressão da abertura de saída de ar (FROTA, 2001).

Os coeficientes de pressão (C_p) de um edifício são um dos principais parâmetros no estudo da ventilação natural pela ação dos ventos, sendo definido como o quociente adimensional entre a pressão dinâmica medida em um ponto x na fachada do edifício (P_x) e a pressão dinâmica do fluxo de ar (vento) não perturbado a barlavento (P_d), conforme expressa a equação 3:

$$C_p = P_x / P_d \quad (3)$$

Onde : $P_d = (\rho \cdot V_{ref}^2) / 2 \quad (4)$

A pressão dinâmica do fluxo não perturbado (P_d na equação 4) é a força por unidade de área exercida pelo vento em um plano ortogonal ao sentido do escoamento, na qual: P_d é a pressão dinâmica do fluxo (Pa); V_{ref} é a velocidade do vento tomada na mesma altura do topo do edifício (m/s); e ρ é a massa específica do ar (kg/m³). O coeficiente de pressão (C_p) varia em função do ponto de interesse na fachada, da forma do edifício, da geometria do entorno e da direção do vento (CÓSTOLA, 2011).

Na prática, valores de C_p são tradicionalmente obtidos em experimentos em túnel de vento de camada limite, entretanto, estes experimentos raramente são realizados em projetos de ventilação natural para um edifício específico, em razão dos custos elevados e do alto *know-how* envolvidos no processo. Uma prática comum, na ausência de dados de C_p para um edifício que se deseja estudar, consiste no uso de valores de C_p obtidos para outro edifício de formato semelhante. Livros e manuais fornecem um número limitado de dados de C_p e alguns bancos de dados e modelos preditivos oferecem conjuntos de dados de C_p médio para as faces de edifícios com formas simples, como cubos, cilindros, paralelepípedos de diferentes proporções e afins, sendo incomum encontrar dados para edifícios de formatos mais complexos ou com entornos de geometria variada. Além disso, o uso do C_p médio aumenta a probabilidade de erros no cálculo de vazão, apresentando diferenças de até 400% no fluxo de ar calculado. Programas de simulação conhecidos pela sigla em inglês CFD (*Computational Fluid Dynamics*) oferecem uma alternativa para a simulação do escoamento ao redor dos edifícios e a obtenção de C_p . Numa simulação CFD, o volume de ar ao redor do edifício é dividido em uma malha composta de pequenos volumes, para os quais são realizados os cálculos de conservação de massa e momento. De forma geral, quanto mais fina a malha, mais precisos são os resultados e maior o tempo e capacidade de processamento necessários para realizar a simulação. As simulações de CFD são realizadas por meio da solução iterativa das equações de conservação de massa e momento em cada célula da malha. Essas interações devem ser repetidas até que se obtenham resultados que respeitem, da melhor forma possível, o princípio de conservação em todas as células. Uma vez simulado o escoamento ao redor do edifício, o cálculo de

C_p é feito de maneira similar ao realizado com dados de túnel de vento (CÓSTOLA, 2011).

A adequação da arquitetura ao clima ganhou maior importância nos últimos anos e a ventilação natural destaca-se como o principal meio de obtenção do conforto térmico no clima quente e úmido, contribuindo também para diminuir a necessidade de condicionamento artificial. Nesse sentido, o uso da simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto vem se consolidando como uma alternativa viável. Entretanto, estas ferramentas de simulação da ventilação estão entre os programas mais complexos de operação, uma vez que exigem conhecimentos de mecânica de fluidos e de solução numérica de equações diferenciais (TRINDADE, 2010).

2.4.2 CONDIÇÕES DE CONFORTO

Segundo a ASHRAE - 55:204 o conforto térmico é definido como: “*That condition of mind which express satisfaction with the thermal environment*”, isto é, o conforto é o estado de espírito que expressa a satisfação com as condições térmicas do ambiente.

O conforto envolve tanto aspectos objetivos (fatores fisiológicas) quanto aspectos subjetivos (fatores psicológicos), variando portanto de pessoa para pessoa, o que imprime dificuldade para avaliar numericamente o conforto. Portanto, pode-se dizer que o conforto é um conceito subjetivo, que está intimamente relacionado com as sensações provocadas no usuário como consequência de estímulos do ambiente (MARCONDES, 2010).

Segundo Givoni o calor produzido pelo corpo humano por meio do metabolismo é transferido ao ambiente por convecção e irradiação, chamadas de trocas secas. O calor também pode ser perdido pela evaporação da água dos pulmões, através da respiração e pela evaporação do suor expelido pelas glândulas na pele. As trocas por convecção dependem da velocidade e da temperatura do ar no ambiente. Enquanto as trocas por irradiação, num ambiente interno, dependem da temperatura dos materiais do ambiente, conhecida como temperatura radiante média.

Existem duas maneiras de a ventilação natural proporcionar conforto. Com a velocidade do ar proporcionando uma sensação de resfriamento aos ocupantes ou por meio da ventilação noturna, quando esta poderá reduzir a massa térmica do edifício durante a noite, resfriando o ambiente para os períodos de ocupação (GIVONI, 1998 apud ANDREASI, 2001).

No âmbito internacional, até pouco tempo, engenheiros e arquitetos estavam limitados quanto à possibilidade da utilização da ventilação natural em suas obras, devido aos parâmetros de normas como a ASHRAE 55 e a ISO 7.730, que podiam ser consideradas rigorosas por não distinguirem o que é termicamente aceitável em ambientes climatizados e em ambientes ventilados naturalmente. Recentemente, a ASHRAE Standard 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*

foi revisada e em sua última versão, de 2004, pela primeira vez se estabelece que os usuários irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais, se tiverem maior controle sobre elas. A norma baseia-se na possibilidade de prover o controle do ambiente aos usuários e estabelece que, dessa forma, eles irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais. Assim, os projetistas têm maiores meios de estabelecer quando o condicionamento artificial é requerido num edifício e quando é possível incorporar a ventilação natural para proporcionar o conforto térmico (FIGUEIREDO, 2007).

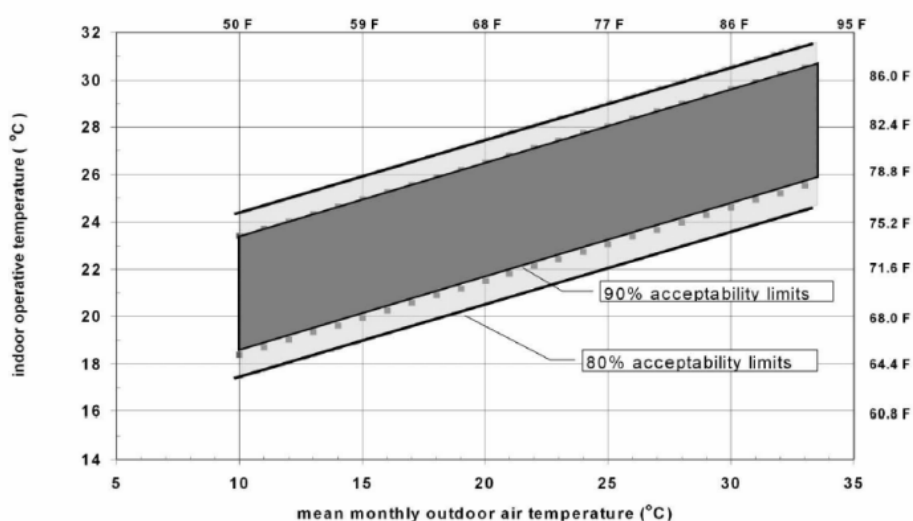


Figura 4 - Faixa de temperatura operativas aceitáveis para ambientes ventilados naturalmente de acordo com a temperatura média mensal e a porcentagem de ocupantes insatisfeitos - Fonte: Ashrae 55/2004

De acordo com a ASHRAE-55:2004 os limites de temperatura aceitáveis variam conforme a média das temperaturas externas de cada mês, e podem ser determinados de acordo com a Figura 4 para duas faixas: uma para 80% de usuários satisfeitos (isto é, para o máximo de 20% de usuários insatisfeitos) e outra para 90% dos usuários satisfeitos (isto é, para o máximo de 10% de usuários insatisfeitos), condição recomendada para situações que requerem um maior rigor na avaliação das condições de conforto. (ASHRAE-55:2004).

A partir da ASHRAE-55:2004 está sendo verificado um maior interesse nos modelos adaptativos de conforto, com o desenvolvimento de diversos estudos sobre o tema. Os estudos de campo que vem sendo realizados com usuários de edifícios de escritório ventilados naturalmente indicam que quanto maior o nível de controle das condições internas e da possibilidade de intervenção no ambiente, maior a satisfação dos usuários, com redução na sensação de desconforto térmico (MARCONDES, 2010).

Estudos desenvolvidos por Givoni comprovam que, para regiões de clima quente úmido, a estratégia mais simples para promover o conforto térmico em uma edificação, quando sua temperatura interna se torna elevada, é a ventilação confortável ou ventilação diurna de conforto. O fluxo de ar externo que atravessa o edifício dá a sensação psicológica de resfriamento aos ocupantes, principalmente se a temperatura estiver acima dos 30°C. Nesse sentido, considera-se que, se a velocidade interna do ar estiver entre 1,5 e 2 m/s e a temperatura máxima externa do ar entre 28°C e 30°C, não excedendo a amplitude térmica diária de 10°C e dependendo da aclimação e da expectativa de conforto da população, a ventilação de conforto é viável. Entretanto, há que manter certos limites, pois muito próxima dessa ventilação diurna de conforto está a ventilação cruzada, que tende a elevar a temperatura interna ao limite da externa, tornando o ambiente desconfortável. Givoni afirma que edifícios construídos com envelope de alta inércia térmica e providos de ventilação cruzada durante o dia alcançam temperatura interna de 2°C a 3°C menores que a externa. Já os edifícios com baixa inércia térmica, mesmo quando ventilados artificialmente, mantêm a temperatura interna próxima da externa. (GIVONI, 1998 apud ANDREASI, 2001).

O uso da ventilação natural em substituição ao ar condicionado, ainda que não seja durante todo o ano, mas em alguns períodos, poderá representar importante medida para redução do consumo de energia nesses edifícios. Mas as áreas urbanas, que abrigam essas edificações, são desafiadoras para o uso da ventilação natural, pois nelas as potenciais barreiras, como a questão acústica e a qualidade externa do ar, estão agravadas (FIGUEIREDO, 2007).

2.5 CARGA TÉRMICA

A quantidade de calor a ser retirada de um ambiente, de modo a levar sua temperatura e umidade relativa a valores recomendáveis e satisfatórios para o conforto humano e/ou condições específicas, é chamada de carga térmica. Essa carga calorífica é uma função de parâmetros fundamentais na origem do calor, ou seja, se o mesmo for de origem interna do ambiente ou de origem externa ao ambiente (SILVA, 2011).

Quanto ao objetivo, há dois tipos de cálculo da carga térmica, a saber:

- cálculo da carga térmica máxima: para determinar o tamanho da instalação;
- cálculo da carga térmica instantânea: para determinar o custo de operação durante um determinado período e as características dinâmicas do sistema (YAMANE, 1986).

A transferência de calor através das paredes de um edifício depende do material; de aspectos geométricos como tamanho, forma e orientação; da ocorrência de fontes internas de calor e de fatores climáticos. O projeto do sistema exige que cada um desses fatores seja estudado e que suas

interações sejam cuidadosamente avaliadas. Os cálculos da carga térmica baseiam-se em condições ambientais próximas dos extremos normalmente encontrados. A carga térmica é composta por 02 (duas) parcelas, a saber:

- Parcela externa:
 - ⇒ transmissão de calor através das paredes;
 - ⇒ transmissão de calor através dos pisos;
 - ⇒ transmissão de calor através dos tetos;
 - ⇒ transmissão de calor através das janelas;
 - ⇒ radiação solar;
 - ⇒ calor sensível e latente relativo ao ar de renovação e infiltração.
- Parcela interna:
 - ⇒ dissipação de calor da iluminação;
 - ⇒ dissipação de calor dos equipamentos;
 - ⇒ dissipação de calor sensível e latente das pessoas (STOECKER, 1985).

A Figura 5 apresenta de maneira esquemática e sintetizada as parcelas que compõem a carga térmica.



Figura 5 - Parcelas carga térmica - Fonte: site <http://www.sistemasdearcondicionado.com.br>

Para a definição da capacidade do sistema, que é correspondente à carga térmica a ser combatida, além das condições específicas de temperatura e umidade a serem mantidas é preciso que o modelo simulado possua características que definam cada uma das trocas, conforme lista apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis relacionadas a cada fonte de calor em uma edificação

Fonte de calor	Variáveis relacionadas
Paredes e cobertura	Dimensões Orientação solar Transmitância térmica Capacidade térmica Absortância à radiação solar Emissividade
Piso	Dimensões Contato externo (com solo ou não) Transmitância térmica Capacidade térmica Emissividade
Janelas	Dimensões Orientação solar Transmitância térmica Transmitância, absortância e refletância à radiação solar Proteções solares externas e internas
Infiltração	Taxa de infiltração horária
Iluminação e equipamentos	Potência Padrão de uso
Pessoas	Quantidade Taxa metabólica Rotina de ocupação

Fonte : Westphal, 2007

2.5.1 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é um dos aspectos que contribuem para o ganho térmico nas edificações. A transferência do calor por radiação pode ser dividida em cinco parcelas, conforme indicado na Figura 6:

- Radiação solar direta (onda curta);
- Radiação solar difusa (onda curta);

- Radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta);
- Radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa);
- Radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa).

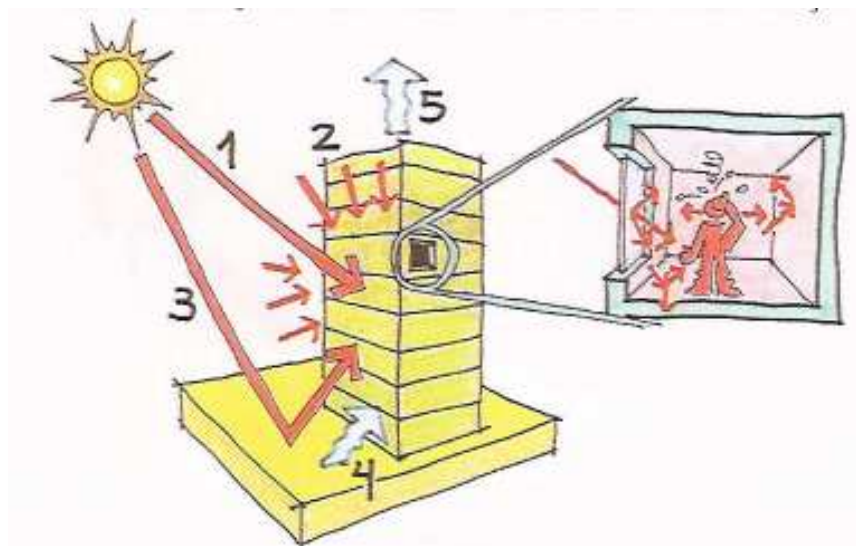


Figura 6 - Parcelas da radiação solar / Efeito estufa. Fonte: Lamberts,2004

O vidro é um tipo de vedação que permite a entrada da radiação solar de onda curta, através das aberturas existentes. Esta radiação incide nos corpos que se aquecem e emitem radiação de onda longa. Em relação à radiação de ondas longas o vidro é um material praticamente opaco, de modo que não permite que a radiação de ondas longas, que passa a ser emitida pelos corpos para o exterior. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa e é o maior transformador de radiação solar em calor, no interior de uma edificação (LAMBERTS,2004).

2.5.2 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

A proteção solar de partes transparentes ou translúcidas das edificações pode ser feita com dispositivos cujas posições podem ser as seguintes:

- proteção solar externa, controlando a radiação antes que ela atinja o corpo da edificação, e aplicável também para sombreamento de partes opacas; podem ser fixas ou móveis;
- proteção solar entre dois vidros: geralmente feita com persianas reguláveis, com o objetivo de isolar a persiana, evitando assim a deposição de poeira e possibilitando um melhor controle de ruído dos caixilhos;

- proteção solar interna, representada por persianas e cortinas, sendo que neste caso o controle se torna menos eficiente, porque a radiação solar já atravessou o vidro e alcançou o interior do recinto (FROTA, 2004).

Os elementos de proteção solar externos são os mais eficientes, pois funcionam como anteparo para a entrada da radiação solar, visto que as trocas térmicas mais intensas ocorrem antes de a energia solar atingir o corpo da edificação. Dentre os dispositivos de proteção solar conhecidos, podem ser listados:

- varanda;
- marquise;
- sacada;
- *brise soleil* vertical (Figura 06);
- *brise soleil* horizontal (Figura 07);
- *brise soleil* misto composição de placas verticais e horizontais (Figura 08);
- telas especiais;
- toldos;
- cortinas e persianas;
- elementos vazados;
- pérgulas (FROTA, 2004).

O *brise-soleil* ou quebra-sol representa um dispositivo cuja função é sombrear, com o objetivo de reduzir a incidência de sol sobre uma construção, ou sobre espaços exteriores, de modo a obterem-se melhores condições de temperatura e controle da incidência da luz solar, que pode provocar problemas tanto de iluminação (contrastes e ofuscamento), de sobreaquecimento, como de deterioração dos objetos expostos. Desde que tenha sido feito um estudo detalhado do ponto de vista geométrico, este tipo de proteção representa um importante recurso para o controle de ganhos de calor, com redução nos sistemas de condicionamento de ar e consequente conservação de energia. Sendo uma proteção bem dosada, pode permitir o uso adequado da luz natural, com o aproveitamento da luz refletida por seus elementos (FROTA, 2004).

Em grande parte das tipologias modernistas, o *brise-soleil* era configurado por elementos horizontais, e/ou verticais, em concreto armado, caracterizando uma forte relação do material de construção com o elemento de arquitetura. Com o passar dos anos foi surgindo uma grande resistência, por parte dos arquitetos, à utilização destes elementos de controle de radiação solar por questões estéticas (CUNHA, 2007).

Um exemplo histórico da utilização de *brises*, em um projeto modernista no Brasil, é o edifício construído para a sede do MEC, Ministério de Educação e Cultura, no Rio de Janeiro, projetado pelos arquitetos Lúcio Costa e Oscar Niemeyer, que possui um sistema de proteção solar com *brise soleil* misto (composição de placas verticais e horizontais) na fachada Noroeste (FROTA, 2004).



Figura 7 – *Brise* misto/ Palácio Gustavo Capanema -Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki>

Além das proteções descritas anteriormente é possível minimizar a entrada do calor através dos fechamentos transparentes com sua especificação adequada, uma vez que a radiação solar transmitida diretamente para o interior da edificação depende da transmitância térmica e do coeficiente de sombreamento do material utilizado. A radiação solar incidente em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo da absorvidade (α), da refletividade (ρ) e da transmissividade (τ) do vidro. Existem vidros dos mais diferentes tipos, que possuem capacidades distintas em absorver, refletir ou transmitir a radiação solar (LAMBERTS, 2004).

Outra alternativa disponível é a aplicação de película nos vidros que irão rejeitar o calor e bloquear a entrada dos raios infravermelhos e ultravioletas. Os principais benefícios da utilização de películas em vidros são os seguintes:

- Redução do ofuscamento e do desconforto visual pelo excesso de iluminação;
- Redução da entrada de calor, resultando na melhoria das condições térmicas internas;
- Aumento a vida útil de móveis e carpetes;
- Aumento da segurança em relação ao estilhaçamento do vidro (Catálogo Window Film - Linha Prestige da 3M, 2013).

2.5.3 ORIENTAÇÃO DA FACHADA

A orientação das fachadas irá determinar sua exposição ao sol, de modo que aberturas com dimensões idênticas podem estar expostas a quantidades de calor e iluminação distintas. A trajetória do sol na abóboda celeste é diferente para cada orientação e latitude (LAMBERTS, 2004).

As cartas solares são a representação gráfica das trajetórias aparentes do sol, projetadas no plano do horizonte do observador, para cada latitude e são utilizadas para determinar o ângulo de incidência do sol sobre uma superfície específica. A abóboda celeste é representada por um círculo cujo centro é a projeção do zênite do observador no plano do horizonte. Os azimutes solares são representados por linhas irradiadas do centro e as alturas solares são indicadas por círculos concêntricos (FROTA, 2001).

RIO DE JANEIRO - RJ

Latitude: 22,55° Sul - Zona Bioclimática: 8

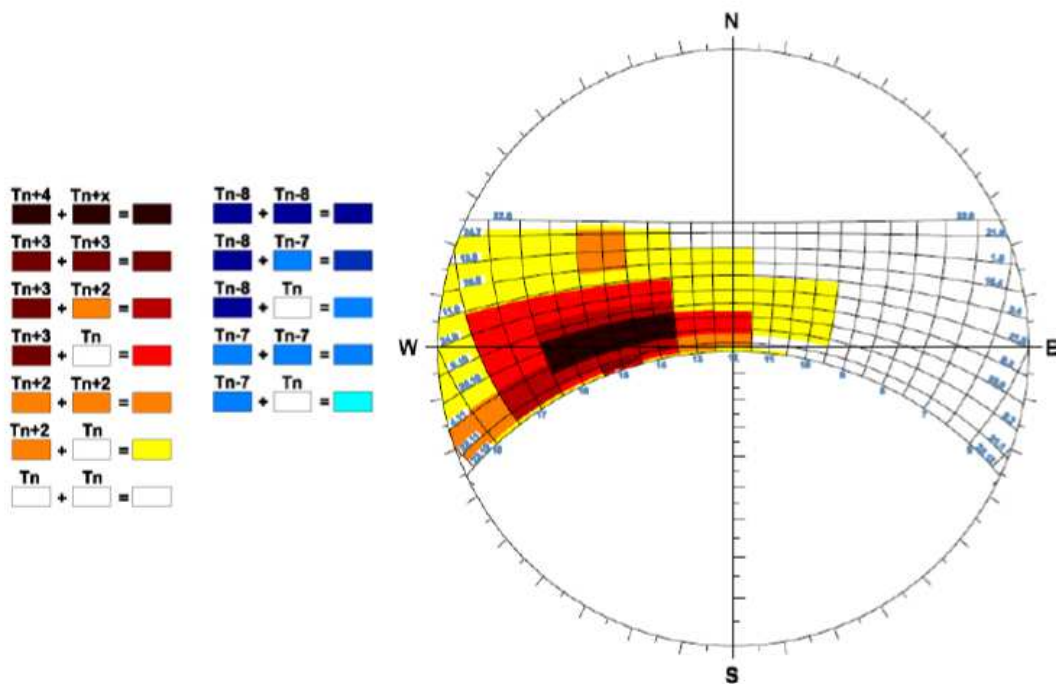


Figura 8 - Carta solar do Rio de Janeiro - Fonte: <http://www.arq.ufmg.br/labcon>

Com a Carta Solar e seus transferidores de coordenadas horizontais é possível:

- determinar os azimutes e as alturas do sol, com os seguintes objetivos:
 - ⇒ localizá-lo em um dia e horário, para uma certa data e latitude;
 - ⇒ conhecendo sua posição na abóboda celeste, desenharsombras;

- determinar os períodos de insolação das fachadas verticais diversamente orientadas e livres de obstrução. Existindo obstruções, cabe a determinação das máscaras por elas produzidas, para depois fazer a leitura dos períodos reais de insolação das fachadas (FROTA, 2004).

Elementos incorporados à própria construção, como beirais, marquises, dispositivos quebra-sol, bem como outros prédios, árvores ou sobrelevações topográficas próximos podem “mascarar” porções do céu, criando assim pontos de sombreamento (FROTA, 2004).

2.6 TIPOS DE SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

2.6.1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2011), o Condicionamento de Ar é o tratamento do ar tendo em vista o conforto dos ocupantes ou o estabelecimento de determinadas condições ambientais necessárias a um processo qualquer, destinado a criar um conjunto de resultados específicos e constitui-se basicamente do controle simultâneo das seguintes características do ar:

- Temperatura;
- Umidade;
- Movimentação;
- Limpeza e
- Pureza do ar.

2.6.2 CICLO FRIGORÍGENO

O sistema mecânico de refrigeração, por compressão, é composto basicamente pelos seguintes componentes: compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador, tubulações de cobre que interligam os elementos e fluido refrigerante, conforme apresentado na Figura 09 (SILVA, 2011).

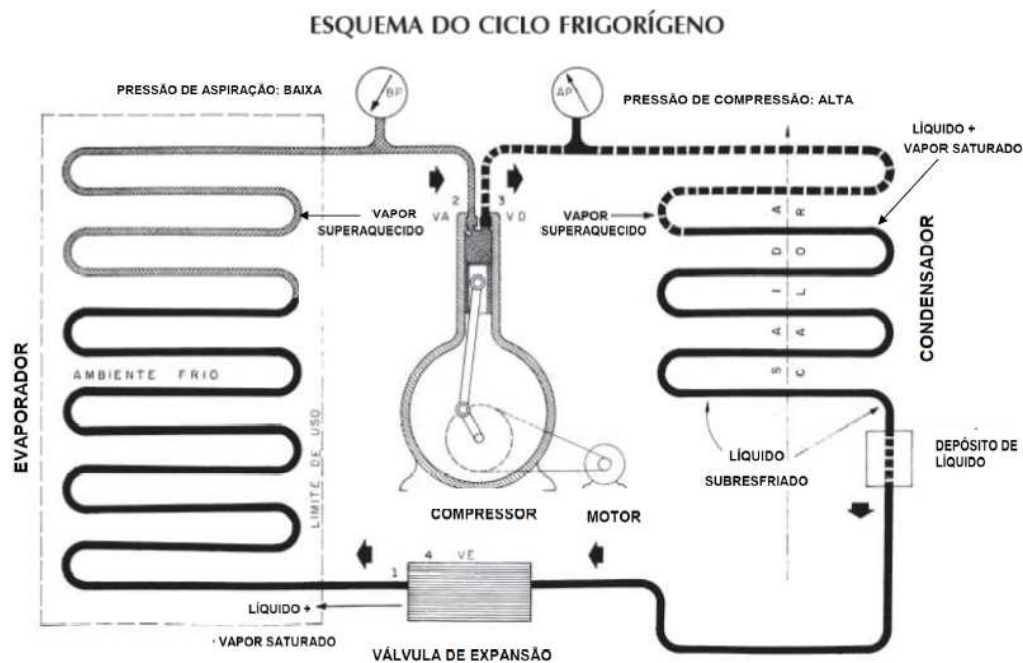


Figura 9 - Esquema do ciclo frigorígeno - Fonte: Silva, 2011 (Adaptado pela autora)

O ciclo frigorígeno funciona basicamente da seguinte forma:

1. O compressor acionado por um motor comprime o gás refrigerante para uma seção da tubulação, em serpentina, chamada de condensador em alta pressão;
2. Um meio externo circulante (ar ou água) em temperatura ambiente resfria o líquido refrigerante quente que recebeu energia mecânica no compressor e está em alta pressão;
3. Ao resfriar, o refrigerante condensa-se, perde calor de condensação e segue em frente como líquido;
4. Ao passar pela válvula de expansão, que é um elemento restritor, o líquido é esguichado dentro da tubulação, também em serpentina, chamada de evaporador, cuja região é de baixa pressão;
5. Ao penetrar na área de baixa pressão (BP), o líquido evapora, retirando calor do próprio meio, isto é, baixando a temperatura da serpentina evaporadora;
6. A seguir o fluído, em estado gasoso, é succionado pelo compressor, onde reinicia o ciclo operacional ou frigorígeno (SILVA, 2011).

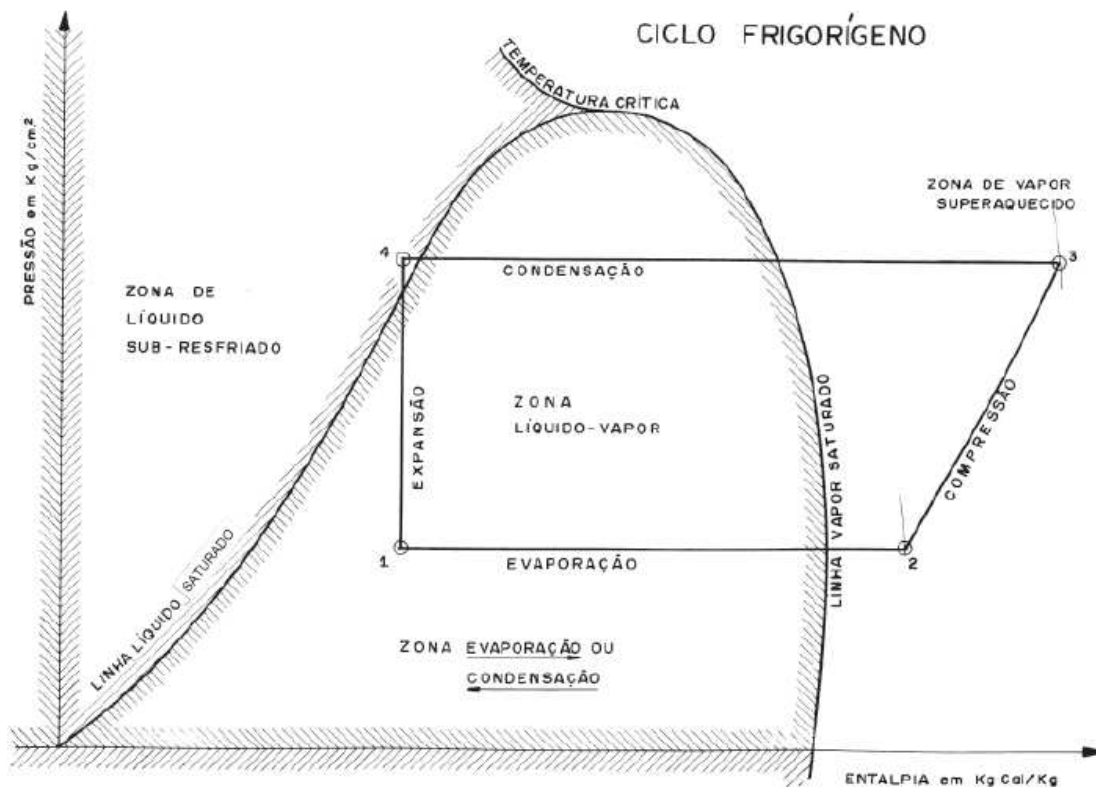


Figura 124

Figura 10 - Ciclo frigorígeno - Fonte: Silva, 2011 (Adaptado pela autora)

A Figura 10 mostra o ciclo frigorígeno dentro do contexto termodinâmico, indicando o comportamento dos fluidos refrigerantes nos dois e sucessivos estados: gás e líquido, além de indicar também a temperatura crítica, as zonas de evaporação, de condensação, a zona de líquido sub-resfriado e a zona de vapor superaquecido, em função da pressão (kg/m^2) e da entalpia (kcal/kg). Em cada volta completa do fluido refrigerante, uma parcela de calor é retirada no evaporador, outra parcela penetra no gás através do trabalho do compressor e, finalmente, o meio circulante externo retira o acúmulo de calor das duas fases anteriores, o calor de condensação que propicia a retirada contínua de calor na zona da serpentina evaporadora e de sua vizinhança. (SILVA, 2011).

2.6.3 DESCRIÇÃO GERAL

Existem 02 (dois) tipos de sistemas básicos de condicionamento de ar, a saber, sistemas de expansão direta e indireta. Nos sistemas de expansão direta, o ar que passa pela serpentina é resfriado pelo fluido frigorífico que escoar nos tubos. Já nos sistemas de expansão indireta, o fluido frigorífico refrigera um fluido intermediário (em geral a água), e este por sua vez resfria o ar em contato com a serpentina. A Tabela 03 apresenta como os sistemas de condicionamento de ar são classificados em relação ao tipo de expansão.

Tabela 3 - Tipos de Sistemas de Condicionamento de Ar (Expansão direta e indireta)

Tipo de Sistema	Descrição
Expansão direta	Aparelhos de janela Mini – Multi Split Convencional Sistema Multi-Split VRF Self – Contained Integrado Self – Contained Remoto / Splitão
Expansão indireta	Sistema de Água Gelada

Fonte: Elaborado pela autora

Em relação à condensação os equipamentos podem ser subdivididos em condensação a ar e condensação a água. Nos sistemas com condensação a ar, a troca de calor no condensador é feita por meio do ar e nos sistemas com condensação a água, a troca de calor no condensador é feita pela água, que posteriormente é resfriada (Tabela 4).

Tabela 4 - Tipos de Sistemas de Condicionamento de Ar (Condensação ar e água)

Tipo de Sistema	Descrição
Condensação a ar	Aparelhos de janela Mini – Multi Split Convencional Sistema Multi-Split VRF <i>Self – Contained</i> ou Gabinete <i>Split – System</i> Sistema Água Gelada
Condensação a água	<i>Self – Contained</i> Sistema Água Gelada

Fonte: Elaborado pela autora

2.6.4 TIPOS DE SISTEMAS

A escolha do tipo de sistema de condicionamento de ar a ser instalado para atender uma edificação depende de diversos fatores, entre eles, da capacidade térmica do sistema, da disponibilidade de espaço para a instalação dos equipamentos e passagem de dutos e tubulações, dos impactos no projeto arquitetônico e da eficiência energética. Existem vários tipos de sistemas de condicionamento mecânico do ar, que podem ser utilizados para combater a carga térmica existente, cabendo ao projetista a escolha do tipo de sistema mais adequado ao projeto.

2.6.4.1 Aparelho de Janela

O Aparelho de Janela é um sistema de expansão direta, com condensação a ar, do tipo compacto, possuindo todos os componentes do circuito frigorígeno instalados em um único gabinete (Figura 11). É o tipo mais conhecido de condicionamento de ar e sua colocação deve ser feita em zona perimetral ventilada, isto é, nas paredes externas devido à necessidade da tomada direta do ar de condensação (SILVA, 2011).

**Figura 11** - Aparelho de Janela - Fonte: <http://blog.poloar.com.br/tag/ar-condicionado-de-janela>

2.6.4.2 Mini / Multi-Split Convencional

Estes sistemas são do tipo expansão direta, com condensação a ar, dotado de tubulação de cobre externa, a qual permite a separação entre a unidade resfriadora (serpentina de frio) e a unidade condensadora (serpentina quente). No sistema do tipo “Mini-Split” Convencional, para cada unidade interna é necessária a instalação de uma unidade externa e no tipo “Multi-Split” convencional, para cada 02 (duas) ou 03 (três) unidades internas deve ser instalada uma unidade externa (Figuras 12 e 13). Apesar de apresentar maior flexibilidade, em relação aos aparelhos de janela, a instalação deste tipo de sistema também apresenta limitações, pois as unidades condensadoras precisam ser instaladas em áreas ventiladas e existe o limite de distância entre elas (SILVA, 2011).



Figura 12 - Sistema *Multi Split* Convencional - Fonte: Catálogo VRF, LG



Figura 13 - Exemplo de unidades na fachada
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki>

2.6.4.3 Multi- Split Tipo VRF ou VRV

O sistema VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) é um sistema do tipo expansão direta, com condensação a ar e também possui os componentes do sistema separados: unidades evaporadoras e unidade condensadora (Figura 14). Este tipo de sistema permite que sejam instaladas diversas unidades evaporadoras interligadas a uma única unidade condensadora. Para este sistema, tanto o desnível quanto a distância limite de instalação entre as unidades evaporadoras e a condensadora é bem maior do que o permitido para os sistemas convencionais, de modo que as unidades condensadoras não precisam ser instaladas próximas das evaporadoras (SILVA, 2011).



Figura 14 - Sistema *Multi Split* VRF - Fonte: Catálogo LG

2.6.4.4 *Self Contained* ou Gabinete:

A expressão inglesa *self contained* significa “contida nela mesma”, ou seja, é um sistema do tipo expansão direta, com condensação a ar, que possui todos os componentes instalados em um único gabinete (Figura 15). Podem ser do tipo vertical, assentados no piso, ou do tipo horizontal geralmente montados nos entreforros. Possuem capacidade de pressão total suficiente para receberem dutos de distribuição de ar, que os fazem muito flexíveis quanto à distribuição do ar. Os equipamentos devem ser instalados junto a áreas externas que permitam a troca de calor do condensador (SILVA, 2011).

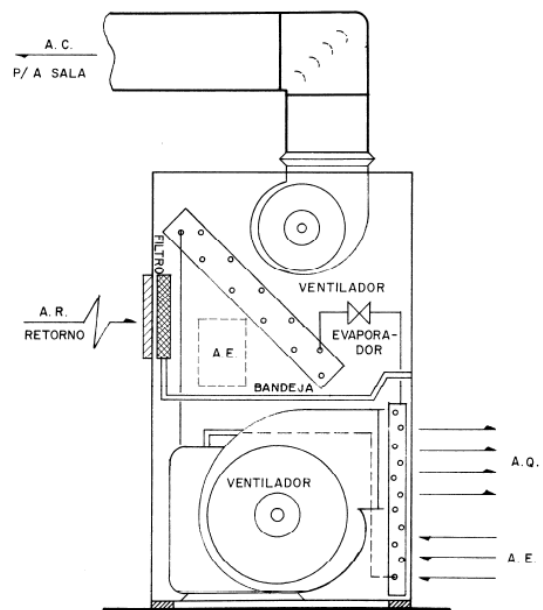


Figura 15 – Sistema *Self Contained* Integrado ou Gabinete - Fonte: SILVA , 2011

Algumas desvantagens deste tipo de sistema são que os dutos principais em função de suas dimensões ocupam muito espaço e no caso de várias salas, com cargas diferentes, serem atendidas por um único condicionador de ar, é difícil proporcionar um controle preciso da temperatura nos espaços condicionados (YAMANE, 1986).

2.6.4.5 Split – System ou “splitão”:

Ainda dentro do conceito de expansão direta, existe o equipamento “dividido”, também conhecido como *split-system*, que permite a instalação da unidade condensadora (ventilador, condensador e compressor) do lado externo do edifício em uma área ventilada, enquanto que o gabinete com a serpentina de resfriamento e o ventilador de insuflamento, é instalado próximo ao ambiente a ser condicionado. A interligação entre as unidades é feita por tubulações de cobre devidamente isoladas e as demais características são similares ao sistema *Self-Contained* ou Gabinete (TRANE, 2006).

2.6.4.6 Self Contained, Condensação a água

O sistema *Self Contained* com condensação a água é um tipo de sistema de expansão direta, com o sistema de condensação resfriado a água (Figura 16). Neste tipo de sistema, as unidades evaporadoras são instaladas próximas aos locais a serem condicionados, interligadas entre si por uma rede hidráulica, na qual circula a água responsável pelo resfriamento dos condensadores. São do tipo vertical, assentados no piso e possuem capacidade de pressão total suficiente para receberem dutos de distribuição de ar, que os fazem muito flexíveis quanto à distribuição do ar (SILVA, 2011). A água, após ganhar o calor proveniente dos condensadores, é conduzida até a torre de resfriamento instalada no externo da edificação, onde ocorre o resfriamento da água, levando-a até as condições térmicas de projeto (TRANE, 2006).

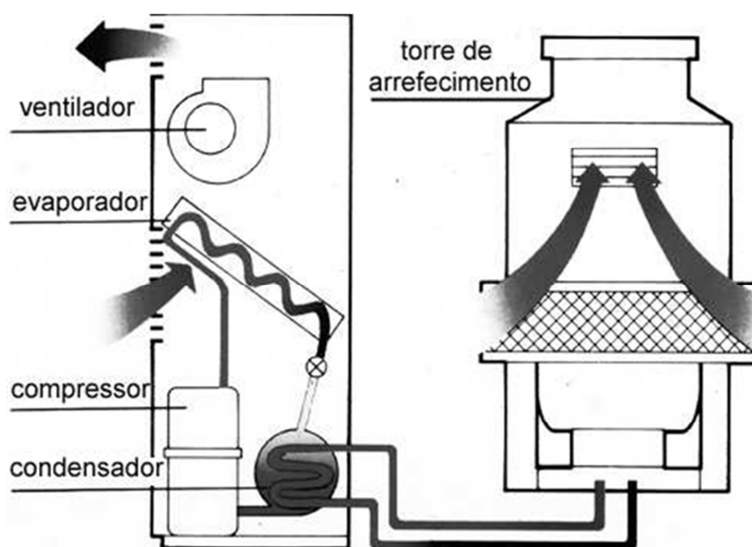


Figura 16 - Sistema *Self Contained*, condensação a água - Fonte: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br>

2.6.4.7 Sistema de Água Gelada

Os sistemas de Água Gelada são sistemas de expansão indireta, pois embora a transferência de calor no espaço condicionado seja feita pelo ar, este sistema utiliza a água como fluido intermediário. O frio é gerado da forma centralizada nas unidades resfriadoras sendo conduzida até as unidades terminais / “*Fan-coil*” (STOECKER, 1985).

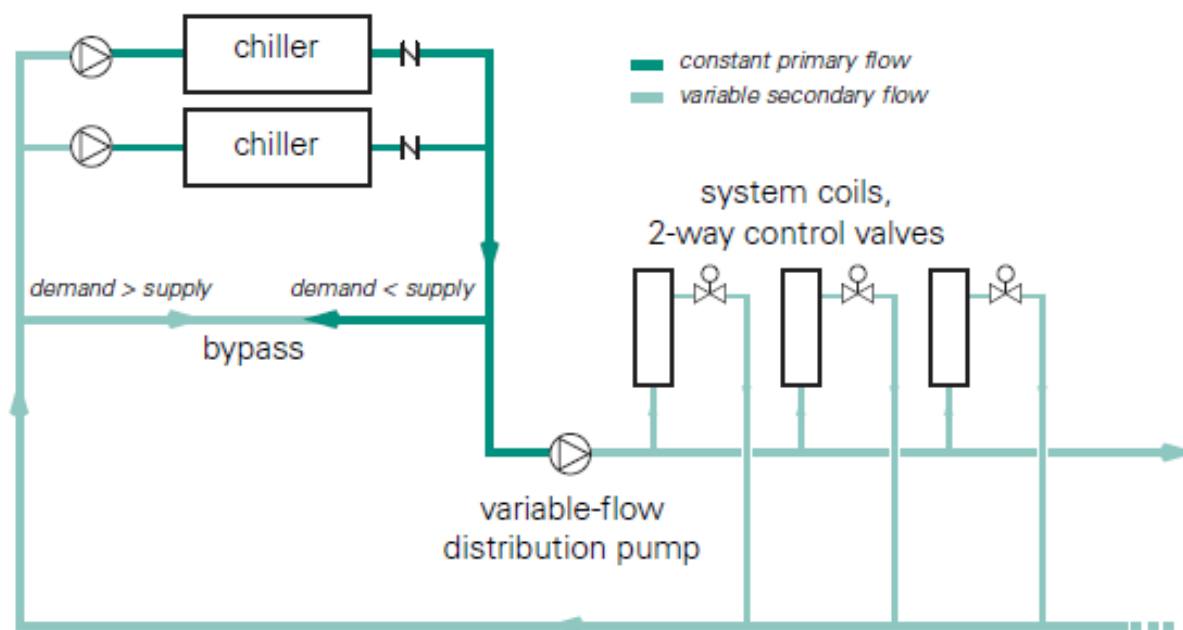


Figura 17 - Fluxograma Hidráulico – Sistema de Água Gelada - Fonte: TRACE 700 Manual, 2010

Em relação ao tipo de condensação, os sistemas de Água Gelada podem ser do tipo:

- Condensação a ar;
- Condensação a água.

No caso do sistema com condensação a ar, os equipamentos devem ser instalados em áreas externas, para possibilitar a troca de calor dos condensadores, sendo geralmente instalados na cobertura da edificação (Figura 18).



Figura 18 - Central de Água Gelada, com condensação a ar - Chongqing, China - Foto: Acervo próprio

No caso do sistema com condensação a água, as Unidades Resfriadoras e as Bombas devem ser instaladas em área coberta, sendo que as Torres de Resfriamento devem ser instaladas externamente ou em áreas ventiladas (Figuras 19 e 20).



Figura 19 - Unidades Resfriadoras/ CAG do prédio do Palácio da CAMG - Foto: Acervo próprio



Figura 20 - Torres de Resfriamento instaladas na CAG do prédio do Palácio da CAMG - Foto: Acervo próprio

2.6.4.8 Uso dos sistema em edifícios comerciais

Os tipos de sistemas de condicionamento de ar variam bastante e nem sempre é possível adaptar um único tipo de sistema ao espaço condicionado, devendo ser avaliadas as vantagens e desvantagens de cada sistema. Em edifícios que possuam salas individuais, salas grandes e que apresentem vários locatários é desejável proporcionar o controle da temperatura e da umidade para cada grupo de salas submetidas às mesmas condições de serviço. Um grande pavimento pode ser dividido em zonas perimetrais, que são influenciadas pelas condições do clima externo e em uma zona interna, que é imune às condições do clima externo e, em consequência do ganho de calor interno, necessita sempre de resfriamento, tanto no verão como no inverno. Para o condicionamento de ar em edifícios de escritórios, é desejável efetuar o zoneamento segundo os pontos cardeais, os períodos de operação, os locatários ou por salas especiais, como por exemplo, uma sala de conferência (YAMANE, 1986).

Os sistemas que possuem o ar distribuído por um único duto apresentam as seguintes vantagens:

- sistemas simples, podendo ser facilmente projetados, instalados, operados e mantidos;
- sistemas de custo inicial baixo.

Entretanto, quando este tipo de sistema atende a várias salas com diferentes cargas térmicas, é difícil proporcionar um controle preciso da temperatura e da umidade nos espaços condicionados, a

menos que sejam utilizados sistemas que permitam a variação da vazão insuflada, sendo necessária a instalação de caixas de VAV (Volume de Ar Variável), atuadas em função da temperatura de cada sala. Outra desvantagem deste tipo de sistema é que os dutos principais são grandes, requerendo assim espaço disponível para sua passagem (YAMANE, 1986).

Não existem normas que definam o tipo de sistema a ser adotado para uma determinada edificação. A escolha do tipo de sistema a ser instalado depende de diversos fatores, entre eles, da capacidade térmica do sistema, da disponibilidade de espaço para a instalação dos equipamentos e passagem de dutos e tubulações, dos impactos arquitetônicos e estruturais, da disponibilidade elétrica, da eficiência energética e do investimento inicial.

Com base na experiência prática, tem-se verificado que o sistema do tipo VRF é um sistema que tem sido bastante utilizado, pois permite desníveis e distâncias bastante elevados entre as unidades evaporadoras e a respectiva unidade condensadora. Deste modo, é possível criar uma central de condensação na Cobertura, interligada às diversas unidades evaporadoras instaladas nos pavimentos. Opcionalmente, a unidade condensadora pode ser instalada em ambientes semiconfinados, uma vez que o equipamento possui uma pequena pressão disponível na descarga do ventilador, possibilitando assim a instalação de rede de dutos, para a descarga do ar de condensação. Esta é uma solução que tem sido muito utilizada em hotéis e em edifícios comerciais. Sua limitação está em uma distribuição interna do ar menos eficiente, pois as unidades evaporadoras disponíveis são do tipo de ambiente ou embutida no forro, com possibilidade da instalação de apenas pequenas redes de dutos. Para grandes ambientes, tendo em vista o limite de capacidade das unidades evaporadas, se faz necessária a instalação de uma grande quantidade de equipamentos, distribuídos pelo prédio. Uma das grandes vantagens deste tipo de sistema é que a tubulação de cobre, que corre interligando os equipamentos, possui uma dimensão reduzida, facilitando assim sua passagem, principalmente em prédios com baixo pé-direito e/ ou com limitações impostas por tombamento do patrimônio.

Para edifícios comerciais de um único dono, geralmente o sistema Central de Água Gelada (CAG) é uma solução utilizada em função de sua flexibilidade e eficiência. O sistema permite o atendimento dos ambientes por meio de unidades climatizadoras individuais, bem como por meio de unidades maiores, que possibilitam a instalação de rede de dutos para a distribuição do ar resfriado. A água resfriada na CAG é conduzida por meio de uma rede hidráulica, isolada termicamente, até aos climatizadores, que são responsáveis pela troca de calor a ser feita com o ar ambiente.

2.6.4.9 Sistema Misto ou Híbrido

A adequação da arquitetura ao clima ganhou maior importância nos últimos anos, sobretudo devido às preocupações com a eficiência energética das edificações. Entre os recursos bioclimáticos adotados para esse fim, destaca-se a ventilação natural como o principal meio de obtenção do conforto térmico no clima quente e úmido, contribuindo também para diminuir a necessidade de condicionamento artificial (TRINDADE, 2010).

O modo misto ou o uso híbrido da ventilação natural e do sistema de climatização pode ser considerado como a possibilidade de controlar estes dois modos de fornecimento de ventilação para o ambiente (natural ou climatizada), de forma a garantir as condições de conforto térmico e de qualidade de ar de um ambiente ocupado. Este sistema usa uma combinação da ventilação natural proveniente de janelas com abertura controlável (de forma manual ou automática) com o uso dos sistemas de climatização. Um edifício projetado com este conceito começa com o *design* de uma fachada eficiente de modo a minimizar as cargas de refrigeração. Em seguida, ele integra o uso dos sistemas de condicionamento de ar quando e onde for necessário, com o uso de ventilação natural sempre que for viável ou desejável, para maximizar o conforto, evitando o uso significativo de energia e reduzindo os custos operacionais (BERKELEY, 2013).

Na literatura técnica encontram-se algumas formas diferentes de utilizar esta combinação de modos de ventilação (natural e mecânica), a saber:

- Modo misto co-corrente;
- Modo misto alternado;
- Modo misto por zonas.

No “modo misto co-corrente”, conforme mostrado na Figura 21, o mesmo ambiente pode ter suas condições controladas recebendo o fluxo de ar tanto das janelas como do sistema de climatização. Neste caso, o sistema de climatização opera como um elemento suplementar para garantir o controle das condições internas do ambiente, sendo que os ocupantes podem abrir ou fechar as janelas, baseando-se nas suas necessidades individuais de conforto térmico. Este tipo de sistema é comum em escritórios de planta aberta com sistemas com caixas VAV (Volume de Ar Variável) e janelas que permitam sua abertura. Sensores de abertura das janelas enviam informações para as caixas de VAV, que passam a operar na sua vazão mínima, reduzindo significativamente a energia consumida no sistema de climatização (BERKELEY, 2013).

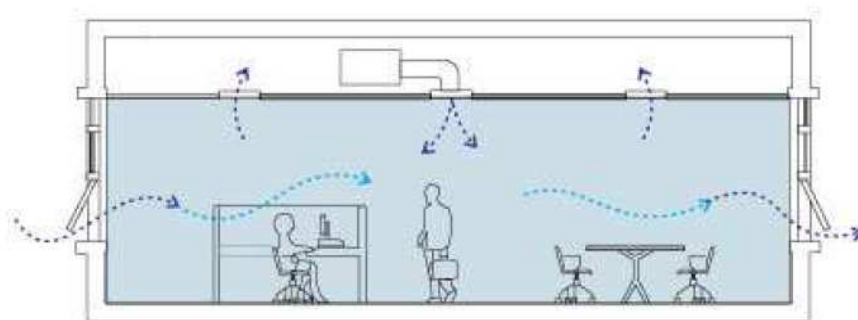


Figura 21 - Diagrama esquemático da operação do sistema no “modo misto co-corrente”

Fonte: <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode>

No “modo misto alternado”, conforme apresentado nas Figuras 22 e 23, os sistemas de ventilação natural e climatização alternam o seu funcionamento ao longo do dia e/ou ao longo de um período do ano. O sistema de automação da edificação deve determinar qual modo a ser utilizado, em função de parâmetros pré-definidos, como por exemplo, a temperatura de bulbo seco externa. Este tipo de sistema pode ser usado em edificações com unidades individuais de climatização e janelas com possibilidade de abertura. Também pode ser usado em edificações que possuem janelas automáticas que, ao abrir, fornecem ventilação natural, enquanto o sistema de climatização opera em condições de menor consumo de energia. Ao fechar as janelas, o sistema de automação faz com que o sistema de climatização reinicie sua operação, seja para resfriamento ou para aquecimento (BERKELEY, 2013).

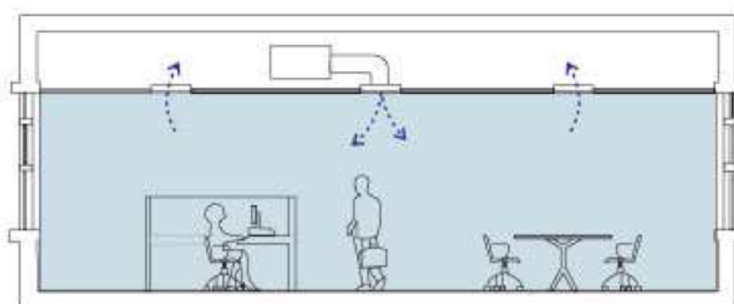


Figura 22 - Diagrama esquemático da operação exclusiva da climatização - Sistema no “modo misto alternado”

Fonte: <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode>

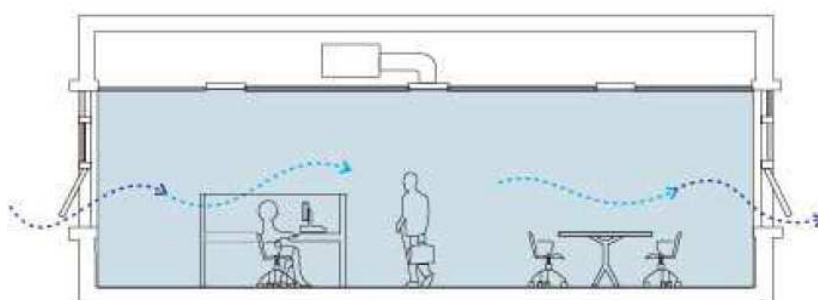


Figura 23 - Diagrama esquemático da operação exclusiva da ventilação natural - Sistema no “modo misto alternado”

Fonte: <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode>

No “modo misto por zonas”, conforme Figura 24, os sistemas de ventilação natural e de climatização são usados em ambientes diferentes. O seu uso dependerá das condições específicas de uso daqueles ambientes, de seu posicionamento na planta do andar (salas próximas às janelas podem fazer um uso maior da ventilação natural) enquanto os ambientes em posições mais centrais dependerão do sistema de climatização (BERKELEY, 2013).

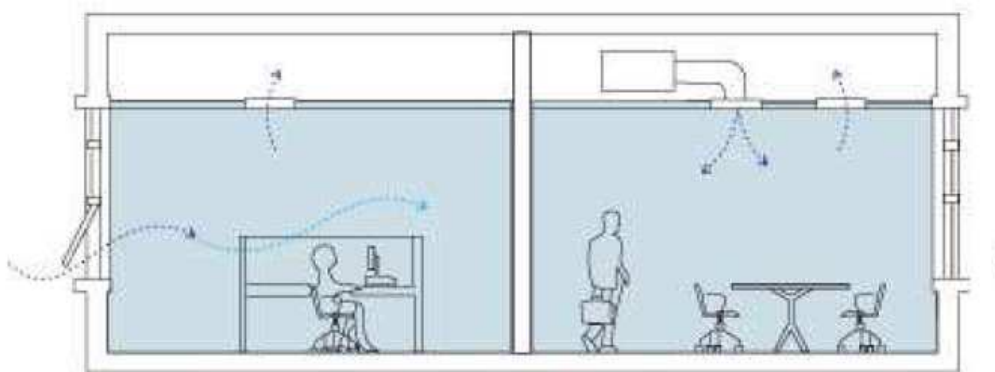


Figura 24 - Diagrama esquemático da operação do sistema no “modo misto por zonas”

Fonte: <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode>

A utilização do modo misto apresenta algumas vantagens em relação aos prédios totalmente selados, a saber:

- Redução do consumo de energia HVAC ;
- Maior vida útil dos equipamentos de climatização ;
- Satisfação dos ocupantes, pois edifícios de modo misto têm maior potencial de oferecer controle pessoal sobre as suas condições térmicas e de ventilação local, bem como uma maior conexão com o exterior.

Por outro lado, a utilização de estratégias de modo misto têm o potencial de adicionar custo e complexidade de um edifício, e no pior dos casos pode produzir ocupantes frustrados e excesso de consumo de energia HVAC. Durante seu desenvolvimento este tipo de projeto, em função da pouca familiaridade com este tipo de uso, poderá demandar mais tempo de projeto do que os edifícios convencionais com sistemas de climatização normais. Uma preocupação existente é que a operação no modo misto concorrente possa resultar em desperdício de energia, em função da simultânea do condicionamento de ar e da ventilação natural. A necessidade de controle da umidade relativa em alguns climas também pode exacerbar o conflito entre os benefícios de um envelope selado e permeável. Além disso, reconhece-se que a ventilação natural pode ser indesejável em algumas situações devido a poluentes transportados pelo ar e dos ruídos exteriores (BERKELEY, 2013).

2.7 DESCRIÇÃO ESTUDO DE CASO

2.7.1 INTRODUÇÃO

O prédio escolhido como estudo de caso foi o hoje denominado Palácio Gustavo Capanema (PGC), localizado na Rua da Imprensa, sem nº, no Rio de Janeiro. O prédio foi projetado durante a gestão do Ministro Gustavo Capanema para sediar o antigo Ministério da Educação e Saúde e é um marco da arquitetura modernista no Brasil, sendo um dos primeiros arranha-céus construídos no mundo com fachada toda em vidro.

Atuaram na elaboração do projeto de construção do Palácio Capanema arquitetos consagrados, entre eles, Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Jorge Machado Moreira, Carlos Leão e Ernany de Vasconcelos, que tiveram como referência estudos elaborados por Le Corbusier, que aqui esteve em 1937, especialmente como consultor (IPHAN, 2012).

O edifício do Ministério da Educação e da Saúde é o símbolo mais impactante da arquitetura moderna no Brasil e a primeira aplicação em escala monumental das ideias de Le Coubusier.



Figura 25 - Imagem aérea do Palácio Gustavo Capanema

Fonte: Google Maps (acesso em 17/01/2014)

Ele mostra claramente a força com que um prédio pode modelar o espaço em torno de si. A rigorosa disciplina plástica aplicada a cada componente e a concisão dos meios formais utilizados, justificam

plenamente a importância fundamental desta obra no panorama da arquitetura moderna no Brasil, assim como o interesse e as discussões que ela suscita no exterior (MINDLIN, 2000).

Os “Cinco pontos da Nova Arquitetura” foram o resultado das pesquisas realizadas nos anos iniciais da carreira do Arquiteto Charles-Edouard Jeanneret, conhecido pelo pseudônimo de Le Corbusier, anunciados em seu livro *Vers une Architecture* (Em direção a uma Arquitetura). O sucesso destes cinco pontos foi tal que, com o tempo, eles deixaram de ser associados apenas a Le Corbusier e se tornaram cânones da arquitetura moderna. Estes conceitos permitiram tornar os elementos constitutivos do projeto independentes uns dos outros, possibilitando a maior liberdade de criação, a saber:

1. Planta Livre: por meio de uma estrutura independente que permite a livre locação das paredes, já que estas não mais precisam exercer a função estrutural;
2. Fachada Livre: resulta igualmente da independência da estrutura. Assim, a fachada pode ser projetada sem impedimentos;
3. Pilotis: sistema de pilares que elevam o prédio do chão, permitindo o trânsito por debaixo do prédio;
4. Terraço Jardim: "recupera" o solo ocupado pelo prédio, "transferindo-o" para cima do prédio na forma de um jardim;
5. Janelas em fita: possibilitadas pela *fachada livre*, permitem uma relação desimpedida com a paisagem. (WIKIPEDIA, 2014)

Apenas três anos após sua inauguração, numa ação pioneira do antigo SPHAN de preservar o prédio do Ministério da Educação e Saúde Pública, foi promovida em 1948 sua inscrição no Livro do Tombo das Belas Artes, garantindo assim condições excepcionais de autenticidade de sua arquitetura, inclusive com relação aos materiais de acabamento e mobiliário. O Palácio Gustavo Capanema vem sendo conservado por meio das ações do seu condomínio e ainda a partir de projetos e obras de restauração coordenadas pelo IPHAN, a exemplo das obras empreendidas na década de 90, que devolveram suas cores originais. Em 2005, o edifício tombado foi inscrito pelo IPHAN na Lista Tentativa do Patrimônio Mundial da UNESCO, pela sua importância histórica e arquitetônica e por ser um dos mais importantes monumentos brasileiros representativos do Movimento de Arquitetura Moderna, sendo contratada pela SE/RJ, em 2010, equipes da FAU/UFRJ para a elaboração do documento a ser enviado à UNESCO, com a proposição de inscrição do PGC a Patrimônio Mundial da Humanidad (IPHAN, 2012).

Atualmente, a partir de em 2013, está, em fase de elaboração o projeto de revitalização e restauração total da edificação, a cargo da empresa de arquitetura Paulicéia Arquitetura e Restauro,

sob a coordenação da Superintendência do IPHAN no Rio de Janeiro. O projeto irá contemplar a requalificação dos espaços para sua adequação aos usos atuais, institucionais e culturais, a conservação geral, bem como a atualização dos sistemas prediais para o atendimento de várias exigências técnicas e legais, posteriores à criação do monumento, como sistemas antipânico, de combate a incêndios, de lógica e monitoramento de segurança, novas instalações elétricas, além de acessibilidade a portadores de necessidades especiais, entre outros, tudo sendo desenvolvido de forma devidamente compatibilizada com o projeto original.

Hoje funcionam no PGC mais de uma dezena de instituições vinculadas ao Ministério da Cultura, a saber, Biblioteca de conteúdo interativo, partituras e sons (BN), Biblioteca Euclides da Cunha (BN), Biblioteca Noronha Santos (IPHAN), o Ibram, a Funarte, a livraria Mário de Andrade e a Sala Sidney Miller (da Funarte). A administração do condomínio do Palácio foi transferida para o IPHAN, reforçando a política do MinC de valorização desse importante marco da arquitetura moderna mundial.

Será previsto um novo sistema de comunicação para a divulgação conjunta das inúmeras ações educacionais e culturais a serem ali promovidas pelas instituições do MinC, como debates, palestras, seminários e cursos, a exemplo das atividades do recém-criado Centro Lúcio Costa, chancelado pela UNESCO, para a formação de gestores do patrimônio, e o Programa de Especialização do Patrimônio, do IPHAN.

Está sendo prevista a implantação no PGC do Centro Brasil Moderno, que tem como uma de suas características estruturantes o reforço do uso público/cultural do edifício em detrimento do uso administrativo. Além disso, a ampliação das bibliotecas tem por objetivo atender ao aumento de sua demanda em decorrência do início das atividades do Centro Lúcio Costa, cujas atividades formativas tendem a potencializar a demanda de uso das bibliotecas.

Após a finalização do projeto de restauro do PGC está sendo prevista a seguinte ocupação para o edifício:

TÉRREO Educação e Grande Público	- Auditório Sidney Miller - Livraria/café - Recepção do programa educativo - Espaço pilotis/jardim – concertos, performances, instalações, manifestações
MEZANINO Artes Visuais	- Salão para grandes exposições sobre modernismo - Auditório Gilberto Freyre – seminários, palestras, concertos.

2º PAVIMENTO Arquitetura e Arte	- Visitações murais e ambientes - Terraço-jardim - Exposição – Nova Linguagem Moderna
3º PAVIMENTO - Música (FBN)	- Biblioteca de conteúdo interativo, partituras e sons
4º PAVIMENTO – Literatura (FBN)	- Biblioteca Euclides da Cunha, acervo com o conteúdo interativo.
5º PAVIMENTO - Áreas Expositivas – FUNARTE	- Acervo indefinido
6º PAVIMENTO - Áreas Expositivas - FUNARTE / IPHAN	- Acervo indefinido
7º PAVIMENTO Centro Lúcio Costa	- Arquivo central do IPHAN
8º PAVIMENTO Centro Lúcio Costa	- Copedoc e salas de aula
9º PAVIMENTO Centro Lúcio Costa	- Biblioteca Noronha Santos
10º PAVIMENTO Centro Lúcio Costa	- Administração
11º PAVIMENTO Centro Brasil Moderno	- Administração
12º PAVIMENTO Centro Brasil Moderno	- Administração
13º PAVIMENTO Centro Brasil Moderno	- Administração
14º PAVIMENTO Centro Brasil Moderno	- Administração
15º PAVIMENTO Centro Brasil Moderno	- Centro de Convenções
16º PAVIMENTO - Restaurante Terraço Jardim	

2.7.2 PROJETO ORIGINAL

Na elaboração do projeto para construção do PGC na década de 30 e 40, foram utilizadas noções de conforto ambiental, ventilação natural e cruzada, com utilização de diversos elementos arquitetônicos, específicos para o controle da incidência solar e da temperatura interna, o que caracteriza esta edificação como um modelo, adaptado a seu tempo, de construção sustentável.

2.7.2.1 FORMA E ORIENTAÇÃO SOLAR

Em qualquer projeto arquitetônico, a forma da edificação e a orientação solar das fachadas são aspectos arquitetônicos fundamentais, pois irão impactar diretamente na quantidade de calor que entra no ambiente. No PGC, o prédio principal possui a geometria retangular, sendo que as fachadas principais (Sudeste e Noroeste) possuem suas vedações feitas com elementos translúcidos, a saber, esquadrias com vidro, protegidas da radiação solar direta por meio de *brises* (fachada Noroeste) e por persianas (fachada Sudeste).

O prédio principal possui 04 (quatro) fachadas com as seguintes orientações:

- Fachada Nordeste – NO (60°);
- Fachada Sudeste – SE (150°);
- Fachada Sudoeste – SO (240°) e
- Fachada Noroeste – NO (330°).

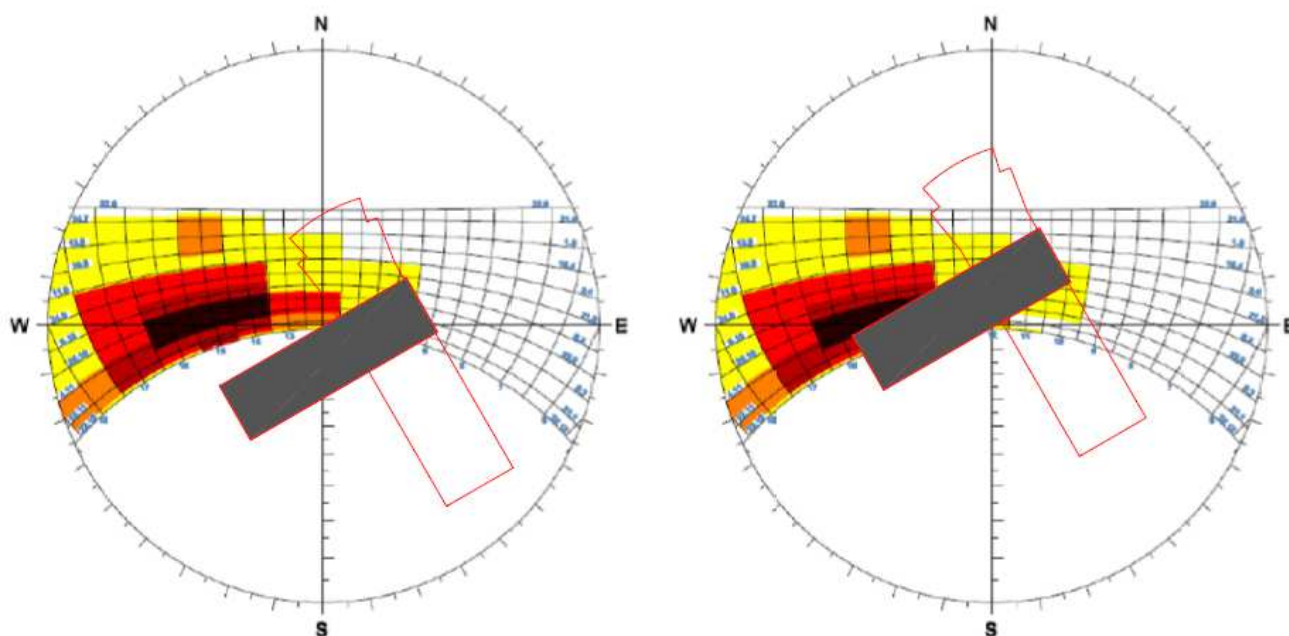


Figura 26 - Orientação das fachadas - Fonte: Elaborado pela autora

As fachadas Nordeste (60°) e Sudoeste (240°) são fachadas cegas, isto é, não possuem elementos translúcidos, o que implica que a entrada de calor ocorre apenas por condução. Já as fachadas Noroeste (330°) e Sudeste (150°) possuem seu fechamento totalmente feito com vidro, sendo que no projeto original foram previstas proteções solares para estas fachadas, a saber, *brisel*, do tipo misto (horizontal e vertical) na fachada Noroeste e persianas internas, na fachada Sudeste.

2.7.2.2 PROTEÇÕES SOLARES

2.7.2.2.1 Instalação de “Brise Soleil”

A fachada Noroeste (orientação solar 330°) apresenta seu fechamento parcialmente feito em vidro simples, na cor cinza, com caixilharias móveis, e nesta fachada existe um peitoril em alvenaria. Para a proteção desta fachada foram instalados *brises* do tipo móvel, com mecanismo de movimentação manual do tipo encaixe. Tendo em vista o tipo de acionamento existente (Figura 27) e a dificuldade de sua movimentação, na prática os *brises*, apesar de serem móveis, funcionam como *brises* fixos.



Figura 27 - Vista interna do sistema de acionamento dos *brises* – PGC, Rio de Janeiro - Foto: Acervo pessoal

Em muitos projetos emblemáticos na arquitetura modernista e contemporânea, como no caso do PGC, o protetor solar teve um peso considerável na composição do edifício, valorizando a dimensão tecnológica. Independentemente da maior ou menor ênfase compositiva, o *brise-soleil* reforça o caráter da edificação, ou seja, a definição do material que o compõe como também sua forma final são resultados de diretrizes estruturais iniciais do projeto de arquitetura. No que diz respeito à eficiência energética dos sistemas de proteção solar, não há dúvida quanto à importância dos mesmos como elementos de controle seletivo dos ganhos térmicos.

Atualmente, em alguns locais, os *brises* do PGC estão posicionados de forma inadequada, sendo possível verificar, por meio de uma simples avaliação visual, que não existe padronização em seu posicionamento (Figura 28). Em alguns locais, em função da angulação inadequada dos *brises*, pode ser constatada a incidência solar direta no ambiente, apesar dos *brises* (Figura 29).



Figura 28 - Sistema de proteção solar
Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro
Fonte: Acervo pessoal

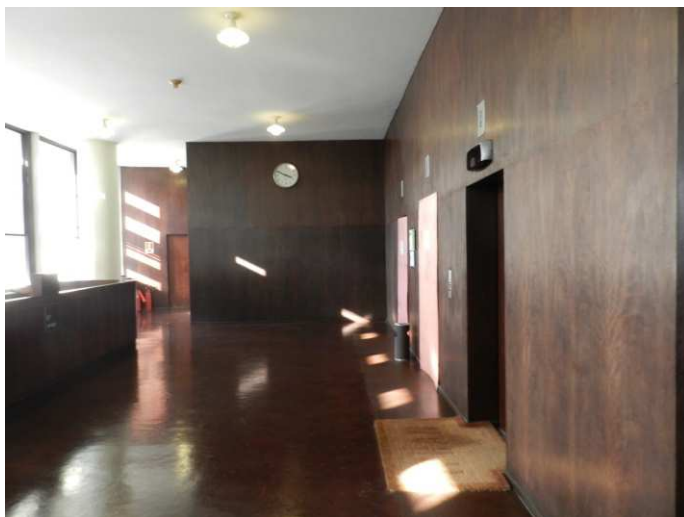


Figura 29 - Sistema de proteção solar – Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro -
Fonte: Acervo pessoal

2.7.2.2.2 *Persianas internas*

A fachada Sudeste (orientação solar 150°) apresenta seu fechamento totalmente em vidro, com caixilharias móveis, e que originalmente foram instaladas como elementos de proteção solar, persianas internas na cor azul (Figura 30) Parte do vidro desta fachada é do tipo simples, na cor cinza, e parte do vidro, correspondente ao peitoril, é do tipo aramado.



Figura 30 - Fachada Sudeste - Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro
Fonte: Nelson Kon

A fachada Sudeste possuía persianas internas horizontais, que, quando da incidência solar, protegiam o ambiente e as pessoas da radiação solar direta. Com o tempo, em função do desgaste, as persianas foram se estragando, sendo retiradas e, atualmente, a fachada Sudeste está totalmente desprotegida, com a incidência de radiação solar direta no ambiente (Figuras 31 e 32).



Figura 31 - Fachada Sudeste – Estado de conservação atual das Persianas (nota-se que estas necessitam de reparação)
Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro - Fonte: Acervo pessoal



Figura 32 - Fachada Sudeste – Persianas / Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro
Fonte: Acervo pessoal

Um ponto importante a ser ressaltado é que, em função da orientação solar, a incidência direta da radiação solar na fachada Sudeste ocorre apenas no período da manhã, entre os meses de setembro a março, desde o nascer do sol até por volta do meio-dia. No restante do tempo, a fachada Sudeste não terá a incidência de radiação solar direta e sim, apenas, da radiação difusa. Deste modo, durante o período sem a incidência da radiação direta, as persianas podem ficar abertas, possibilitando um melhor aproveitamento da iluminação e da ventilação natural. A incidência direta da radiação solar dentro do ambiente, além de resultar em desconforto térmico, faz com que o nível de iluminação interna fique inadequado, pelo excesso de iluminação. Portanto, é necessário que as persianas sejam reinstaladas e, para que sua eficiência seja utilizada em toda sua potencialidade, o ideal é que sua operação seja automatizada, com sua movimentação feita em função da incidência solar e/ou do excesso de luminosidade (Figura 33).

A utilização das persianas no projeto original foi uma medida passiva importante, para garantir as condições de conforto na edificação, e sua reinstalação é de fundamental importância. Além disso, com base no exposto, justifica-se a automatização das persianas, que poderão ser acionadas por controle remoto ou, preferencialmente, por sensores de radiação e/ou de nível de iluminação. Com a utilização de sistemas automatizados será possível garantir o fechamento e a abertura das persianas, de forma a também minimizar a entrada de calor e /ou da iluminação excessiva.

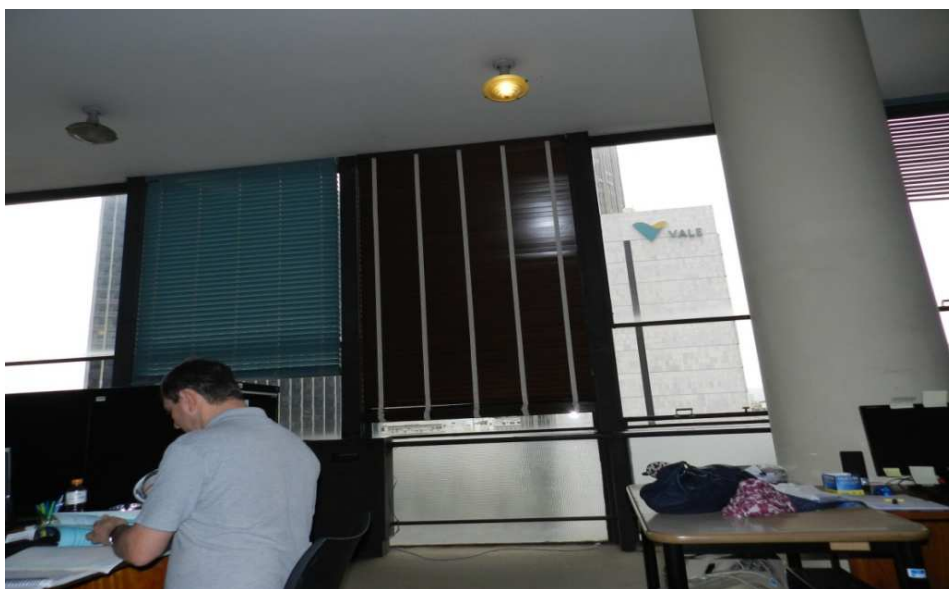


Figura 33 - Fachada sudeste – Testes do restauro das persianas / Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro
Fonte: Acervo pessoal

2.7.2.2.3 *Ventilação cruzada*

O conceito original do prédio foi a utilização de caixilharias móveis (Figuras 34, 35 e 36), nas fachadas Sudeste e Noroeste e da utilização do espaço interno como planta livre, de modo a obter uma ventilação cruzada natural contínua.

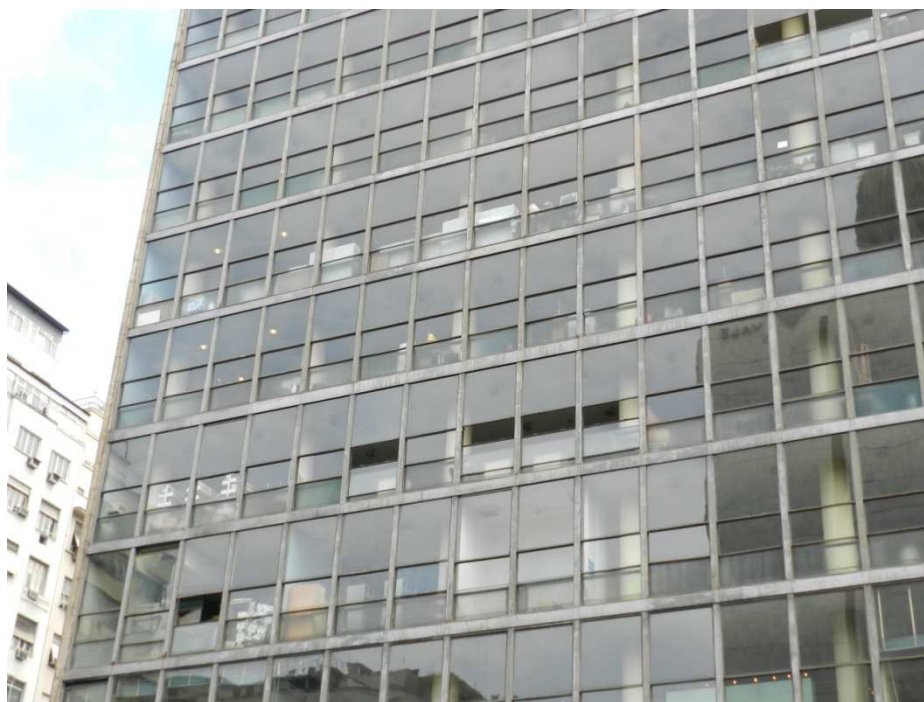


Figura 34 - Fachada Sudeste / Vista externa – Caixilharia móvel - Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro
Fonte: Acervo Próprio



Figura 35 - Fachada Noroeste / Vista interna
Caixilharia móvel – PGC, Rio de Janeiro
Fonte: Acervo próprio



Figura 36 - Fachada Sudeste / Vista interna -
Caixilharia móvel – PGC, Rio de Janeiro
Fonte: Acervo próprio

Conforme palavras do próprio arquiteto Lúcio Costa, transcritas de carta enviada por ele, em 1986, ao então atual Ministro da Cultura, Celso Furtado:

“A ventilação natural foi devidamente estudada, antecipando-se, pois, ao atual movimento internacional no sentido da retomada do conceito de “arquitetura bioclimática”, em boa hora assumida por Joaquim Francisco de Carvalho: de fato, graças à caixilharia movediça em todos os vãos do prédio, quando a viração for leve pode-se deixar o caixilho menor descer externamente no peitoril; quando ventar, basta deixar apenas uma nesga aberta de cerca de 6 cm junto ao teto, isto para impedir o tilintar das lâminas soltas das venezianas: é quanto basta para estabelecer corrente de ar com os vãos livremente abertos da fachada norte protegida por “quebra-sol” que, conquanto velhos de meio século, não devem ser substituídos, como se pretende, pois ainda funcionam normalmente e podem ser recuperados; apenas nos gabinetes extremos, onde a prumada dos elevadores bloqueia essa ventilação cruzada, cabe instalar – como, aliás, em alguns casos já ocorre – ar condicionado” (COSTA, 2011).

Segundo Costa (2011), para desespero de Lúcio Costa, a recomendação da abertura da fresta de seis centímetros, junto ao teto, nunca foi experimentada. As pessoas esquecem, inclusive, que todos os painéis envidraçados das fachadas são móveis e só usam a parte de baixo, ou seja, quando venta, os papéis, naturalmente, voam. Em relação à ventilação cruzada, é importante resgatar o conceito do projeto, utilizando a caixilharia móvel, de modo a obter a ventilação natural contínua, deixando uma pequena abertura na parte superior na fachada Sudeste, conforme orientação do próprio arquiteto Lúcio Costa, exposta anteriormente, e mantendo abertas as janelas na fachada Noroeste. Desta forma irá ocorrer a ventilação cruzada, no nível acima da zona de ocupação das pessoas, evitando assim que os papéis sobre as mesas “voem”.

Outro ponto importante a ser ressaltado, em relação à ventilação natural, é que para o seu funcionamento eficaz é importante a manutenção do conceito do projeto de Planta Livre. Caso sejam feitos fechamentos internos, a ventilação cruzada fica totalmente comprometida, o que atualmente pode ser verificado em alguns pavimentos.

2.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO 2

Neste capítulo foi apresentado um breve histórico das pesquisas sobre simulações computacionais e seu uso para a análise do comportamento energético de edificações, sobre ventilação natural, carga térmica e sobre os tipos de sistemas de condicionamento mecânico do ar existentes.

Os programas existentes permitem que a base de dados das propriedades térmicas de componentes construtivos seja manipulada e que sejam feitas simulações integradas do comportamento energético de edificações, incluindo todos os seus sistemas elétricos e considerando sua interação com o meio ambiente. Com a utilização das simulações, engenheiros e arquitetos podem quantificar os benefícios de determinada opção de projeto de uma edificação, antes mesmo de sua implementação, evitando os custos de execução de uma proposta que possa não ter o retorno econômico desejado.

A transferência de calor através das paredes de um edifício depende do material; de aspectos geográficos como tamanho, forma e orientação; da ocorrência de fontes internas de calor e de fatores climáticos. O projeto do sistema exige que cada um desses fatores seja estudado e que suas interações sejam cuidadosamente avaliadas. Os cálculos baseiam-se em condições ambientais próximas dos extremos normalmente encontrados.

Para regiões de clima quente úmido, a estratégia mais simples para promover o conforto térmico em uma edificação, quando sua temperatura interna se torna elevada, é a ventilação confortável ou ventilação diurna de conforto. Dependendo do atendimento de determinadas condições de temperatura e velocidade do ar, a ventilação de conforto se tornável.

A escolha do tipo de sistema de condicionamento de ar a ser instalado para atender uma edificação depende de diversos fatores, entre eles, da capacidade térmica do sistema, da disponibilidade de espaço para a instalação dos equipamentos e passagem de dutos e tubulações, dos impactos arquitetônicos e da eficiência energética. Existem vários sistemas que podem ser utilizados para combater a carga térmica existente, cabendo ao projetista a escolha do tipo de sistema mais adequado ao projeto. O prédio escolhido como estudo de caso foi o hoje denominado Palácio Gustavo Capanema (PGC), prédio projetado durante a gestão do Ministro Gustavo Capanema para sediar o antigo Ministério da Educação e Saúde, no Rio de Janeiro. Prédio que é um marco da arquitetura modernista no Brasil, sendo um dos primeiros arranha-céus construídos no mundo com fachada toda em vidro.

CAPÍTULO 3

Metodologia

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia deste trabalho está dividida nas seguintes fases: descrição do estudo de caso, análise climática preliminar da cidade do Rio de Janeiro, seleção do programa de simulação computacional, determinação das simulações a serem realizadas e o tratamento estatístico e avaliação dos resultados (IPHAN, 2012).



Figura 37 - Planta do 13º pavimento / Pavimento tipo – Fonte: IPHAN

3.2 SISTEMA ATUAL VERSUS PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

3.2.1 DESCRIÇÃO GERAL

Conforme citado anteriormente, na elaboração do projeto para a construção do PGC, na década de 30 e 40, foram utilizadas as noções de conforto ambiental, ventilação natural e cruzada, com utilização de diversos elementos arquitetônicos, específicos para o controle da incidência solar e da temperatura interna, o que caracteriza esta edificação como um modelo de construção sustentável, adaptado a seu tempo.

A maior parte da edificação funciona atualmente apenas com a ventilação natural, mas em alguns setores existem sistemas de condicionamento de ar mecânicos, independentes, para atender áreas específicas, a saber:

- Auditório Sidney Miller / Sala FUNARTE;
- Auditório Gilberto Freyre;
- Gabinete do Ministro da Educação / 2º pavimento;

- Salão Portinari e salas anexas / 2º pavimento;
- Auditório / 7º pavimento;
- Condomínio / Sobre Loja.

O auditório Sydney Miller, o auditório do 7º pavimento e a área do Condomínio, na situação atual, são atendidos por sistemas de condicionamento de ar independentes, do tipo “Splitão”. As unidades condensadoras estão instaladas em áreas internas da edificação e possuem sistema dutado, para a troca do ar de condensação.

O Auditório Gilberto Freire e o 2º pavimento eram atendidos, cada um, por um sistema de condicionamento de ar, do tipo *self – contained* com condensação a água, sendo que os equipamentos estão instalados próximos aos ambientes condicionados. Em função das limitações arquitetônicas, para a instalação de equipamentos em áreas externas, tanto as unidades evaporadoras, quanto as unidades torres de resfriamento e as bombas, foram instaladas em áreas internas. A troca do ar das torres é feita de forma dutada, e atualmente, ambos os sistemas estão desativados.

O adensamento urbano na região onde se localiza o PGC contribuiu para redução da ventilação natural da edificação e as condições internas resultantes têm gerado desconforto para os ocupantes do prédio. Dentro do escopo do projeto de restauro e modernização da edificação está sendo prevista a instalação de sistema de condicionamento de ar mecânico, para toda a edificação.

Para a nova proposta de ocupação, das áreas atualmente condicionadas, apenas o auditório, localizado no 7º pavimento, será desativado. Para as demais áreas será mantida a solução de sistemas de condicionamento de ar independentes, sendo prevista a instalação de equipamentos novos, do tipo “splitão”.

O Salão de Exposições, localizado no 1º pavimento, atualmente ventilado naturalmente, passará a ser condicionado por meio de um sistema de condicionamento do tipo “splitão”. As unidades evaporadoras deverão ser instaladas em casas de máquinas, previstas no pavimento e as unidades condensadoras instaladas no local da antiga caixa d’água enterrada.

Para o atendimento do 2º pavimento está sendo prevista a utilização do mesmo sistema de distribuição de ar existente, porém com a instalação de equipamentos novos, do tipo “Splitão”, sendo que para o Gabinete do Ministro será instalado um equipamento totalmente independente.

Para o condicionamento geral dos demais pavimentos (3º ao 15º), que em sua maior parte continuarão a funcionar como andar corrido, está sendo prevista a utilização do sistema do tipo multi “*split*” VRF, com uma unidade condensadora dedicada para cada pavimento. A solução proposta é de que a unidade condensadora seja instalada no próprio pavimento, junto à fachada Noroeste, uma vez que esta fachada permite que sejam feitas tomadas e descarga de ar, por meio

das aberturas das janelas, sem maiores impactos na fachada em função dos *brises* existentes. As condensadoras deverão possuir pressão disponível de no mínimo 10mmca, uma vez que está sendo prevista a instalação de dutos para a descarga do ar de condensação.

Foi prevista a instalação das unidades evaporadoras dentro dos armários existentes, que serão adaptados para recebê-las, distribuídas ao longo de todo pavimento, junto à circulação central, minimizando assim ao máximo o impacto visual causado pelos equipamentos.

Para garantir a qualidade do ar interno é preciso que seja introduzida no sistema uma vazão de ar exterior, definida em função do número de pessoas e do tipo de atividade. Uma vez que as unidades evaporadoras não possuem pressão disponível para a captação do ar externo foram previstos sistemas de pressurização do ar de renovação, individualizados por pavimento. O ar será captado do exterior, e após ser filtrado, será insuflado no ambiente, ao longo do pavimento, por meio de dutos embutidos e/ou apoiados no piso.

Para atender ao 16º pavimento, onde está sendo prevista a instalação de um restaurante panorâmico, também será adotado o sistema do tipo VRF.

3.2.2 SISTEMA HÍBRIDO

O significado do Palácio Gustavo Capanema, sob a ótica da relação clima, arquitetura e cultura, pode ser percebido por meio das estratégias de projeto utilizadas. As relações entre arquitetura, clima e cultura por vezes são ignoradas pelos arquitetos, “*intensificando e agravando os efeitos climáticos*”. O PGC constitui um exemplo consciente do conhecimento e aplicação destas relações, ao contrário de grande parte da arquitetura produzida atualmente, que incorpora tecnologias ditas avançadas, sob o rótulo de “arquitetura inteligente”, sem, no entanto, se dedicar aos estudos das condicionantes naturais, comprometendo sobremaneira o consumo energético do edifício e o conforto dos usuários (PAIVA, 2006).

Com base no exposto, é importante que não só a parte física do edifício deva ser foco do projeto de restauro, mas também, o conceito da ventilação natural, proposto pelos arquitetos na concepção do projeto, deva ser restaurado. A proposta, para os pavimentos onde o sistema irá atender apenas as condições de conforto naturalmente, é que seja adotado um sistema misto alternado, conforme descrito anteriormente, no item 2.6.4.9. Nos períodos em que a temperatura externa exceder aos limites de conforto pré-definidos, o sistema de condicionamento de ar será ligado e as janelas devem ser fechadas. Nos períodos em que a temperatura externa estiver dentro dos limites de conforto, o sistema de condicionamento deverá ser desligado automaticamente e as janelas abertas.

3.2.3 RECORTE DO ESTUDO DE CASO

O edifício é composto por dois blocos retangulares que se cruzam perpendicularmente. O bloco principal, onde ficam as salas de escritórios, é um edifício vertical com 15 níveis (2º ao 16º pavimento), suspenso do solo por pilotis de 10 m de altura. De forma geral os pavimentos são utilizados como vão livre (3º ao 15º pavimento), mantendo assim o conceito original da edificação, sendo que, em alguns pavimentos, em função de necessidades específicas, foram feitos fechamentos localizados até o teto. O 2º pavimento foi projetado para acomodar o Gabinete do Ministro e possui subdivisões internas fixas e o 16º pavimento possui uma área menor, recuada em relação aos demais pavimentos, e era onde, originalmente, funcionava um restaurante.

Já o bloco anexo possui 2 níveis (Térreo e 1º pavimento), onde estão localizados o salão de conferência e a sala de exposições, é horizontal, passando por baixo do outro bloco, e abriga em seu teto um jardim concebido por Burle Marx.

O presente estudo se ateve à avaliação do comportamento do bloco principal da edificação, sendo analisada a carga térmica considerando os pavimentos tipo, a saber, 3º ao 15º pavimento.

As simulações foram feitas para um andar tipo, que foi subdividido em 03 (três) zonas térmicas, levando-se em conta a consideração, conforme definição do IPHAN, de que o Hall de Elevadores não será climatizado, conforme apresentado na Figura 38.

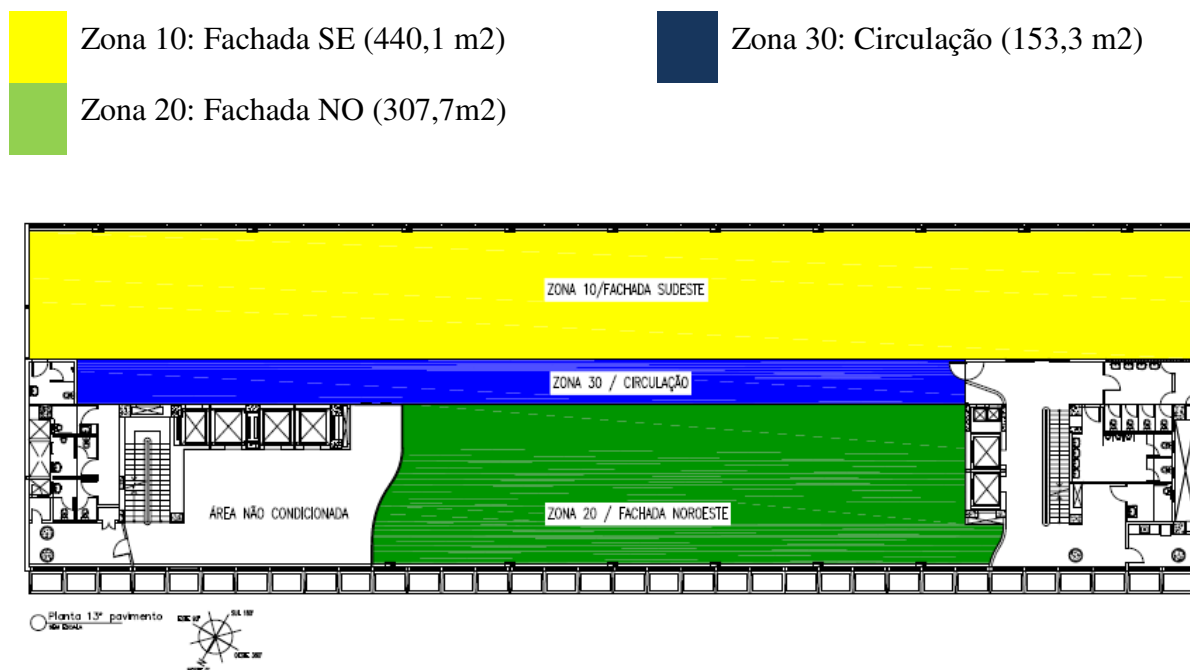


Figura 38 - Planta do 13º pavimento / Pavimento tipo – Fonte: IPHAN

As Figuras 39 e 40 mostram os cortes longitudinal e transversal do prédio principal.

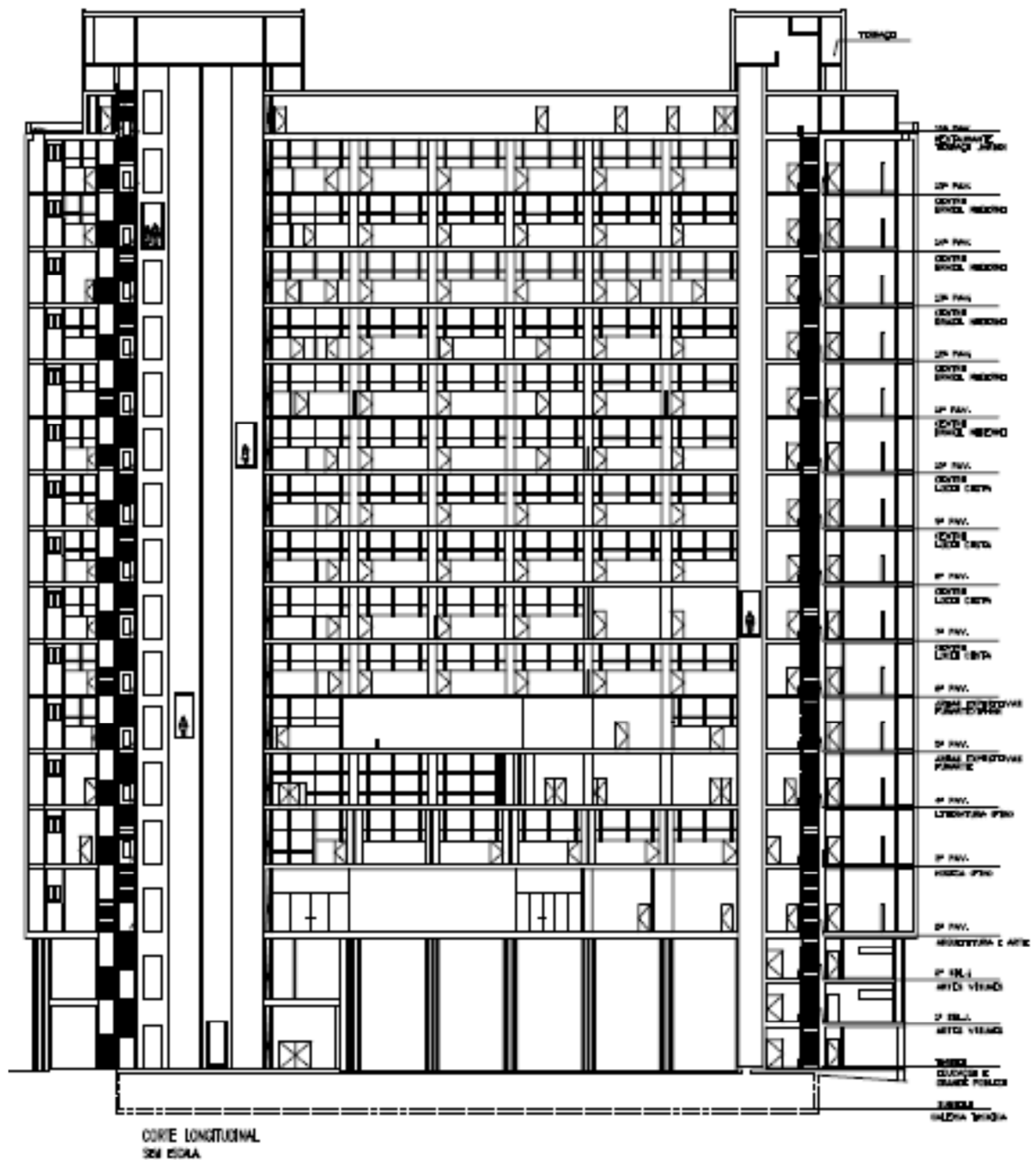


Figura 39 - Corte Longitudinal – PGC – Fonte: IPHAN

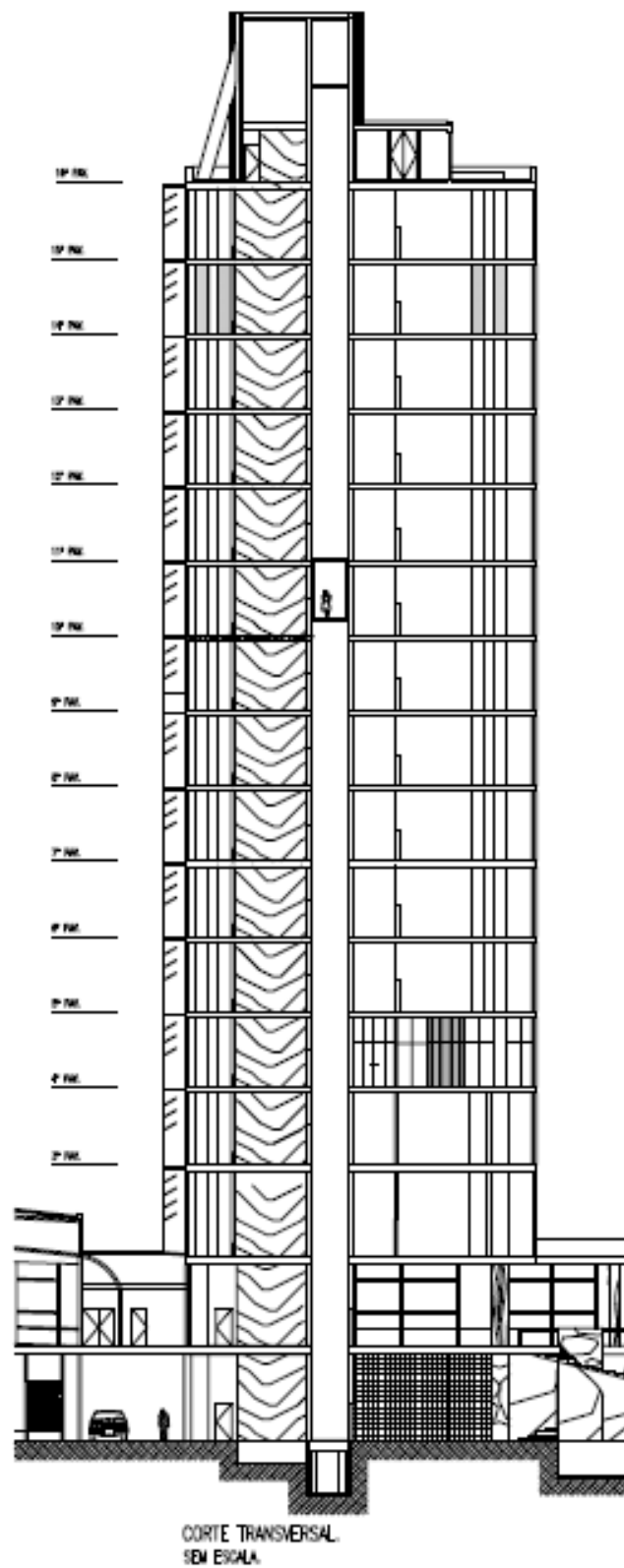


Figura 40 - Corte Transversal – PGC – Fonte: IPHAN

3.3 ANÁLISE CLIMÁTICA

Para avaliar de forma eficiente o comportamento da edificação na condição de ventilação natural, o ideal é que seja feita simulação computacional, de modo a simular o comportamento térmico da edificação ao longo do dia e do ano.

Com o objetivo de apresentar uma avaliação climática preliminar, foi feita a análise do perfil climático do arquivo “EPW”, da cidade do Rio de Janeiro, arquivo este elaborado por Maurício Roriz, criado com base nos dados de estações automáticas do INMET (RORIZ, 2012). Para possibilitar a análise desses dados, os valores foram tabulados, de forma a obter as médias mensais, para as principais variáveis, a saber: temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR) e velocidade do vento.

Nesta etapa também foram avaliados os levantamentos de temperatura feitos ao longo de 6 anos na Biblioteca Noronha Santos, localizada no 9º pavimento do Palácio Gustavo Capanema.

3.4 SELEÇÃO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

Para o desenvolvimento das simulações propostas nesta pesquisa foi utilizado o programa de simulação TRACE 700 (Trane Air Conditioning Economics), que é um programa de cálculo de carga térmica e de análise econômico-energética, desenvolvido pelo grupo C.D.S. (Customer Direct Service Network), da empresa *TRANE Company*, programa acreditado no âmbito da ASHRAE 140-240, para de simulação de desempenho térmico e energético de edificações.

O “*software*” TRACE 700 possui várias metodologias de cálculo de cargas térmicas de resfriamento, que podem ser utilizadas na simulação, sendo que para o presente estudo foi definida a utilização do método CLTD / CLF (*Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Temperature*).

3.5 DETERMINAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Com o objetivo de avaliar o comportamento térmico da edificação, tendo em vista as alterações arquitetônicas propostas, foram realizadas 09 (nove) simulações, assim discriminadas:

Tabela 5 - Descrição das Simulações T1 à T9

NOMENCLATURA	DESCRIÇÃO
T1_IPHAN_sBRsPE	Simulação sem <i>brise</i> e sem persiana
T2_IPHAN_BR0sPE	Simulação com <i>brise</i> na posição horizontal e sem persiana
T3_IPHAN_BR45sPE	Simulação com <i>brise</i> a 45° e sem persiana
T4_IPHAN_BR45PE0	Simulação com <i>brise</i> a 45° e com persiana na posição horizontal
T5_IPHAN_BR45PE45	Simulação com <i>brise</i> e persiana a 45°
T6_IPHANBR45PE45PR90	Simulação com <i>brise</i> a 45° e com persiana na posição horizontal + película Prestige PR90, da 3M
T7_IPHAN_BR45PE45PR60	Simulação com <i>brise</i> a 45° e com persiana na posição horizontal + película Prestige PR60, da 3M
T8_IPHAN_BR45PE45VDHN	Simulação com <i>brise</i> a 45° e com persiana na posição horizontal + Vidro Habitat Neutro Azul (4 mm)
T9_IPHAN_BR45PE45VDCL	Simulação com <i>brise</i> e a 45° e com persiana na posição horizontal + Vidro Cool Lite 136 ST (4mm)

Fonte: Elaborado pela autora

Além das simulações apresentadas na Tabela 5, foram realizadas simulações complementares, com o objetivo de avaliar a operação do sistema de condicionamento de forma híbrida, bem como as condições internas da temperatura, quando do funcionamento do prédio apenas com a ventilação natural, conforme apresentado na Tabela 6:

Tabela 6 - Descrição das Simulações T10 à T13

NOMENCLATURA	DESCRIÇÃO
T10_IPAHN_BR45PE45VN1	Simulação com <i>brise</i> e persiana a 45°, com ventilação natural diurna e noturna;
T11_IPAHN_BR45PE45VN2	Simulação com <i>brise</i> e persiana a 45°, com ventilação natural diurna;
T12_IPAHN_BR45PE45HIB	Simulação com <i>brise</i> e persiana a 45° - Operação híbrida, com funcionamento automatizado;
T13_IPAHN_BR45PE45MAN	Simulação com <i>brise</i> e persiana a 45° - Operação híbrida, com funcionamento, conforme “Schedule” pré- definido.

Fonte: Elaborado pela autora

3.5.1 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES PROPOSTAS

As simulações T1 a T9 foram realizadas adotando o critério de operação do sistema de condicionamento de ar na forma convencional, a saber, o funcionamento diurno, contínuo, entrando em operação e modulando sua capacidade, de modo a manter a temperatura interna prevista de 24°C de TBS.

3.5.1.1 SIMULAÇÃO T1_IPHAN_sBRsPE

Esta simulação teve como objetivo avaliar quais seriam os resultados obtidos, caso não tivessem sido previstas as proteções solares. A simulação foi realizada sem levar em consideração o *brise* na fachada Noroeste, nem as persianas na fachada Sudeste.

Para o vidro existente foram adotadas as seguintes características térmicas:

- Coeficiente de Sombreamento = 0,93
- Fator U = 5,91 W / m². °C

3.5.1.2 SIMULAÇÃO T2_IPHAN_BR0sPE

Esta simulação teve como objetivo avaliar o impacto da instalação do *brise* na posição horizontal na fachada Noroeste, porém mantendo a fachada Sudeste sem as persianas.

O *brise* existente na fachada Noroeste é a proteção solar projetada originalmente na edificação e possui a seguinte geometria (Figuras 41 e 42):

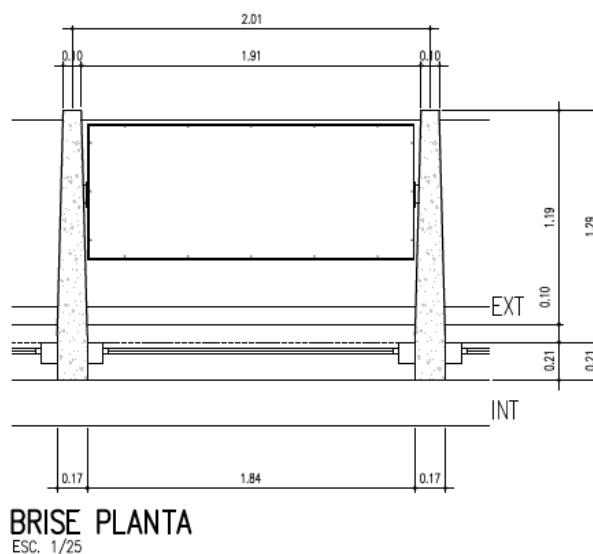


Figura 41 - Planta baixa do *brise* existente - Fonte: IPHAN

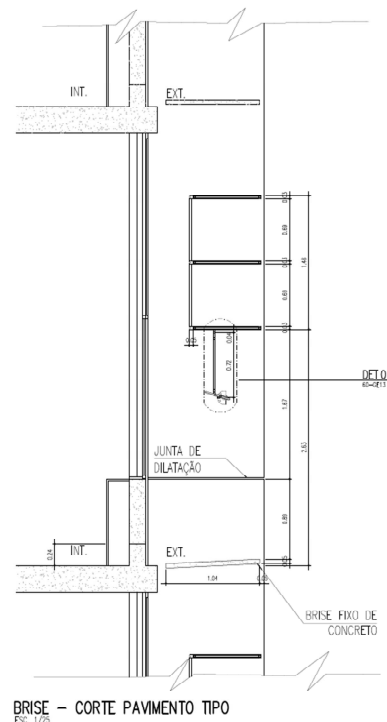


Figura 42 - Corte *brise* existente

(Pavimento Tipo) - Fonte: IPHAN

3.5.1.3 SIMULAÇÃO T3_IPHAN_BR45sPE

Esta simulação teve como objetivo avaliar o impacto da alteração do ângulo do *brise* a fim de verificar seu impacto nos resultados. A simulação foi feita levando em consideração na fachada Noroeste a utilização do *brise* na angulação de 45°, porém mantendo a fachada Sudeste sem as persianas. Esta simulação reflete a condição em que o prédio está operando atualmente, uma vez que os *brises* em geral estão posicionados a 45° (Figura 43) e as persianas foram retiradas, em quase sua totalidade, por estarem danificadas.



Figura 43 - *Brise* existente posicionado na angulação de 45° - Fonte: Acervo próprio

3.5.1.4 SIMULAÇÃO T4_IPHAN_BR45PE0

Esta simulação teve como objetivo avaliar o impacto da instalação das persianas na fachada Sudeste na carga térmica da edificação. A simulação foi feita levando em consideração a instalação do *brise* na angulação de 45° na fachada Noroeste e prevendo a instalação de persianas na fachada Sudeste, posicionadas na horizontal.

3.5.1.5 SIMULAÇÃO T5_IPHAN_BR45PE45

Esta simulação teve com o objetivo de avaliar o impacto da alteração do posicionamento das persianas na fachada Sudeste na carga térmica da edificação, de modo que a simulação foi feita levando em consideração a instalação do *brise* na angulação de 45° na fachada Noroeste, prevendo também a instalação de persianas na fachada Sudeste, posicionadas à 45°.

3.5.1.6 SIMULAÇÃO T6_IPHANBR45PE45PR90

Esta simulação teve como objetivo avaliar a variação no desempenho térmico da edificação em função da aplicação de película no vidro, com características térmicas mais eficientes do que as do vidro existente nas fachadas Sudeste e Noroeste, sendo que esta simulação foi feita tendo como base a condição de projeto (Simulação T5_IPHAN_BR45PE45). Nesta simulação foi avaliada a aplicação de película Prestige PR90, da linha Prestige Crystalline da 3M, com as seguintes características principais:

Tabela 7 - Características da Película Prestige PR90, da 3M

Descrição		Película PR90 Ref. 3M
SHGC		0,47
Coeficiente de Sombreamento - SC		0,53
Luz Visível	Transmitida	60%
	Refletida Interior	8%
	Refletida Exterior	8%
Coef. de Transmissão "U" (Btu /h / ft ² .°F)		0,99
Bloqueio UV		99,9%
Total de energia solar rejeitada		53%
Redução Ofuscamento		32%
Coloração		Transparente

Fonte : Catálogo Window Film
Linha Prestige, da 3M (2013)

3.5.1.7 SIMULAÇÃO T7_IPHAN_BR45PE45PR60

Esta simulação também teve como objetivo avaliar a variação no desempenho térmico da edificação em função da aplicação de película no vidro nas fachadas Sudeste e Noroeste. Esta simulação teve como base a condição de projeto (Simulação T5_IPHAN_BR45PE45), prevendo a aplicação da película Prestige PR60, da linha Prestige Crystalline da 3M, com as seguintes características principais:

Tabela 8 – Características da Película Prestige PR60, da 3M

Descrição		Película PR60 Ref. 3M
SHGC		0,66
Coeficiente de Sombreamento - SC		0,75
Luz Visível	Transmitida	86%
	Refletida Interior	10%
	Refletida Exterior	10%
Coef. de Transmissão "U" (Btu /h / ft ² .°F)		1,05
Bloqueio UV		99,9%
Total de energia solar rejeitada		34%
Redução Ofuscamento		3%
Coloração		Levemente azulada

Fonte : Catálogo Window Film
Linha Prestige, da 3M (2013)

3.5.1.8 SIMULAÇÃO T8_IPHAN_BR45PE45VDHN

Esta simulação teve como objetivo avaliar a variação no desempenho térmico da edificação em função da utilização de um vidro com características térmicas mais eficientes do que as do vidro existente nas fachadas Sudeste e Noroeste. A simulação foi feita tendo como base a condição de projeto (Simulação T5_IPHAN_BR45PE45), prevendo a troca do vidro existente pelo vidro Habitat Neutro Azul (4 mm), da CEBRACE, com as seguintes características térmicas:

- Coeficiente de Sombreamento = 0,49;
- Fator U = 5,5 W / m². °C.

3.5.1.9 SIMULAÇÃO T9_IPHAN_BR45PE45VDCL

Esta simulação teve como objetivo avaliar a variação no desempenho térmico da edificação em função da utilização de um vidro, com características térmicas mais eficientes do que as do vidro existente nas fachadas Sudeste e Noroeste. A simulação foi feita tendo como base a condição

de projeto (Simulação T5_IPHAN_BR45PE45), prevendo a troca do vidro existente pelo vidro Vidro Cool Lite 136 ST (4 mm), da CEBRACE, com as seguintes características térmicas:

- Coeficiente de Sombreamento = 0,64;
- Fator U = 5,7 W / m². °C.

3.5.1.10 SIMULAÇÕES T10_IPHAN_BR45PE45VN1 E T11_IPHAN_BR45PE45VN2

As simulações T10_IPHAN_BR45sPEVN1 e T10_IPHAN_BR45PE45VN2 foram realizadas com o objetivo de avaliar o funcionamento da edificação com a ventilação natural. Estas simulações tiveram como base a simulação T5_IPHAN_BR45PE45, na condição de projeto, com *brise* e persiana a 45°. A opção T10_IPHAN_BR45PE45VN1 simulou a operação da edificação com ventilação natural diurna e noturna, de modo a avaliar o impacto do resfriamento noturno da estrutura, nas condições internase a opção T11_IPHAN_BR45PE45VN2 simulou a operação com ventilação natural somente diurna. Portanto, na simulação T11, as janelas foram fechadas durante a noite, e na simulação T10 as janelas foram mantidas abertas, também no período noturno.

Para o cálculo do fluxo do ar através de uma edificação seria necessária a utilização de *softwares* específicos de análise dinâmica de fluido computacional (CFD), programas estes mais complexos.

Com o TRACE 700 é possível simular as condições internas de um ambiente não condicionado, para um fluxo de ar pré-determinado, em função das condições externas, de modo que, para que fossem simuladas estas opções, se fez necessária a definição da vazão circulada.

Para a definição da vazão foram levadas em consideração as características da edificação, o tipo de janela, as aberturas possíveis, bem como os valores médios da velocidade do vento, obtidos por meio do arquivo climático EPW, utilizado nas simulações. A vazão circulada estimada foi calculada adotando a seguinte equação simplificada:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S \text{ (m}^2\text{)} \times v \text{ (m/s)} \quad (5)$$

sendo:

- Q (m³/s) = vazão de ar circulada pelo pavimento, através da ventilação natural;
- S (m²) = área de abertura na Fachada Sudeste;
- v (m/s) = velocidade média do vento.

A área de abertura na Fachada Sudeste foi definida adotando o comprimento total das esquadrias de 63 m e prevendo uma abertura mínima contínua de 30 cm, ao longo de toda a fachada, resultando assim em uma área total de 18,9 m², sendo prevista a mesma área de abertura na fachada Noroeste.

Para a definição da velocidade do vento, foram levantadas, do arquivo climático EPW, as velocidades médias para cada estação do ano (janeiro, abril, julho e outubro), nos seguintes

períodos do dia (0 - 7h, 7 - 19h e 19 - 24h). Com base nas velocidades médias do vento retiradas do arquivo climático e nas aberturas previstas para a entrada e a saída do ar, aplicando a equação (5), foram obtidas as vazões apresentadas na Tabela 9, para o fluxo de ar circulado através do pavimento, valores estes adotados nas simulações.

Tabela 9 - Resumo das vazões circuladas em função da ação do vento

Mês / Estação do ano	Período do dia	Velocidade média do vento (m/s)	Vazão circulada estimada		Taxa de renovação (rph)	
			(m ³ /s)	(m ³ /h)	Calculada	Adotada
Janeiro / Verão	0 - 7 h	0,70	13,2	47628	13,2	13
	7 - 19 h	1,93	36,5	131317	36,4	36
	19 - 24 h	1,09	20,6	74164	20,6	21
Abril / Outono	0 - 7 h	0,60	11,3	40824	11,3	11
	7 - 19 h	1,60	30,2	108864	30,2	30
	19 - 24 h	1,00	18,9	68040	18,9	19
Julho / Inverno	0 - 7 h	0,20	3,8	13608	3,8	4
	7 - 19 h	1,50	28,4	102060	28,3	28
	19 - 24 h	0,40	7,6	27216	7,6	8
Outubro / Primavera	0 - 7 h	1,02	19,3	69401	19,3	20
	7 - 19 h	2,70	51,0	183708	51,0	51
	19 - 24 h	1,40	26,5	95256	26,4	27

Fonte: Elaborado pela autora

3.5.1.11 SIMULAÇÃO T12_IPAHN_BR45PE45HIB E T13_IPAHN_BR45PE45MAN

As simulações T12_IPHAN_BR45PE45HIB e T13_IPHAN_BR45PE45MAN foram realizadas com o objetivo de avaliar o funcionamento da edificação com a operação híbrida do sistema de condicionamento de ar, no “*modo misto alternado*”. Neste modo de operação, os sistemas de ventilação natural e climatização alternam o seu funcionamento ao longo do dia e/ou ao longo de um período do ano. Portanto, o sistema misto ou híbrido se caracteriza não pela utilização de um tipo diferenciado de equipamento de condicionamento de ar, mas sim, pela forma como o sistema de condicionamento entra em operação. Na simulação T12, foi prevista a entrada e a saída automática do sistema de condicionamento de ar, quando a temperatura externa atingisse uma temperatura predeterminada, a saber, 28°C de TBS.

A simulação T13 teve como base a simulação T5_IPHAN_BR45PE45, definindo-se que durante 04 (quatro) meses, entre 15/maio a 15/ setembro, o sistema de condicionamento de ar estaria desligado. Para os demais meses do ano o consumo desta opção será o mesmo da simulação de referência, a saber, simulação T5.

3.6 PARÂMETROS DE CÁLCULO

Conforme descrito na Tabela 2, o modelo precisa apresentar características que definam cada uma das trocas de calor que compõem a carga térmica, de modo que, para que o modelo fosse simulado, foi necessária a definição dos parâmetros a serem adotados nas simulações, sendo os principais:

- Características térmicas dos elementos de vedação translúcidos;
- Características térmicas construtivas das paredes;
- Condições térmicas internas (TBS e UR);
- Ocupação dos espaços (número de pessoas);
- Taxa de iluminação (W/m^2);
- Dissipação de equipamentos (W/m^2);
- Taxa de renovação do ar externo.

3.6.1 Características dos elementos translúcidos

Para as simulações foram adotadas as seguintes características térmicas para os fechamentos translúcidos (Tabela 10):

Tabela 10 - Características térmicas dos fechamentos translúcidos

DESCRIÇÃO	Características vedação translúcida			
	Fachada Sudeste		Fachada Noroeste	
	U ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	F.S.	U ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	F.S.
T1_IPHAN_sBR_sPE	5,91	0,95	5,91	0,95
T2_IPHAN_BR0_sPE	5,91	0,95	5,91	0,95
T3_IPHAN_BR45_sPE	5,91	0,95	5,91	0,95
T4_IPHAN_BR45_PE0	4,60	0,90	5,91	0,95
T5_IPHAN_BR45_PE45	4,60	0,75	5,91	0,95
T6_IPHAN_BR45_PE45PR90	4,60	0,57	5,91	0,69
T7_IPHAN_BR45_PE45PR60	4,60	0,41	5,91	0,51
T8_IPHAN_BR45_PE45VDHN	5,70	0,48	5,70	0,64
T9_IPHAN_BR45_PE45VDCL	5,51	0,37	5,51	0,49
T10_IPHAN_BR45_PE0VN	4,60	0,90	5,91	0,95
T11_IPHAN_BR45_PE45VN	4,60	0,75	5,91	0,95

Fonte: Elaborado pela autora

Os coeficientes de sombreamento apresentados contemplam não só o material de vedação translúcido, mas também todo o conjunto, a saber: vidro simples, vidro + persiana e vidro + película + persiana. Para o vidro aramado, existente na fachada Sudeste, foram adotadas as seguintes características térmicas: $U = 5,91 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $FS = 0,56$.

Foram apresentadas no presente texto apenas algumas das características térmicas adotadas na simulação, entretanto, é importante ressaltar, conforme apresentado anteriormente, que o *software* adota como metodologia para o cálculo da carga térmica o método CLTD / CLF (*Cooling Load Temperature Difference / Cooling Load Temperature*), com a utilização do método TFM (*Transfer Function Method*) para gerar os dados utilizados na metodologia, de modo que é possível exercer controle sobre aspectos de transmitância térmica, armazenamento e/ou resposta térmica das massas que compõem a edificação (TRANE, 2010).

3.6.2 Características construtivas das paredes

Para o cálculo da transmissão de calor através das superfícies foram adotadas as seguintes características construtivas das paredes, a saber:

- Paredes externas = $2,28376 \text{ W / m}^2\text{°C}$ (8” HW Block,Ref.: Biblioteca TRACE 700);
- Paredes internas = $2,28849 \text{ W / m}^2\text{°C}$ (8” HW Conc Block,Ref.: Biblioteca TRACE 700).

3.6.3 Condições térmicas internas

As simulações foram realizadas de modo a atender às seguintes condições internas:

- Temperatura de Bulbo Seco (TBS): 24 °C
- Umidade relativa (UR): 50%

3.6.4 Ocupação dos espaços

As simulações foram realizadas tendo como base a ocupação média dos pavimentos, a saber, 99 pessoas, com uma ocupação típica de escritório, sendo adotada a dissipação de calor / pessoa da biblioteca do programa, a saber:

- Calor sensível : $73,25 \text{ W / pessoa (*)}$;
- Calor latente : $58,6 \text{ KW / pessoa (*)}$.

(*) Valores para ocupação tipo escritório (Ref.: General Office Space / Biblioteca TRACE 700).

Uma vez que a ocupação dos espaços não se faz de forma imediata, para as simulações foi previsto o seguinte programa (*Schedule*) de ocupação do espaço:

- Meia-noite – 7 a.m.: 0%
- 7 a.m. - 9 a.m.: 50%
- 9 a.m. – Meio-dia: 100%

- Meio-dia – 14 p.m. 50%
- 14 p.m. - 18 p.m.: 100%
- 18 p.m. - 19 p.m.: 50%
- 19 p.m - Meia-noite: 0%

3.6.5 Taxa de iluminação

As simulações foram realizadas tendo como base uma dissipação da iluminação de 10 W/m². A iluminação deste prédio possui uma característica específica que é a de ficar ligada até as 23 h (11 p.m.), pois ela funciona como a iluminação noturna da edificação da fachada, de modo que para as simulações foi previsto o seguinte programa (*Schedule*) de funcionamento:

- Meia-noite -7 a.m.: 0%
- 7 a.m. -11p.m.: 100%
- 11p.m.-Meio-dia: 0%

3.6.6 Dissipação de equipamentos

As simulações foram realizadas adotando a dissipação de 16 W/m², tendo como base a ocupação típica de escritório com baixa densidade, sendo previsto o seguinte programa (*Schedule*) para a entrada dos equipamentos no sistema:

- Meia-noite – 7 a.m.: 0%
- 7 a.m.–Meio-dia: 100%
- Meio-dia – 14 p.m. 50%
- 14 p.m. - 19p.m.: 100%
- 19 p.m - Meia-noite: 0%

3.6.7 Taxa de renovação

Foi adotada a taxa de renovação de 27 m³/ h /pessoa, sendo previsto o seguinte programa (*Schedule*) para o sistema de pressurização do ar externo:

- Meia-noite -7 a.m.: 0%
- 7 a.m. -11p.m.: 100%
- 11p. m. - Meio-dia: 0%

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o impacto das decisões arquitetônicas no consumo de energia, em função do dimensionamento do sistema de condicionamento de ar, os resultados obtidos foram

tratados de forma estatística, sendo elaboradas planilhas e gráficos com os resultados, de modo a possibilitar a análise comparativos valores obtidos.

3.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO 3

Este capítulo constou da apresentação da metodologia adotada no presente estudo. Inicialmente foi apresentada a edificação escolhida como estudo de caso, a saber, o Palácio Gustavo Capanema (PGC), prédio localizado no Rio de Janeiro, projetado durante a gestão do Ministro Gustavo Capanema para sediar o antigo Ministério da Educação e Saúde, marco da arquitetura modernista no Brasil. Foram apresentadas características da edificação nas condições de projeto e na situação atual, entre elas, a orientação das fachadas, detalhes das proteções solares (*brises* e persianas) e do sistema de ventilação natural. Foram também indicadas as intervenções que estão sendo propostas pelo projeto de restauro da edificação, em andamento, além de apresentar o recorte proposto para presente estudo.

Foi também apresentada a análise climática preliminar feita tendo como base o perfil climático do arquivo “EPW”, da cidade do Rio de Janeiro, elaborado por Maurício Roriz, baseado nos dados de estações automáticas do INMET (RORIZ,2012), bem como definido o programa de simulação utilizado nas simulações, a saber, o TRACE 700 (Trane Air Conditioning Economics), da *TRANE Company*.

Neste capítulo foram descritas as principais características das 09 (nove) simulações realizadas, com o objetivo de avaliar o impacto das decisões arquitetônicas no desempenho térmico e na eficiência energética da edificação estudada, a saber:

- T1_IPHAN_sBRsPE: Simulação sem *brise* e sem persiana
- T2_IPHAN_BR0sPE: Simulação com *brise* na posição horizontal e sem persiana
- T3_IPHAN_BR45sPE: Simulação com *brise* a 45° e sem persiana
- T4_IPHAN_BR45PE0: Simulação com *brise* a 45° e com persiana na posição horizontal
- T5_IPHAN_BR45PE45: Simulação com *brise* e persiana a 45°
- T6_IPHANBR45PE45PR90: Simulação com *brise* a 45° e com persiana na posição horizontal + película Prestige PR90, da 3M
- T7_IPHAN_BR45PE45PR60: Simulação com *brise* a 45° e com persiana na posição horizontal + película Prestige PR60, da 3M
- T8_IPHAN_BR45PE45VDHN: Simulação com *brise* a 45° e com persiana na posição horizontal + Vidro Habitat Neutro Azul (4 mm)
- T9_IPHAN_BR45PE45VDCL: Simulação com *brise* e a 45° e com persiana na posição horizontal + Vidro Cool Lite 136 ST (4mm)

Além das simulações apresentadas anteriormente, foram realizadas simulações complementares, com o objetivo de avaliar a operação do sistema de condicionamento de forma híbrida com a ventilação natural, bem como avaliar as condições internas da temperatura, quando do funcionamento do prédio apenas com a ventilação natural.

As simulações complementares realizadas foram as seguintes:

- T10_IPAHN_BR45PE45VN1: Simulação com *brise* e persiana a 45°, com ventilação natural diurna;
- T10_IPAHN_BR45PE45VN2: Simulação com *brise* e persiana a 45°, com ventilação natural diurna e noturna;
- T11_IPAHN_BR45PE45HIB: Simulação com *brise* e persiana a 45° - Operação híbrida, com funcionamento automatizado;
- T11_IPAHN_BR45PE45MAN: Simulação com *brise* e persiana a 45° - Operação híbrida, com funcionamento, conforme *Schedule* pré - definido.

Foram apresentados também os parâmetros básicos adotados nas simulações, a saber: as características térmicas dos elementos de vedação translúcidos, as características construtivas dos materiais, as condições térmicas internas, a ocupação dos espaços, a taxa de iluminação, a dissipação de calor dos equipamentos e a taxa de renovação do ar.

CAPÍTULO 4

Tratamento Estatístico e Avaliação dos Resultados

4 TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO DO CAPÍTULO 4

Para avaliar de forma eficiente o comportamento da edificação na condição de ventilação natural, o ideal é que seja feita uma simulação computacional, de modo a modular o comportamento térmico da edificação ao longo do dia e do ano. Com o objetivo de apresentar uma avaliação climática preliminar, foi feita a análise do perfil climático “EPW”, da cidade do Rio de Janeiro, arquivo este elaborado por Maurício Roriz, criado com base nos dados de estações automáticas do INMET.

4.2 ANÁLISE CLIMÁTICA

Tendo como base o perfil climático do arquivo “EPW”, da cidade do Rio de Janeiro, foram analisados os seguintes parâmetros: velocidade do vento, temperatura de bulbo seco e umidade relativa.

4.2.1 VELOCIDADE DO VENTO

Com base nos valores apresentados no arquivo “EPW”, foram tiradas as médias dos valores para cada hora de cada mês e elaborada a Tabela 11, de forma a avaliar a velocidade do vento durante o horário comercial (7 -19 h).

Tabela 11 - Velocidade Média Mensal do Vento

Velocidade Média Vento (m/s)													
Hora	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Valor mínimo (1.5m/s)
7	0,95	0,68	0,93	0,61	0,63	0,74	0,19	0,64	0,96	1,52	1,22	1,15	1,5
8	1,14	0,90	1,32	0,82	0,93	1,06	0,32	1,58	1,63	1,60	1,74	1,45	1,5
9	1,40	1,10	1,51	1,66	1,33	1,41	0,97	1,75	1,73	1,73	1,94	1,56	1,5
10	1,79	1,33	1,67	1,61	1,55	1,64	1,49	2,33	1,98	2,11	1,96	1,67	1,5
11	2,13	1,39	1,85	1,82	1,76	1,85	1,93	2,47	2,16	2,48	2,39	1,98	1,5
12	2,11	2,11	2,56	1,82	2,03	2,16	2,08	2,38	2,45	2,29	2,68	2,27	1,5
13	2,31	2,41	2,82	1,97	2,04	2,13	2,49	2,21	2,37	2,19	2,95	2,63	1,5
14	2,55	2,49	2,75	2,22	2,37	2,32	2,67	2,52	2,62	2,64	3,22	2,65	1,5
15	2,55	2,51	2,69	2,30	2,60	2,42	2,46	2,49	2,72	2,71	3,11	2,67	1,5
16	2,44	2,15	2,92	2,08	2,17	1,74	2,03	2,48	2,45	2,54	2,99	2,73	1,5
17	2,03	2,07	2,59	1,73	1,60	1,34	1,51	1,85	2,05	2,20	2,68	2,23	1,5
18	2,20	1,98	1,64	1,59	0,89	0,95	0,75	1,29	1,69	1,56	2,12	2,04	1,5
19	1,55	1,28	1,35	1,22	0,66	0,86	0,67	1,16	1,19	1,45	1,85	1,51	1,5

Fonte: Elaborado pela autora

Em um total de 156 h apresentadas na Tabela 11, 73,7% das horas (115 h) apresentaram o valor acima de 1,5 m/s.

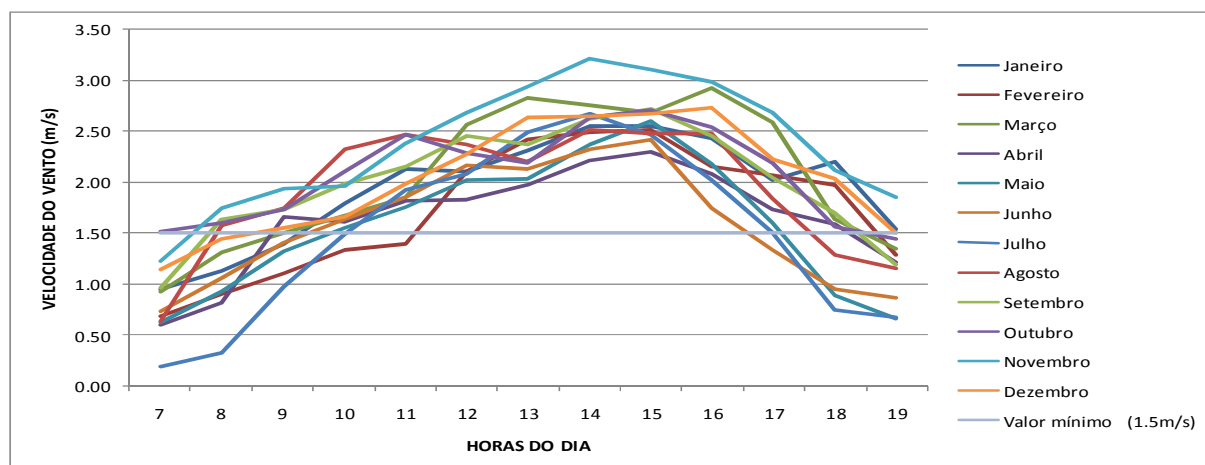


Figura 44 – Gráfico das Velocidades Médias Mensais do Vento x Hora do dia- Fonte: Elaborado pela autora

Conforme apresentado na Tabela 11 e na Figura 44, no período compreendido entre 9h e 18h, para os meses de março, abril, agosto à dezembro, a velocidade do vento está acima do mínimo de 1,5 m/s, definido por Givoni (1998) como a velocidade mínima do vento para que a ventilação natural apresente resultados satisfatórios, desde que a temperatura também esteja dentro dos limites definidos. Parte do período em que a velocidade do vento está abaixo do limite mínimo, é justamente no horário da manhã, entre 7 e 9 h, horário este de grande incidência solar na fachada Sudeste.

Com base nos valores médios da velocidade do vento em cada mês, foi elaborada a tabela resumo com a média anual, por hora, conforme apresentado na Tabela 12 e na Figura 45. Com base nos valores médios anuais verificou-se que no período compreendido entre 9 e 18 h, a velocidade ficou acima de 1,5 m/s.

Tabela 12 - Velocidade Média Anual do Vento

Velocidade Média do vento (m/s)		
Hora	Valor Médio	Valor mínimo
7	0.85	1.5
8	1.21	1.5
9	1.51	1.5
10	1.76	1.5
11	2.02	1.5
12	2.24	1.5
13	2.38	1.5
14	2.58	1.5
15	2.60	1.5
16	2.39	1.5
17	1.99	1.5
18	1.56	1.5
19	1.23	1.5

Fonte: Elaborado pela autora

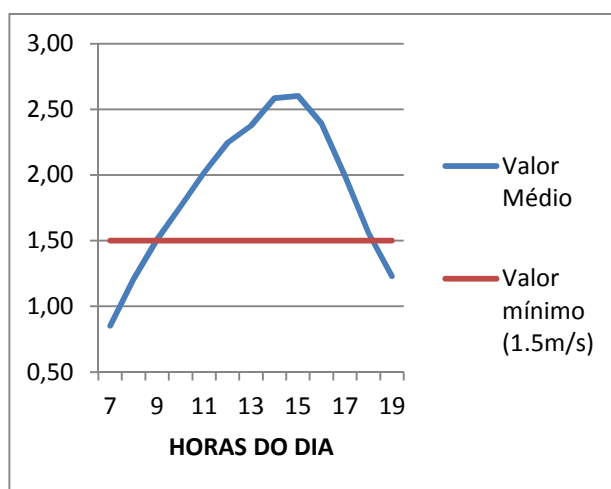


Figura 45 - Gráfico das Velocidades Médias Anuais do Vento x Hora do dia - Fonte: Elaborado pela autora

4.2.2 TEMPERATURA DE BULBO SECO

Foram levantados os valores médios e as temperaturas máximas para cada horade cada mês,tendo como base os valores do arquivo “EPW”, e elaboradas as Tabelas 13, 14 e o gráfico constante da Figura 46.

Tabela 13 - Temperatura de Bulbo Seco - Valores Médios Mensais

Temperaturas Médias Mensais													
Hora	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	TBS Limite
1	23,3	23,4	23,4	18,7	18,7	18,0	15,4	18,9	18,3	21,6	21,4	22,2	28,0
2	22,9	23,4	23,2	18,4	18,4	17,7	15,1	18,4	18,0	21,3	21,3	21,9	28,0
3	22,7	23,1	23,1	18,1	18,1	17,6	14,8	18,1	17,8	21,0	21,1	21,7	28,0
4	22,6	23,1	22,9	17,8	17,8	17,4	14,6	18,1	17,7	20,7	21,0	21,6	28,0
5	22,5	23,0	22,7	18,0	18,0	17,2	14,4	18,0	17,3	20,8	20,9	21,4	28,0
6	23	23,0	22,6	17,9	17,9	17,4	14,2	18,0	17,3	21,3	21,9	22,5	28,0
7	24,6	24,3	23,9	19,0	19,0	17,9	15,0	19,4	19,5	22,9	23,2	23,7	28,0
8	25,8	25,5	25,4	21,1	21,1	20,2	19,0	21,8	21,3	23,8	24,3	24,7	28,0
9	26,9	26,9	26,7	22,6	22,6	21,5	21,3	23,3	22,6	25,1	25,3	25,6	28,0
10	28	28,1	28,0	24,0	24,0	22,9	23,2	24,5	23,7	26,2	26,2	26,6	28,0
11	28,6	29,2	29,1	25,0	25,0	24,0	24,6	25,6	24,3	27,0	26,6	27,2	28,0
12	28,9	29,9	29,7	25,8	25,8	24,8	25,6	26,3	24,6	27,6	26,6	27,7	28,0
13	28,9	30,0	29,7	26,4	26,4	25,2	25,9	26,9	24,8	27,8	26,7	27,7	28,0
14	28,7	29,8	29,5	26,5	26,5	25,2	26,0	26,7	24,7	27,5	26,4	27,5	28,0
15	28,6	29,4	29,4	25,8	25,8	25,0	25,9	26,5	24,4	27,0	25,7	26,9	28,0
16	28,2	28,9	28,6	24,9	24,9	24,4	25,1	25,9	23,8	26,2	24,9	26,1	28,0
17	27,5	28,0	27,6	23,3	23,3	22,6	23,1	24,7	22,8	25,3	24,2	25,4	28,0
18	26,6	26,8	26,7	21,8	21,8	21,0	20,5	23,1	21,5	24,4	23,6	24,7	28,0
19	25,5	25,9	26,0	20,7	20,7	20,3	18,9	21,7	20,5	23,7	23,2	23,9	28,0
20	24,8	25,2	25,1	20,2	20,2	19,7	17,9	20,9	20,3	23,4	22,8	23,5	28,0
21	24,3	25,1	24,3	19,5	19,5	19,3	17,3	20,8	19,9	22,9	22,7	23,2	28,0
22	23,8	24,7	23,9	19,2	19,2	19,0	16,7	20,5	19,8	22,5	22,5	22,8	28,0
23	23,7	24,3	23,6	18,7	18,7	18,5	16,5	19,9	19,2	22,2	22,2	22,7	28,0
24	23,5	23,8	23,5	18,8	18,8	18,5	16,0	19,3	18,8	22,0	21,8	22,4	28,0

Fonte: Elaborado pela autora

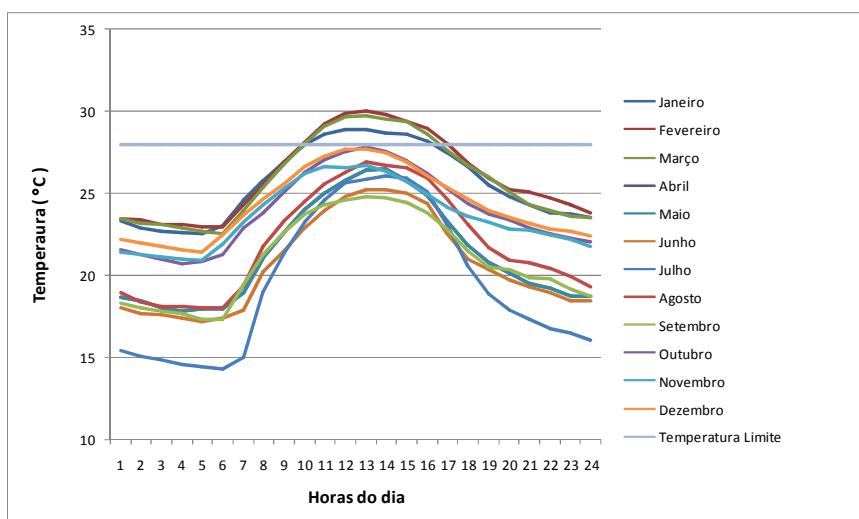


Figura 46 – Gráfico das Temperaturas Médias x Hora do dia-Fonte: Elaborado pela autora

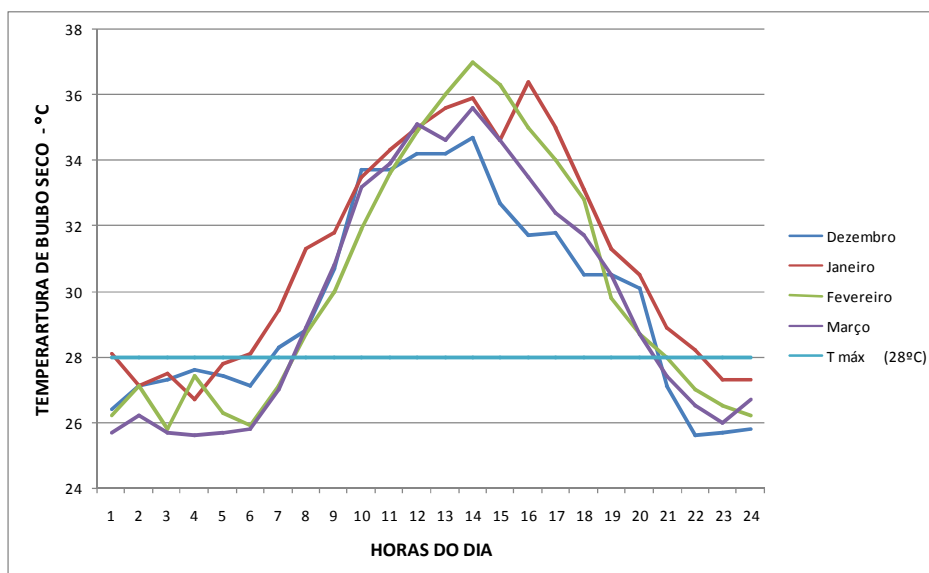
Conforme pode ser visto por meio da análise dos valores apresentados, apenas durante os meses de janeiro, fevereiro e março, as temperaturas médias ficaram acima da temperatura limite de 28°C, definida por Givoni (1998) para que a ventilação natural apresente resultados satisfatórios. Durante os demais meses o valor da temperatura média ficou abaixo dos 28°C.

Tabela 14 - Temperatura de Bulbo Seco - Temperaturas Máximas / Verão

Temperaturas Máximas (°C)					
	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	T máx
1	26,4	28,1	26,2	25,7	28,0
2	27,1	27,1	27,1	26,2	28,0
3	27,3	27,5	25,8	25,7	28,0
4	27,6	26,7	27,4	25,6	28,0
5	27,4	27,8	26,3	25,7	28,0
6	27,1	28,1	25,9	25,8	28,0
7	28,3	29,4	27,1	27	28,0
8	28,8	31,3	28,7	28,9	28,0
9	30,7	31,8	30	30,8	28,0
10	33,7	33,5	31,9	33,2	28,0
11	33,7	34,3	33,6	33,9	28,0
12	34,2	35	34,9	35,1	28,0
13	34,2	35,6	36	34,6	28,0
14	34,7	35,9	37	35,6	28,0
15	32,7	34,6	36,3	34,6	28,0
16	31,7	36,4	35	33,5	28,0
17	31,8	35	34	32,4	28,0
18	30,5	33,1	32,8	31,7	28,0
19	30,5	31,3	29,8	30,5	28,0
20	30,1	30,5	28,7	28,7	28,0
21	27,1	28,9	28	27,4	28,0
22	25,6	28,2	27	26,5	28,0
23	25,7	27,3	26,5	26	28,0
24	25,8	27,3	26,2	26,7	28,0

Fonte: Elaborado pela autora

Quando avaliamos as temperaturas máximas, durante o verão, verificou-se que durante o horário comercial compreendido entre 8 e 18 h, ocorrem temperaturas elevadas, com valores maiores do que 28°C (Tabela 14 e Figura 47), chegando a atingir valores acima de 34°C nos meses avaliados, sendo que em fevereiro, o valor da temperatura chegou à 37°C, às 14 h.

**Figura 47** – Gráfico das Temperaturas Máximas / Verão x Hora do dia-Fonte: Elaborado pela autora

4.2.3 UMIDADE RELATIVA

Para as áreas onde são localizados Acervos, uma das variáveis mais importantes é a umidade relativa (UR). Com base nos valores do arquivo “EPW”, foram tiradas as médias dos valores para cada hora de cada mês e elaborada a Tabela 15 e a Figura 48.

Tabela 15 - Umidade Relativa Média Mensal

Umidade Relativa Media/Ano (%)													
Hora	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Valor Limite
1	84,1	88,9	86,7	89,8	90,4	89,9	93,8	91,8	91,5	90,5	93,9	94,2	65,0
2	86,6	88,3	87,8	90,5	91,4	91,4	94,2	93,7	93,4	92,0	94,2	94,9	65,0
3	87,5	89,9	88,1	91,2	91,7	91,9	93,7	93,6	94,4	92,9	94,9	95,8	65,0
4	88,0	90,1	88,5	91,4	92,7	92,5	95,0	94,1	94,6	94,1	95,4	96,0	65,0
5	88,8	90,3	88,8	92,0	92,3	92,1	95,2	93,4	95,5	93,1	95,8	96,4	65,0
6	87,8	90,9	89,3	91,5	92,0	91,2	95,2	93,6	95,6	92,7	94,0	94,8	65,0
7	79,3	86,1	86,5	89,8	90,7	90,7	94,6	90,9	90,7	84,6	86,7	88,7	65,0
8	73,0	79,4	78,9	81,4	83,8	85,1	89,3	81,3	81,1	79,7	80,3	82,8	65,0
9	68,0	72,8	71,3	75,6	74,5	77,4	73,0	71,8	71,5	72,8	75,2	76,7	65,0
10	61,7	66,3	65,8	69,9	65,7	70,3	61,4	64,0	65,2	66,2	69,4	71,7	65,0
11	60,7	62,8	60,0	64,7	59,9	63,5	53,8	58,4	62,4	63,3	68,0	68,3	65,0
12	59,8	60,1	57,6	61,1	56,1	60,1	48,2	56,1	61,9	60,2	69,1	65,7	65,0
13	61,5	60,1	57,5	58,1	53,3	57,2	48,2	53,8	61,1	59,5	69,8	66,5	65,0
14	61,8	61,9	57,8	59,2	53,4	57,8	47,3	54,6	61,3	60,4	69,8	67,2	65,0
15	62,0	62,9	58,3	62,4	56,7	58,7	48,5	55,3	62,7	62,2	71,0	68,7	65,0
16	63,1	63,5	60,8	66,2	61,6	61,5	52,7	58,7	64,8	64,9	74,6	70,8	65,0
17	65,2	66,3	63,9	71,4	68,7	68,9	60,1	64,5	69,5	69,1	77,2	74,7	65,0
18	68,6	72,0	67,9	76,5	75,1	77,9	71,3	70,7	75,2	73,1	80,4	79,1	65,0
19	73,8	76,4	71,7	81,0	80,9	81,0	79,2	79,0	80,2	77,4	82,9	83,4	65,0
20	77,9	80,0	77,3	83,0	83,9	85,4	85,2	83,4	82,3	80,3	85,6	87,0	65,0
21	80,7	81,0	81,7	85,7	87,0	87,0	87,7	85,0	84,7	83,4	87,1	89,6	65,0
22	83,2	82,4	83,9	87,4	88,0	87,7	90,4	86,3	85,5	85,7	88,4	91,4	65,0
23	83,1	84,7	85,8	88,5	89,7	89,2	91,6	88,6	87,9	87,0	89,9	92,2	65,0
24	84,3	87,2	86,3	89,1	90,2	89,1	92,4	90,9	89,7	88,8	92,0	93,4	65,0

Fonte: Elaborado pela autora

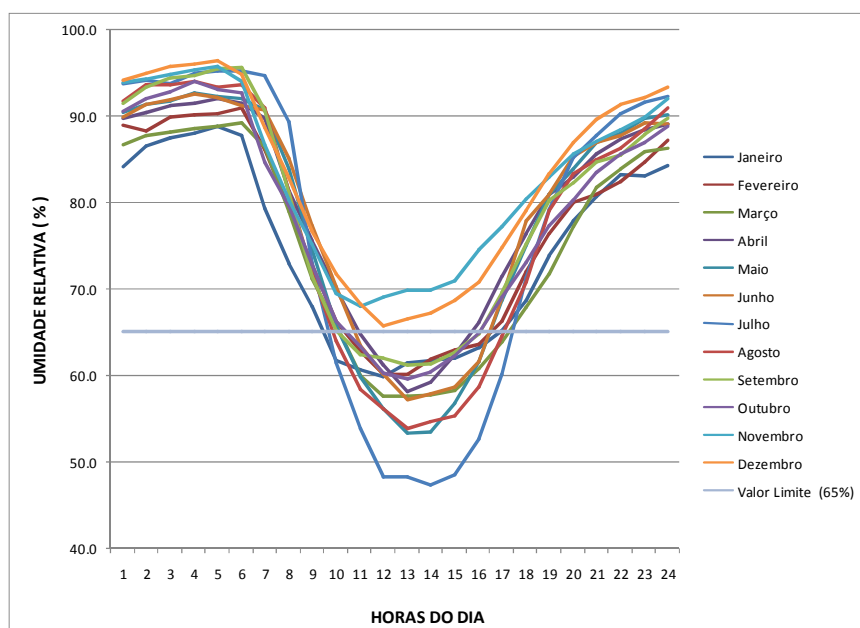


Figura 48 – Gráfico das Umidades Relativas Médias x Hora do dia -Fonte: Elaborado pela autora

Conforme informações fornecidas pelos especialistas na área de Preservação de Acervos do IPHAN, a umidade relativa limite para a conservação adequada deve ser de 70%, sendo o ideal que ela não ultrapasse o valor de 65%.

Avaliando-se os valores apresentados, verificou-se que durante os meses de novembro e dezembro a umidade relativa se manteve acima do limite de 65 %, durante todo o dia.

Para os demais meses, no período compreendido entre 10h e 18h, a umidade relativa ficou abaixo dos 65%, entretanto, fora deste horário a umidade relativa ultrapassou o limite definido como adequado, a saber, 65 %.

4.2.4 LEVANTAMENTO INTERNO DE TEMPERATURAS

Foi disponibilizado pelo IPHAN um levantamento das condições internas na Biblioteca Noronha Santos (BNS), localizada no 9º pavimento, feito ao longo de 6 anos, com medições da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa realizadas praticamente em todos os dias úteis, entre os anos de 2004 e 2009, em 03 (três) horários fixos, a saber, 8h, 13h e 17h. Apesar da imprecisão destes dados, uma vez que eles foram coletados sem nenhuma metodologia científica, os valores medidos foram compilados e levantados os valores médios mensais das temperaturas máximas e médias, conforme apresentado na Tabela 15 e na Figura 49, com o objetivo de avaliar o comportamento da temperatura interna da edificação.

Tabela 16 – Temperaturas Médias Anuais / Biblioteca Noronha

TEMPERATURAS MÉDIAS ANUAIS												
DESCRIÇÃO	VERÃO			OUTONO			INVERNO			PRIMAVERA		
	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
Média - T _{máxima} 2004 / 2009	30.4	31.0	30.5	30.5	29.3	27.8	26.9	26.4	27.6	27.6	27.9	29.0
Média - T _{média} 2004 / 2009	27.1	27.9	28.3	28.8	27.2	25.2	24.1	23.5	24.3	24.3	24.6	26.2

Analisando-se a medição apresentada, verificou-se que, a temperatura máxima absoluta medida foi de 33,4°C e ocorreu no dia 21/12/2006, às 17h. A média das temperaturas máximas, apresentadas na Tabela 15 variou entre 26,4°C e 31°C, sendo que o maior valor ocorreu em janeiro e o menor em julho. Já no caso da média das temperaturas médias, estas variaram entre o valor máximo de 28,8°C, em março e o mínimo de 23,5°C, em julho.

Apesar da forma não científica com que foram coletados os dados, é possível verificar uma tendência consistente de resultados.

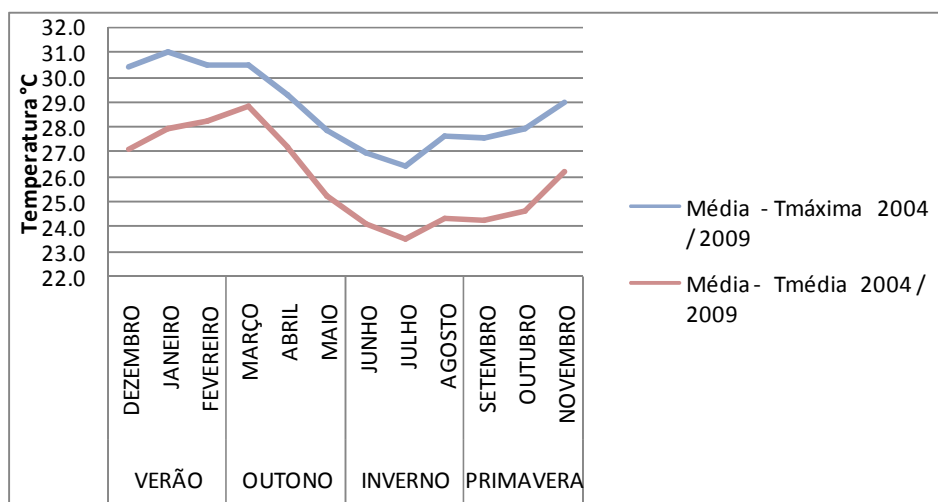


Figura 49 - Temperaturas Médias Anuais / Biblioteca Noronha Santos -Fonte: Elaborado pela autora

4.3 ANÁLISE SIMULAÇÕES

Com base das áreas de transmissão de calor do modelo a ser estudado, levantadas do projeto arquitetônico, bem como nos parâmetros apresentados anteriormente, foram feitas as simulações propostas, sendo obtidos os resultados de carga térmica apresentados na Tabela 17.

Conforme definido anteriormente, as opções T1 a T9 foram simuladas, adotando o critério da operação convencional do sistema de condicionamento de ar, a saber, funcionamento diurno de forma contínua, modulando sua capacidade de modo a manter a temperatura interna prevista, ao longo do ano, que é de 24°C de TBS.

Tabela 17 – Resumo da carga térmica calculada - Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CARGA TÉRMICA CALCULADA / PAVIMENTO (kW)					
	ROOMS CHECKSUMS				SYSTEMS CHECKSUMS	FATOR DIVERSIDADE
	ZONA 10 FACHADA SUDESTE	ZONA 20 FACHADA NOROESTE	ZONA 30 CIRCULAÇÃO	CARGA TOTAL		
T1_IPHAN_sBR_sPE	96,4	56,9	5,5	158,8	147,0	92,5%
T2_IPHAN_BR0_sPE	96,4	41,7	5,5	143,6	138,9	96,7%
T3_IPHAN_BR45_sPE	96,4	41,0	5,5	142,9	138,8	97,1%
T4_IPHAN_BR45_PE0	92,9	41,0	5,5	139,5	134,9	96,7%
T5_IPHAN_BR45_PE45	86,7	41,0	5,5	133,2	130,6	98,1%
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	79,0	37,4	5,5	122,0	123,2	101,0%
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	74,2	35,0	5,5	114,7	117,6	102,5%
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	79,1	36,5	5,5	121,1	123,0	101,5%
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	75,5	34,3	5,5	115,3	118,4	102,7%

Fonte: Elaborado pela autora

Para a análise dos resultados da carga térmica foram utilizados os relatórios de saída do TRACE 700 denominados *Rooms Checksums* e *Systems Checksums*. Os valores do relatório *Rooms Checksums* foram utilizados para o dimensionamento das unidades locais (unidades evaporadoras) e os valores do relatório *Systems Checksums*, foram utilizados para o dimensionamento da capacidade de refrigeração (unidades condensadoras). Normalmente, o resultado obtido no relatório *Systems Checksums* apresenta uma diversidade em relação ao relatório *Rooms Checksums*. No presente estudo para as simulações T6 a T9 este fato não ocorreu; não obstante, o critério para o dimensionamento da capacidade de refrigeração pelo valor obtido no relatório *Systems Checksums* foi mantido.

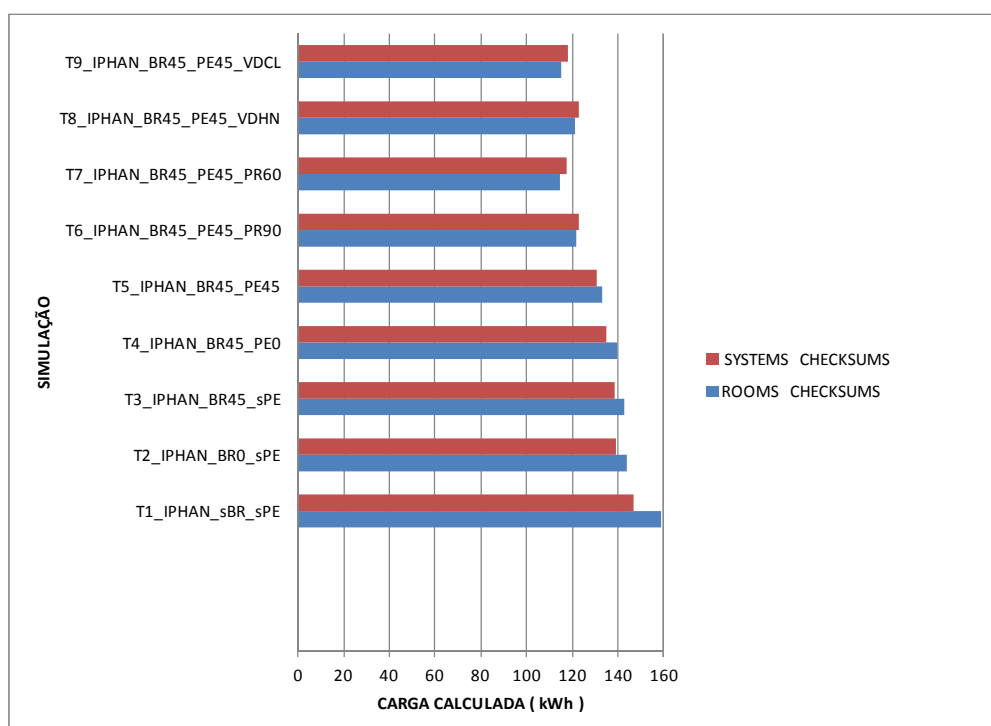


Figura 50 - Gráfico Comparativo da carga térmica calculada obtida nos relatórios “Systems Checksums” e “Roms Checksums” – Simulações T1 à T9 -Fonte: Elaborado pela autora

A simulação T5_IPHAN_BR45_PE45 foi utilizada como a referência base para as comparações apresentadas a seguir, uma vez que esta opção representa o prédio nas condições originais de projeto, a saber, simulação *combrise* na fachada Noroeste e persianas na fachada Sudeste.

4.3.1 COMPARATIVO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A Tabela 18 apresentou a variação da carga térmica calculada por zonas e da carga térmica simultânea para as simulações T1 à T9. Comparando-se os resultados obtidos nas simulações T1 (simulação sem *brise* e sem persianas), T2 (simulação com *brise* horizontal e sem persianas), T3 (simulação com *brise* angulado a 45° e sem persianas), T4 (simulação com *brise* angulado a 45°

e com persianas na horizontal) e T5 (simulação com *brise* e persianas angulados a 45°), foi possível avaliar, o impacto na carga térmica, das medidas passivas adotadas no projeto original, a saber, a instalação do *brise*, na fachada Noroeste e das persianas, na fachada Sudeste.

Tabela 18 - Comparativo da carga térmica calculada - Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CARGA TÉRMICA CALCULADA / PAVIMENTO (kW)							
	ROOMS CHECKSUMS						SYSTEMS CHECKSUMS	VARIAÇÃO CARGA TOTAL
	ZONA 10 FACHADA SUDESTE		ZONA 20 FACHADA NOROESTE		ZONA 30 CIRCULAÇÃO	CARGA TOTAL		
T1_IPHAN_sBR_sPE	96,4	11,3%	56,9	38,8%	5,5	159,3	147,0	12,5%
T2_IPHAN_BR0_sPE	96,4	11,3%	41,7	1,6%	5,5	143,7	138,9	6,4%
T3_IPHAN_BR45_sPE	96,4	11,3%	41,0	0,0%	5,5	143,1	138,8	6,3%
T4_IPHAN_BR45_PEO	92,9	7,2%	41,0	0,0%	5,5	139,5	134,9	3,3%
T5_IPHAN_BR45_PE45	86,7	-	41,0	-	5,5	133,2	130,6	-
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	79,0	-8,9%	37,4	-8,7%	5,5	121,8	123,2	-5,7%
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	74,2	-14,4%	35,0	-14,7%	5,5	114,4	117,6	-9,9%
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	79,1	-8,8%	36,5	-10,9%	5,5	120,9	123,0	-5,8%
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	75,5	-12,9%	34,3	-16,4%	5,5	115,0	118,4	-9,3%

Fonte: Elaborado pela autora

Comparando os valores obtidos nas simulações T5 e T1, verificou-se que, caso o *brise* não houvesse sido instalado, a carga térmica total apresentaria um aumento de 12,5%. No caso da instalação do *brise* na posição horizontal (simulação T2) e com 45° de angulação (simulação T3), em relação à opção base (simulação T5), o aumento cairia, respectivamente, para 6,4 % e 6,3%. A variação na angulação das persianas entre posição horizontal (simulação T4) e angulação de 45° (simulação T5) resultou em uma variação no resultado global de 3,3%.

Avaliando em separado as fachadas verificou-se que, na fachada Noroeste, impactada diretamente pelo *brise*, a não utilização do *brise* acarretou um acréscimo de 38,8% na carga térmica (simulação T1) e a variação na angulação do *brise* apresentou uma variação de 1,6% no valor da carga térmica (simulações T2 e T3). Na fachada Sudeste, a simulação do sistema sem as persianas (simulação T3) apresentou um acréscimo de 11,3% na carga desta fachada e a instalação das persianas na posição horizontal (simulação T4) reduziu o acréscimo da carga para 7,2%.

Comparando os resultados obtidos na simulação T5 (simulação com *brise* e persianas angulados a 45°), com os resultados das simulações que propuseram a melhoria na eficiência térmica do vidro, a saber, a aplicação de película no vidro (simulações T6 e T7) e a troca do vidro existente por um vidro mais eficiente (simulações T7 e T8), foi possível avaliar que, no caso da aplicação da película no vidro, a redução da carga térmica global variou entre -5,7% e -9,9% (simulações T6 e T7), e no caso do vidro, tendo como base os vidros propostos, a variação ficou entre -5,8% e -9,3% (simulações T8 e T9).

No caso da aplicação das películas, avaliando em separado as fachadas, verificou-se que na Fachada Noroeste, a variação em relação à simulação T5 ficou entre -8,7% e -14,7%, no caso das simulações T6 e T7 e entre -10,9% e -16,4%, no caso da troca do vidro (simulações T8 e T9). Para a Fachada Sudeste, a variação ficou entre -8,9% e -14,4%, no caso das películas (simulações T6 e T7) e entre -8,8% e -12,9%, no caso da troca do vidro (simulações T8 e T9).

É importante ressaltar que, além da redução da carga térmica, em função da redução da entrada da radiação solar, os elementos de proteção solar irão minimizar a incidência direta da radiação solar, fato este que contribui para a melhoria das condições de conforto dos ocupantes.

4.3.2 ARQUITETURA DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Com base na carga térmica calculada resultante das simulações, bem como no tipo de sistema de condicionamento de ar definido a ser utilizado para a edificação, a saber, o sistema do tipo do tipo “VRF”, foi definida, para cada simulação, a quantidade de unidades evaporadoras e o modelo da respectiva unidade condensadora a serem instaladas no pavimento, adotando como referência os equipamentos da linha Multi V-III, da marca LG.

Tabela 19 - Resumo geral dos equipamentos do sistema de HVAC/ Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CARGA TÉRMICA CALCULADA (kW)	EQUIPAMENTOS HVAC - SISTEMA VRF / POR PAVIMENTO				
		UNIDADES EVAPORADORAS			UNIDADE CONDENSADORA	
		QTDE	CAPACIDADE UNITÁRIA (kW)	CAPACIDADE TOTAL (kW)	MODELO DE REFERÊNCIA (Marca LG)	CAPACIDADE EFETIVA (kW)
T1_IPHAN_sBR_sPE	147,0	24	7,1	170,4	ARUN 560	149,0
T2_IPHAN_BR0_sPE	138,9	21	7,1	149,1	ARUN 540	143,6
T3_IPHAN_BR45_sPE	138,8	21	7,1	149,1	ARUN 540	143,6
T4_IPHAN_BR45_PE0	134,9	20	7,1	142	ARUN 520	138,3
T5_IPHAN_BR45_PE45	130,6	19	7,1	134,9	ARUN 500	133,0
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	123,2	19	7,1	134,9	ARUN 480	127,7
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	117,6	18	7,1	127,8	ARUN 460	122,4
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	123,0	18	7,1	127,8	ARUN 480	127,7
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	118,4	18	7,1	127,8	ARUN 460	122,4

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.3 COMPARATIVO INVESTIMENTO INICIAL

A Tabela 20 apresentou, tendo como base os equipamentos propostos no item 4.3.2, a variação do investimento inicial do sistema HVAC, com o objetivo de avaliar o impacto das definições arquitetônicas no custo. A previsão do custo teve como base o preço de mercado dos equipamentos, bem como valores estimados para sua instalação.

Os valores apresentados se referem ao custo de apenas um pavimento (Pavimento Tipo).

Tabela 20 - Resumo do investimento inicial por pavimento - Sistema de HVAC/ Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CUSTO SISTEMA HVAC / PAVIMENTO (R\$)				
	EQUIPAMENTOS	INSTALAÇÃO	VALOR TOTAL	VARIAÇÃO INVESTIMENTO	
				VALOR	%
T1_IPHAN_sBR_sPE	R\$ 218.500,00	R\$ 100.800,00	R\$ 319.300,00	R\$ 49.975,00	18,6%
T2_IPHAN_BR0_sPE	R\$ 202.695,00	R\$ 88.200,00	R\$ 290.895,00	R\$ 21.570,00	8,0%
T3_IPHAN_BR45_sPE	R\$ 202.695,00	R\$ 88.200,00	R\$ 290.895,00	R\$ 21.570,00	8,0%
T4_IPHAN_BR45_PE0	R\$ 195.110,00	R\$ 84.000,00	R\$ 279.110,00	R\$ 9.785,00	3,6%
T5_IPHAN_BR45_PE45	R\$ 189.525,00	R\$ 79.800,00	R\$ 269.325,00	-	-
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	R\$ 188.875,00	R\$ 79.800,00	R\$ 268.675,00	-R\$ 650,00	-0,2%
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	R\$ 178.890,00	R\$ 75.600,00	R\$ 254.490,00	-R\$ 14.835,00	-5,5%
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	R\$ 183.790,00	R\$ 75.600,00	R\$ 259.390,00	-R\$ 9.935,00	-3,7%
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	R\$ 183.790,00	R\$ 75.600,00	R\$ 259.390,00	-R\$ 9.935,00	-3,7%

Fonte: Elaborado pela autora

Os valores apresentados na Tabela 20 se referem exclusivamente ao custo dos equipamentos do sistema de HVAC e de sua instalação. Não foram incluídos no presente estudo os custos que serão iguais para todas as opções, como por exemplo, o sistema de pressurização do ar externo e o sistema de automação.

Caso as medidas passivas existentes não tivessem sido tomadas, para as simulações T1 a T4, o acréscimo no investimento inicial do sistema de HVAC, em relação à simulação de referência (T5) seria de 16,7%, para a simulação T1. A economia estimada por pavimento para o sistema de HVAC, em função da instalação dos *brises* e das persianas, foi de R\$ 49.975,00, perfazendo um total de R\$ 649.675,00, para toda a edificação (3º ao 15º pavimento).

É importante ressaltar que, além da economia no investimento inicial do sistema de HVAC, a instalação dos *brises* e das persianas implicou em economia operacional, em função da redução do consumo de energia, cujo valor será analisado no item 4.3.4.3.

As simulações realizadas com o objetivo de avaliar a redução do investimento inicial, em função da melhoria na eficiência das vedações translúcidas (T6 à T9), apresentaram reduções no investimento inicial, em termos percentuais menores, variando entre -0,2%, para a simulação T6 e -5%, para a simulação T7. Por meio da avaliação dos valores obtidos, verificou-se que, das opções simuladas, a que apresentou maior redução no investimento inicial foi a opção da aplicação da película Prestige PR90 (simulação T7). Neste caso, a economia, no investimento inicial por pavimento, foi de R\$ 14.835,00, perfazendo um total de R\$ 192.855,00 para toda a edificação.

O custo global para a aplicação da película Prestige PR90, foi estimado em de R\$ 930.800,00, valor este que teve como base em cotação de mercado feita em Agosto 2013 e as seguintes informações:

- Área de vidro: 358 m²/ pavimento;
- Custo estimado da película aplicada: R\$ 200,00 /m²(*) => Investimento: R\$ 69.094,00 / pavto.

Para que a aplicação da película apresente viabilidade econômica, a diferença entre o investimento para sua aplicação e a economia na instalação do sistema de HVAC, no valor de R\$ 737.945,00, precisa ser compensada pela economia do custo operacional da energia.

4.3.4 COMPARATIVO CUSTO OPERACIONAL

O custo operacional para o tipo de sistema proposto é composto, basicamente, pelo custo de manutenção, que será praticamente o mesmo para as alternativas analisadas, acrescido do custo da energia elétrica consumida pelo sistema.

O custo da energia de uma edificação depende do tipo de tarifação que é aplicada pela concessionária, neste caso, a Light. A tarifa de energia para a edificação, conforme dados obtidos por meio das contas de energia, é um tipo de tarifa que cobra um valor para cada kWh consumido e um valor fixo pela demanda contratada, independente do valor consumido.

Conforme contas de energia atuais do prédio, os valores cobrados pela Light para o PGC e adotados nas simulações foram os seguintes:

- Consumo: R\$ 0,1995781 / kWh (*);
- Demanda: R\$ 95,64 R\$ / KW instalado (*).

(*) Valor cobrado em junho de 2013, com impostos inclusos.

4.3.4.1 CONSUMO ELÉTRICO

O consumo elétrico do sistema de HVAC depende da capacidade de refrigeração instalada e do perfil de operação do sistema. Com base no perfil operacional e nos equipamentos propostos, as simulações apresentaram os resultados mensais para o consumo elétrico dos equipamentos do sistema de HVAC por pavimento indicados na Tabela 21 e na Figura 51. A Tabela 21, além do consumo mensal apresenta também o consumo anual e o consumo médio mensal, por pavimento.

Tabela 21 - Consumo do sistema de HVAC por pavimento - Simulações T1 à T9

TABELA CONSUMO MENSAL - SISTEMA HVAC / PAVIMENTO (kWh)														
SIMULAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANNUAL	MÉDIA MENSAL
T1_IPHAN_sBR_sPE	7.128	5.826	6.184	3.573	2.366	1.509	1.449	1.548	2.227	4.359	5.861	6.937	48.967	4.081
T2_IPHAN_BR0_sPE	6.382	4.755	4.903	2.637	1.697	1.072	997	1.080	1.635	3.530	5.214	6.453	40.355	3.363
T3_IPHAN_BR45_sPE	6.440	4.795	4.917	2.591	1.641	1.011	949	1.050	1.620	3.529	5.260	6.467	40.269	3.356
T4_IPHAN_BR45_PE0	6.221	4.624	4.788	2.539	1.624	1.014	953	1.076	1.622	3.473	5.070	6.256	39.261	3.272
T5_IPHAN_BR45_PE45	5.863	4.407	4.672	2.511	1.584	971	913	1.021	1.544	3.298	4.728	5.858	37.371	3.114
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	5.295	4.053	4.349	2.384	1.479	890	840	933	1.427	3.068	4.280	5.218	34.218	2.851
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	4.979	3.873	4.213	2.346	1.409	831	784	867	1.341	2.941	4.011	4.892	32.488	2.707
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	5.149	3.988	4.356	2.348	1.400	821	768	852	1.332	2.958	4.132	5.076	33.178	2.765
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	4.349	3.430	3.777	2.107	1.283	748	708	781	1.212	2.629	3.512	4.245	28.780	2.398

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando a Tabela 21 e a Figura 51, foi possível verificar o impacto no consumo energético do sistema de HVAC, em função das alterações, para cada simulação. Analisando o gráfico da Figura 51, verificou-se que os perfis de consumo das simulações T1 a T9 resultaram em um comportamento bastante, com variações menores no período de inverno e variações maiores, no restante do ano.

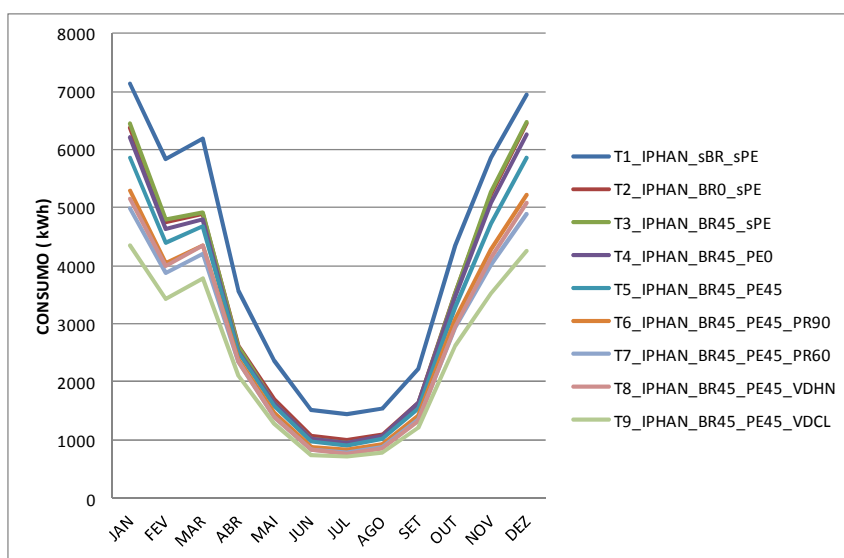


Figura 51 – Comparativo do consumo mensal por pavimento do sistema de HVAC – Simulações T1 à T9
Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 52 apresenta graficamente o comparativo anual do consumo de energia, dos equipamentos do sistema de HVAC por pavimento para as simulações T1 a T9.

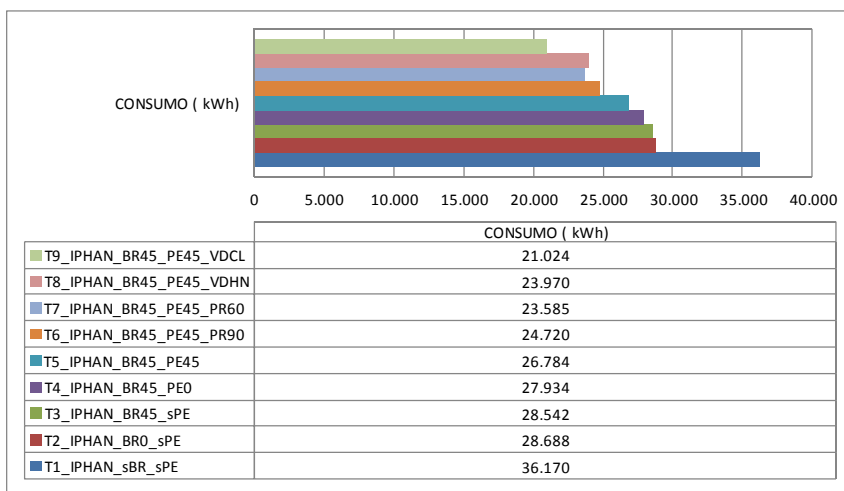


Figura 52 - Comparativo do consumo anual por pavimento do sistema de HVAC – Simulações T1 a T9 -
Fonte: Elaborado pela autora

Tendo como referência a simulação T5_IPHAN_BR45_PE45, verificamos que, para as simulações T1, T2, T3 e T4, o consumo de energia anual apresentam valores maiores do que a simulação T5, respectivamente, 31%, 8%, 7,8% e 5,1%. Para as simulações T6, T7, T8 e T9 foi constatado que houve redução no consumo, respectivamente de -8,4%, -13,1%, -11,2% e -23%, para as simulações T5, T6, T7 e T8, respectivamente.

4.3.4.2 DEMANDA ELÉTRICA

A demanda elétrica a ser contratada depende da potência elétrica máxima a ser instalada, que por sua vez é função da capacidade de refrigeração do sistema. A Tabela 22 apresenta o resumo das potências de refrigeração instaladas (unidades condensadoras), por pavimento, para cada simulação avaliada, em função da arquitetura do sistema de condicionamento de ar proposta.

Tabela 22 - Resumo da potência pelas unidades condensadoras / Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CARGA CALCULADA / PAVTO (kW)	MODELO CONDENSADORA Ref. LG	CAPACIDADE TÉRMICA EFETIVA (kW)	POTÊNCIA ELÉTRICA/ PAVTO (kW)
T1_IPHAN_sBR_sPE	147,0	ARUN 560	149,0	33,5
T2_IPHAN_BR0_sPE	138,9	ARUN 540	143,6	31,6
T3_IPHAN_BR45_sPE	138,8	ARUN 540	143,6	31,6
T4_IPHAN_BR45_PE0	134,9	ARUN 520	138,3	29,9
T5_IPHAN_BR45_PE45	130,6	ARUN 500	133,0	28,5
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	123,2	ARUN 480	127,7	27,3
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	117,6	ARUN 460	122,4	26,8
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	123,0	ARUN 480	127,7	27,3
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	118,4	ARUN 460	122,4	26,8

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme citado anteriormente, os resultados de consumo indicados no item 4.3.4.1 apresentam o consumo elétrico mensal e anual do sistema de HVAC para um único pavimento (Pavimento Tipo). Uma vez que a solução adotada para a edificação foi a instalação de um sistema individual por pavimento, os resultados de consumo para toda a edificação serão diretamente proporcionais aos resultados obtidos para o andar tipo. Entretanto, em relação à demanda existe uma diferença, uma vez que a demanda contratada considera toda a edificação para a definição do valor a ser contratado com a Concessionária Elétrica e não apenas a demanda de um pavimento, de forma que foi preciso obter o valor total da edificação, conforme valores apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Resumo do demanda total sistema de HVAC/ Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	POTÊNCIA ELÉTRICA HVAC (kW)					DEMANDA TOTAL DA EDIFICAÇÃO / SISTEMA HVAC (kW)	VARIAÇÃO %
	TOTAL / PAVIMENTO			QTDE PAVTOS	TOTAL / EDIFICAÇÃO		
	UE's	UC	TOTAL				
T1_IPHAN_sBR_sPE	1,9	33,5	35,4	13	460,5	465	19,2%
T2_IPHAN_BR0_sPE	1,7	31,6	33,2	13	432,1	435	11,5%
T3_IPHAN_BR45_sPE	1,7	31,6	33,2	13	432,1	435	11,5%
T4_IPHAN_BR45_PE0	1,6	29,9	31,5	13	409,9	410	5,1%
T5_IPHAN_BR45_PE45	1,5	28,5	30,0	13	389,7	390	-
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	1,5	27,3	28,9	13	375,2	380	-2,6%
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	1,4	26,8	28,2	13	366,7	370	-5,1%
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	1,4	27,3	28,8	13	374,1	380	-2,6%
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	1,4	26,8	28,2	13	366,7	370	-5,1%

UE = Unidade Evaporadora UC = Unidade Condensadora

Fonte: Elaborado pela autora

O valor Demanda Total / Sistema HVAC apresentado na Tabela 23 se refere apenas ao acréscimo da potência elétrica em função do sistema de condicionamento de ar a ser instalado, valor este que precisará ser acrescido das demais demandas elétricas existentes na edificação, para a definição do valor total a ser contratado da Concessionária Elétrica.

4.3.4.3 CUSTO DA ENERGIA

Com base nos custos de energia, aplicados à edificação, apresentados no item 4.3.4, bem como nos valores de consumo e demanda apresentados nas Tabelas 21 e 22, foram obtidos os resultados para os custos da energia consumida pelo sistema de HVAC apresentados na Table 24.

Tabela 24 - Resumo do custo da energia / Sistema de HVAC- Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CONSUMO					DEMANDA					CUSTO TOTAL ANUAL ENERGIA CONSUMO + DEMANDA (R\$)	VARIAÇÃO ANUAL CUSTO ENERGIA	
	CONSUMO TOTAL ANUAL / PAVTO (kWh)	CONSUMO TOTAL ANUAL / PRÉDIO (kWh)	CUSTO CONSUMO (R\$ / kWh)	CUSTO ANUAL CONSUMO (R\$)	VARIAÇÃO %	ACRÉSCIMO DEMANDA PRÉDIO (Kw)	CUSTO DEMANDA (R\$ / kW)	CUSTO MENSAL DEMANDA (R\$)	CUSTO ANUAL DEMANDA (R\$)	VARIAÇÃO %		(R\$)	%
T1_IPHAN_sBR_sPE	48.967	636.569	0,19958	127.045,26	31,0%	465	95,64	44.472,60	533.671,20	19,2%	660.716,46	116.162,61	21,3%
T2_IPHAN_BR0_sPE	40.355	524.619	0,19958	104.702,44	8,0%	435	95,64	41.603,40	499.240,80	11,5%	603.943,24	59.389,39	10,9%
T3_IPHAN_BR45_sPE	40.269	523.492	0,19958	104.477,42	7,8%	435	95,64	41.603,40	499.240,80	11,5%	603.718,22	59.164,37	10,9%
T4_IPHAN_BR45_PE0	39.261	510.392	0,19958	101.863,01	5,1%	410	95,64	39.212,40	470.548,80	5,1%	572.411,81	27.857,96	5,1%
T5_IPHAN_BR45_PE45	37.371	485.818	0,19958	96.958,65	-	390	95,64	37.299,60	447.595,20	-	544.553,85	-	-
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	34.218	444.829	0,19958	88.778,02	-8,4%	380	95,64	36.343,20	436.118,40	-2,6%	524.896,42	-19.657,43	-3,6%
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	32.488	422.339	0,19958	84.289,61	-13,1%	370	95,64	35.386,80	424.641,60	-5,1%	508.931,21	-35.622,64	-6,5%
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	33.178	431.316	0,19958	86.081,23	-11,2%	380	95,64	36.343,20	436.118,40	-2,6%	522.199,63	-22.354,22	-4,1%
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	28.780	374.142	0,19958	74.670,53	-23,0%	370	95,64	35.386,80	424.641,60	-5,1%	499.312,13	-45.241,72	-8,3%

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar de o consumo ter apresentado uma variação de 31% para a simulação T1 e - 23% para a simulação T9, tendo como referência a simulação T5, o custo global da energia apresentou uma variação menor, a saber, 21%, 3% e -8,3%, respectivamente para as simulações T1 e T9.

A variação diferenciada, em termos percentuais, entre o consumo (kWh) e o custo da energia (R\$) se deve ao fato de que o custo total da energia é composto por 02 (duas) parcelas distintas, a saber, pelo valor do consumo, acrescido do valor da demanda. Com o tipo de contrato de fornecimento de energia existente, independente da redução no consumo, a parcela da demanda é cobrada de forma integral.

Em função das cargas calculadas e tendo em vista a modulação de equipamentos disponíveis no mercado, a variação apresentada pelo custo na demanda foi menor do que a apresentada pelo consumo. A variação do custo da demanda ficou entre 19,2%, para a simulação T1 e -5,1%, para a simulação T9, enquanto que a variação no consumo, conforme citado anteriormente ficou entre -21,3% e - 8,3%, respectivamente para as simulações T1 e T9.

4.3.5 COMPARATIVO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de verificar de forma comparativa como a variação da carga térmica impacta nos demais resultados, foi elaborada a Tabela 25, mostrando de forma conjunta, a variação dos seguintes itens:

- carga térmica;
- investimento inicial;
- potência elétrica instalada
- custo da energia.

Tabela 25 - Comparativo geral dos resultados das Simulações T1 à T9

SIMULAÇÃO	CARGA TÉRMICA / PAVTO		INVESTIMENTO INICIAL HVAC / PAVTO		CONSUMO ANUAL DE ENERGIA HVAC / PAVTO		CUSTO ANNUAL ENERGIA / TOTAL EDIFICAÇÃO (DEMANDA + CONSUMO)	
	(kW)	%	(R\$)	%	(kWh)	%	(R\$)	%
T1_IPHAN_sBR_sPE	147,0	12,5%	R\$ 319.300,00	18,6%	48.967	31,0%	R\$ 660.716,52	21,3%
T2_IPHAN_BR0_sPE	138,9	6,4%	R\$ 290.895,00	8,0%	40.355	8,0%	R\$ 603.943,30	10,9%
T3_IPHAN_BR45_sPE	138,8	6,3%	R\$ 290.895,00	8,0%	40.269	7,8%	R\$ 603.718,27	10,9%
T4_IPHAN_BR45_PE0	134,9	3,3%	R\$ 279.110,00	3,6%	39.261	5,1%	R\$ 572.411,86	5,1%
T5_IPHAN_BR45_PE45	130,6	-	R\$ 269.325,00	-	37.371	-	R\$ 544.553,90	-
T6_IPHAN_BR45_PE45_PR90	123,2	-5,7%	R\$ 268.675,00	-0,2%	34.218	-8,4%	R\$ 524.896,46	-3,6%
T7_IPHAN_BR45_PE45_PR60	117,6	-9,9%	R\$ 254.490,00	-5,5%	32.488	-13,1%	R\$ 508.931,25	-6,5%
T8_IPHAN_BR45_PE45_VDHN	123,0	-5,8%	R\$ 259.390,00	-3,7%	33.178	-11,2%	R\$ 522.199,67	-4,1%
T9_IPHAN_BR45_PE45_VDCL	118,4	-9,3%	R\$ 259.390,00	-3,7%	28.780	-23,0%	R\$ 499.312,17	-8,3%

Fonte: Elaborado pela autora

Avaliando os resultados apresentados na Tabela 25, verificou-se que a variação proporcional da carga térmica, obtida nas simulações, não foi replicada para os demais itens avaliados.

No caso da simulação T1, a variação da carga térmica em relação à simulação T5 foi de 12,5%, enquanto que a variação do investimento inicial, do consumo anual e do custo operacional da energia foi de 18,6%, 31% e 21,3%, respectivamente.

No caso da simulação T9, a variação da carga térmica em relação à simulação T5 foi de -9,3%, enquanto que a variação do investimento inicial, do consumo anual e do custo operacional da energia foi de -3,7%, - 23% e - 8,3%%, respectivamente.

A variação do investimento inicial, do consumo anual e do custo operacional da energia não é diretamente proporcional à redução da carga térmica, pois ela dependerá da capacidade dos equipamentos de condicionamento de ar especificados. Os fabricantes oferecem no mercado equipamentos com capacidades modulares padronizadas, de modo que, nem sempre, a variação da carga térmica irá significar a redução do modelo especificado. A capacidade de compressão a ser instalada deve atender à capacidade de pico calculada, fato este que, em função das modulações existentes, resulta na variação percentual diferenciada constatada. Este fato, pode ser verificado de forma bastante clara no presente estudo de caso.

4.3.6 AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA NA OPERAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL

A condição atual de funcionamento do Palácio Gustavo Capanema se dá apenas com a ventilação natural, de forma que foram realizadas simulações com o objetivo de avaliar o comportamento da temperatura interna, quando da operação do prédio apenas com a ventilação natural (simulações T10 e T11). A simulação T11 levou em conta apenas a ventilação diurna e na simulação T10 foram avaliadas as condições internas também com a ventilação noturna. Estas simulações foram realizadas tendo como base os fluxos de ar estimados, conforme apresentado no item 3.5.1.10.

As Figuras 53 e 54 apresentam a variação da temperatura ao longo do ano e seu comportamento em relação às temperaturas de 28°C e 30°C, definidas como limites, por Givoni (1998), para a obtenção de condições de conforto com a ventilação natural.

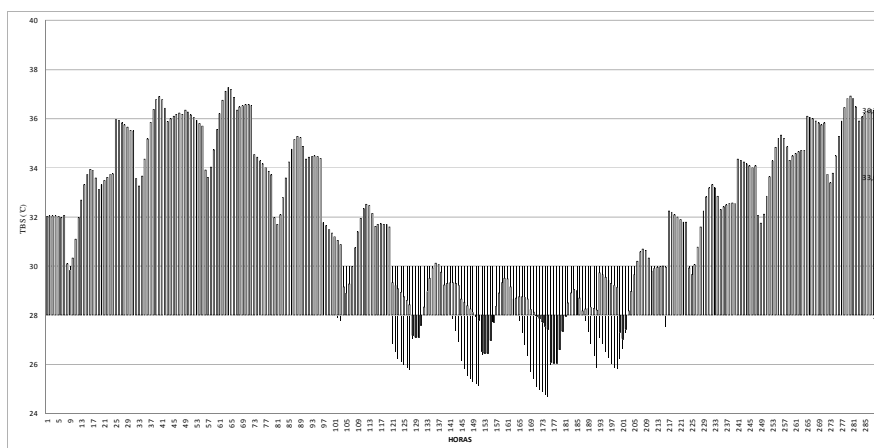


Figura 53 - Variação da temperatura ao longo do ano / Ventilação natural DIURNA E NOTURNA – Simulação T10
Fonte: Elaborado pela autora

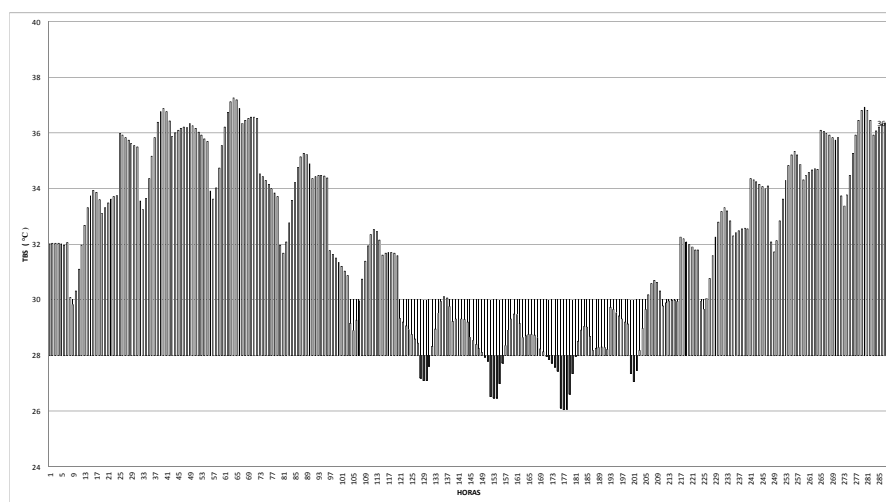


Figura 54 - Variação da temperatura ao longo do ano / Ventilação natural DIURNA – Simulação T11
Fonte: Elaborado pela autora

As Figuras 55 à 58 apresentam a variação das temperaturas internas e externa ao longo do dia típico de projeto, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro, tendo também como referência as temperaturas de 28°C e 30°C, citadas anteriormente, para as duas situações: somente ventilação diurna (T10) e ventilação diurna e noturna (T11).

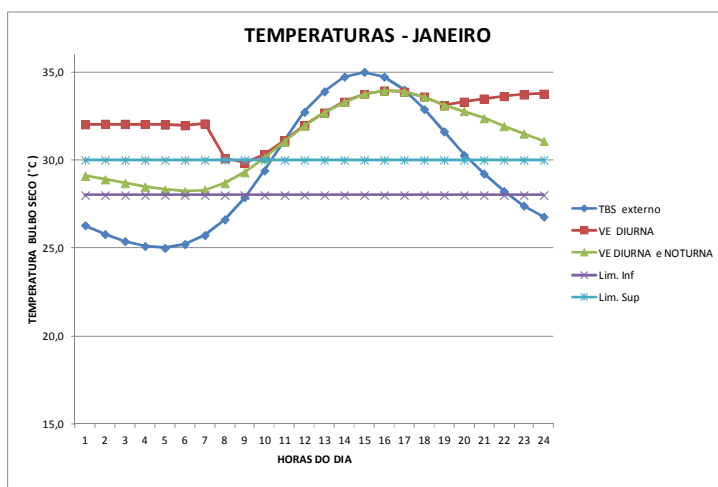


Figura 55 - Comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de JANEIRO - Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11- Fonte: Elaborado pela autora

Analisando a Figura 55, que apresenta a comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de janeiro para as simulações T10 (ventilação natural diurna) e T11 (ventilação natural diurna e noturna), verificou-se que durante o período compreendido entre 10 e 19 h a temperatura interna resultante foi a mesma para as 02 (duas) simulações. Durante o período compreendido entre 19 e 10 h, a temperatura interna, quando da operação também com a ventilação noturna, ficou menor do que quando da operação apenas com a ventilação diurna. Para ambas as situações a temperatura interna ficou acima dos 28°C de TBS, indicados por Givoni (1998) como limite inferior.

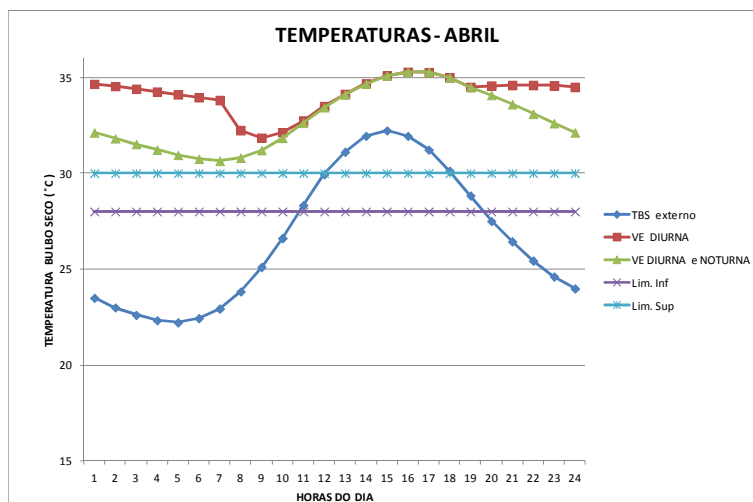


Figura 56 - Comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de ABRIL - Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11- Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 56 apresenta a comparação da temperatura interna ao longo do dia durante o mês de abril, para as simulações T10 (ventilação natural diurna) e T11 (ventilação natural diurna e noturna). Verificou-se que as temperaturas apresentam umacurvasemelhante à do mês de janeiro, entretanto, com valores de temperaturas maiores, chegando a atingir temperaturas acima de 35°C e que para ambas as situações, a temperatura interna ficou acima do limite superior de 30°C de TBS, indicado por Givoni (1998).

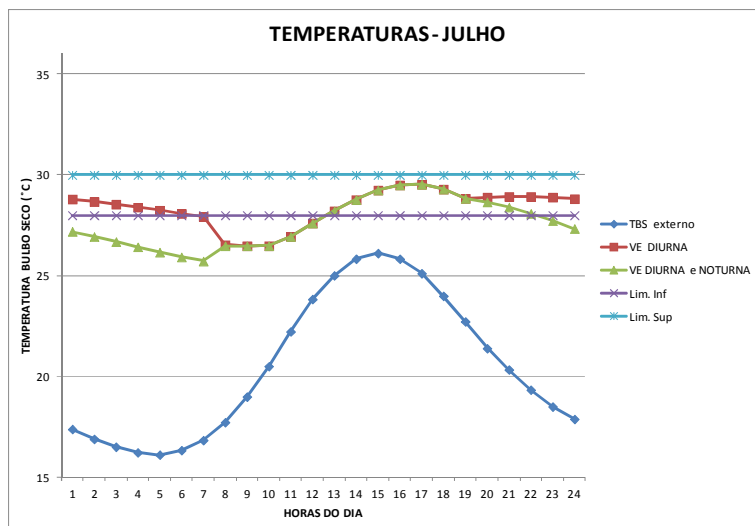


Figura 57 - Comparação da temperatura interna ao longo do diadurante o mês de JULHO -Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11-Fonte: Elaborado pela autora

Para o mês de julho, as temperaturas internas ficaram sempre abaixo da temperatura de 30°C, sendo que, durante o período compreendido entre 7 e 12 h, mesmo quando da operação do sistema apenas com a ventilação diurna, a temperatura interna ficou abaixo de 28°C de TBS. Quando da operação do sistema também com a ventilação noturna, o período em que a temperatura interna ficou abaixo dos 28°C de TBS, foi dilatado, ficando entre 23 e 12 h (Figura 57).

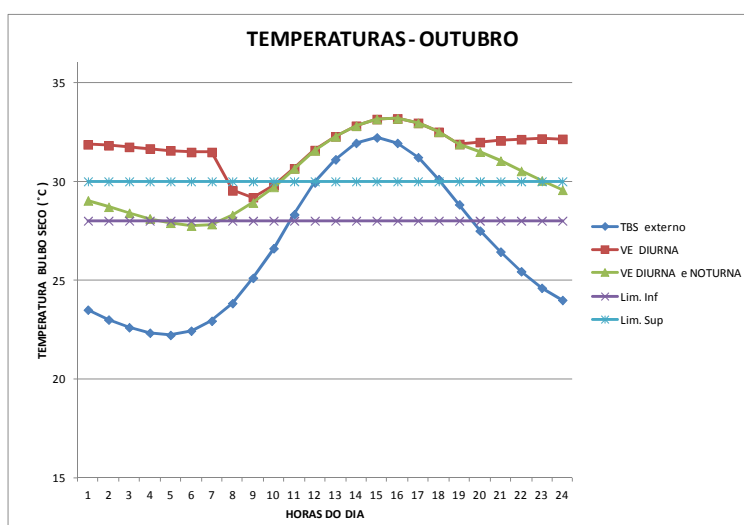


Figura 58 - Comparação da temperatura interna ao longo do diadurante o mês de OUTUBRO -Ventilação natural DIURNA x Ventilação natural DIURNA e NOTURNA – Simulações T10 e T11- Fonte: Elaborado pela autora

As simulações para o mês de outubro, mostradas na Figura 58, apresentam curvas semelhantes às curvas dos meses de janeiro e de abril, entretanto, com valores de temperaturas internas máximas de 33°C e chegando a atingir temperaturas abaixo dos 28°C de TBS, no período compreendido entre 5 e 7 h, quando também da operação noturna.

Avaliando os resultados obtidos por meio das simulações T10 e T11 foi possível verificar o impacto da ventilação natural nas condições internas. Caso o sistema operasse também com a ventilação noturna, foi possível verificar que em todos os meses analisados, durante a madrugada e partedo período da manhã, as temperaturas internas seriam menores do que quando da operação apenas com a ventilação diurna, em função do resfriamento passivo da estrutura, durante a madrugada.

4.3.7 AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO CONVENCIONAL VERSUS OPERAÇÃO HÍBRIDA

Conforme exposto anteriormente, as simulações e as análises elaboradas foram feitas adotando o critério de operação convencional do sistema de condicionamento de ar, a saber, funcionamento diurno de forma continua, modulando sua capacidade de modo a manter a temperatura interna prevista de 24°C de TBS, ao longo do ano.

No caso da operação híbrida do sistema de condicionamento de ar com a ventilação natural, a entrada em operação do sistema de condicionamento de ar ocorreu quando a temperatura externa excedeu o limite pré-definido de 28°C de TBS.

As simulações feitas tiveram como base a simulação T5, que reflete a condição de projeto e foram avaliadas 02 (duas) opções, sendo uma das opções com a operação automática do sistema (simulação T12_IPHAN_BR45_PE45_HIB) e a outra, com operação manual (simulação T13_IPHAN_BR45_PE45_MAN).

No caso da operação manual, foi definido que durante 04 (quatro) meses, entre 15 de maio e 15 de setembro, o sistema de condicionamento de ar estaria desligado. Durante os meses de junho, julho e agosto, o consumo elétrico considerado foi zerado e nos meses de maio e setembro foi adotado apenas 50% do consumoprevisto na simulação T5. Para os demais meses, o perfil de consumo da simulação T13 foi o mesmo da simulação T5.

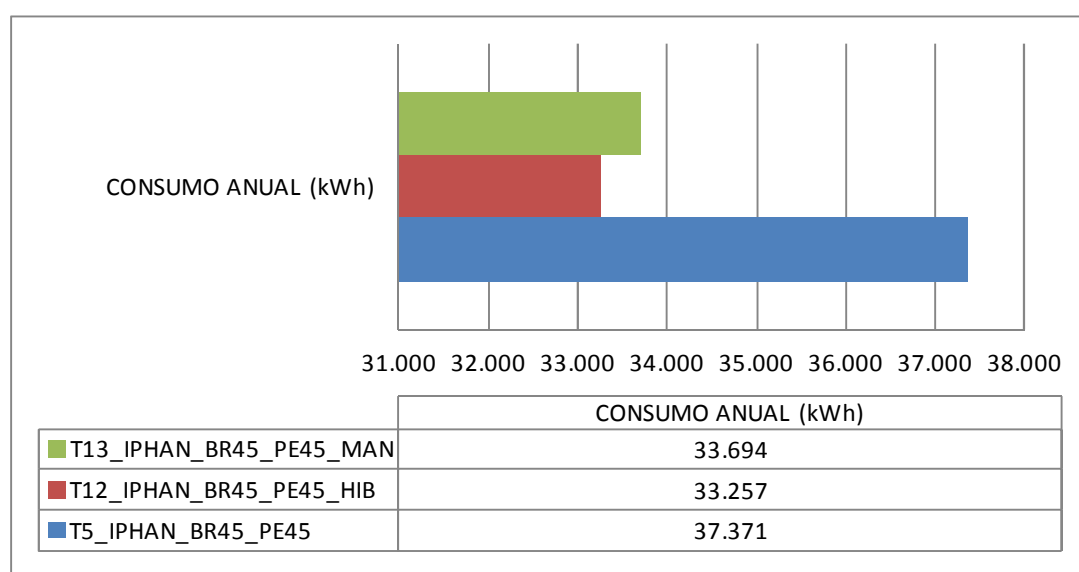
A Tabela 26 apresenta o perfil comparativo mensal do consumo das 03 (três) opções avaliadas, a saber, simulações T5, T12 e T13 e a Figura 59 mostra o comparativo do consumo anual entre as simulações.

Avaliando os valores anuais de consumo por pavimento apresentados na Tabela 26 e na Figura 59 constatou-se uma redução no consumo para ambas as opções de operação híbrida, a saber, -11 % para a opção de operação automática e - 9,8% para a opção de operação manual.

Tabela 26 - Comparativo consumo mensal de energia por pavimento / Operação convencional x Operação híbrida - Simulações T5, T12 e T13

TABELA CONSUMO MENSAL / PAVTO (kWh)													CONSUMO ANUAL / PAVTO (kWh)	VARIÇÃO %
SIMULAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
T5_IPHAN_BR45_PE45	5863	4407	4672	2511	1584	971	913	1021	1544	3298	4728	5858	37.371	-
T12_IPHAN_BR45_PE45_HIB	5063	4339	5209	2882	1372	0	0	0	1187	3994	4789	4421	33.257	-11,0%
T13_IPHAN_BR45_PE45_MAN	5863	4407	4672	2511	1584	0	0	0	772	3298	4728	5858	33.694	-9,8%

Fonte: Elaborado pela autora

**Figura 59** - Comparativo consumo anual do consumo de energia por pavimento / Operação convencional x Operação híbrida-Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 60 apresenta de forma comparativa o consumo mês a mês. Verificou-se que, em alguns meses, o sistema híbrido na operação automática, apresentou consumo maior do que o sistema operando com o sistema de condicionamento de ar. Esta situação pode ser explicada pelo aquecimento passivo diferenciado da estrutura, que ocorrerá em função da temperatura externa do ar, durante a operação do sistema em modo ventilação natural no início da manhã, quando da operação automática. Neste caso, o sistema de condicionamento de ar somente entraria em operação quando a temperatura externa excedesse o limite pré-definido de 28°C de TBS.

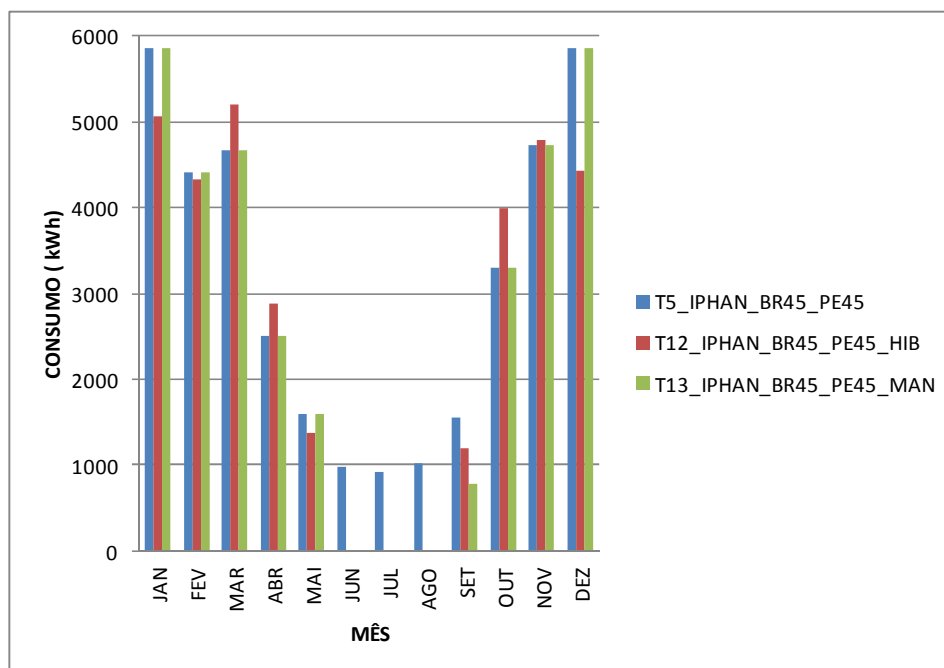


Figura 60 - Comparativo consumo mensal de energia da operação convencional x operação híbrida
Simulações T5, T12 e T13 -Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 27 apresenta o comparativo do consumo anual de energia e seu respectivo custo, para as opções de operação convencional do sistema de HVAC, para a operação híbrida automática e para a operação híbrida “manual”.

Tabela 27 - Comparativo consumo e custo anual da energia - Operação convencional x Operação híbrida
Simulações T5, T12 e T13

SIMULAÇÃO	CONSUMO					DEMANDA				CUSTO ENERGIA TOTAL ANUAL (R\$) CONSUMO + DEMANDA	VARIAÇÃO ANUAL CUSTO ENERGIA	
	CONSUMO ANUAL /PAVTO (kWh)		CONSUMO ANUAL PRÉDIO (x13) (kWh)	CUSTO CONSUMO (RS/ kWh)	CUSTO ANUAL CONSUMO / PRÉDIO (R\$)	ACRÉSCIMO MENSAL DEMANDA (kW)	CUSTO DEMANDA (RS/ kWh)	CUSTO MENSAL DEMANDA (R\$)	CUSTO ANUAL DEMANDA (R\$)		VALOR (R\$)	%
T5_IPHAN_BR45_PE45	37.371	-	485.818	0,19958	96.958,65	390	95,64	37.299,60	447.595,20	544.553,85	-	-
T12_IPHAN_BR45_PE45_HIB	33.257	-11,0%	432.335	0,19958	86.284,61	390	95,64	37.299,60	447.595,20	533.879,81	-10.674,04	-2,0%
T13_IPHAN_BR45_PE45_MAN	33.694	-9,8%	438.022	0,19958	87.419,46	390	95,64	37.299,60	447.595,20	535.014,66	-9.539,18	-1,8%

Fonte: Elaborado pela autora

Avaliando os resultados obtidos, verificou-se que a operação do sistema na forma híbrida apresentou uma redução do consumo de energia de -11 % para a operação automática e de -9,8% para a operação manual, entretanto, uma vez que o valor da demanda permaneceu constante, o custo final da energia variou apenas -2% e -1,8%, respectivamente para as opções automática e manual.

Outra constatação resultante da análise dos valores obtidos foi que a variação dos resultados entre as opções de operação híbrida automática e manual foi de 1,2% para o consumo e de apenas 0,2% para o custo da energia.

4.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO 4

Neste capítulo foi apresentada uma análise preliminar do arquivo climático “EPW”, da cidade do Rio de Janeiro, elaborado por Maurício Roriz, criado com base nos dados de estações automáticas do INMET. Das variáveis disponíveis do arquivo climático foram analisadas a velocidade do vento (m/s), a TBS – Temperatura de Bulbo Seco (°C) e a UR – Umidade Relativa (%), com o objetivo de apresentar uma avaliação preliminar do comportamento térmico da edificação. A análise climática preliminar também avaliou o levantamento das condições internas na Biblioteca Noronha Santos (BNS) feito ao longo de 6 anos, disponibilizado pelo IPHAN.

Foram também apresentados os resultados das simulações realizadas, bem como analisados os resultados obtidos, sendo inicialmente apresentadas as simulações paramétricas do modelo. Nos modelos propostos foram variados, basicamente, os parâmetros referentes aos fechamentos translúcidos da edificação, sendo avaliados os seguintes itens:

- instalação e angulação do *brise soleil*;
- instalação e angulação das persianas;
- aplicação de película no vidro existente;
- troca do vidro existente por um termicamente vidro mais eficiente.

Esta análise demonstrou que a utilização de proteções solares implicou na redução dos valores de carga térmica calculada em -12,5% para a simulação T1 e - 9,3% para a simulação T9. A redução da carga térmica trouxe como consequência a especificação de equipamentos com capacidades e potências menores, menor custo e também menor consumo, entretanto, as variações percentuais obtidas nestes itens foram as mesmas, conforme apresentado na Tabela 25.

Neste capítulo também foram apresentados os resultados da variação da temperatura interna, obtidas para as simulações da operação do sistema apenas com ventilação natural diurna (simulação T11) e com a ventilação diurna e noturna (simulação T10), além de ter sido analisada a operação híbrida do sistema de condicionamento de ar de com a ventilação natural. No caso da operação híbrida do sistema, a redução do consumo foi da ordem de 10%, entretanto, em função da tarifação constante da demanda, a economia no valor a ser pago foi de apenas 2%, para a opção de operação automática.

O estudo foi realizado adotando-se o modelo tarifário atual, adotado atualmente no PGT, a saber, tarifa Convencional. Caso fossem adotadas as tarifas Verde e/ou Azul, seriam obtidos resultados diferentes dos apresentados nas Tabelas 26 e 27.

CAPÍTULO 5

Conclusões

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o peso das decisões arquitetônicas no consumo de energia, em função do dimensionamento do sistema de condicionamento de ar, tendo como objetivos específicos: avaliar o impacto das medidas passivas adotadas no conceito original da edificação para o dimensionamento dos sistemas de HVAC, comparar os resultados do cálculo de carga térmica das simulações propostas e verificar as variações resultantes para cada opção, a saber, da potência elétrica, do consumo elétrico e do investimento inicial do sistema de condicionamento de ar. Além disso, foram avaliadas também as condições de ventilação natural da edificação e o consumo elétrico, com a operação do sistema de condicionamento de ar de forma híbrida com a ventilação natural.

Para alcançar esses objetivos, foram desenvolvidas simulações da carga térmica e do funcionamento do modelo, tendo como base a edificação escolhida como estudo de caso, a saber, o prédio do Palácio Gustavo Capanema, localizado no Rio de Janeiro – RJ, ícone da arquitetura moderna no Brasil no mundo.

Para as simulações, foi utilizado o *software* TRACE 700 (Trane Air Conditioning Economics), que é um programa de cálculo de carga térmica e de análise econômico-energética, desenvolvido pela *TRANE Company*. O TRACE 700 é constituído por cinco fases fundamentais, sendo que cada uma delas possui funções específicas que devem ser realizadas em conjunto, de modo a fornecer ao utilizador uma análise energética e econômica completa, a saber: cálculo da carga (*Load Phase*), projeto (*Design Phase*), simulação do sistema de ar (*Air Side System Simulation Phase*), simulação dos equipamentos (*Equipment Simulation Phase*) e análise econômica (*Economic Analysis*).

O *software* possui várias metodologias de cálculo de cargas térmicas de resfriamento, que podem ser utilizadas na simulação, sendo que para o presente estudo foi definida a utilização do método CLTD / CLF. Os resultados obtidos foram identificados e feitas as análises comparativas, com o objetivo de avaliar o impacto das definições arquitetônicas na carga térmica da edificação, na definição da potência elétrica, no investimento inicial, bem como no consumo do sistema de HVAC.

Para o condicionamento geral dos pavimentos analisados foi prevista a utilização do sistema do tipo multi “*split*” VRF, com uma unidade condensadora dedicada para cada pavimento, sendo que a capacidade de refrigeração do sistema foi definida tendo como base a carga térmica calculada por meio das simulações.

5.1 CONCLUSÕES SOBRE COMPARATIVOS DAS SIMULAÇÕES

Foram realizadas 09 (nove) simulações paramétricas do modelo, sendo que em cada uma delas foram simuladas 8760 h. Nos modelos propostos foram variados os parâmetros referentes aos fechamentos translúcidos da edificação, sendo analisados os seguintes itens:

- Instalação e angulação do *brise soleil*;
- Instalação e angulação das persianas;
- Aplicação de película no vidro existente;
- Troca do vidro existente por um vidro termicamente mais eficiente.

Os resultados dessas simulações permitiram a análise do impacto conjunto das medidas propostas, bem como analisar o impacto isolado da alteração destes parâmetros. Os resultados mostraram a importância da utilização de elementos de proteção solar e de vidros de alta eficiência térmica, objetivando a redução da carga térmica e consequentemente melhorando o desempenho energético da edificação.

As variações obtidas, para o sistema de HVAC, em função da instalação do *brise* podem ser vistas comparando as simulações T1 e T3, sendo obtidos os seguintes resultados:

- Carga térmica: variação de 6,2 % , passando de 147 kW para 138,8 kW , em cada pavimento;
- Potência elétrica: variação de 3,6% (-5,4 kW), passando de 149 kW para 143,6 kW, por pavimento, perfazendo um total de -70,2 kW para toda a edificação (13 pavimentos);
- Investimento inicial / Equipamentos: variação de 10,1 % (R\$ 28.405,00) por pavimento, perfazendo um total de R\$ 369.250,00 para toda a edificação (13 pavimentos);
- Consumo elétrico: variação de 23% , perfazendo em uma redução total no consumo de 113.077 kWh por ano , para toda a edificação ;
- Custo da energia: variação de 10,4% , perfazendo em uma redução total no custo da energia (consumo + demanda) de R\$ 56.998,24 por ano , para toda a edificação .

No caso da aplicação de película nos vidros ou da troca dos vidros existentes por vidros de maior eficiência, as simulações que apresentaram maior redução da carga térmica foram as simulações T7 e a simulação T9. Comparando a simulação com a aplicação de película (T7) com a simulação de referência (T5), foram obtidos os seguintes resultados:

- Carga térmica: variação de 10 % , passando de 130,6 kW para 117,6 kW , em cada pavimento;
- Potência elétrica: variação de 8 % (-10,6 kW), passando de 133 kW para 122,4 kW, por pavimento, perfazendo um total de -137,8 kW para toda a edificação (13 pavimentos);
- Investimento inicial / Equipamentos: variação de 5,5 % (R\$ 14.835,00) por pavimento, perfazendo um total de R\$ 192.855,00 para toda a edificação (13 pavimentos);

- Consumo elétrico: variação de 13,1% , perfazendo em uma redução total no consumo de 36.479 kWh por ano , para toda a edificação ;
- Custo da energia: variação de 6,5% , perfazendo em uma redução total no custo da energia (consumo + demanda) de R\$ 35.622,64 por ano , para toda a edificação .

O desempenho energético das simulações mostrou a forte dependência dos resultados em relação à solução arquitetônica utilizada para fechamento da envoltória, de modo que é fundamental que a definição das vedações, principalmente as translúcidas e de sua proteção, seja criteriosamente estudada pelo arquiteto.

No caso específico do Palácio Gustavo Capanema, um fator se tornou prioritário, na decisão pela manutenção dos vidros sem nenhuma intervenção, apesar da economia no investimento inicial e custo operacional obtida, a saber, a questão referente ao tombamento da edificação. Tanto a aplicação das películas, que foram testadas “*in loco*”, quanto à troca do vidro iriam trazer impactos que descaracterizariam a fachada Sudeste, de modo que, apesar da economia estimada, estas medidas foram descartadas. Tratando-se de um prédio com a importância histórica que o PGC possui, conforme conceito que permeia a área de Restauro e Preservação, “o prédio é soberano”.

As avaliações da potência elétrica, do investimento inicial, do consumo elétrico e do custo da energia mostraram que os ganhos obtidos na carga térmica da edificação, necessariamente não são replicados, nas mesmas proporções, para os itens citados, conforme apresentado na Tabela 25. A variação destes itens apresentou forte correlação com a capacidade do equipamento de HVAC instalado, em função das modulações comerciais destes equipamentos.

A avaliação do custo da energia mostrou que, além dos itens citados anteriormente, o custo está diretamente atrelado ao tipo de tarifação adotada pela Concessionária. O custo da energia apresentou uma variação de + 21,3% para a simulação T1 e -8,3% para a simulação T9, em relação à simulação T5. Esta variação foi menor do que a variação do consumo , que foi de +31% para a simulação T1 e de -23% para a simulação T9 . O fato da cobrança da demanda ser constante, fez com que o ganho financeiro apresentasse esta variação menor.

Caso no período do inverno , quando o consumo se reduz em relação aos demais meses, a demanda contratada também fosse reduzida, a economia financeira seria maior.

Deve-se salientar que os resultados numéricos apresentados no presente estudo refletem os valores obtidos para o caso proposto, a saber, Palácio Gustavo Capanema, projeto que possui uma tipologia específica. Diversas considerações conceituais deste modelo, bem como conclusões obtidas neste estudo podem ser replicadas em outros modelos, com características similares sendo, entretanto, ideal que simulações específicas sejam feitas para cada projeto.

5.2 CONCLUSÕES SOBRE A VENTILAÇÃO NATURAL

Com o TRACE 700 foi possível simular as condições internas do ambiente não condicionado, em função das condições externas, para um fluxo de ar predeterminado, sendo que para a definição desta vazão foram levadas em consideração as características da edificação, o tipo de janela, as aberturas possíveis, bem como os valores médios da velocidade do vento, obtidos por meio do arquivo climático EPW, utilizado nas simulações.

A simulação T10 levou em consideração a ventilação ao longo de todo o dia (ventilação natural diurna e noturna) e a simulação T11 considerou que as janelas foram fechadas durante a noite, de forma que a ventilação natural passou a ser apenas diurna, sendo analisados os resultados para 04 (quatro) meses do ano: janeiro, abril, julho e outubro.

Analisando os resultados obtidos verificou-se que para todos os meses a temperatura interna máxima foi a mesma para ambas as simulações (T10 e T11) e ficou acima da temperatura externa, conforme descrito a seguir:

- janeiro: TBS externo = 35 °C (15 h) e TBS interno = 33,9°C (16 h)
- abril: TBS externo = 32,2 °C (15 h) e TBS interno = 35,3°C (16 h)
- julho: TBS externo = 26,1 °C (15 h) e TBS interno = 29,5°C (16 h)
- outubro TBS externo = 32,2 °C (15 h) e TBS interno = 33,2°C (16 h)

Os resultados mostraram que no mês de janeiro, quando da manutenção da ventilação durante o período noturno, a temperatura interna do ar diminui, uma vez que passa a circular internamente um ar com temperatura mais baixa. Com a manutenção do fluxo natural do ar durante o dia, a temperatura interna foi aumentando até se igualar ao valor da temperatura externa. Para os demais meses, tendo em vista o efeito acumulativo do calor, os resultados apresentaram temperaturas internas sempre acima das temperaturas externas (Figuras 55 a 59).

Com base nos resultados apresentados verificou-se que apenas no mês de julho, a temperatura interna ficou abaixo dos 30°C definidos por Givoni (1998) como limite máximo para que a ventilação natural seja eficaz, desde que a velocidade do vento também esteja dentro dos limites previstos (1,5 e 2 m/s) e a amplitude térmica diária não excede a 10°C.

Para efeito do conforto térmico das pessoas durante o dia, a ventilação noturna não trouxe impactos positivos. O benefício que poderia ser obtido com a ventilação noturna seria a postergação do horário de entrada em operação dos equipamentos, no caso da operação do sistema de HVAC, uma vez que a temperatura interna no início do dia estaria menor, sendo que esta opção não fez parte do presente estudo.

5.3 CONCLUSÕES SOBRE A OPERAÇÃO HÍBRIDA

Foram realizadas 03 (três) simulações do modelo proposto, para avaliara operação híbrida do sistema de condicionamento de ar e da ventilação natural, conforme descrito a seguir:

- Simulação do modelo, na condição de projeto (com *brise* e persianas, posicionados a 45°), adotando-se o critério de operação do sistema de condicionamento de ar na forma convencional, a saber, o funcionando diurno, contínuo, entrando em operação e modulando sua capacidade, de modo a manter a temperatura interna prevista de 24°C deTBS;
- Simulação do modelo, na condição de projeto (com *brise* e persianas, posicionados a 45°), adotando a operação híbrida, com a entrada e saída automática do sistema de condicionamento de ar, quando a temperatura externa atingisse a temperatura predeterminada de 28°C de TBS.
- Simulação do modelo, na condição de projeto (com *brise* e persianas, posicionados a 45°), adotando a operação híbrida, com a definição de períodos em que o sistema de HVAC foi mantido desligado. Quando de sua operação, foi adotado o funcionamento na forma convencional, entrando em operação e modulando sua capacidade, de modo a manter a temperatura interna prevista de 24°C deTBS.

O sistema híbrido é caracterizado pela utilização dos mesmos equipamentos usados no sistema de HVAC, porém com um perfil de operação diferenciado.

Para a operação automática (T12), as avaliações comparativas em relação à simulação base (T5), mostraram os seguintes resultados:

- Consumo elétrico: variação de -11 % , perfazendo em uma redução total no consumo de 53.483 kWh por ano , para toda a edificação ;
- Custo da energia: variação de 2 % , perfazendo em uma redução total no custo da energia (consumo + demanda) de R\$ 10.674,00 por ano , para toda a edificação .

Para a operação manual (T13), as avaliações comparativas em relação à simulação base (T5), mostraram os seguintes resultados:

- Consumo elétrico: variação de - 9,8 % , perfazendo em uma redução total no consumo de 47.797 kWh por ano , para toda a edificação ;
- Custo da energia: variação de 1,8 % , perfazendo em uma redução total no custo da energia (consumo + demanda) de R\$ 9.539,00 por ano , para toda a edificação .

O custo da energia apresentou uma redução percentual menor do que a variação do consumo, uma vez que a operação híbrida, a alteração no valor ocorre apenas na parcela relativa ao consumo de energia. Tendo em vista a forma de contratação da energia, o custo da parcela referente à demanda permanece constante.

Caso fosse retirado da conta o valor referente à demanda, nos 03(três) meses em que o sistema de condicionamento de ar apresenta consumo zero de energia por permanecer desligado, ocorreria um acréscimo na redução do custo da energia de R\$ 111.898,80, de modo que o custo total da operação híbrida na forma automática passaria a ser de R\$ 421.981,00 e na operação normal de R\$ 423.115,86. Nesta situação, a variação do custo da energia passaria a ser de 22,5% e de 22,3% , respectivamente para as simulações T12 e T13.

O presente estudo verificou que a economia no consumo foi resultado de decisões arquitetônicas, de modo que, a análise criteriosa do projeto objetivando este ganho se torna fundamental. Entretanto, foi verificado que, o ganho financeiro relacionado à redução do consumo está atrelado ao tipo de tarifação aplicada à edificação.

Outra conclusão obtida através da análise dos resultados foi que no caso da operação híbrida a diferença do consumo entre a opção híbrida automatizada (simulação T12) e a opção “manual” (simulação T13) de apenas 1,2%. Levando-se em consideração o custo necessário para a automatização do sistema, concluí-se que, no caso do funcionamento híbrido, a operação manual apresentou uma relação custo-benefício mais vantajosa, pois obteve praticamente a mesma economia da operação automática, apenas com a criação de uma rotina de operação.

5.4 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS

Em relação à análise climática, para a elaboração de um estudo mais preciso, o ideal seria fazer levantamentos controlados das condições térmicas locais (internas e externas), durante um período representativo, entretanto, tendo em vista o prazo limitado para o presente estudo, esta medida se tornou inexecutável.

Uma das principais limitações encontradas no presente estudo foi a inexperience na utilização do *software TRACE 700*, o que levou a um dispêndio grande de tempo, até que tivéssemos o domínio necessário da ferramenta, para elaborar as simulações apresentadas no presente estudo.

Outra limitação encontrada foi a determinação do fluxo de ar resultante da ventilação natural, uma vez que o *TRACE 700* não calcula este valor. Para o cálculo preciso destes valores teria sido necessária a utilização de programas de simulação CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Os valores foram estimados, com base nas velocidades do vento apresentadas no perfil climático e inseridos como entrada de dados no *TRACE 700*.

5.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, como continuidade a esta pesquisa, o desenvolvimento das seguintes atividades:

- a) avaliação do impacto da ventilação natural noturna no horário de entrada em operação do sistema de HVAC e no seu consumo;
- b) simulações com a utilização de outros tipos de sistemas de HVAC;
- c) simulação da eficiência energética de toda a edificação e não apenas do sistema de HVAC;
- d) avaliação da variação do custo da energia em função da alteração do contrato de demanda com a Concessionária (Tarifa Verde e Azul);
- e) aplicação da metodologia adotada a outros estudos de casos.

Referências Bibliográficas

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREASI, W.A. **Avaliação do Impacto de Estratégias Bioclimáticas na Temperatura Interna de Edificações no Passo do Lontra, Pantanal do Estado do Mato Grosso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001
- ASHRAE STANDARD . **Standard Method of Test for the Evaluation of building Energy Analysis Computer Programs .** ASHRAE 140-2011
- ASHRAE STANDARD . **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.**ASHRAE 55-2004
- BERKELEY INSTITUTE . **About Mixed-Mode .** CBE - University of California - Berkeley,2013. <http://www.cbe.berkeley.edu/mixedmode/aboutmm.html>. Acesso: fevereiro 2014
- BOECKER J., HORST S. , KEITER T. , LAU A. e SHEFFER M. , TOEVS B. and REED B. **The Integrative Design Guide to Green Building –** Redefining the practice of Sustainability.New Jersey: John Wiley and Sons,Inc.. 2009
- BUTERA, F. **Solar Cities: Utopia or Possible Reality?** Proc. International Conference “Eurosun 2000”. Copenhagen 19-22 , June 2000
- CARTAS,J.F.N. **Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas EnergyPlus e Trace 700.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Curso de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica . Universidade Técnica de Lisboa , 2011
- CATÁLOGO Window Film Linha Prestige, da 3M (2013)
- CAVALCANTI, L. **Moderno e Brasileiro.**Rio de Janeiro, R.J. Jorge Zahar Editor Ltda, 2006
- COSTA, M. A. B. **Simulação de Sistemas.** Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Federal de São Carlos, 2002
- COSTA, M.E. (2011). **Em defesa do Palácio Capanema** - <http://vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/11.132/3958> - Acesso em setembro /2013
- CÓSTOLA,D.;ALUCCI, M.P.**Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício** Ambiente Construído, Porto Alegre, jan./mar. 2010
- CRAWLEY D.B. ; HAND J. W. ; HUMMERT M. e GRIFFITH B.T . **Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs .** Building Simulation 2005
- CUNHA, E.G., (2007).**Brise-soleil: da estética à eficiência energética** - <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.131/3844>. Acesso em setembro/2013
- EDWARDS, B. **Guía básica de la sostenibilidad**, 2º edição revisada e ampliada. Barcelona: Gustavo Gili, SL, 2008

- FIGUEIREDO, C. M. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios: Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo . Curso de Pós-Graduação em Tecnologia da Arquitetura . Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP , São Paulo , 2007
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001
- FROTA, A. **Geometria da Insolação anual de Conforto Térmico**. 1ª edição São Paulo: Geros, 2004
- GIVONI, B. **Climate Consideration Buildings na Urban Design**. New York. John Wiley & Sons Inc. ,1998
- IPHAN –**Termo de Referência para prestação de serviços de Elaboração Estudos para a Sustentabilidade e Certificação de Edifícios Verdes do Palácio Gustavo Capanema (PGC)** - R.J.,2012.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição, revisada. São Paulo: ProLivros, 2004
- MARCONDES, M.P. **Soluções projetuais de fachada para Edifícios de Escritórios com Ventilação Natural em São Paulo** . Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo . Curso de Pós-Graduação em Tecnologia da Arquitetura . Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP , São Paulo , 2010
- MENDES, N.;WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS R.e NETO, J.A.B.C. **Uso de instrumentos Computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre,out./dez. 2005
- MINDLIN, H.E. - **Arquitetura moderna no Brasil** -2ª edição. Rio de Janeiro, Aeroplano Editora: IPHAN, 2000
- NBR-16401 –**Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários** – ABNT 2008
- PAIVA, R. A. **O Ministério da Educação (1937-1945) no Rio de Janeiro: Arquitetura, Clima e Cultura**, Nutau, 2006
- PETRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações** . Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil . Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina , 1997
- RIBEIRO,P.D.V. **Análise de programas de Cálculos de Consumo de Energia em Edifícios** . Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica . Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto , 2008
- RIVERO, R. **Acondicionamento térmico natural ARQUITETURA E CLIMA**. 1ª edição. Porto Alegre:D.C. Luzzatto Editores, 1985
- RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**, São Carlos, SP. ANTAC, 2012

- SILVA, P. **Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar**. 6ª edição. Belo Horizonte: EDTAL, 2011
- STOECKER W. F. , JONES J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado** . São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil , 1985
- TRACE 700 - *Comprehensive Building Analysis - Getting Started - Version 6.2- 2010*
- TRACE 700 – *Trace Help - Version 6.2- 2010*
- TRACE 700 -*Building Energy and Economics Analysis -User's Manual - Version 6.2- 2010*
- TRANE . *Manual Arquitetura, Ar Condicionado, Economia de Energia* . TRANE CO. 2006
- TRINDADE, S.C.; PEDRINI, A.; DUARTE, R.N.C. *Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido* . Ambiente Construído, Porto Alegre, out./dez. 2010
- WALTZ, J.P. **Practical Experience in achieving levels of accuracy energy simulations of existing buildings**. ASHARE Transactions ,1992
- WESTPHAL, F.S.**Análise de incertezas e de sensibilidade aplicada à simulação de desempenho energético de edificações**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil . Curso de Pós – Graduação em Engenharia Civil . Universidade Federal de Santa Catarina,2007
- WIKIPEDIA, **Le Coubusier** - http://pt.wikipedia.org/wiki/Le_Corbusier . Acesso em janeiro /2014
- YAMANE E., SAITO H., **Tecnologia do Condicionamento de Ar**. São Paulo : Editora Edgard Blucher , 1986

Anexos

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1 :

“Print-out” do programa pra a simulação T5_IPHAN_BR45PE45

Title Page

Gustavo Capanema

Location	Rio de Janeiro	
Building owner		
Program user	Bruno	
Company	Protherm	
Comments	Calculo com BRISE 45, PERSIANA 45	
By	Protherm	
Dataset name	C:\Users\fernando\Documents\TRACE 700 Projects\00_UFMG_Sandra\Revisão p\4s Matt\T5_IPHAN_BR45_PE45.trc	
Calculation time	01:27 PM on 02/10/2014	
TRACE® 700 version	6.2.10	
Location	Rio de Janeiro, Brazil	
Latitude	-23.0	deg
Longitude	43.2	deg
Time Zone	3	
Elevation	4	m
Barometric pressure	101.3	kPa
Air density	1.2183	kg/cu m
Air specific heat	1.0234	kJ/kg-°C
Density-specific heat product	1.2460	kJ/cu m-°C
Latent heat factor	3,049.0	kJ/cu m
Enthalpy factor	1.218	J-kg/cu m-kJ
Summer design dry bulb	35	°C
Summer design wet bulb	27	°C
Winter design dry bulb	16	°C
Summer clearness number	0.90	
Winter clearness number	0.95	
Summer ground reflectance	0.20	
Winter ground reflectance	0.20	
Carbon Dioxide Level	400	ppm
Design simulation period	January - December	
Cooling load methodology	CLTD-CLF (ASHRAE TFM)	
Heating load methodology	CLTD-CLF (ASHRAE-TFM)	



Room Checksums

By Protherm

F_Noroeste

COOLING COIL PEAK					CLG SPACE PEAK					HEATING COIL PEAK					TEMPERATURES		
Peaked at Time: Mo/Hr: 3 / 17					Mo/Hr: 3 / 17					Mo/Hr: Heating Design							
Outside Air: OADB/WB/HR: 34 / 26 / 19					OADB: 34					OADB: 16							
Space Sens. + Lat	Plenum Sens. + Lat	Net Total	Percent Of Total		Space Sensible	Percent Of Total				Space Peak Space Sens	Coil Peak Tot Sens	Percent Of Total			SADB	Cooling	Heating
KW	KW	KW	(%)		KW	(%)				KW	KW	(%)			Ra Plenum	24.0	21.0
Envelope Loads															Return	24.0	21.0
Skyline Solar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ret/OA	24.9	16.8
Skyline Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Fn MtrTD	0.0	0.0
Roof Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Fn BldTD	0.0	0.0
Glass Solar	13.03	0.00	13.03	31.80	13.03	43.40	13.03	43.40	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Fn Frict	0.0	0.0
Glass/Door Cond	5.65	0.00	5.65	13.79	5.65	18.82	5.65	18.82	5.65	-3.26	-3.26	237.96			AIRFLOWS		
Wall Cond	0.76	0.00	0.76	1.85	0.76	2.53	0.76	2.53	0.76	-0.20	-0.20	14.60					
Partition/Door	0.30	0.00	0.30	0.73	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30	-0.30	-0.30	21.90					
Floor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Adjacent Floor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Infiltration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Diffuser	2,615	262
Sub Total ==>	19.74	0.00	19.74	48.17	19.74	65.76	19.74	65.76	19.74	-3.76	-3.76	274.45			Terminal	2,615	262
Internal Loads															Main Fan	2,615	262
Lights	2.70	0.00	2.70	6.59	2.70	8.99	2.70	8.99	2.70	3.08	3.08	-224.82			Sec Fan	0	0
People	3.73	0.00	3.73	9.10	1.97	6.56	1.97	6.56	1.97	2.20	2	-160.58			Nom Vent	227	227
Misc	5.61	0.00	5.61	13.69	5.61	18.69	5.61	18.69	5.61	6.15	6.15	-448.91			AHU Vent	227	227
Sub Total ==>	12.04	0.00	12.04	29.38	10.28	34.24	10.28	34.24	10.28	11.43	11.43	-834.31			Infil	0	0
Ceiling Load	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			MinStop/Rh	262	262
Ventilation Load	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.38	100.73			Return	2,615	262
Adj Air Trans Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Exhaust	227	227
Dehumid. Ov Sizing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Rm Exh	0	0
Ov/Undr Sizing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Auxiliary	0	0
Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Leakage Dwn	0	0
Sup. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Leakage Ups	0	0
Ret. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			ENGINEERING CKS		
Duct Heat Pkup	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Underfr Sup Ht Pkup	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Supply Air Leakage	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Grand Total ==>	31.78	0.00	40.98	100.00	30.02	100.00	30.02	100.00	30.02	7.67	-1.37	100.00					

COOLING COIL SELECTION					AREAS					HEATING COIL SELECTION				
Total Capacity	Sens Cap.	Coil Airflow	Enter DB/WB/HR	Leave DB/WB/HR	Gross Total	Glass				Capacity	Coil Airflow	Ent	Lvg	
KW	KW	L/s	°C °C	g/kg	m²	m² (%)				KW	L/s	°C	°C	
Main Clg	41.74	33.45	2,615	24.9 18.0	10.1	14.6 13.4	9.1			Main Htg	-1.4	262	16.8	21.0
Aux Clg	0.00	0.00	0.00	0.0 0.0	0.0	0.0 0.0	0.0			Aux Htg	0.0	0	0.0	0.0
Opt Vent	0.00	0.00	0.00	0.0 0.0	0.0	0.0 0.0	0.0			Preheat	0.0	0	0.0	0.0
Total	41.74									Humidif	0.0	0	0.0	0.0
										Opt Vent	0.0	0	0.0	0.0
										Total	-1.4			

Project Name: Gustavo Capanema
Dataset Name: T5_IPHAN_BR45_PE45.trc

TRACE® 700 v6.2.10 calculated at 01:27 PM on 02/10/2014
Alternative - 1 System Checksums Report Page 2 of 3

Room Checksums

By Protherm

F_Noroeste

COOLING COIL PEAK					CLG SPACE PEAK					HEATING COIL PEAK					TEMPERATURES		
Peaked at Time: Mo/Hr: 3 / 17					Mo/Hr: 3 / 17					Mo/Hr: Heating Design							
Outside Air: OADB/WB/HR: 34 / 26 / 19					OADB: 34					OADB: 16							
	Space Sens. + Lat	Plenum Sens. + Lat	Net Total	Percent Of Total	Space Sensible	Percent Of Total			Space Peak Space Sens	Coil Peak Tot Sens	Percent Of Total			SADB	Cooling	Heating	
	KW	KW	KW	(%)	KW	(%)			KW	KW	(%)			14.6	21.0	21.0	
Envelope Loads														Ra Plenum	24.0	21.0	
Skyline Solar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Skyline Solar	0.00	0.00	0.00			Return	24.0	21.0	
Skyline Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Skyline Cond	0.00	0.00	0.00			Ret/OA	24.9	16.8	
Roof Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Roof Cond	0.00	0.00	0.00			Fn MtrTD	0.0	0.0	
Glass Solar	13.03	0.00	13.03	31.80	13.03	43.40		Glass Solar	0.00	0.00	0.00			Fn BldTD	0.0	0.0	
Glass/Door Cond	5.65	0.00	5.65	13.79	5.65	18.82		Glass/Door Cond	-3.26	-3.26	237.96			Fn Frict	0.0	0.0	
Wall Cond	0.76	0.00	0.76	1.85	0.76	2.53		Wall Cond	-0.20	-0.20	14.60			AIRFLOWS			
Partition/Door	0.30	0.00	0.30	0.73	0.30	1.00		Partition/Door	-0.30	-0.30	21.90						
Floor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Floor	0.00	0.00	0.00						
Adjacent Floor	0	0	0	0	0	0		Adjacent Floor	0	0	0.00						
Infiltration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Infiltration	0.00	0.00	0.00			Diffuser	2,615	262	
Sub Total ==>	19.74	0.00	19.74	48.17	19.74	65.76		Sub Total ==>	-3.76	-3.76	274.45			Terminal	2,615	262	
Internal Loads								Internal Loads						Main Fan	2,615	262	
Lights	2.70	0.00	2.70	6.59	2.70	8.99		Lights	3.08	3.08	-224.82			Sec Fan	0	0	
People	3.73	0	4	9.10	1.97	6.56		People	2.20	2	-160.58			Nom Vent	227	227	
Misc	5.61	0.00	5.61	13.69	5.61	18.69		Misc	6.15	6.15	-448.91			AHU Vent	227	227	
Sub Total ==>	12.04	0.00	12.04	29.38	10.28	34.24		Sub Total ==>	11.43	11.43	-834.31			Infil	0	0	
Ceiling Load	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Ceiling Load	0.00	0	0.00			MinStop/Rh	262	262	
Ventilation Load	0.00	0.00	9.20	22.45	0.00	0.00		Ventilation Load	0.00	-1.38	100.73			Return	2,615	262	
Adj Air Trans Heat	0	0	0	0	0	0		Adj Air Trans Heat	0	0	0			Exhaust	227	227	
Dehumid. Ov Sizing			0	0				Ov/Undr Sizing	0.00	0.00	0.00			Rm Exh	0	0	
Ov/Undr Sizing	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00		Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00			Auxiliary	0	0	
Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		OA Preheat Diff.	0.00	0.00	0.00			Leakage Dwn	0	0	
Sup. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		RA Preheat Diff.	-7.66	559.12				Leakage Ups	0	0	
Ret. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		Additional Reheat	0.00	0.00	0.00			ENGINEERING CKS			
Duct Heat Pkup	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		System Plenum Heat	0.00	0.00	0.00						
Underfr Sup Ht Pkup			0	0				Underfr Sup Ht Pkup	0	0	0.00						
Supply Air Leakage	0	0	0	0				Supply Air Leakage	0	0	0.00						
Grand Total ==>	31.78	0.00	40.98	100.00	30.02	100.00		Grand Total ==>	7.67	-1.37	100.00						

COOLING COIL SELECTION					AREAS					HEATING COIL SELECTION				
Total Capacity	Sens Cap.	Coil Airflow	Enter DB/WB/HR	Leave DB/WB/HR	Gross Total	Glass		Capacity	Coil Airflow	Enter	Lev			
kW	kW	L/s	°C °C	g/kg g/kg	°C °C	m² (%)		kW	L/s	°C °C	g/kg g/kg			
Main Clg	41.74	33.45	2.615	24.9 18.0	10.1	14.6 13.4	9.1	Main Htg	-1.4	262	16.8 21.0			
Aux Clg	0.00	0.00	0	0.0 0.0	0.0	0.0 0.0	0.0	Aux Htg	0.0	0	0.0 0.0			
Opt Vent	0.00	0.00	0	0.0 0.0	0.0	0.0 0.0	0.0	Preheat	0.0	0	0.0 0.0			
Total	41.74							Humidif	0.0	0	0.0 0.0			
								Opt Vent	0.0	0	0.0 0.0			
								Total	-1.4					

Room Checksums

By Protherm

F_Sudeste

COOLING COIL PEAK					CLG SPACE PEAK					HEATING COIL PEAK					TEMPERATURES		
Peaked at Time: Mo/Hr: 12 / 11					Mo/Hr: 12 / 10					Mo/Hr: Heating Design							
Outside Air: OADB/WB/HR: 31 / 26 / 19					OADB: 29					OADB: 16					SADB: 14.5 21.0		
Space Sens. + Lat. kW	Plenum Sens. + Lat. kW	Net Total kW	Percent Of Total (%)		Space Sensible kW	Percent Of Total (%)		Space Peak Space Sens kW	Coil Peak Tot Sens kW	Percent Of Total (%)		Ra Plenum	24.0	21.0			
Envelope Loads												Return	24.0	21.0			
Skyline Solar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Envelope Loads	0.00	0.00	0.00		Ret/OA	24.7	16.4			
Skyline Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Skyline Solar	0.00	0.00	0.00		Fn MtrTD	0.0	0.0			
Roof Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Skyline Cond	0.00	0.00	0.00		Fn BldTD	0.0	0.0			
Glass Solar	37.44	0.00	37.44	43.20	40.65	63.23	Roof Cond	0.00	0.00	0.00		Fn Frict	0.0	0.0			
Glass/Door Cond	7.67	0.00	7.67	8.85	6.02	9.36	Glass Solar	0.00	0.00	0.00		AIRFLOWS					
Wall Cond	1.87	0.00	1.87	2.16	1.52	2.36	Glass/Door Cond	-6.49	-6.49	204.09		Cooling	5,539	554			
Partition/Door	0.77	0.77	0.89	0.77	1.20	1.20	Wall Cond	-0.92	-0.92	28.93		Terminal	5,539	554			
Floor	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	Partition/Door	-0.44	-0.44	13.84		Main Fan	5,539	554			
Adjacent Floor	0	0	0	0	0	0	Floor	0.00	0.00	0.00		Sec Fan	0	0			
Infiltration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Adjacent Floor	0	0	0.00		Nom Vent	521	521			
Sub Total ==>	47.75	0.00	47.75	55.10	48.96	76.15	Infiltration	0.00	0.00	0.00		AHU Vent	521	521			
							Sub Total ==>	-7.85	-7.85	246.86		Infil	0	0			
Internal Loads							Internal Loads					MinStop/Rh	554	554			
Lights	3.47	0.00	3.47	4.00	3.38	5.26	Lights	4.40	4.40	-138.36		Return	5,539	554			
People	8.32	0	8	9.60	4.21	6.55	People	5.05	5	-158.81		Exhaust	521	521			
Misc	7.83	0.00	7.83	9.04	7.74	12.04	Misc	8.80	8.80	-276.73		Rm Fxh	0	0			
Sub Total ==>	19.62	0.00	19.62	22.64	15.33	23.85	Sub Total ==>	18.25	18.25	573.90		Auxiliary	0	0			
Ceiling Load	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ceiling Load	0.00	0	0.00		Leakage Dwn	0	0			
Ventilation Load	0.00	0.00	19.29	22.26	0.00	0.00	Ventilation Load	0.00	-3.18	100.00		Leakage Ups	0	0			
Adj Air Trans Heat	0	0	0	0	0	0	Adj Air Trans Heat	0	0	0		ENGINEERING CKS					
Dehumid. Ov Sizing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ov/Undr Sizing	0.00	0.00	0.00		% OA	9.4	94.1			
Ov/Undr Sizing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00		Lps/m²	12.59	1.26			
Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OA Preheat Diff.	0.00	0.00	0.00		Lps/kW	62.74				
Sup. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	RA Preheat Diff.	-10.40	327.04	0.00		m²/kW	4.99				
Ret. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Additional Reheat	0.00	0.00	0.00		W/m²	200.49	-7.21			
Duct Heat Pkup	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	System Plenum Heat	0.00	0.00	0.00		No. People	69				
Underflr Sup Ht Pkup	0	0	0	0	0	0	Underflr Sup Ht Pkup	0	0	0.00							
Supply Air Leakage	0	0	0	0	0	0	Supply Air Leakage	0	0	0.00							
Grand Total ==>	67.37	0.00	66.66	100.00	64.29	100.00	Grand Total ==>	10.40	-3.18	100.00							

COOLING COIL SELECTION						AREAS			HEATING COIL SELECTION					
Total Capacity kW	Sens Cap. kW	Coil Airflow L/s	Enter DB/WB/HR °C °C	g/kg	Leave DB/WB/HR °C °C	g/kg	Gross Total	Glass m² (%)	Capacity kW	Coil Airflow L/s	Ent °C	Lvg °C		
Main Clg	88.25	69.20	5,539	24.7	18.0	10.2	Floor	440		Main Htg	-3.2	554	16.4	21.0
Aux Clg	0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	Part	65		Aux Htg	0.0	0	0.0	0.0
Opt Vent	0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	Int Door	0		Preheat	0.0	0	0.0	0.0
Total	88.25						ExFlr	0		Humidif	0.0	0	0.0	0.0
							Roof	0	0	Opt Vent	0.0	0	0.0	0.0
							Wall	335	253	Total	-3.2			
							Ext Door	0	0					

Project Name: Gustavo Capanema
Dataset Name: T5_IPHAN_BR45_PE45.trc

TRACE® 700 v6.2.10 calculated at 01:27 PM on 02/10/2014
Alternative - 1 System Checksums Report Page 3 of 3

System Checksums

By Protherm

System - 001

Variable Refrigerant Volume

COOLING COIL PEAK				CLG SPACE PEAK				HEATING COIL PEAK				TEMPERATURES		
Peaked at Time: Mo/Hr: 12 / 15				Mo/Hr: 12 / 15				Mo/Hr: Heating Design						
Outside Air: OADB/WB/HR: 35 / 27 / 19				OADB: 35				OADB: 16						
	Space	Plenum	Net	Percent	Space	Percent		Coil Peak	Percent		Cooling	Heating		
	Sens. + Lat.	Sens. + Lat.	Total	Of Total	Sensible	Of Total	Space Sens	Tot Sens	Of Total					
	kW	kW	kW	(%)	kW	(%)	kW	kW	(%)					
Envelope Loads							Envelope Loads							
Skyliite Solar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Skyliite Solar	0.00	0.00	0.00				
Skyliite Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Skyliite Cond	0.00	0.00	0.00				
Roof Cond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Roof Cond	0.00	0.00	0.00				
Glass Solar	32.35	0.00	32.35	24.77	53.69	53.77	Glass Solar	0.00	0.00	0.00				
Glass/Door Cond	17.90	0.00	17.90	13.71	11.67	11.69	Glass/Door Cond	-9.76	-9.76	214.51				
Wall Cond	3.18	0.00	3.18	2.44	2.28	2.28	Wall Cond	-1.11	-1.11	24.40				
Partition/Door	2.50	0.00	2.50	1.91	2.46	2.46	Partition/Door	-1.44	-1.44	31.65				
Floor	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	Floor	0.00	0.00	0.00				
Adjacent Floor	0	0	0	0	0	0	Adjacent Floor	0	0	0				
Infiltration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Infiltration	0.00	0.00	0.00				
Sub Total ==>	55.93	0.00	55.93	42.83	70.10	70.20	Sub Total ==>	-12.31	-12.31	270.55				
Internal Loads							Internal Loads							
Lights	9.19	0.00	9.19	7.04	7.43	7.44	Lights	9.01	9.01	-198.02				
People	14.57	0	14.57	11.16	6.18	6.19	People	7.25	7	-159.34				
Misc	19.60	0.00	19.60	15.01	16.15	16.17	Misc	18.01	18.01	-395.82				
Sub Total ==>	43.36	0.00	43.36	33.20	29.76	29.80	Sub Total ==>	34.27	34.27	-753.19				
Ceiling Load	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ceiling Load	0.00	0	0.00				
Ventilation Load	0.00	0.00	31.30	23.97	0.00	0.00	Ventilation Load	0.00	-4.56	100.22				
Adj Air Trans Heat	0	0	0	0	0	0	Adj Air Trans Heat	0	0	0				
Dehumid. Ov Sizing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ov/Undr Sizing	0.00	0.00	0.00				
Ov/Undr Sizing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00				
Exhaust Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OA Preheat Diff.	0.00	0.00	0.00				
Sup. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	RA Preheat Diff.	-21.95	482.42					
Ret. Fan Heat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Additional Reheat	0.00	0.00					
Duct Heat Pkup	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Underflr Sup Ht Pkup	0	0.00	0.00				
Underflr Sup Ht Pkup	0	0	0	0	0	0	Supply Air Leakage	0	0.00					
Supply Air Leakage	0	0	0	0	0	0								
Grand Total ==>	99.29	0.00	130.59	100.00	99.86	100.00	Grand Total ==>	21.96	-4.55	100.00				

AIRFLOWS			
	Cooling	Heating	
Diffuser	8,558	856	
Terminal	8,558	856	
Main Fan	8,558	856	
Sec Fan	0	0	
Nom Vent	748	748	
AHU Vent	748	748	
Infil	0	0	
MinStop/Rh	856	856	
Return	8,558	856	
Exhaust	748	748	
Rm Exh	0	0	
Auxiliary	0	0	
Leakage Dwn	0	0	
Leakage Ups	0	0	

ENGINEERING CKS			
	Cooling	Heating	
% OA	8.7	87.4	
Lps/m²	9.50	0.95	
Lps/kW	64.32		
m²/kW	6.77		
W/m²	147.59	-5.06	
No. People	99		

COOLING COIL SELECTION						AREAS			HEATING COIL SELECTION					
Total Capacity	Sens Cap.	Coil Airflow	Enter DB/WB/HR	Leave DB/WB/HR		Gross Total	Glass		Capacity	Coil Airflow	Ent	Lvg		
kW	kW	L/s	°C °C	°C °C	g/kg		m²	(%)	kW	L/s	°C	°C		
Main Clg	133.01	104.48	8,558	25.0	17.6	Floor	901		Main Htg	-4.6	856	16.7	21.0	
Aux Clg	0.00	0.00	0	0.0	0.0	Part	210		Aux Htg	0.0	0	0.0	0.0	
Opt Vent	0.00	0.00	0	0.0	0.0	Int Door	0		Preheat	0.0	0	0.0	0.0	
Total	133.01					ExFlr	0		Humidif	0.0	0	0.0	0.0	
						Roof	0	0	Opt Vent	0.0	0	0.0	0.0	
						Wall	458	358	Total	-4.6				
						Ext Door	0	0						

MONTHLY ENERGY CONSUMPTION

By Protherm

----- Monthly Energy Consumption -----

Utility	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Alternative: 1													
Gustavo Capanema													
Electric													
On-Pk Cons. (kWh)	10,331	8,442	9,140	6,834	6,052	5,295	5,380	5,488	5,868	7,766	9,052	10,326	89,976
On-Pk Demand (kW)	32	33	34	32	26	15	15	15	27	33	33	34	34
Energy Consumption				Environmental Impact Analysis									
Building	360 MJ/(m2-year)			CO2		No Data Available							
Source	1,079 MJ/(m2-year)			SO2		No Data Available							
				NOX		No Data Available							
Floor Area	901 m2												

Project Name: Gustavo Capanema
Dataset Name: T5_IPHAN_BR45_PE45.trc

TRACE® 700 v6.2.10 calculated at 01:27 PM on 02/10/2014
Alternative - 1 Monthly Energy Consumption report Page 1 of 1

EQUIPMENT ENERGY CONSUMPTION

By Protherm

Alternative: 1 Gustavo Capanema

----- Monthly Consumption -----

Equipment - Utility	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Lights													
Electric (kWh)	4,467.8	4,035.5	4,467.8	4,323.7	4,467.8	4,323.7	4,467.8	4,467.8	4,323.7	4,467.8	4,323.7	4,467.8	52,605.0
Peak (kW)	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Cooling Coil Condensate													
Recoverable Water (kL)	9.8	8.7	10.1	6.0	4.1	2.0	1.9	2.2	3.8	6.7	8.1	9.4	72.8
Peak (kL/Hr)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
<u>Cpl 1: Cooling plant - 003 [Sum of dsn coil capacities=133.0 kW]</u>													
<u>Air-cooled unitary - 001 [Clg Nominal Capacity/F.L. Rate=133 kW / 28.46 kW] (Cooling Equipment - Cooling Mode)</u>													
Electric (kWh)	5,863.5	4,406.6	4,672.5	2,510.6	1,584.0	971.3	912.6	1,020.6	1,544.3	3,297.9	4,728.4	5,858.4	37,370.6
Peak (kW)	23.5	24.0	24.6	22.7	16.7	14.7	14.8	14.8	17.9	23.9	23.7	24.7	24.7
<u>Hpl 1: Heating plant - 002 [Sum of dsn coil capacities=4.56 kW]</u>													

Project Name: Gustavo Capanema
Dataset Name: T5_IPHAN_BR45_PE45.trc

TRACE® 700 v6.2.10 calculated at 01:27 PM on 02/10/2014
Alternative - 1 Equipment Energy Consumption report page 1 of 1

BUILDING TEMPERATURE PROFILES

By Protherm

Occupied hours only - Alternative 1

System/Room Description	Unmet	--- Maximum ---				--- Number of Hours at each Temp Range (°C) ---												--- Minimum ---				Unmet
	Ctg Load Hours	Temp	Mo	Hr	Day	>38°	38-35	35-32	32-29.5	29.5-27	27-24	24-21	21-18.5	18.5-15.5	15.5-13	13-10	< 10°	Temp	Mo	Hr	Day	Htg Load Hours
System - 001																						
Circulacao	1,244	32	2	19	Sun	0	0	0	381	1,030	2,929	40	0	0	0	0	0	23	7	8	Dsgn	0
F_Noroeste	308	35	1	18	Sun	0	0	286	523	589	2,982	0	0	0	0	0	0	23	1	8	Dsgn	0
F_Sudeste	231	35	1	16	Sat	0	0	543	299	408	2,958	172	0	0	0	0	0	23	6	8	Sat	0

Project Name: Gustavo Capanema
Dataset Name: T5_IPHAN_BR45_PE45.trc

TRACE® 700 v6.2.10 calculated at 01:27 PM on 02/10/2014
Alternative - 1 System Temp Profiles Report Page 2 of 3

BUILDING TEMPERATURE PROFILES

By Protherm

All hours - Alternative 1

System/Room Description	Unmet	--- Maximum ---				--- Number of Hours at each Temp Range (°C) ---												--- Minimum ---				Unmet
	Ctg Load Hours	Temp	Mo	Hr	Day	>38°	38-35	35-32	32-29.5	29.5-27	27-24	24-21	21-18.5	18.5-15.5	15.5-13	13-10	< 10°	Temp	Mo	Hr	Day	Htg Load Hours
System - 001																						
Circulacao	1,504	32	2	23	Sun	0	0	30	780	2,202	5,518	230	0	0	0	0	0	23	7	7	Dsgn	0
F_Noroeste	382	35	1	18	Sun	0	0	745	1,173	849	5,993	0	0	0	0	0	0	23	1	6	Dsgn	0
F_Sudeste	292	35	1	16	Sat	0	0	1,250	483	992	5,561	474	0	0	0	0	0	23	6	7	Sat	0

Project Name: Gustavo Capanema
Dataset Name: T5_IPHAN_BR45_PE45.trc

TRACE® 700 v6.2.10 calculated at 01:27 PM on 02/10/2014
Alternative - 1 System Temp Profiles Report Page 1 of 3