

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo



Dissertação

COMPORTAMENTO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA COM NOVO USO NA CIDADE DE PELOTAS:

O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura

Stífany Knop

Pelotas, 2012

STÍFANY KNOP

**COMPORTAMENTO TERMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA COM
NOVO USO NA CIDADE DE PELOTAS:**

O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Pelotas,
como requisito à obtenção do título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Pelotas, 2012.

Catálogo na Publicação:
Kênia Moreira Bernini
Bibliotecária - CRB-10/920

K72c Knop, Stifany

Comportamento termoenergético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas : o caso do casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura / Stifany Knop ; orientador : Eduardo Grala da Cunha. – Pelotas, 2012.

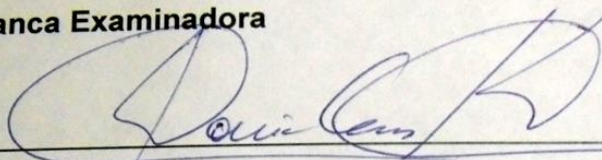
142 f.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

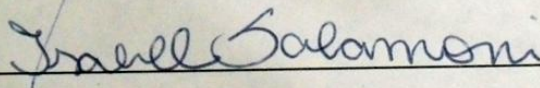
1. Simulação computacional 2. Comportamento termoenergético 3. Edificação histórica 4. Modelo adaptativo 5. RTQ-C I. Cunha, Eduardo Grala da (orient.) II. Título.

CDD 720

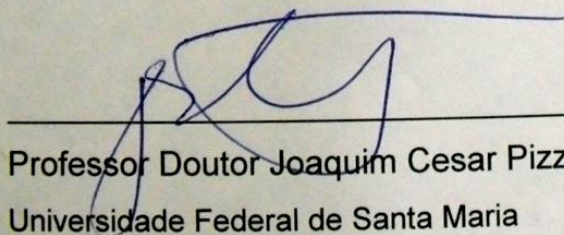
Banca Examinadora



Professor Doutor Antônio Cesar Silveira Baptista da Silva
Universidade Federal de Pelotas



Professora Doutora Isabel Tourinho Salamoni
Universidade Católica de Pelotas e Universidade Federal de Pelotas



Professor Doutor Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos
Universidade Federal de Santa Maria

Agradecimentos

Agradeço aos meus irmãos, Jaqueline, Guilherme e Alice, e minha mãe Zenaide, que me ajudaram a criar a estrutura necessária para enfrentar adversidades e felicidades que a vida traz.

Agradeço ao meu tio Daniel pelo carinho e cuidado de sempre.

Agradeço a toda a equipe do LabCEE que fizeram meus dias de laboratório sempre animados.

Agradeço aos colegas e amigos, Jaqueline, Juliana e Liader pela troca constante de ideias e informações imprescindíveis ao contínuo processo dissertativo deste trabalho.

Agradeço às colegas e amigas, Roberta, Fernanda, Gabriela, Helen e Marina pela troca de angústias durante madrugadas e também pelas agradáveis noites de descontração, regadas à boa comida.

Agradeço ao meu maior apoiador, Luciano, que acreditou na minha capacidade como pesquisadora antes mesmo de isto ser uma vontade e um sonho que virou realidade.

Agradeço, especialmente, ao meu orientador, Eduardo, que me guiou com muita paciência e sabedoria, sendo um grande incentivador, grande orientador, colega e amigo.

Resumo

KNOP, Stífany. **Comportamento Termoenergético de Edificação Histórica com Novo Uso na Cidade de Pelotas: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura**. 2012. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

Pelotas é uma cidade considerada patrimônio do estado do Rio Grande do Sul com suas várias construções em estilo eclético, que refletem os tempos da riqueza proveniente da economia baseada na comercialização do charque. Muitas dessas edificações, construídas com fim residencial, continuam sendo usadas e mantêm suas características arquitetônicas mesmo com o passar do tempo. Como forma de incentivar o uso de edificações históricas, pelas mais variadas atividades, uma hipótese a ser verificada é a possibilidade de bom desempenho termoenergético. Esta dissertação tem como objetivo avaliar o comportamento termoenergético de uma edificação histórica com novo uso localizada no centro da cidade de Pelotas, bem como verificar os efeitos de possíveis medidas corretivas para o aumento dos níveis de conforto térmico e também de eficiência energética. Trata-se da Residência do Charqueador José Vieira Vianna, situada na Praça Coronel Pedro Osório, número 2, que hoje é ocupada pela Secretaria Municipal de Cultura. Para tanto, o método de pesquisa foi dividido em sete etapas: caracterização do objeto; configuração do modelo e simulação do caso base; proposição de 64 medidas corretivas; simulação dos 65 modelos; análise de desempenho térmico; análise da eficiência energética; avaliação econômica das medidas corretivas. A ferramenta de avaliação escolhida é o *software* de simulação computacional *DesignBuilder* (versão 3.0.0.105). As avaliações de desempenho térmico consideram o modelo adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE Standard – 55 (2010). A eficiência energética foi analisada por graus-hora e pelo RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – método de simulação de edificação totalmente ventilada. O modelo original obteve conforto térmico em 69,50% das horas ocupadas, para 80% de aceitabilidade. Na avaliação de eficiência energética, ele obteve 333 graus-hora para aquecimento e 1.587 graus-hora para resfriamento, também para as horas ocupadas. Pelo RTQ-C, a avaliação para edificação totalmente ventilada considerou o POC (percentual de horas ocupadas em conforto) e o EqNumDPI (equivalente numérico de densidade de potência de iluminação) para a verificação do nível de eficiência, que resultou em uma pontuação total de 3,34, Nível C. As 64 propostas de melhoria simuladas obtiveram resultados variando de melhor a pior em comparação à edificação original, sendo que apenas a melhoria no sistema de iluminação já elevou a edificação original para o nível B. A melhor proposta, de número 03 – cobertura clara isolada e paredes originais –, obteve classificação de eficiência energética nível A, com 79,43% das horas ocupadas, dos ambientes de permanência prolongada, dentro dos limites aceitáveis de conforto. Ela é avaliada e comparada à edificação original quanto à questão econômica, o *pay-back* simples e o custo de energia economizada são verificados.

Palavras-chave: Simulação computacional. Comportamento termoenergético. Edificação histórica. Modelo adaptativo. RTQ-C. Edificação Ventilada Naturalmente.

Abstract

KNOP, Stífany. Thermal Energy Behavior of a Historic Building with New Use in the City of Pelotas: the Case of House 2 – Municipal Department of Culture. 2012. Dissertation. Post-graduation Program in Architecture and Urban Planning. Federal University of Pelotas. Pelotas.

The city of Pelotas is considered as heritage of Rio Grande do Sul State with its amount of eclectic style buildings that resemble wealth times resulting from the economy based on the trade of jerky beef. Many of these buildings, which were built for residential purpose, are still being used and have kept their architectural features over time. In order to encourage the use of historic buildings, for several activities, one hypothesis that should be verified is the potential good thermal energy performance. This dissertation aims to assess the thermal energy behavior of a historic building with new use located in downtown of the city of Pelotas, such as to verify the effects of potential corrective measures to increase thermal comfort and energy efficiency levels. The building in study is the old Residence of Charqueador José Vieira Vianna, also known as House 2. Located at Coronel Pedro Osório Square, number 2, it is nowadays, the address of the Municipal Department of Culture. For both, the research method was divided in seven steps: characterization of the object, configuration of the model and simulation of the base case, proposition of 64 corrective measures, simulation of 65 models, analysis of thermal performance, analysis of energy efficiency, economic evaluation of the corrective measures. The chosen evaluation tool is the computer simulation software DesignBuilder (version 3.0.0.105). Evaluations of thermal performance consider the adaptive model of De Dear and Brager for ASHRAE Standard – 55 (2010). The energy efficiency was analyzed by degree-hours and by RTQ-C – Technical regulation of quality of energy efficiency level of commercial, service and public buildings – natural ventilated building simulation method. The original model obtained thermal comfort in 69,50% of the occupied hours, for 80% of acceptability. For energy efficiency analysis it obtained 333 degree-hours for heating and 1.587 degree-hours for cooling, also for occupied hours. For RTQ-C, the evaluation for natural ventilated building considered POC (percentage of occupied hours within comfort) for the verification of the efficiency level, that resulted in a total score of 3,34, C level. The 64 simulated improvement proposals obtained results varying from better to worse, comparing to the original building, whereas the improvement of the lighting system already raised the original building to B level. The best proposal, number 03 – white insulated roof and original walls –, obtained energy efficiency classification level A, with 79,43% of the occupied hours within acceptable comfort limits. It is evaluated and compared to the original building, as for economic issue, where simple payback and cost of saved energy are verified.

Keywords: Computer simulation. Thermal energy behavior. Historic building. Adaptive model. RTQ-C. Naturally ventilated building.

Lista de Figuras

Figura 1 - Casarão 02.....	11
Figura 2 – PPD em função do PMV.	15
Figura 3 – Taxas aceitáveis de temperatura operativa e umidade para ambientes climatizados artificialmente.	21
Figura 4 - Velocidade do ar para aumento da temperatura.....	22
Figura 5 – Limites aceitáveis de temperatura operativa e velocidade do ar para zonas de conforto apresentadas na figura 3, com taxa de umidade 0.010.....	23
Figura 6 - Escalas de temperatura operativa interna aceitável para espaços condicionados naturalmente.....	24
Figura 7 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	33
Figura 8 – Praça Coronel Pedro Osório – destaque Casarão 02	48
Figura 9 - Planta baixa térreo.....	50
Figura 10 - Planta baixa segundo pavimento	50
Figura 11 - Corte parcial Casarão 02.	51
Figura 12 - Configuração das diversas espessuras das paredes do Casarão 02.....	57
Figura 13 - Simplificação das paredes.....	58
Figura 14 - Simplificação plantas baixas térreo e 2° pavimento - <i>designbuilder</i>	58
Figura 15 - Parede original e sua equivalente	59
Figura 16 - Janela Casarao 02 – posição do postigo	61
Figura 17 - Cobertura isolada	70
Figura 18 - Cobertura ventilada	71
Figura 19 - Ventilação acima das janelas.....	71
Figura 20 - Altura solar e autossombreamento da fachada norte.....	73
Figura 21 - Brises na fachada leste.....	73
Figura 22 - Propostas corretivas	74
Figura 23 - Temperatura média mensal e os limites para 80% de aceitabilidade para Pelotas	77
Figura 24 - Análise mensal de conforto Casarão 02 - configuração original.....	78
Figura 25 - Planta baixa térreo - Conforto dos ambientes de permanência prolongada	79
Figura 26 - Planta baixa 2° pavimento - Conforto dos ambientes de permanência prolongada	79
Figura 27 - Mapa das propostas corretivas com os resultados de conforto - média anual ...	81
Figura 28 - Resultados de conforto - Proposta 03.....	84
Figura 29 - Resultados de conforto - Proposta 56.....	84
Figura 30 – Detalhe da posição das salas 11 e 25.....	85
Figura 31 - Fluxos de calor para 3 propostas – média diária.....	86
Figura 32 - Fluxos térmicos – Proposta 03 – Sala 11 – 23 de Janeiro	89
Figura 33 - Fluxos térmicos - Proposta 03 – sala 25 – 23 de Janeiro.....	90
Figura 34 - Fluxos térmicos - Proposta 03 – Sala 11 – 31 de julho	91
Figura 35 - Fluxos térmicos - Proposta 03 – Sala 25 – 31 de Julho	92
Figura 36 - Trocas térmicas – proposta 03.....	93
Figura 37 - fendas das esquadrias.....	94
Figura 38 - sala 11 - interferências salas adjacentes	97

Figura 39 - Resultados de Graus-Hora para todas as propostas - Horários de ocupação - Média anual	98
Figura 40 - Compilação dos resultados de graus-hora para 4 casos.....	99

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Escala térmica definida por Fanger	15
Tabela 2 - Categoria de conforto térmico para ambientes climatizados artificialmente.....	18
Tabela 3 - Critérios para diferentes tipos de espaços	19
Tabela 4 - Estratégias para as zonas bioclimáticas	35
Tabela 5 - Condutibilidade dos materiais	52
Tabela 6 - Transmitância térmica e capacidade térmica dos componentes	52
Tabela 7 - Síntese das características do modelo real e do modelo de referência.....	63
Tabela 8 - Pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação	64
Tabela 9 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI _L)	65
Tabela 10 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI _L) para o nível pretendido considerando atividades do Casarão 02	65
Tabela 11 - Equivalentes numéricos para ventilação natural	66
Tabela 12 - Dimensionamento protetores solar.....	72
Tabela 13 - Comparação de desempenho das salas - Proposta 56, Original e Proposta 19	84
Tabela 14 - Configurações para verificação da ventilação natural	95
Tabela 15 - configuração dos modelos de teste.....	96
Tabela 16 - Classificação do EqNumV para o Casarão Original e para as 64 demais configurações	100
Tabela 17 – Eficiência energética iluminação – método das áreas	101
Tabela 18 - Sistema de iluminação original e proposto.....	102
Tabela 19 - Comparação entre sistema de iluminação existente e sistema proposto.....	102
Tabela 20 - Áreas para o cálculo da pontuação total - Casarão 02	103
Tabela 21 - Pontuação total (PT) do casarão original e das 64 propostas	103
Tabela 22 - Comparação entre melhor e pior configuração dos Níveis A e B	104
Tabela 23 - Consumo de energia anual	106
Tabela 24 - Investimento em iluminação.....	107
Tabela 25 - Cálculo do custo de energia conservada (CEC) para novo sistema de iluminação	107
Tabela 26 - Consumo de energia para aquecimento e resfriamento - Original e Proposta 19	107
Tabela 27 - Valores de investimento para proposta de melhoria nº 19	108
Tabela 28 – Cálculo do custo de energia conservada (CEC) para Proposta 19	108
Tabela 29 – Cálculo do custo de energia conservada (CEC) para isolamento da cobertura	108

Lista de Abreviações e Siglas

- ANC – Área não condicionada
- APO – Avaliação Pós-Ocupação
- APT – Área de Permanência Transitória
- AU – Área útil
- BIM – *Building Information Modeling*
- CAD – *Computer Aided Design*
- CEC – Custo de Energia Conservada
- CEE – Coeficiente de Eficiência Energética
- COP – *Coefficient of Performance*
- DCI – Densidade de Carga Interna
- DPI – Densidade de Potência de Iluminação
- EqNumDPI – Equivalente Numérico de Densidade de Potência de Iluminação
- EqNumV – Equivalente Numérico de Ventilação
- GH – Graus-hora
- HVAC – *heating, ventilation and air conditioning* (Sistema de climatização artificial)
- NBR – Norma Brasileira
- PMV – *Predicted Mean Vote*
- POC – Percentual de Horas Ocupadas em Conforto
- PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*
- RAC-C – Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- RTQ-C – Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- SET – *Standard Effective Temperature*
- PT – Pontuação Total

Entidades e Programas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANS – *American National Standard*
- ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

DOE – *Department Of Energy (USA)*

INMETRO – Instituto Nacional de metrologia

IPHAE – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Estadual

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

ISO – *International Standard Organization*

SeCult – Secretaria Municipal de Cultura

LabCEE – Laboratório de Conforto e Eficiência Energética

Unidades

°C – graus Celsius

Clo – resistência da vestimenta

lm – iluminância

Met – taxa metabólica

Sumário

1.	Introdução.....	7
1.1.	Justificativa	9
1.2.	Objetivos.....	12
1.2.1.	Geral	12
1.2.2.	Específicos	12
1.3.	Estrutura da dissertação	13
2.	Revisão de literatura.....	14
2.1.	Conforto térmico.....	14
2.1.1.	Índices térmicos.....	14
2.1.1.1.	O voto médio predito (PMV) e o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) de Fanger	15
2.1.1.2.	O padrão internacional ISO 7730 para ambientes térmicos moderados com a revisão de 2005.	16
2.1.1.3.	ASHRAE Standard 55 e o conforto adaptativo	20
2.2.	Eficiência energética	24
2.2.1.	Parâmetro de análise de eficiência energética.....	26
2.2.1.1.	Graus-hora e graus-dia	26
2.2.2.	Sistema de iluminação.....	27
2.2.3.	Sistema de ar condicionado.....	28
2.2.4.	Variáveis arquitetônicas.....	29
2.3.	Normas e regulamentações de desempenho térmico e eficiência energética	31
2.3.1.	Normas de desempenho de edificações	32
2.3.1.1.	Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social: a NBR 15.220 – parte 3.....	32
2.3.2.	RTQ-C	36
2.4.	Simulação de desempenho termoenergético de edificações	37
2.5.	Intervenções em edifícios históricos	41
2.6.	Pesquisas realizadas em eficiência energética em edificações históricas	43
3.	Método de pesquisa	46
3.1.	Etapas de pesquisa.....	46
3.2.	Caracterização do objeto	47
3.2.1.	Implantação e orientação.....	48
3.2.2.	Características construtivas.....	49

3.2.3. Levantamentos <i>in loco</i>	52
3.3. Modelagem e simulação do caso base	55
3.3.1. Arquivo climático	55
3.3.1.1. Temperatura do solo	55
3.3.2. Modelagem.....	56
3.3.2.1. Definição das zonas térmicas.....	56
3.3.2.2. Construção do modelo	57
3.3.3. Configuração do modelo.....	59
3.3.3.1. Configuração da ventilação natural	59
3.3.3.2. Definição dos horários de ocupação.....	61
3.3.3.3. Densidade de carga interna	61
3.4. Conforto térmico.....	62
3.4.1. Determinação de conforto térmico com base no modelo adaptativo – ASHRAE Standard 55 – 2010	62
3.5. Eficiência energética	63
3.5.1. Análise da eficiência energética: graus-hora.....	63
3.5.2. Análise da eficiência energética: RTQ-C	63
3.5.2.1. Iluminação.....	64
3.5.2.2. Avaliação de ambientes condicionados naturalmente	66
3.6. Proposição de medidas corretivas	68
3.6.1. Caracterização das medidas corretivas	69
3.6.1.1. Iluminação.....	69
3.6.1.2. Plano vertical.....	69
3.6.1.3. Plano horizontal.....	70
3.6.1.4. Ventilação	70
3.6.1.5. Proteção solar	71
3.6.2. Análise de conforto térmico das propostas corretivas	74
3.6.3. Análise de eficiência energética das propostas corretivas	74
3.7. Avaliação econômica das medidas corretivas	74
3.7.1. <i>Pay-back</i> simples	75
3.7.2. Custo de energia conservada (CEC)	75
4. Resultados da simulação do caso base e das medidas corretivas.....	77
4.1. Conforto térmico.....	77
4.1.1. Comparação entre dois casos significativos	83
4.1.2. Teste de verificação – ventilação natural	94
4.2. Desempenho energético	97

4.2.1. Desempenho energético: graus-hora.....	97
4.2.2. Desempenho energético: RTQ-C.....	100
4.2.2.1. Percentual de horas ocupadas em conforto	100
4.2.2.2. Equivalente numérico de densidade de potência de iluminação.....	101
4.2.2.3. Pontuação total	102
5. Resultados de avaliação econômica das medidas corretivas	106
5.1. Sistema de iluminação	106
5.2. Edifício climatizado artificialmente.....	107
6. Conclusões.....	109
6.1. Limitações do trabalho	112
6.2. Trabalhos futuros	112
7. Referências bibliográficas.....	114
8. Apêndices.....	122
8.1. Apêndice A – Ficha de levantamento – iluminação	123
8.2. Apêndice B – Ficha de levantamento - equipamentos.....	124
8.3. Apêndice C – Questionário desenvolvido para levantamentos <i>in loco</i> em conforto térmico	125
8.4. Apêndice D – Roteiro de entrevista para levantamentos <i>in loco</i> em conforto térmico	128
8.5. Apêndice E – Proposta de melhoria do sistema de iluminação	130
8.6. Apêndice F – Tabela com as 64 configurações do modelo	132
8.7. Apêndice G – Pontuação total de todos os casos simulados em ordem de classificação.....	134

1. Introdução

A conservação de energia é uma questão bastante discutida em países desenvolvidos desde a crise do petróleo na década de 1970. A partir daí, tomou-se consciência de que os recursos naturais são finitos e a preservação destes bens passou a ser encarada como uma questão mundial. Como agravante dessa inquietação global, foram acrescentados o crescimento populacional acelerado e o aquecimento econômico dos países desenvolvidos, onde o desenvolvimento era medido pelo consumo de energia. Muitos desses países, como a Alemanha, possuem normas de eficiência energética desde 1976. As normas e regulamentos de eficiência energética, além de estabelecerem parâmetros mínimos necessários para equipamentos e edificações, contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que tornam o consumo de energia mais inteligente. Diminuir o consumo e não comprometer o desempenho das edificações é o desafio de eficiência energética, podendo ser definida como “a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia” (Lamberts *et al.*, 2004).

A crise energética nacional no início do século XXI foi a comprovação de que a geração e o consumo de energia elétrica estavam inadequados. Em 2001, foi promulgada a Lei nº 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001). Logo, iniciou-se o processo de criação de diretrizes para tornar o consumo de energia mais eficiente.

Atualmente, no Brasil, metade do consumo de energia elétrica é oriundo das edificações, sendo que grande parte desse consumo poderia ser diminuído apenas com o melhor aproveitamento da iluminação e da climatização natural. Por isso a criação de normas de desempenho e de regulamentos técnicos da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios é tão importante para manter o crescimento do país.

Essas normas e regulamentos consideram o bom desempenho do envelope da edificação para favorecer o menor consumo de energia em iluminação e condicionamento artificial. Os materiais empregados nos fechamentos verticais e horizontais facilitam ou dificultam as trocas térmicas do ambiente interno com o externo, a escolha do tipo de esquadria e sua localização na fachada interferem nessas trocas, a cor das paredes permite uma maior ou menor absorção de calor. Essas e outras variáveis arquitetônicas devem ser consideradas, a fim de auxiliar tanto nas questões térmicas, quanto nas energéticas. Para tanto, os sistemas de ar condicionado e iluminação também devem cumprir as exigências regulamentárias de bom nível de eficiência e uso racional.

Outro fator muito importante a considerar é que o uso do ambiente interfere diretamente no desempenho térmico da edificação e em sua eficiência energética. A utilização de ventilação e iluminação natural depende do tipo de atividade desenvolvida em determinado local, por exemplo, dormitórios em residências exigem ventilação natural e insolação por questões de higiene. Por outro lado, salas cirúrgicas possuem sistemas de condicionamento de ar com rigorosos controles de qualidade por segurança contra contaminação. Em alguns casos, para atividades específicas, são recomendados sistemas de condicionamento de ar, uma vez que a ventilação natural ou a velocidade do ar podem interferir na atividade desenvolvida no local. A iluminação natural pode ainda ser complementada por sistemas artificiais de iluminação, e dessa maneira, garantir uma distribuição mais uniforme. Ainda, como interferências diretas no conforto térmico e na eficiência energética estão as variáveis arquitetônicas, humanas e climáticas. Por variáveis arquitetônicas entende-se a edificação em seu todo, forma e função, os tipos de fechamentos e o seu uso, conforme já previamente descrito. As variáveis humanas referem-se aos costumes locais, idade, gênero e vestimenta. São relacionadas diretamente ao ser humano, como suas características físicas e os fatores que podem ser alterados, como roupas e atividade metabólica. As variáveis climáticas, como temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, são aquelas que não se pode manipular, apenas minimizar os seus efeitos sobre a edificação e seus usuários.

Considerando o uso como determinante de projeto das edificações, é válido analisar aquelas que com o decorrer do tempo sofrem alterações desse condicionante por diversas razões. Ao estudar edificações históricas, a alteração de

uso é comumente discutida. Para manter o patrimônio edificado é necessário pensar em alternativas para conservar a ocupação do espaço. A manutenção adequada e demais cuidados indispensáveis impedem a ruína ou demolição de parte da memória da cidade e, assim, com sua utilização contínua, são maneiras encontradas para manter viva parte de sua história. Desta forma, o interesse do tombamento e do restauro¹ são preocupações com as questões patrimoniais e de uso do edifício, e parte integrante de suas funções é assegurar a conservação do patrimônio, já que, em determinadas situações, os edifícios necessitam de legislações específicas que protejam sua integridade arquitetônica.

Esse trabalho tem o Casarão 02, na Praça Coronel Pedro Osório no centro de Pelotas, RS, como objeto de estudo. A edificação será analisada quanto às questões termoenergéticas, como forma de verificar se as técnicas construtivas da edificação, com novo uso institucional, possuem uma boa resposta às variações climáticas características da região, com verões muito quentes e invernos rigorosos.

1.1. Justificativa

Um prédio fechado, ocioso que não recebe a manutenção adequada, passa a ser depredado e, por vezes, esse abandono torna-se permanente, com poucas chances de se restabelecer sua integridade arquitetônica ou mesmo histórica. Isso acaba destruindo o patrimônio da cidade, pois parte da sua memória é esquecida ou mesmo desvalorizada. Intervir em uma edificação que por muito tempo ficou sem uso é, muitas vezes, mais dispendioso e complicado. O que poderia ser conservado com manutenções simples passa a ter a necessidade de reconstrução, de consolidação de ruínas e de encontrar soluções para as partes atacadas por patologia decorrentes desse abandono. Por essas razões e considerando a questão energética, criar novos usos e adequar as edificações para esse fim são essenciais, pois como justifica Ribeiro (1993), “Os arquitetos antigos desenvolveram em sua teoria e prática, uma intimidade para lidar com as variantes climáticas, que nos deixaram diversos exemplos de ambientes bem resolvidos do ponto de vista de sua adequação ao clima.”

¹“Restauração ou Restauro é o conjunto de operações destinadas a restabelecer a unidade da edificação, relativa à concepção original ou de intervenções significativas na sua história. O restauro deve ser baseado em análises e levantamentos inquestionáveis e a execução permitir a distinção entre o original e a intervenção. A restauração constitui o tipo de conservação que requer o maior número de ações especializadas” (IPHAN, 2005, p. 14)

Ao trazer a questão do patrimônio para Pelotas é necessário, primeiramente, salientar que a cidade possui 19 imóveis tombados², doze destes em nível municipal, um em nível estadual e seis em nível federal, e que cerca de duas mil edificações são protegidas pela Lei Municipal nº 4568/00 que regulamenta o Inventário do Patrimônio Histórico e Cultural. Parte desse acervo arquitetônico é reflexo dos tempos de glória na produção de charque da região, a partir do qual a cidade “atingiu o auge do seu desenvolvimento econômico, urbano, social e cultural entre os anos de 1860 e 1890” (MAGALHÃES, 1993). Os exemplos mais conhecidos desse período são os casarões 02, 06 e 08 na Praça Coronel Pedro Osório, local conhecido pelo maior acervo de arquitetura neoclássica em um único sítio e onde são encontrados nove exemplares tombados da cidade. Tomando como referência este local é possível notar que, dos imóveis tombados, sete possuem atualmente usos diferentes dos seus originais.

Giralt (2010) afirma que nos grandes centros urbanos existe um estoque de edifícios com localização privilegiada e com acesso à infraestrutura existente. Esses argumentos por si só já são de grande valia no momento de considerar a restauração ou readequação de imóveis históricos para novos usos.

Além disso, outro ponto importante a ser considerado em se tratando de conservação de edificações históricas é a sua questão termoenergética. Essas construções eram erguidas com paredes portantes com grandes espessuras e elevada capacidade térmica, o que resulta na sua alta inércia térmica. Nesse contexto, é importante compreender o comportamento dessas edificações frente ao desafio de abrigar novos possíveis usos, sejam eles comerciais, públicos ou de serviços.

Considerando as características construtivas e interferências de uso nas edificações, enfatizando as históricas e as questões de desempenho termoenergético, esse trabalho procura entender tais relações em um exemplar tombado com novo uso na cidade de Pelotas, RS. Esse primeiro estudo de caso, apresentado nesta pesquisa, pode direcionar, embasar e/ou estender avaliações de (a) outras edificações históricas. Pode, inclusive, auxiliar no processo de restauração ou *retrofit*

² O tombamento é uma decisão administrativa e jurídica que visa o reconhecimento, pela sociedade através do poder público, do valor cultural de determinados bens, tangíveis e intangíveis, representativos dessa sociedade, objetivando sua proteção e valorização. (DEPARTAMENTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO, 2001)

ao avaliar propostas e melhores alternativas de intervenções antes destas serem colocadas em prática, justificando através da comprovação da eficácia de uma ou outra decisão. O Casarão 02 (Figura 1) foi escolhido por se enquadrar nestas características – edificação tombada construída no século XIX e, atualmente, com uso público – e pela facilidade de acesso à edificação e aos levantamentos já feitos para sua restauração.

O ponto principal é analisar o desempenho térmico e a eficiência energética em edificação histórica, entendendo que esse tipo de construção possui limitações ao se considerar adequação de espaços para aumentar seu conforto térmico. Comparar ou mesmo considerar o clima, usos dos espaços e vestimentas da época de sua construção pede um estudo histórico detalhado da sociedade, costumes e do local, o que não é o objetivo desse estudo.

Intuitivamente, pensa-se que construções do século XIX são confortáveis termicamente, mas não se sabe exatamente o quanto. Então, é possível questionar se a capacidade térmica das paredes, que gera um elevado atraso térmico, poderia trazer problema de desconforto durante a noite no verão, quando a edificação não está mais ocupada para o uso atual. Por isso, analisar o desempenho termoenergético de uma edificação histórica com alta inércia térmica pode ser uma justificativa a mais para seu tombamento e para prolongar o uso desse tipo de construção.



Figura 1 - Casarão 02.

Fonte: autora

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o desempenho termoenergético de uma edificação histórica do século XIX, com elevada capacidade térmica, como também verificar a eficiência de possíveis medidas corretivas do envelope, com o intuito de aumentar os níveis de conforto térmico e a eficiência energética da construção. Tal edificação atualmente funciona com novo uso, o público e está situada na Praça Coronel Pedro Osório, em Pelotas, RS. Trata-se do Casarão 02, que hoje em dia abriga a Secretaria Municipal de Cultura.

1.2.2. Específicos

Considerando o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- verificar os níveis de conforto térmico do Casarão 02, considerando o conforto adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE Standard 55 (2010);
- definir o nível de eficiência energética da Secretaria de Cultura com base no RTQ-C, método de simulação computacional;
- definir possíveis propostas corretivas para aumentar os níveis de conforto térmico e de eficiência energética da edificação;
- identificar normas do IPHAN para intervenções em prédios históricos para a viabilidade de implantação das propostas corretivas;
- definir a viabilidade econômica das propostas corretivas;
- instrumentalizar o LABCEE no que diz respeito à simulação computacional de desempenho termo-energético com base no RTQ-C de edificações naturalmente ventiladas;
- compreender as relações entre usuário e edificação e a operação de janelas através de levantamentos *in loco*, com aplicação de questionários, objetivando auxiliar na definição das agendas de aberturas das esquadrias.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta pesquisa está dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo, é feita a contextualização do problema, as partes que compõem o trabalho são apresentadas e o objetivo da pesquisa é definido.

No segundo capítulo, é feita a revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes ao trabalho. São revisadas as temáticas de conforto térmico, eficiência energética, simulação computacional para desempenho termo-energético, intervenções em edifícios históricos, e apresentados trabalhos já feitos com abordagem de eficiência energética em edificações históricas.

O método de pesquisa é apresentado no terceiro capítulo, no qual cada etapa é detalhada, desde as características construtivas, passando por configuração do modelo computacional, simulação, análise de desempenho térmico e de eficiência energética, proposta de medidas corretivas, até a avaliação econômica de tais propostas.

No quarto capítulo são descritos os resultados obtidos para as simulações do caso base e das propostas de melhoria. As análises de desempenho térmico e de eficiência energética de todos os casos são também apresentadas.

No quinto capítulo é feita a análise de resultados de viabilidade econômica da melhor proposta para o aumento do desempenho termo-energético da edificação.

No sexto e último capítulo são feitas as considerações finais, descritas as limitações do trabalho e elaboradas projeções para futuros estudos.

2. Revisão de literatura

2.1. Conforto térmico

Conforto térmico é “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa” (ASHRAE, 1993). A percepção das pessoas em relação ao ambiente é bastante relativa, dependendo de diferentes variáveis, como o clima, vestimenta, atividade, idade e sexo, e por esse motivo, é difícil estipular condições que agradem a todas as pessoas no espaço.

As condições ambientais de conforto são entendidas como aquelas que proporcionam bem-estar ao maior número de pessoas possíveis (RUAS, 1999). Sendo assim, é possível estabelecer critérios e índices que determinam limites aceitáveis de conforto.

2.1.1. Índices térmicos

Os índices térmicos podem definir um ambiente confortável termicamente e, também, os níveis de aceitabilidade do usuário, dentro de parâmetros pré-estabelecidos. Alguns índices foram criados a fim de definir zonas de conforto para ambientes residenciais, como é o caso das estratégias estabelecidas por Givoni (1994). Outros índices são determinantes de conforto para ambientes condicionados artificialmente, como o caso do PMV e PPD de Fanger e da ISO 7730. Esta última teve sua revisão recente em 2005, que acrescenta o conceito de adaptação e, apenas, cita ambientes climatizados naturalmente. A análise do Casarão 02 foi desenvolvida considerando os ambientes como condicionados naturalmente e a norma americana ASHRAE Standard 55 (2010) é uma das possíveis para observar parâmetros para medição dos níveis de conforto nessa situação.

2.1.1.1. O voto médio predito (PMV) e o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) de Fanger

O índice PMV é baseado no equilíbrio de calor do corpo humano e relaciona temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, vestimenta e atividade. O homem está em equilíbrio térmico quando a produção de calor interna no corpo é igual à perda de calor para o ambiente (ISO, 1994). O PPD estabelece uma estimativa quantitativa do número de pessoas insatisfeitas termicamente e foi originalmente apresentado, juntamente com o PMV, em 1972. Tornou-se a base para a ISO 7730 e suas principais vantagens são a flexibilidade e abrangência das principais variáveis que interferem no conforto térmico.

O PMV estabelece uma escala térmica que vai de muito frio (-3) até muito calor (3), sendo que o centro dessa escala (0) é considerado como neutralidade térmica ou sensação de conforto pelos usuários, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Escala térmica definida por Fanger

-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Leve sensação de frio
0	Neutralidade térmica
1	Leve sensação de calor
2	Calor
3	Muito quente

Fonte: ISO 7730(2005)

O PPD é definido pela porcentagem de pessoas que não estão em conforto com o ambiente, de acordo com os índices do PMV, conforme Figura 2.

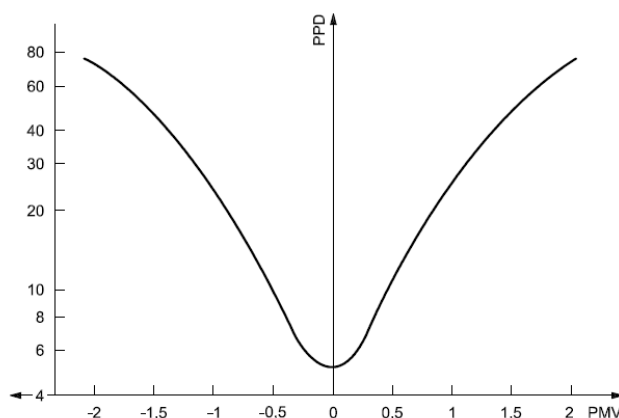


Figura 2 – PPD em função do PMV.

Fonte: ISO 7730 (2005)

O estudo que determinou essas variáveis analisou a resposta de 1300 pessoas, submetidas a diferentes ambientes térmicos controlados e suas sensações e percepções quanto ao conforto e desconforto. A partir dessa análise, foi possível estipular diferentes condições nas quais a sensação de conforto é obtida.

Como já expresse anteriormente, os índices PMV e PPD foram criados para ambientes climatizados artificialmente, onde as variáveis que interferem no ambiente podem ser controladas de maneira a garantir os níveis de conforto e, portanto, não serão utilizados para a análise de conforto térmico do Casarão 2, que é uma edificação totalmente ventilada naturalmente.

2.1.1.2. O padrão internacional ISO 7730 para ambientes térmicos moderados com a revisão de 2005.

A ISO 7730 (1994), que define Ambientes Térmicos Moderados – Determinação dos Índices PMV e PPD e Especificações das Condições para Conforto Térmico, foi criada em 1984 e, desde lá, vem sendo revisada a cada 10 anos, sendo que a última aconteceu em 2005. A norma define que a “sensação térmica do homem é principalmente relacionada ao equilíbrio térmico do seu corpo como um todo” (ISO, 2005) e determina que a atividade física, vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar são parâmetros que influenciam nesse equilíbrio.

Esta ISO (1994) possui dois propósitos: a) apresentar um método para estimar a sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados e b) especificar condições ambientais térmicas aceitáveis para conforto. Para essas especificações, ela utiliza o PMV e o PPD de Fanger para estabelecer os níveis de conforto desejados.

Inicialmente, ela foi criada para estabelecer níveis de conforto para ambientes de trabalho, mas pode ser utilizada em qualquer ambiente que cumpra com as suas exigências.

Para o ambiente estar em conformidade com esse Padrão, o valor do PMV deve estar entre -2 e +2, as variáveis humanas de taxa metabólica entre 0,8 e 4 met, e de vestimenta entre 0 e 2 clo, e as variáveis ambientais de temperatura do ar entre 10°C e 30°C, de temperatura radiante média entre 10°C e 40°C, da velocidade

relativa do ar entre 0 e 1m/s, da pressão de vapor de água parcial entre 0 e 2.700 Pa e é recomendado ainda que a umidade relativa do ar esteja entre 30 e 70%. Para cálculos de PMV pode-se escolher entre três maneiras: a) com o auxílio de computador por equação; b) diretamente por tabelas onde os valores de PMV são dados para diferentes combinações de atividade, vestimenta, temperatura operativa e velocidade do ar relativa; e c) por medição direta, usando um sensor integrado.

No anexo D da ISO 7730 (2005), são encontradas condições para satisfazer os níveis de conforto no verão e inverno para atividades leves, principalmente, sedentárias. Para o inverno, onde a resistência da vestimenta é considerada 1.0 clo, a temperatura operativa deve estar entre 20°C e 24°C, ou $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e considera pequenas diferenças de temperatura do ar em relação ao piso, forro e janelas. Esse período no qual pode haver a necessidade de aquecimento dos ambientes e para que, assim, haja conforto, a diferença de temperatura vertical entre tornozelos e cabeça (1,1 e 0,1 metros) não pode ser maior que 3°C e a temperatura de piso deve estar entre 19°C e 26°C, mas se o piso for aquecido, a temperatura do mesmo deve ser projetada para 29°C. Já a assimetria de temperatura radiante das janelas deve ser inferior a 10°C, pois é pelas janelas que ocorrem as maiores perdas de energia para o exterior. Para condições de verão, onde a resistência da vestimenta é considerada de 0,5 clo, a temperatura operativa deve estar entre 23°C e 26°C, ou na média de $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. A diferença de temperatura entre tornozelo e cabeça abaixo de 3°C.

A revisão de 2005 altera o nome da ISO para Ergonomia do ambiente térmico – Determinação analítica e interpretação do conforto térmico usando cálculos dos índices PMV e PPD e critério de conforto térmico local, sendo revisada na Inglaterra pelo Comitê Europeu de Normalização. A tabela de categorias de conforto térmico (tabela 2) é adicionada e define três categorias para o ambiente. Cada categoria descreve uma porcentagem de insatisfação máxima para o corpo como um todo (PPD) e uma porcentagem de insatisfação para cada um dos quatro tipos de desconforto local.

Tabela 2 - Categoria de conforto térmico para ambientes climatizados artificialmente

Categoria	Estado Térmico do Corpo		Desconforto local			
	PPD %	PMV	DR % (taxa de corrente de ar)	PD% (pessoas insatisfeitas)		
				Diferença de temp. vertical	Piso quente ou frio	Radiação assimétrica
A	< 6	$-0,2 < PMV \leq 0,2$	<10	<3	<10	<5
B	<10	$-0,5 < PMV \leq 0,5$	<20	<5	<10	<5
C	< 15	$-0,7 < PMV \leq 0,7$	<30	<10	<15	<10

Fonte: ISO 7730 (2005)

A diferença de temperatura vertical refere-se à diferença de temperatura entre tornozelo e cabeça já mencionada na versão anterior. O piso frio ou quente é referente a sistemas de aquecimento pelo piso ou devido a pisos muito frios. E a radiação assimétrica é relativa às janelas ou outra superfície fria. Essa tabela define as categorias de conforto e não apenas limites, nos quais se analisava se o ambiente cumpria ou não com as exigências. Classifica como menos confortáveis ambientes que, na versão anterior, não se encaixavam nos parâmetros.

Quanto à umidade relativa do ar, determina que a alteração em 10% pode acarretar uma sensação térmica de aproximadamente $0,3^{\circ}\text{C}$, baseado no estudo feito por Berglund (1998).

Nessa versão, a ISO 7730 acrescenta o conceito de adaptação para ambientes climatizados naturalmente, onde os ocupantes têm maior liberdade de adaptar a vestimenta, de acordo com os hábitos locais, e a condição térmica do ambiente é controlada pela abertura e fechamento das janelas. Define ainda que nesses ambientes os ocupantes aceitem temperaturas superiores às estipuladas pelo PMV.

Estipula também critérios para diferentes tipos de espaços com diferentes tipos de atividades e não mais define amplamente os ambientes como escritórios e atividade sedentária, conforme apresentado na tabela 3.

Os parâmetros estipulados são para manter uma temperatura moderada e estabelecer, assim, um ambiente confortável termicamente. Considerando que os índices norteadores são o PMV e PPD, que estipulam níveis de conforto para ambientes climatizados artificialmente, a versão de 1994 segue essa premissa e, por isso, considera que o ambiente analisado possui um sistema de climatização artificial. Nesse sentido, não pode ser utilizado por espaços que são climatizados

naturalmente, onde os controles de umidade e temperatura – entre outros – são difíceis de controlar. Já na versão de 2005, o conceito de adaptação para ambientes climatizados naturalmente é incluído e os limites do PMV são ampliados.

Tabela 3 - Critérios para diferentes tipos de espaços

Tipo construção espaço	Atividade W/m²	Categoria	Temperatura Operativa °C		Máxima Velocidade média¹ m/s	
			Verão	Inverno	Verão	Inverno
Escritório particular Sala de Conferência Auditório Restaurante Salas de aula	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21²
Jardim de Infância	81	A	23,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,11	0,10²
		B	23,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,18	0,15²
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19²
Lojas	93	A	23,0 ± 1,0	22,0 ± 1,5	0,16	0,13²
		B	23,0 ± 2,0	22,0 ± 3,0	0,20	0,15²
		C	23,0 ± 3,0	22,0 ± 4,0	0,23	0,18²

¹ Máxima velocidade média é baseada na intensidade de turbulência de 40% e a temperatura operativa de acordo com a intensidade de turbulência permitida para cada categoria. Umidade relativa de 60% e 40% para verão e inverno, respectivamente. Para ambos o verão ou inverno a baixa temperatura na escala é usada para determinar a máxima velocidade média.

² Abaixo de 20°C

Fonte: adaptado de ISO 7730 (2005)

É importante ressaltar que a ISO 7730 é um padrão internacional e que esses parâmetros consideram estudos feitos com americanos e europeus, em regiões que possuem invernos extremamente rigorosos e que algumas diretrizes podem ser avessas à realidade brasileira, ou mesmo não serem relevantes para o clima brasileiro. A versão de 2005 faz uma pequena menção a ambientes climatizados naturalmente, em regiões com clima quente, salientando que os ocupantes desses espaços poderiam aceitar maiores temperaturas que os estipulados para o PMV. Mesmo demonstrando preocupação com a qualidade desses ambientes, a ISO 7730 não estipula esses limites e, portanto, não se enquadra como parâmetro de avaliação de conforto térmico para espaços ventilados naturalmente.

2.1.1.3. ASHRAE Standard 55 e o conforto adaptativo

A ASHRAE Standard 55 (2010) é um padrão nacional americano (*American National Standard – ANS*), desenvolvido pela ASHRAE (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar condicionado), para Condições Ambientais Térmicas para Ocupação Humana. Ela foi aprovada em 2010 e é uma atualização da versão anterior, de 2004. Na versão de 2004, são incluídos métodos de cálculos do PMV/PPD e também o conceito de adaptação. A condição para aplicação dessa norma é considerar a vestimenta e a atividade metabólica – que deve ser sedentária ou próxima à mesma – dos usuários em espaços ocupados por um período de tempo não inferior a 15 minutos. Ela não limita sua aplicação apenas em ambientes de escritório, por exemplo, podendo ser aplicada em residências, em situações que se enquadrem em suas especificações. Existem seis fatores primários que devem ser considerados ao se definir condições para conforto térmico: taxa metabólica, isolamento da vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade.

Os fatores ambientais utilizados para cálculo desses índices são temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade e velocidade do ar, e os fatores pessoais são a taxa metabólica e a vestimenta. De maneira intrínseca, esse método de determinação do conforto térmico propõe-se a ambientes climatizados artificialmente. A Figura 3 determina as zonas de conforto para ambientes internos típicos. Ela relaciona a temperatura operativa do ambiente à umidade e vestimenta, para atividades metabólicas entre e 1.0 met e 1.3 met, vestimenta de 0.5 clo e 1.0 clo e velocidade do ar de até 0,2m/s. Os limites de conforto são estabelecidos para 80% de aceitabilidade, com base no critério de 10% de insatisfação com o conforto térmico geral, a partir do índice PMV e PPD, de Fanger, e mais um adicional de 10% de insatisfação que pode ocorrer pelo desconforto local. Limites mais amplos de umidade podem ser obtidos por modelos computacionais.

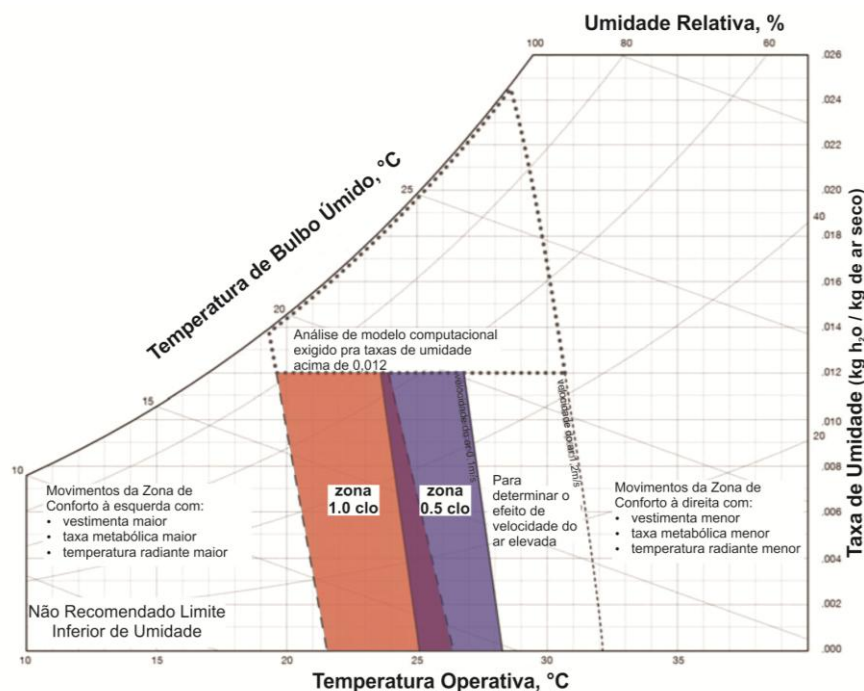


Figura 3 – Taxas aceitáveis de temperatura operativa e umidade para ambientes climatizados artificialmente.
Fonte: ASHRAE Standard 55 - 2010

A temperatura operativa pode ser definida como a temperatura uniforme de um invólucro preto imaginário, no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente verdadeiro não uniforme, ou como o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente, podendo ser definida pela equação (ASHRAE, 2010):

$$t_o = \frac{(t_a + t_r)}{2}$$

(Equação 1)

Onde:

t_o é a temperatura operativa;

t_a é a temperatura do ar;

t_r é a temperatura radiante média.

A ASHRAE Standard 55 proporciona uma flexibilidade em sua determinação de conforto. Inicialmente, a velocidade do ar permitida é de até 0,2m/s, mas para possibilitar o aumento da temperatura operativa, sem perder os níveis de conforto, existe a possibilidade de aumentar a velocidade do ar (Figura 4), considerando uma vestimenta leve, entre 0,5 e 0,7 clo, atividade física sedentária, entre 1.0 e 1.3 met. Considerando que a velocidade do ar não ultrapasse 0,8m/s, a temperatura pode ser elevada por mais 3°C e, ainda assim, manter-se dentro dos limites de conforto aceitáveis. Essa variável é mais eficaz quando a temperatura radiante média é maior que a temperatura do ar.

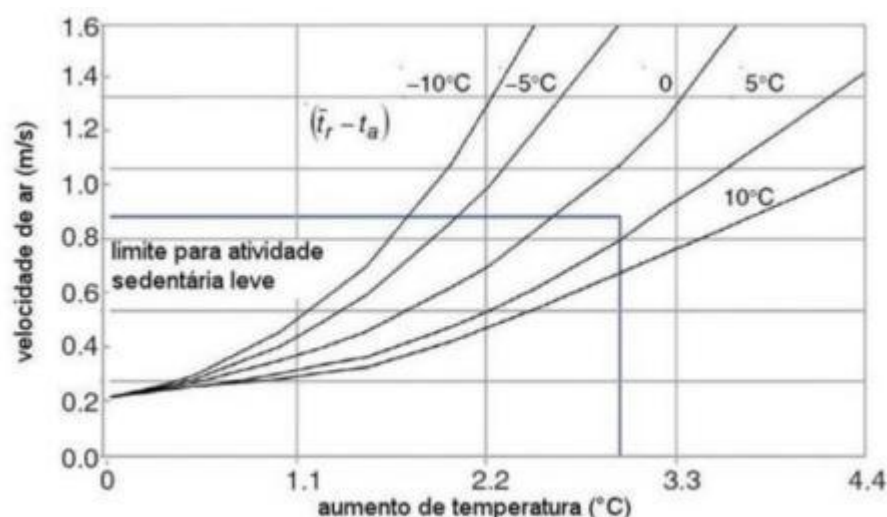


Figura 4 - Velocidade do ar para aumento da temperatura
Fonte: ASHRAE Standard 55 – 2010

O aumento da temperatura, descrito na figura 4, refere-se a ambas, a temperatura radiante média e a temperatura do ar. Esta pode ser entendida como a temperatura do ar que circunda o ocupante.

O modelo SET (*Standard Effective Temperature* – Temperatura Efetiva Padrão) usa uma simulação termofisiológica do corpo humano para reduzir qualquer combinação de ambientes reais e variáveis pessoais em uma temperatura de um ambiente padrão imaginário, no qual a perda de calor pela pele do ocupante é igual àquela da pessoa no ambiente real. Esse modelo permite efeitos de velocidade do ar no conforto térmico para ser relacionado através de uma grande variação de temperaturas do ar, temperaturas radiante e taxas de umidade. A Figura 5 apresenta tais limites e é uma extensão dos limites definidos na Figura 3, considerando a velocidade do ar.

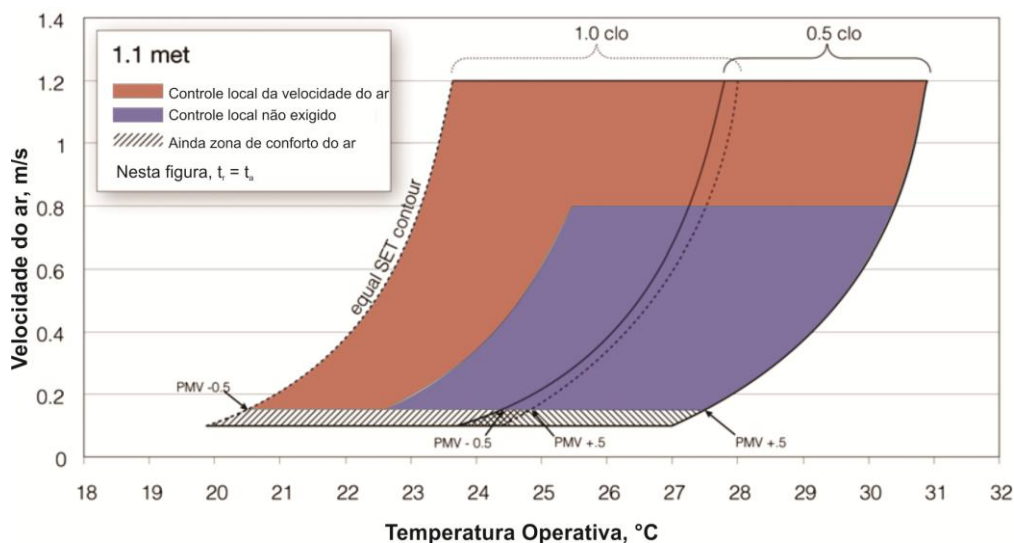


Figura 5 – Limites aceitáveis de temperatura operativa e velocidade do ar para zonas de conforto apresentadas na figura 3, com taxa de umidade 0.010

Fonte: ASHRAE Standard 55 – 2010

Já o modelo adaptativo relaciona as temperaturas internas aos parâmetros climáticos e meteorológicos externos e é utilizado para estabelecer conforto térmico em ambientes condicionados naturalmente. Tais ambientes, desprovidos de centrais de ar condicionado ou outro tipo de climatização artificial, possuem parâmetros diferentes dos demais ambientes internos, porque os ocupantes desses espaços têm noções subjetivas de conforto devido, especialmente, quanto à adaptação da vestimenta e ao controle de abertura e fechamento de janelas, que é o fator imprescindível para determinação de condições térmicas desses espaços.

Ressaltando os benefícios da ventilação natural, Cook *et al* (2011) afirma que

Ventilação natural não somente oferece economia de energia, mas pode potencialmente levar a uma maior satisfação do ocupante, resultante da maior qualidade do ar interior e maior controle do usuário pelo manuseio de janelas de abertura manual. (tradução nossa)

Para estabelecer os limites de conforto de determinado ambiente, a temperatura externa deve estar entre 10°C e 33,5°C, e a temperatura interna é determinada pela equação 2. (ASHRAE, 2009)

$$t_{oc} = 18,9 + 0,255 t_{ext}$$

(Equação 2)

Onde:

t_{oc} é a temperatura operativa de conforto;

t_{ext} é a temperatura média mensal;

Para estabelecer 90% de aceitabilidade, a temperatura operativa interna pode oscilar em $+2,5^{\circ}\text{C}$ ou $-2,2^{\circ}\text{C}$ da temperatura calculada. Para 80% de aceitabilidade, os limites podem variar de $+3,5^{\circ}\text{C}$ ou $-3,2^{\circ}\text{C}$, de acordo com a Figura 6.

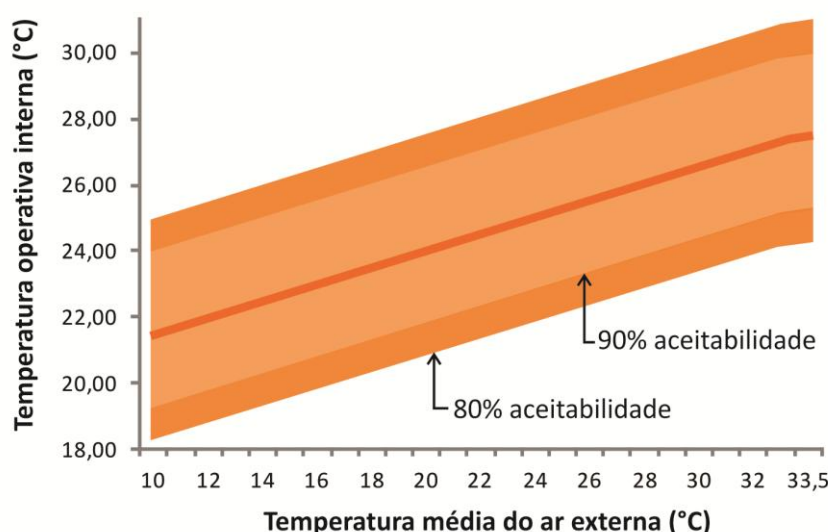


Figura 6 - Escalas de temperatura operativa interna aceitável para espaços condicionados naturalmente
Fonte: ASHRAE Standard 55 - 2004

No modelo adaptativo, os limites de umidade relativa do ar e velocidade do ar não são considerados. Yellot (1981 apud Bittencourt, 2005) afirma que:

O conforto humano parece não ser muito sensível aos aumentos da umidade quando existe movimento de ar no ambiente, se a temperatura efetiva estiver em torno daquela requerida para a obtenção do conforto térmico.

Entendendo-se com isso que, em ambientes climatizados naturalmente, essas variáveis são muito mais difíceis de controlar, e que a ventilação é controlada diretamente pelos usuários, pelo abrir e fechar das janelas, por exemplo.

2.2. Eficiência energética

A eficiência energética é um tema muito discutido no mundo, desde a 1ª crise do petróleo na década 1970. Foi nesse período que se percebeu da real necessidade de pensar em fontes renováveis de energia como forma de racionalizar o consumo de energia e, por conseguinte, aumentar a eficiência energética das

edificações, pois, afinal, os combustíveis fósseis finitos já estavam dando indícios de sua escassez. No Brasil, a questão energética só foi realmente sentida no início do século XXI, com os apagões que deixaram cidades sem energia elétrica por horas. Carlo (2008a) justifica que não é necessário comprometer o desempenho de um edifício e afirma que:

A eficiência energética é adotada em projetos de edificações a fim de racionalizar o consumo evitando desperdícios sem comprometer os serviços necessários à saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário de uma edificação. (CARLO, 2008a)

A crise energética nacional no início dos anos 2000, como já dito anteriormente, foi a comprovação de que a geração e o consumo de energia elétrica estava inadequada. Em 2001, foi promulgada a Lei nº 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001b) e estabelece que devam ser desenvolvidos mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País. O Decreto nº 4059 (BRASIL, 2001a) regulamenta a Lei e estabelece “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. A partir daí, iniciou-se o processo de criação de diretrizes para tornar o consumo de energia mais eficiente. Foram criadas as normas NBR 15.220 (2005) Desempenho Térmico de Edificações e a NBR 15.575 (2010) Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho. A parte 3 da NBR 15.220 estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro que se divide em 8 zonas no território nacional e estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Os setores comercial, público e de serviço receberam, em 2009, o RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – que considera a envoltória, a iluminação e o ar condicionado das edificações, com o intuito quantificar seu desempenho energético através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE – e classificar sua eficiência de ‘A’ a ‘E’, onde ‘A’ é o edifício mais eficiente e que cumpre com os requisitos estabelecidos no regulamento. Em outubro de 2010 o regulamento técnico teve sua versão para residências, o RTQ-R.

2.2.1. Parâmetro de análise de eficiência energética

Os parâmetros para a análise de eficiência energética são muitos e devem considerar o consumo de equipamentos e sistemas na edificação. São analisados neste estudo, graus-hora e graus-dia para aquecimento e resfriamento dos ambientes.

2.2.1.1. Graus-hora e graus-dia

Esse parâmetro de cálculo de eficiência considera a quantidade de energia consumida para aquecer ou resfriar o ambiente, e as temperaturas base variam de acordo com o índice de conforto escolhido para tal análise.

Os métodos de graus-dia são os métodos mais simples de analisar eficiência e são apropriados se o edifício utiliza equipamento de ar condicionado central e a eficiência do mesmo é constante. Onde a eficiência ou as condições de uso variam com a temperatura externa, o consumo pode ser calculado por diferentes valores de temperatura externa e multiplicado pelo número de horas correspondentes. (ASHRAE, 2009, tradução nossa)

Aquecimento

Para cálculo de graus-hora para aquecimento é estabelecida, primeiramente, uma temperatura mínima de conforto. O resultado do cálculo apresenta o número de horas vezes a quantidade de graus que estão abaixo desse limite. Considerando a análise de um ano, tem-se 8760 horas avaliadas. A partir daí é possível saber a demanda de ar condicionado ou algum outro sistema de aquecimento do ambiente.

$$GH = \sum (T_b - T_h)$$

(Equação 3)

Onde:

GH = graus-hora;

T_h = temperatura média do ambiente na hora avaliada;

T_b = temperatura base.

Resfriamento

Para cálculo de graus-hora para resfriamento é considerado a quantidade de energia necessária para restabelecer o conforto no interior do ambiente nos

períodos onde a temperatura interna está acima dos limites aceitáveis estipulados e onde a fórmula para cálculo é dada por:

$$GH = \sum (T_h - T_b)$$

(Equação 4)

Onde:

GH = graus-hora;

T_h = temperatura média do ambiente na hora avaliada;

T_b = temperatura base.

2.2.2. Sistema de iluminação

De acordo com o Gonçalves *et al* (2011) “[...] a iluminação artificial pode ser, quando utilizada com critério, um apoio fundamental para a iluminação natural, apoio muitas vezes indispensável para os casos onde ambas têm que ser utilizadas de uma forma conjunta.” Ou seja, a iluminação artificial deveria ser apenas um apoio para o déficit de iluminação necessária para dado ambiente e atividade, durante o dia.

Como consequência das medidas tomadas pelo governo, após a crise energética no início do século, como a Lei nº 10.295 de 2001, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia, a Portaria Interministerial nº 1.007 de 2010, estabelece, entre outras coisas, que as lâmpadas incandescentes terão sua fabricação e importação extintas até 30 de junho de 2015 e a comercialização extinta até 30 de junho de 2016 (BASTOS, 2011).

Com eficiência muito inferior, as lâmpadas incandescentes liberam calor para o ambiente, o que, dependendo do tamanho do local e da quantidade de lâmpadas necessárias, pode interferir no conforto, pois apenas 10% da sua energia consumida é transformada em luz, o restante é apenas geração de calor. (SILVA, 2009). A eficiência energética de lâmpadas é medida em lumens por watt (lm/W) e é a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida. Enquanto uma lâmpada incandescente normal produz de 10 a 15 lm/W, uma fluorescente compacta produz 50 a 87 lm/W, cerca de três vezes mais eficiente que a anterior. (OSRAM, 2009). Já o uso de luminária com ou sem aletas parabólicas, pintadas, de alumínio escovado

ou de alta reflexão – que fornece 100% de pureza – pode favorecer ou não a eficiência das lâmpadas nela utilizada, dependendo do seu grau de reflexão.

A primeira alternativa considerada para lâmpadas não incandescentes é a lâmpada econômica ou fluorescente compacta. As lâmpadas do tipo LED (*Light Emitting Diode*) são outra opção de baixo consumo de energia, mas estas ainda possuem preços maiores que as demais (BASTOS, 2011).

O RTQ-C estabelece duas metodologias de cálculo de eficiência energética de uma edificação: o método das áreas ou das atividades. No método das áreas, o edifício é avaliado de forma conjunta, todos os ambientes, e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação, no qual o edifício em análise deve ter no máximo 3 atividades principais ou que ocupem mais de 30% da área construída. Já no método das atividades, os ambientes são avaliados separadamente e pode ser aplicado onde o método anterior não se aplica. (INMETRO, 2010b).

2.2.3. Sistema de ar condicionado

Manter o ambiente com os limites de conforto dentro do aceitável pode aumentar o desempenho de seus ocupantes. Segundo Nogueira *et al* (2008), que considera o rendimento em sala de aula, para que o processo de ensino-aprendizagem seja eficiente é necessário que o ambiente físico seja adequado e com condições mínimas de conforto, capazes de contribuir positivamente para o desempenho das atividades dos alunos e professores. Apesar de a autora fazer considerações para instituições de ensino, o mesmo pode ser considerado para edifícios comerciais ou de serviços, onde o uso de ar condicionado pode aumentar o desempenho de trabalho de seus ocupantes, considerando esse ambiente dentro de limites aceitáveis de conforto. Mesmo sendo uma estratégia que consome boa parte de energia, até 34% (MIZGIER, 2010) de um edifício comercial, público ou de serviços, a sua utilização pode estabelecer bons níveis de temperatura, umidade e mesmo de qualidade do ar, quando a manutenção é constante e adequada, independentemente das variações climáticas externas.

Os sistemas de ar condicionado vêm sendo avaliados quanto à sua eficiência no Brasil desde 2001, sendo que desde então, todos os equipamentos de ar condicionado de janela e *split*, produzidos e importados no país, devem ser

submetidos ao INMETRO para obter a autorização de comercialização, segundo os Índices Mínimos de Eficiência Energética definidos pela Regulamentação Específica (BRASIL, 2007). Tal medida faz com que os equipamentos consumam menos energia, ou, até mesmo, possuam maior capacidade de resfriamento, ou aquecimento. Como maneira de quantificar sua eficiência, pode ser calculado seu coeficiente de performance (COP), que pode ser medido para resfriamento ou aquecimento. Segundo a ASHRAE 90.1 (2004), o COP (W/W) de resfriamento é a razão entre calor removido do ambiente e a energia consumida, e o COP de aquecimento é a razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida.

Outro indicador de eficiência energética é o *Energy Efficiency Ratio (W/W)* ou o Coeficiente de Eficiência Energética (CEE) que pode ser definido como a razão entre a capacidade total de resfriamento e a potência requerida sob condições operacionais estabelecidas. (RTQ-C, 2010). Diferentemente do COP, que considera o desempenho do equipamento tanto para resfriamento como para aquecimento, o CEE estabelece valores para resfriamento, segundo o RTQ-C (2010).

Os sistemas de ar condicionado centrais são dimensionados e projetados de acordo com a demanda necessária para determinada edificação e, por esse motivo, a maneira de verificação da sua eficiência não acontece pela etiquetagem do equipamento em si, mas sim pela determinação do seu COP. O RTQ-C possui uma metodologia específica para a definição dos níveis de eficiência dessas centrais de resfriamento, onde o coeficiente de performance deve enquadrar o equipamento dentro dos limites aceitáveis.

2.2.4. Variáveis arquitetônicas

As variáveis arquitetônicas são de grande importância para qualquer que seja o tema a ser discutido ao se tratar de edificações, visto que, segundo Ribeiro (2010), “Qualquer edificação intermedia as relações entre o meio ambiente externo e o microclima interno criado.” Ao considerá-las em conjunto com a questão de eficiência energética é necessário ressaltar que a abordagem para tal tema deve levar em consideração o consumo de energia para iluminação e climatização de um ambiente interno. Uma edificação é considerada mais eficiente quanto menos necessidade de iluminação e climatização artificial ela tiver.

Portanto, segundo Manioglu (2006), o envelope do edifício é “[...] o parâmetro mais importante do sistema passivo que afeta o clima interno, separa o espaço interno do ambiente externo e dessa forma modifica a quantidade de fluxo térmico através de si mesmo.”, sendo este o “principal determinante do clima interno” e da “demanda de energia mecânica suplementar”.

Para Lamberts *et al.*(2004), o triângulo vitruviano, que considera como as três vertentes principais da arquitetura a forma, a função e a construção, deve ser acrescido de uma quarta variável: a eficiência energética. Dessa maneira, a edificação deveria ser o reflexo da integração desses quatro parâmetros, proporcionando conforto aos seus ocupantes, com baixo consumo de energia. As normas brasileiras de eficiência energética consideram, mesmo que não explicitando esses quatro variantes, tais condições para estabelecer diretrizes construtivas aos diferentes climas e regiões do extenso território nacional.

A forma da edificação pode contribuir de maneira positiva ou negativa com a ventilação e iluminação natural e também com os fluxos térmicos. Os dois primeiros, ventilação e iluminação, podem surgir como elementos de projeto e favorecer na composição arquitetônica, conforme afirma Cunha *et al.* (2006)

[...] através do próprio desenho arquitetônico, sem outras considerações além das que dizem respeito ao lugar, clima, às orientações, à insolação, podem ser melhoradas as condições de habitat antes de se recorrer a técnicas ou sistemas tecnológicos.

A função desempenhada nos ambientes pode exigir soluções que proporcionem maior ou menor consumo de energia. O número de pessoas e a atividade desenvolvida no local geram ganhos térmicos que são imprescindíveis de serem analisados quando se considera o conforto térmico e a eficiência energética de uma edificação.

Quanto à construção, os elementos importantes a serem analisados, entre outros tantos, são os fechamentos opacos e transparentes, as propriedades dos materiais, as cores dos revestimentos externos, a composição das paredes e coberturas. As trocas térmicas que o ambiente interno faz com o externo ocorrem através dos fechamentos, que dificultam a passagem de calor de acordo com as características dos seus componentes. Fechamentos opacos, como paredes e coberturas, trocam calor por convecção, condução e radiação, assim como os

fechamentos transparentes. As trocas mais significativas acontecem pelos fechamentos transparentes (LAMBERTS *et al.*, 2004), em sua maioria vidros e plásticos, pois permitem a passagem da luz solar, que possibilita o aquecimento de componentes internos, promovendo transmissão de calor pelas superfícies internas. Suas propriedades térmicas facilitam o fluxo de calor, como transmitância térmica alta e resistência térmica baixa, favorecendo a perda de calor em estações mais frias e ganhos nas mais quentes, no entanto isso não é o mais adequado. As cores das fachadas externas podem maximizar ou minimizar a absorção de calor, dependendo do valor de sua absorptância. Cores claras, como brancas e amarelas claras, possuem baixa absorptância, ou seja, refletem grande parte da radiação que chega até elas e absorvem pouca energia. O contrário acontece com cores escuras, que absorvem grande parte da radiação e refletem muito pouco. (LAMBERTS *et al.*, 2004).

2.3. Normas e regulamentações de desempenho térmico e eficiência energética

As normas brasileiras de eficiência energética para edificações foram desenvolvidas a partir de 2001 (CARLO, 2008a), com a crise de abastecimento de energia. A lei nº 10.295, de 2001, foi a primeira medida tomada, sob forma de legislação, sobre a política de conservação e uso racional de energia. Dessa primeira ação, foram criadas as leis de eficiência energética, que são os principais instrumentos para regulamentar o consumo de energia e tornar o mercado mais competitivo.

Em 1984, o INMETRO começou a discussão acerca da racionalização do consumo de energia no Brasil, projeto que cresceu e criou o PBE --- Programa Brasileiro de Etiquetagem. (INMETRO, [entre 1993 e 2012]). Desde 2001, o PBE vem etiquetando e nivelando eletrodomésticos e, em 2010, passou a contar com o Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o RTQ-C, que vinha sendo elaborado desde 2001 pelo Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País, criado pelo Decreto nº 4059 de 2001.

A Lei e o Decreto impulsionaram ainda a criação de outras normas, como a NBR 15.220 de 2005 e NBR 15.575 de 2010.

2.3.1. Normas de desempenho de edificações

A partir de 2001, foram criadas duas normas que se relacionam ao desempenho térmico de edificações, que são: a NBR 15.220 (2005) e a NBR 15.575 (2010). A NBR 15.220 (parte 3) trata do desempenho térmico de edificação de interesse social. Já a NBR 15.575 é a norma de desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos e trata, além do desempenho térmico, do desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho acústico, desempenho lumínico, funcionalidade e acessibilidade, durabilidade e manutenibilidade e adequação ambiental, ou seja, da edificação como um todo. São as mais relevantes normas brasileiras de desempenho para edificação, até o momento. Com bases nestas, os demais regulamentos de eficiência energética de edificações (RTQ-C e RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais) foram criados. Como esse trabalho trata de conforto térmico, a análise dessas normas é imprescindível, conforme tratado a seguir.

2.3.1.1. Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social: a NBR 15.220 – parte 3

O Brasil, com seu extenso território, possuindo 8.514.876,599 km² (IBGE, 2002), pode ser considerado um país-continente e está situado a 5°16' de latitude norte e 33 45' de latitude sul, 34 47' de longitude oeste e 73°59' de longitude oeste. Essa sucinta descrição geográfica já justifica a grande variação climática das diferentes regiões do país. Por esse motivo, a NBR 15.220 – 3 define as zonas bioclimáticas brasileiras, onde os climas de 330 cidades foram classificados e definiram, dessa forma, oito Zonas Bioclimáticas, conforme Figura 7. Para cada uma delas, foram estabelecidas estratégias de condicionamento térmico passivo e diretrizes construtivas como forma de minimizar os maiores desconfortos causados pelo clima.

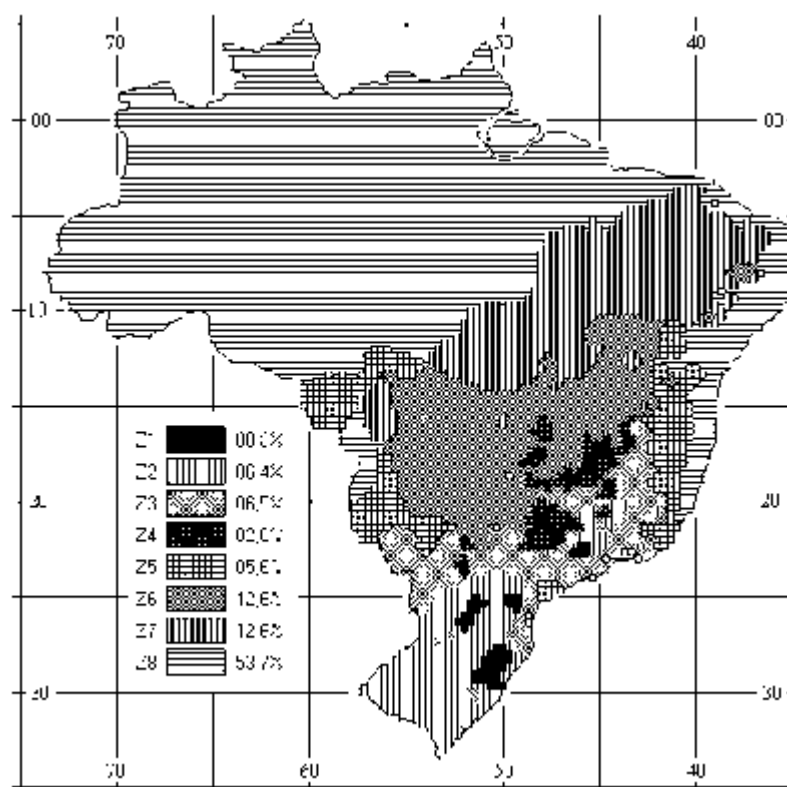


Figura 7 - Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15.220 – 3

A Zona Bioclimática 1 (ZB 1) pode também ser entendida como as áreas de maior frio no país e a qual pertencem Curitiba no Paraná e Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul, por exemplo. As estratégias de condicionamento térmico para essa zona são aquecimento solar da edificação e vedação interna pesada, esta última caracterizada como geradora de inércia térmica. Já as diretrizes construtivas indicam aberturas para ventilação de tamanho médio, permitindo sol durante o período frio. Para os fechamentos, são sugeridas parede leve e cobertura leve e isolada.

Na Zona Bioclimática 2 (ZB 2), estão situadas as cidades de Santa Maria e Pelotas, no Rio Grande do Sul, esta última, local onde se encontra o objeto de estudo desse trabalho. São descritas as estratégias de ventilação cruzada para o verão e aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas no inverno. As diretrizes são as mesmas sugeridas para a ZB 1 de aberturas para ventilação de tamanho médio, permitindo sol durante o período frio, parede leve e cobertura leve e isolada.

As cidades de Porto Alegre e Rio Grande, ambas no Rio Grande do Sul, estão localizadas na Zona Bioclimática 3 (ZB 3). Para essa, zona são estabelecidas as estratégias de ventilação cruzada no verão e aquecimento solar da edificação e

vedações internas pesadas, assim como a ZB 2. As aberturas devem ser médias e permitir o sol durante o inverno, e as paredes devem ser leves e refletoras, tendo a cobertura leve isolada.

A partir da Zona Bioclimática 4 (ZB 4), as estratégias e diretrizes começam a mostrar uma diferença maior entre zonas. Brasília está localizada nessa zona, que requer resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva no verão. Já, no período de inverno, as estratégias são de aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas. Pelas estratégias de verão, é possível considerar que tal zona compreende regiões secas do país. As diretrizes construtivas são de aberturas médias para a ventilação e sombreamento das mesmas durante todo o ano com paredes pesadas e cobertura leve e isolada.

A Zona Bioclimática 5 (ZB 5) pede por aberturas médias e sombreamento das mesmas. As paredes devem ser leves refletoras e a cobertura leve isolada. Como estratégia de condicionamento térmico é sugerida ventilação cruzada para o verão e vedação interna pesada para inverno. A cidade de Santos, em São Paulo, está localizada nessa zona.

Goiânia, em Goiás, é uma das cidades que está situada na Zona Bioclimática 6 (ZB 6) e as diretrizes construtivas para essa zona são aberturas médias para ventilação e sombreamento destas. As paredes devem ser pesadas e a cobertura leve e isolada. Já as estratégias de condicionamento térmico para o verão são de resfriamento evaporativo, massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva. No inverno, é sugerida a inércia térmica, através de vedações internas pesadas.

A Zona Bioclimática 7 (ZB 7) é caracterizada pelas estratégias de resfriamento evaporativo, massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva para verão e, como as cidades dessa zona estão mais concentradas no sertão nordestino, não há estratégias para inverno. As diretrizes construtivas são de aberturas pequenas sombreadas e paredes e cobertura pesadas. Petrolina, em Pernambuco e Picos, no Piauí, estão localizadas nesta zona.

A região que abrange o norte do Brasil e parte do litoral nordestino pode ser definida como a Zona Bioclimática 8 (ZB 8). As diretrizes são definidas por aberturas grandes e sombreadas, paredes e coberturas leves refletoras. Algumas exceções

são feitas a esta zona como, por exemplo, o uso de telhas de barro sem forro e transmitâncias maiores que o estipulado, se a cobertura for ventilada em dois beirais e em toda a extensão da fachada. Como estratégia de condicionamento térmico passivo, é sugerida a ventilação cruzada permanente. Rio Branco, no Acre, e Manaus, no Amazonas, são cidades localizadas nessa zona bioclimática.

A tabela a seguir caracteriza paredes, coberturas e abertura para cada uma das 8 zonas bioclimáticas descritas anteriormente.

Tabela 4 - Estratégias para as zonas bioclimáticas

Zona	Aberturas		Vedações externas ²	
	Ventilação ¹	Sombreamento	Paredes	Coberturas
ZB1	Médias 15% a 25% área de piso	Permitir Sol durante o período frio	Leve	Leve isolada
ZB2	Médias 15% a 25% área de piso	Permitir Sol durante o período frio	Leve	Leve isolada
ZB3	Médias 15% a 25% área de piso	Permitir Sol durante o período frio	Leve refletora	Leve isolada
ZB4	Médias 15% a 25% área de piso	Sombrear aberturas	Pesada	Leve isolada
ZB5	Médias 15% a 25% área de piso	Sombrear aberturas	Leve Refletora	Leve isolada
ZB6	Médias 15% a 25% área de piso	Sombrear aberturas	Pesada	Leve Isolada
ZB7	Pequenas 10% a 15% área de piso	Sombrear aberturas	Pesada	Pesada
ZB8	Grandes Mais de 40% área de piso	Sombrear aberturas	Leve refletora	Leve refletora

¹ - as aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

² - Propriedade dos componentes

Vedações externas		Transmitância térmica - U (W/m ² .K)	Atraso térmico - ϕ Horas	Fator solar FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: Adaptado de NBR 15.220 – 3 (ABNT, 2005)

2.3.2. RTQ-C

O Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o RTQ-C, foi o instrumento encontrado para aumentar a eficiência em edificações. Ele é composto pelo regulamento e por três documentos complementares: 1) Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações – introdução ao processo de etiquetagem. 2) RTQ-C – requisitos necessários para a classificação do nível de eficiência energética do edifício. 3) RAC-C – Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – processo de avaliação das características do edifício para etiquetagem junto ao Laboratório de Inspeção acreditado pelo INMETRO. 4) Manual para Aplicação do RTQ-C e RAC-C, detalhes e interpretações do RTQ-C e esclarecimentos sobre o RAC-C.

Com estes quatro volumes, o governo federal, no cumprimento da Lei nº10295/01, acredita estar “contribuindo para que as edificações brasileiras tornem-se energeticamente mais eficientes, mais confortáveis e mais sustentáveis.” (Brasil, 2010 – Etiquetagem de Eficiência energética de edificações). Por enquanto a etiquetagem tem caráter voluntário, mas é esperado que dentro de alguns anos ela seja obrigatória. Além de considerar a economia de energia obtida através de projetos, principalmente os que mais consomem energia, o regulamento tem como intenção implícita a melhora da qualidade das construções e dos materiais empregados nas obras.

Ao fazer a análise de uma edificação com a finalidade de obtenção da etiqueta de eficiência energética, esta deve enquadrar-se nos requisitos de área mínima de 500m² ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3kV e submeter-se a avaliação dos seguintes itens: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, considerando pesos de 30%, 30% e 40%, respectivamente. A etiqueta pode ser concedida em dois momentos oportunos, na fase de projeto e para edificação existente, e o mesmo ainda pode ser avaliado em sua totalidade ou parcialmente. Nesse caso, a classificação para envoltória deve ser para toda a edificação e para o sistema de iluminação e condicionamento de ar, que podem ser classificados por andar ou conjunto de salas. A classificação de nível de eficiência energética vai de A, para o mais eficiente, até E, para o menos eficiente.

O RTQ-C propõe duas metodologias para análise do nível de eficiência energética: pelo método prescritivo e por simulação. No método prescritivo, são calculados os equivalentes numéricos para envoltória, iluminação e ar condicionado, considerando ambientes condicionados artificialmente, para áreas de permanência prolongada.

O método de simulação considera a característica específica da edificação, ou seja, se ela é condicionada artificialmente, ventilada naturalmente ou se combina essas duas situações. Para edifícios condicionados artificialmente, são simulados o modelo real e outros quatro de referência, onde o consumo de energia do real é comparado aos demais. Já, nos ventilados naturalmente, é necessário comprovar o percentual de horas ocupadas em conforto (POC). O POC é então utilizado, juntamente com a classificação do sistema de iluminação, que é obtido pelo método prescritivo para o cálculo da pontuação total. Os edifícios que possuem os dois sistemas devem ser simulados para a obtenção do consumo das áreas condicionadas e o POC das áreas ventiladas. O programa para análise deve ser específico para consumo de energia em edificações e atender às exigências da norma americana ASHRAE Standard 140. Ele deve, ainda, modelar todas as horas do ano, separar as zonas térmicas, considerar horários de ocupação e as potências de iluminação, de equipamentos e sistema de ar condicionado para cada dia da semana e feriados. Os arquivos climáticos utilizados para a simulação devem fornecer dados horários de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar, devendo representar a Zona Bioclimática na qual o projeto analisado está situado.

A simulação pode ser descrita como a representação simplificada da realidade e, ainda assim, é o método mais preciso para avaliar a eficiência energética de uma edificação. Este trabalho vai analisar o desempenho termoenergético do Casarão 02 pelo método de simulação.

2.4. Simulação de desempenho termoenergético de edificações

Segundo Martins *et al.* (2009) “toda simulação computacional representa uma simplificação da realidade em seus níveis de complexidade, que em função dos parâmetros adotados podem levar a resultados mais ou menos precisos”.

Hensen e Lamberts (2011) afirmam que “simulação computacional é uma das mais poderosas ferramentas de análise no nosso mundo hoje – ela é utilizada para simular tudo, desde jogos, crescimento econômico até problemas de engenharia” e que “[...] prever e analisar antecipadamente o comportamento futuro do edifício é muito mais eficiente e econômico do que resolver problemas quando o edifício está na fase de uso.” Portanto, é possível dizer que a simulação que objetiva compreender e comprovar a eficácia de um sistema qualquer, para melhorar o conforto térmico e o nível de eficiência energética do ambiente existente, é a maneira mais barata e eficiente de determinar se o mesmo funciona e traz economia. Isso ainda auxilia na escolha de determinada solução, considerando custos com energia, por exemplo.

Segundo Giralt (2010), a utilização deste tipo de ferramenta torna-se ainda mais importante considerando intervenções em edificações históricas, onde qualquer alteração no edifício original pode comprometer de forma irreversível os materiais históricos e intervir de forma inapropriada. Assim, partindo da simulação do desempenho dos vários sistemas possíveis de serem implantados, considerando o grau de impacto de cada um no edifício, é possível escolher a melhor opção para cada situação.

O Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos da América possui o Diretório de Ferramentas de Programas Energéticos para Edificações, no qual é possível acessar os 407 programas computacionais cadastrados e desenvolvidos em várias partes do mundo para avaliações de eficiência energética, energias renováveis e sustentabilidade nas edificações (*Department Of Energy*, 2012). Eles podem ser acessados através desse portal e apresentam uma descrição sucinta de cada um deles.

O programa DOE-2.1E, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA para a ASHRAE, é uma ferramenta de apoio às normas por ela desenvolvida. Tal *software* analisa o desempenho energético e as operações de custo de ciclo de vida de edificações. (*Department Of Energy*, 2012).

Os criadores dos programas BLAST e DOE-2.1E desenvolveram um terceiro programa, o *EnergyPlus*, que une as potencialidades dos dois anteriores. Ele possibilita a avaliação de aquecimento, resfriamento, iluminação, outros fluxos de energia e uso de água. (*Department Of Energy*, 2012). “[...] é um dos programas

mais confiáveis e utilizados no mundo atualmente, pois opera de acordo com as normas ASHRAE 90.1 (1999) e ASHRAE 140 (2004)” (POUEY, 2011). Seu *download* pode ser feito gratuitamente pelo *site* do programa, junto com mais de dois mil arquivos climáticos de todo o mundo. É uma das ferramentas computacionais de desempenho termoenergético com ampla aceitação pelos pesquisadores e, mesmo assim, ainda é considerada uma ferramenta pouco amigável.

O trabalho de Melo (2007) descreve rapidamente uma série de programas de simulação computacional, que possibilitam a análise termoenergética de edificações. A autora apresenta alguns estudos feitos a partir do início dos anos 1990, no Brasil, com diferentes programas e descreve mais detalhadamente o *EnergyPlus*.

Menezes (2005) afirma que o mais importante a ser considerado em programas de simulação são a precisão dos resultados e a sua eficiência, já que nem sempre é possível conciliar a esses fatores uma redução de complexidade dos problemas. O autor faz uma descrição e análise de 8 diferentes *softwares* que avaliam desempenho térmico e uma exposição mais aprofundada do já mencionado *EnergyPlus*.

Portanto, os autores acima citados contextualizam o panorama brasileiro em relação à simulação computacional de desempenho termoenergético das edificações. É conhecido que muitos outros recursos estão disponíveis no mercado, com desempenho superior, inferior e mesmo equivalente ao testado para essa pesquisa.

Outro programa de simulação que vem sendo desenvolvido por convênios entre a Eletrobrás e a PUCPR, pelo Laboratório de Sistemas Térmicos, é o Domus. Este *software* avalia o desempenho higrotérmico e energético de edificações e permite a simulação a partir de 4 diferentes categorias de dados de entrada: a edificação; ganhos internos (incluindo a geração de vapor e mobiliário), climatização (HVAC) e energias (incluindo as renováveis). Logo, é possível simular considerando dois parâmetros: os parâmetros gerais, que são simulados considerando dados do local, do clima, do solo, a ventilação natural, a infiltração de ar, os intervalos de simulação e de relatórios. Há também os parâmetros das zonas que avaliam os modelos de umidade e os coeficientes de convecção. Os resultados são visualizados a partir de 6 diferentes conjuntos de dados de saída: conforto térmico, energia, mofo,

paredes (com dados de perfil de temperatura, umidade, pressão de vapor, etc.), climatização (HVAC) e eficiência energética (RTQ-C, RTQ-R), avaliação de conformidade. Os resultados no modelo RTQ permitem a avaliação de edifícios comerciais e residenciais e podem ser pelo método prescritivo ou de simulação. Para fins de pesquisa, esse programa permite avaliações de pressão de vapor, umidade, temperatura, fluxos de calor e radiação das paredes e o risco de crescimento de mofo (DOMUS, 20--).

O programa de simulação escolhido para a análise termoeenergética dessa pesquisa é o *EnergyPlus* com a interface do *DesignBuilder*. Martins *et al.* (2009) afirma que o *EnergyPlus*, com “[...] sua interface através do *DesignBuilder*, permite o acionamento de diversos dispositivos através de padrões de uso e valores de variáveis ambientais internas e externas.” Ele vem sendo utilizado na disciplina de Simulação Computacional de Eficiência Energética em Arquitetura, do PROGRAU/UFPel, o que facilitou o aprendizado e a aplicação da ferramenta, bem como a troca de informações com demais usuários e acesso ao *software* através do LabCEE, além das vantagens descritas a seguir.

“O *DesignBuilder* é a primeira interface compreensível pelo usuário para o mecanismo de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*” (*DesignBuilder*, 20--). Ele foi criado especificamente para ser usado em qualquer estágio do processo de projeto. É possível importar a geometria do edifício em 2D, o que permite traçar blocos e partições a partir das plantas, e, também, modelos 3D usando a extensão gbXML, o que permite utilizar projetos desenvolvidos em *softwares* de tecnologias CAD (*Computer Aided Design*) ou BIM (*Building Information Modeling*). Ele permite a avaliação de desempenho térmico pela transmissão de calor através da envoltória da edificação e a obtenção de dados de saída de conforto, como, por exemplo, o PMV de Fanger e a ASHRAE 55. O consumo de energia pode ser avaliado por uso final ou pelo combustível utilizado e ainda resultar em dados horários, diários, semanais, mensais ou anual.

A ventilação natural pode ser configurada pela abertura de esquadrias a partir da definição de uma temperatura base e as janelas modeladas detalhadamente com caixilhos, divisões e o alinhamento em relação à espessura da parede. É possível simular diferentes sistemas de climatização (HVAC) e de vários

tamanhos, iluminação natural, estratégias de sombreamento, fachadas duplas e mais.

2.5. Intervenções em edifícios históricos

Considerando que um dos objetivos do trabalho é a análise de possíveis medidas corretivas para o aumento do nível de eficiência energética, ao se tratar de edificações históricas, em especial os bens tombados, é importante saber que existem metodologias de intervenção para restauração, reforma e ou reabilitação de tais imóveis.

As referências importantes de serem analisadas sobre esse assunto não podem deixar de passar pelas Cartas Patrimoniais, que são resultantes, em sua maioria, de discussões e estudos feitos para congressos em todas as partes do mundo. A Carta de Veneza, de 1964, a Carta de Atenas, de 1931, a Carta de Restauro, do governo da Itália, de 1972, Declaração de Nairobi de 1982, Recomendações de Paris, de 2003, e a Carta de Brasília, de 1995, são algumas das referências essenciais para estudos que abordam a questão patrimonial.

O IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) possui uma biblioteca virtual com a relação das cartas patrimoniais, publicações, legislação e outros documentos que subsidiam suas ações e auxiliam os profissionais do restauro durante a fase de projeto e da obra. O principal documento produzido pelo IPHAN é o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural, que tem como objetivo “orientar e sistematizar a Elaboração de Projetos para Preservação do Patrimônio Edificado e de Espaços Públicos Urbanos integrantes do Patrimônio Cultural, protegido na forma da legislação pertinente.” (BRASIL, 2005a). Esse documento apresenta diretrizes para projetos em edificações históricas tombadas a fim de salvaguardar as características arquitetônicas e culturais do bem tombado, com o mínimo de interferência possível. Os materiais e técnicas construtivas adotados na obra devem ser similares aos da edificação original e o projeto deve ser aprovado pelo próprio IPHAN.

O Projeto de Intervenção no Patrimônio Edificado é dividido em três etapas: 1º Identificação e Conhecimento do Bem; 2º Diagnóstico; 3º Proposta de Intervenção, contendo estudo preliminar, projeto básico e projeto executivo.

A primeira etapa conta com toda a pesquisa histórica e os levantamentos físicos da edificação, que contêm representações gráficas e fotográficas mais detalhadas possíveis. As representações gráficas constituem todos os desenhos técnicos de situação, localização, plantas baixas, cortes, fachadas, plantas de coberturas. As fotografias, que devem ser externas e internas, auxiliam na compreensão do estado de conservação no momento do levantamento, anterior a intervenção. Em uma planta esquemática deve ser indicado o local das fotos. Nessa etapa, é possível, através desses documentos, relatar a situação do bem, o sistema construtivo e os materiais.

Na segunda etapa, todos os danos e patologias são indicados nos levantamentos previamente feitos na etapa anterior. O estado de conservação é diagnosticado nessa etapa e, quando necessário, são feitos testes e ensaios para análise dos materiais da construção.

A proposta de intervenção é a terceira etapa do processo e é o estudo preliminar que apresenta soluções e propostas de intervenção e uso da edificação. Os documentos elaborados nessa parte servem para subsidiar a consulta prévia. O projeto básico de intervenção faz o detalhamento dos aspectos técnicos, conceituais, quantitativos e executivos, já considerando a execução da obra. É recomendado que essa parte seja aprovada pelo IPHAN e demais órgãos competentes antes do início do projeto executivo. Esse último item consiste em detalhar todas as etapas da execução da obra, com descrição de materiais e técnicas para a perfeita compreensão dos serviços. Pode conter ainda planilhas orçamentárias e cronograma físico-financeiro, quando acordado com o proprietário.

Os projetos complementares quando necessários “deverão observar, como premissas básicas, o mínimo de intervenção possível, adequação, compatibilidade e, principalmente, respeito aos valores estéticos e culturais da edificação, objeto de intervenção.” (BRASIL, 2005a).

As intervenções feitas em uma edificação histórica devem respeitar as características arquitetônicas presentes com menor descaracterização possível, pois,

Tão importante quanto à manutenção dos materiais e dos aspectos estéticos do Bem é a garantia da preservação da autenticidade dos

processos construtivos e suas peculiaridades, evitando o uso de técnica que seja incompatível e descaracterize o sistema existente. (BRASIL, 2005a)

Dessa forma, as propostas de intervenção nesse tipo de edificação devem ser submetidas ao IPHAN, com todos os detalhes e justificativas pertinentes a sua aplicação, para aprovação do projeto e posterior execução do mesmo. Intervenções mais simples, de manutenção, por exemplo, como pinturas, substituição de materiais danificados, revisões da cobertura, poderão ser dispensadas em algumas partes das etapas de Projeto. Intervenções maiores, mais complexas, exigem detalhamentos mais específicos e podem ser solicitadas complementações por parte da Unidade Regional do IPHAN. (BRASIL, 2005a).

Em todo o caso, o conhecimento das cartas patrimoniais e documentos internacionais, assim como o bom senso para aplicação dos mesmos, são de fundamental importância para a elaboração do projeto de restauro, que só será executado após a aprovação do IPHAN.

2.6. Pesquisas realizadas em eficiência energética em edificações históricas

O trabalho que vem sendo realizado por Giralt (2010) toma como sítio a cidade de Porto Alegre e tem pré-selecionadas aproximadamente 20 edificações históricas representativas e relevantes para a cidade do período colonial até meados do século XX. Os edifícios selecionados para análise são de usos institucionais, administrativos e culturais. O estudo tem como objetivo a avaliação de desempenho térmico e de eficiência energética de prédios históricos e também estabelecer um método de avaliação de desempenho termoenergético para edificações a serem restauradas e recicladas.

Inicialmente, Giralt (2010) faz um apanhado sobre trabalhos desenvolvidos em outras partes do mundo a respeito da questão de conforto ambiental em edificações históricas. Ele ressalta que os estudos já desenvolvidos apresentam o mesmo argumento de que “prédios históricos, sujeitos a reciclagem, renovação ou restauração são edificações predispostas ao conforto ambiental e a eficiência energética, em função de suas características formais e técnico-construtivas.” (GIRALT, 2010).

Bezerra (2003) afirma que

A reutilização do patrimônio construído adaptando-o para novo uso é uma solução que atende a custos de construção, que na maioria dos casos resultam menores que os custos de uma nova obra, devido ao aproveitamento de estruturas e infraestruturas existentes.

Nesse trabalho, Bezerra (2003) analisa a intervenção em dois edifícios históricos no “Centro Velho” da cidade de São Paulo, com o objetivo de estabelecer diretrizes gerais para questões de conforto ambiental, em toda a sua abrangência, em edificações históricas intervencionadas. A autora justifica que o desconforto térmico pode comprometer o rendimento de atividades laborais e que por isso as condições de conforto devem ser atendidas pela edificação. Os índices de conforto térmico utilizados no seu trabalho são Givoni e o PMV de Fanger e as avaliações foram feitas por Avaliação Pós-Ocupação (APO), através de questionários aplicados aos usuários e por avaliação técnica da construção com medições *in loco*. Após as avaliações, foram feitas diretrizes de projeto para edifícios tombados, nas quais cada um dos assuntos do conforto ambiental foi abordado. As questões de iluminação e térmica foram agrupadas e receberam diretrizes como “Utilizar lâmpadas de baixo consumo energético e alta vida útil no sistema de iluminação artificial.” e “Avaliar as características de desempenho térmico do edifício, incluindo-se aí a ventilação natural.”

O conhecimento do clima e como este interage com a construção e com as necessidades dos usuários, como também da função que abriga a edificação é ressaltado por Ribeiro (2010). Em seu trabalho, a autora avalia o conforto ambiental em prédio de valor cultural, em específico, prédios que são ocupados por museus. As questões climáticas para esse uso são determinantes para a preservação do seu acervo e também devem atender de maneira adequada as exigências das pessoas que o visitam ou ali trabalham. Ela destaca que as questões de umidade devem ser consideradas não somente em relação ao ar, mas também em relação aos materiais que tendem a entrar em equilíbrio com o ambiente. A ventilação é um aspecto que pode ser tratado de maneira favorável ou ser considerado indesejável, pois ao mesmo tempo em que ela favorece a entrada de ar fresco, pode possibilitar a dispersão de poluição no interior da edificação. Outro destaque que é feito em relação aos museus e que deve ser bem estudado é a questão da iluminação natural

que pode danificar objetos do acervo decorrente dos raios UV. Para concluir o trabalho, a autora destaca a importância de conhecer o clima e o comportamento do edifício em relação ao mesmo, para, de uma maneira mais adequada, encontrar soluções às questões de conforto e das necessidades que existem no programa de um museu.

Os trabalhos para a preservação de nosso patrimônio edificado necessitam diversificar as formas de intervenção em prédios de valor cultural, discernindo, de acordo com as características do imóvel, a adequação e a necessidade de ação visando sua restauração, sua conservação e/ou sua reciclagem. (BEZERRA, 1993)

O trabalho de Bezerra (1993) avalia quatro sobrados na cidade do Rio de Janeiro e parte da premissa que o conforto seria utilizado como instrumento de preservação. A análise por simulação computacional é direcionada ao comportamento térmico de prédios de valor cultural e tem como objetivo o desenvolvimento de metodologia de trabalho unindo conforto ambiental de espaços construídos e preservação através da reciclagem destes imóveis. Cada um dos sobrados foi avaliado individualmente, sendo considerado uso, posição na quadra, características arquitetônicas, para posterior proposição de alterações, como por exemplo, retirada de aparelhos de ar condicionado da fachada e criação de poços de luz e ventilação natural, proposição de ventilação mecânica oculta na cobertura com abertura na platibanda para tomada de ar. Os parâmetros de conforto são extraídos da NBR 6401 – Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto (1980), considerados, no trabalho, como pertinentes mesmo que os sobrados não utilizem recursos mecânicos para obtenção de condições de conforto.

3. Método de pesquisa

A pesquisa tem o Casarão 02, na Praça Coronel Pedro Osório, em Pelotas, como objeto de estudo e sua abordagem pode ser classificada como quantitativa na obtenção de dados climáticos e de conforto, e qualitativa na análise e apresentação dos resultados desses dados.

3.1. Etapas de pesquisa

A presente dissertação foi desenvolvida em 7 etapas caracterizadas a seguir.

Na primeira etapa, é caracterizado o objeto, apresentando-se o Casarão 02 com suas técnicas construtivas, materiais e tipologia arquitetônica e onde os resultados dos levantamentos *in loco* são descritos para objetivar o entendimento do uso dos ambientes de trabalho pelos usuários.

Na segunda etapa, o modelo da edificação do Casarão 02, é configurado e simulado com o auxílio do programa de simulação computacional *DesignBuilder*, versão 3.0.0.105. A modelagem considera as características descritas na etapa anterior.

Na terceira etapa, é analisado o desempenho térmico da construção a partir da simulação feita na etapa 2. Essa análise é realizada com base no modelo adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE – 55 (2010).

A análise da eficiência energética, considerando o indicador graus-hora é feita na quarta etapa, na qual são utilizados os dados obtidos na simulação computacional. Os limites de conforto usados com parâmetro dos graus-hora são estipulados na etapa 3 e são analisados tanto para resfriamento como para aquecimento.

Na quinta etapa, a eficiência energética da edificação é analisada considerando o consumo de energia e avaliada pelo RTQ-C, método de simulação. A envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de ar condicionado são considerados. Nessa etapa, o Casarão 02 recebeu seu equivalente numérico e o seu nível de eficiência energética foi determinado.

Na sexta etapa, são propostas possíveis medidas corretivas a partir do resultado do nível de eficiência energética determinado na etapa anterior, com o intuito de alcançar o nível A.

Na sétima etapa, é avaliada a viabilidade das possíveis propostas corretivas nas questões de economia e de eficiência. A análise é feita a partir do *pay-back* simples e do custo de energia conservada (CEC).

3.2. Caracterização do objeto

O histórico e os levantamentos feitos minuciosamente para as obras de restauro do Casarão 02 foram gentilmente cedidos pela SeCult. As referidas informações muito auxiliaram no processo de modelagem no *DesignBuilder* pela riqueza de detalhes existentes nas planta baixa, cortes e fachada. Como forma de complementar as informações de uso, operação de janelas, sistema de iluminação e de percepção dos usuários do espaço, foram realizados a partir de levantamentos *in loco*. As informações obtidas permitem a complementação dos dados obtidos com a SeCult e utilizados para a simulação computacional e, também, possibilitam verificar se os parâmetros escolhidos para analisar o conforto térmico aproximam-se da realidade descrita.

A residência do Charqueador José Vieira Vianna, ou Casarão 02, como é conhecida, foi originalmente construída antes de 1830, em estilo colonial. Em 1880, no auge da produção de charque e do desenvolvimento econômico em que Pelotas se encontrava, a edificação sofreu uma drástica reforma de fachada, passando do estilo luso-brasileiro ao eclético, que estava sendo amplamente difundido na Europa. Em 15 de dezembro de 1977, acontece o tombamento do Casarão 02 em nível federal, pelo IPHAN, juntamente com as casas 6 e 8, que resultou na criação da Fundação Museu de Pelotas. A fundação tinha o objetivo de restaurar as casas a fim de preservar o acervo de edificações históricas da cidade. A partir de seu tombamento, o Casarão 02 recebeu por vezes obras de restauro. A primeira

aconteceu com o empenho do professor Adail Bento Costa e teve sua paralisação devido à morte do mesmo. Mas foi apenas em 2004 que, com verbas do Programa Monumenta³, a obra de restauração de toda a edificação foi executada, sendo entregue e aberta à visitação em 2005. O edifício abriga hoje a Secretaria Municipal de Cultura – SeCult – e o Centro Cultural Adail Bento Costa.

3.2.1. Implantação e orientação

Sua tipologia em U com pátio interno, na esquina da Praça Coronel Pedro Osório possui a fachada principal para orientação oeste e a fachada lateral, mais extensa, para orientação sul (Figura 8).



Figura 8 – Praça Coronel Pedro Osório – destaque Casarão 02

Fonte: Google maps

Os ambientes da fachada oeste, do primeiro e segundo pavimentos, estão expostos à grande incidência de radiação solar direta na parte da tarde. Essa característica pode ser desfavorável nesta fachada nos períodos de verão, quando a estratégia de aquecimento passivo não é desejada. Já no período de inverno, essa situação pode ser favorável para o desconforto oriundo do frio. É importante ressaltar que o Casarão funciona em dois turnos (manhã e tarde), e os usuários da

³ O MONUMENTA é um programa estratégico do Ministério da Cultura. Ele atua em cidades históricas protegidas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan). Sua proposta é de agir de forma integrada em cada um desses locais, promovendo obras de restauração e recuperação dos bens tombados e edificações localizadas nas áreas de projeto. Ministério da Cultura (Disponível em: <http://www.monumenta.gov.br/site/?page_id=164> acessado em 06 de setembro de 2011)

sala 25, do 2º pavimento, têm seu período de trabalho organizado de maneira que esta seja utilizada nos horários de menor incidência solar no verão, ou seja, apenas no turno da manhã (Figura 10).

O pavimento térreo é ocupado pelo Museu Adail Bento Costa, sendo que quatro salas são de exposições artísticas temporárias (salas 04, 05, 11 e 12), duas de exposição permanente (salas 09 e 10), três com usos administrativos (salas 07, 14 e 16) e as demais estão fechadas, vazias ou não possuem uma atividade específica. De qualquer modo, é possível transitar e visitar todos os ambientes.

A Secretaria Municipal de Cultura ocupa todo o segundo pavimento. A principal função desenvolvida nesse andar é de escritório (salas 22, 23, 25, 27, 30, 31, 32 e 34), contando ainda com uma copa (sala 24), sala de reuniões (sala 29) e circulações (escadas – 26 e 33 – circulações – 28, 35 e 35a).

3.2.2. Características construtivas

O grande número de aberturas em todo o casarão e sua tipologia em U no térreo e em L, no segundo pavimento, com pátio interno, favorece a ventilação natural cruzada e a iluminação natural (Figura 9). Isto possibilita regular a incidência do sol em horários desfavoráveis pela operação das janelas que são de duas folhas de abrir com postigo de madeira. Durante o inverno, os postigos podem dificultar a perda de calor para o exterior, pois quando fechados, aumentam a resistência térmica das janelas. As janelas de edificações históricas eram utilizadas em número adequado a favorecer a ventilação e iluminação natural, diferente dos panos de vidro, tão comumente vistos atualmente, com função estética apenas.

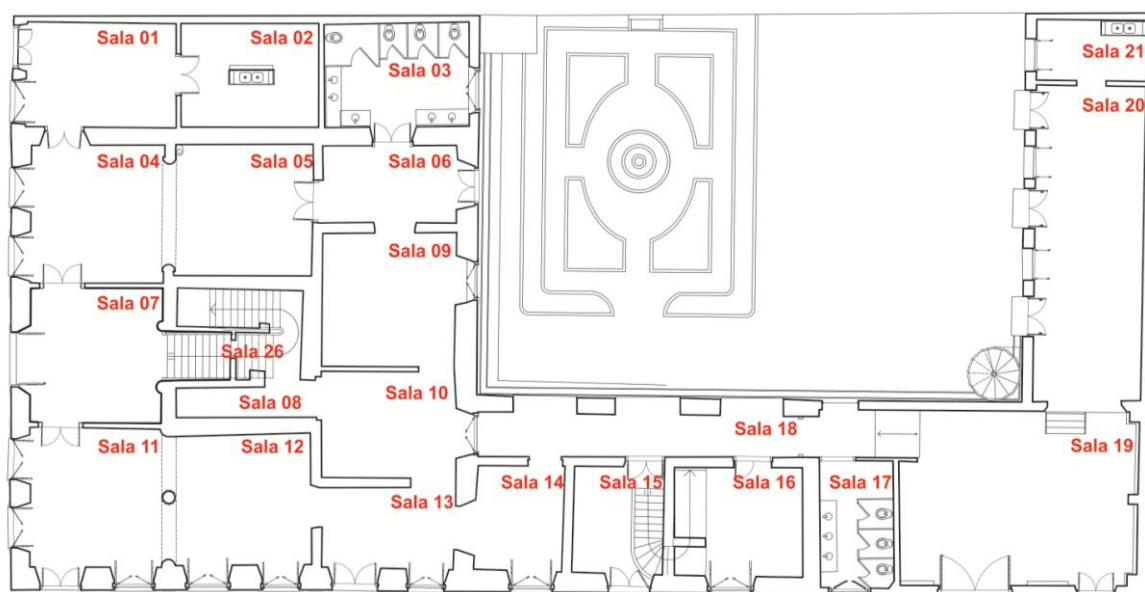


Figura 9 - Planta baixa térreo

Fonte: Adaptado de SeCult (2005)

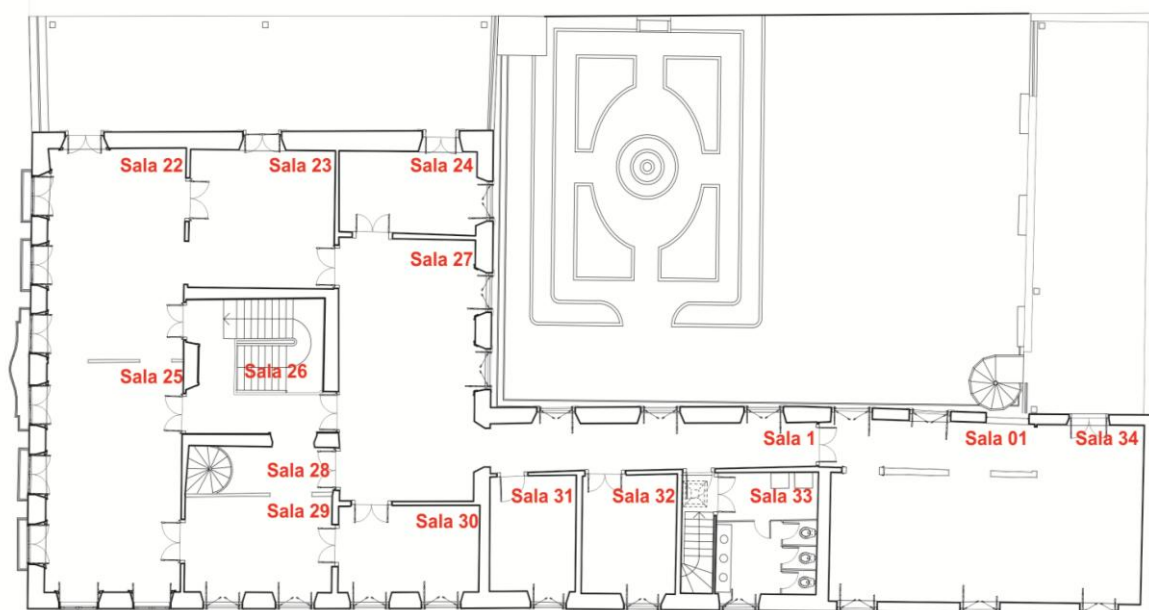


Figura 10 - Planta baixa segundo pavimento

Fonte: Adaptado de SeCult (2005)

A edificação construída em alvenaria portante de tijolos maciços, com grande massa térmica, favorece a inércia térmica nos ambientes interiores. As paredes externas do térreo possuem espessuras entre 24 e 91 cm e as paredes externas do 2º pavimento espessuras entre 27 e 72 cm e são rebocadas com argamassa de cal. O calor elevado do exterior tem mais dificuldade de chegar ao interior da edificação devido a essa característica construtiva. As trocas mais significativas de ganhos e perdas térmicas acontecem pelas aberturas que, ao

serem desobstruídas, possibilitam a entrada do ar frio ou mesmo quente, e que, pela livre operação dos usuários, podem manter a temperatura interna mais amena. Mesmo no verão, nos ambientes onde a incidência de radiação solar é muito grande, as janelas da fachada mais problemática são mantidas com os postigos fechados e abrem-se as demais esquadrias para favorecer essa ventilação natural sem ganhos desnecessários. O pé direito elevado aumenta o volume de ar do ambiente e mantêm o ar quente longe da zona de ocupação.

O casarão não possui sótão habitável ou porão ventilado com 'gateiras', desfavorecendo o conforto e favorecendo o aparecimento de umidade. O entrepiso da edificação de dois pavimentos é composto de forro de madeira, camada de ar e assoalho de madeira. A cobertura é de telha de barro, tipo capa e canal, com grande inclinação e com forro de madeira. Parte do piso do primeiro pavimento é de ladrilhos hidráulicos e o restante é de assoalho de tábua corrida, assim como o segundo pavimento. A Figura 11 apresenta a representação das paredes, pisos, entrepisos e cobertura.

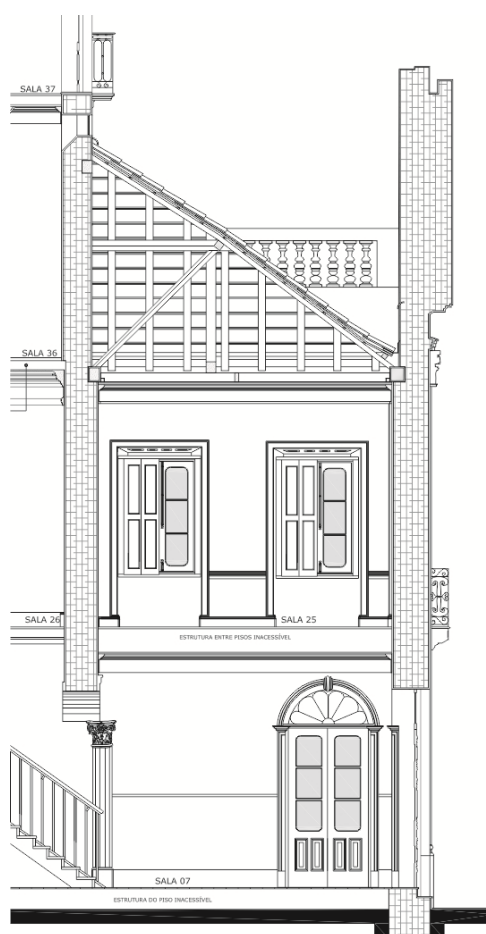


Figura 11 - Corte parcial Casarão 02.

Fonte: Adaptado de SeCult (2005)

A tabela 5 apresenta as propriedades dos materiais e a tabela 6 apresenta os resultados da transmitância e da capacidade térmica dos componentes do Casarão 02. A espessura das paredes consideradas para os cálculos e simulação é resultante de uma simplificação das plantas – térreo e segundo pavimento – onde as variadas espessuras foram agrupadas para representar as de maior ocorrência. Os detalhes dessa simplificação são apresentados no item 3.3.2.2.

Tabela 5 - Condutibilidade dos materiais

Materiais	Tijolo	Argamassa de cal	Madeira – forro e piso	Telha cerâmica
Condutibilidade Térmica	0,7 W/(m.K)	0,7 W/(m.K)	0,29 W/(m.K)	0,7 W/(m.K)

Fonte: NBR 15.220 – 02 (ABNT, 2005)

Tabela 6 - Transmitância térmica e capacidade térmica dos componentes

	Paredes (espessuras em cm)										
	22	36	44	50	54	63	68	72	78	82	87
U W/(m².K)	2,68	1,99	1,76	1,59	1,50	1,32	1,25	1,22	1,12	1,07	1,05
C _T kJ/(m².K)	391	625	768	894	960	1095	1183	1233	1134	1199	1409
	Telhado		Pisos								
			Assoalho térreo			entrepiso			terraço		
U W/(m².K)	1,92		1,95			2,01			1,32		
C _T kJ/(m².K)	41		25			50			268		

3.2.3. Levantamentos *in loco*

Nesse item, são apresentados a metodologia e os resultados dos levantamentos *in loco*. Os levantamentos são realizados a partir de observações feitas no local a fim de descrever como o edifício encontra-se atualmente. Eles foram feitos com o intuito de complementar a caracterização do objeto com as informações não contempladas no projeto de restauro cedido pela SeCult, como o número de pessoas que ocupam a edificação e os horários de permanência. A iluminação artificial e os equipamentos são contados e descritos de acordo com sua característica. Os dados coletados podem ser consultados nos Apêndices A e B.

Como apoio aos levantamentos *in loco* foram aplicadas técnicas de Avaliação Pós-Ocupação. A Avaliação Pós-Ocupação (APO) “[...] pode ser definida como o ato de avaliar edifícios em uma maneira rigorosa e sistemática após eles

terem sido construídos e ocupados por algum tempo” (PREISER e VISCHER, 2005) o que não é o assunto principal a ser abordado nesta pesquisa.

Os resultados aqui descritos foram direcionados para as questões de conforto térmico e como complementação dos levantamentos já obtidos. A avaliação possibilitou a definição da operação das esquadrias, no programa de simulação computacional, de acordo com os relatos dos usuários e aproximou ainda mais a simulação do real.

No final de 2010, foi realizado o primeiro levantamento sobre o número de funcionários, o que contabilizava 25 (vinte e cinco) usuários permanentes. A partir disso, foram estabelecidas três técnicas que pudessem responder de forma confiável quanto ao conforto térmico do Casarão e ao uso dos espaços.

As técnicas escolhidas foram questionário, percurso de observação e entrevista com usuários e foram aplicadas em conjunto no mesmo período do ano, dia 20 de junho de 2011, entre 9h e 11h. O questionário precisou ser aplicado em duas etapas, pois os funcionários trabalham em dois turnos, manhã e tarde. Então, a segunda etapa foi aplicada dia 29 de junho de 2011, a partir das 14h. Ambos os dias estavam nublados e com temperaturas baixas, 13°C e 8°C respectivamente, conforme medido no local na hora da coleta de dados.

Com base no trabalho de Vianna e Romero (2002), o questionário foi formulado com perguntas quanto ao conforto térmico no momento da aplicação, em diferentes horas do dia, considerando verão e inverno, ventilação natural e operação de janelas pelos usuários. As respostas foram obtidas a partir de uma escala de 5 (cinco) pontos que ia de “péssimo” a “ótimo”. A expectativa era coletar 25 (vinte e cinco) ou mais questionários, mas no final foram obtidos apenas 20 (vinte) respondentes. Essa quantidade limitada foi estipulada de acordo com o número de ocupantes permanentes do Casarão 02, ou seja, os funcionários do local e os que se encontravam presentes no momento de sua aplicação. O questionário completo pode ser conferido nos apêndice C deste trabalho.

O percurso de observação considerou os espaços ocupados da edificação e observou o seu uso, como também os equipamentos existentes em cada ambiente e o comportamento dos seus ocupantes. Essa parte da avaliação pôde ajudar nas correções da simulação computacional de desempenho térmico, que considera

equipamentos e ocupação para cálculos de densidade de carga interna, trazendo essa ferramenta para o mais perto da realidade possível.

A terceira e última técnica aplicada foi a entrevista. Em decorrência do número restrito de pessoas ocupantes do Casarão 02, foram feitas 3 entrevistas.

Um dos entrevistados, que ocupa a sala do segundo pavimento da fachada oeste, afirma que, durante a tarde no verão, o ambiente torna-se tão quente a ponto “*de se passar mal*” (informação verbal)⁴, e que a iluminação natural nesse período é prejudicada devido ao ofuscamento decorrente da incidência solar direta e, portanto, os postigos são mantidos fechados no horário das 14 às 18 horas, sendo necessária a utilização da iluminação artificial.

Os demais usuários relatam a característica da edificação, dizendo que o conforto térmico do ambiente é “ótimo, e por se tratar de prédio histórico com paredes espessas e pé-direito alto, conserva a temperatura acima ou abaixo da externa” (informação verbal)⁵. Durante a aplicação dos questionários foi possível constatar que as janelas são utilizadas de maneira adequada, sendo abertas portas internas e janelas no verão – favorecendo a ventilação cruzada, mantendo os vidros fechados no inverno – o que auxilia, inclusive, a entrada de radiação solar e o aquecimento solar passivo dos ambientes.

As informações coletadas dizem respeito às salas ocupadas e os relatos mais significativos foram aqueles referentes ao desconforto pelo calor, principalmente, na sala da fachada oeste. Esses dados ajudam no entendimento do funcionamento dos espaços e auxiliam na configuração de operação de janelas e horários de ocupação, informações necessárias para a simulação computacional.

⁴ Depoimento de funcionário da SeCult obtido por entrevista em 20 de junho de 2011.

⁵ Depoimento de funcionário da SeCult obtido por entrevista em 20 de junho de 2011.

3.3. Modelagem e simulação do caso base

Para simulação computacional do desempenho termoenergético do Casarão 02 é utilizado o *software DesignBuilder* versão 3.0.0.105.

As análises de eficiência energética da edificação são feitas a partir do RTQ-C que possui pré-requisitos específicos para essa metodologia, os quais são cumpridos pelo o programa escolhido. O programa deve ser de simulação de consumo de energia em edificações, deve modelar todas as horas do ano (8760 horas), deve ser validado pela norma americana ASHRAE Standard 140, modelar as diferentes ocupações e horários do edifício, entre outras. O RAC, Requisitos de Avaliação da Conformidade, especifica que para ambientes ventilados naturalmente a documentação a ser entregue para análise por simulação deve conter: planilhas de horas ocupadas durante um ano; quantidade de trocas de ar por hora nesses ambientes; dados de saída das temperaturas operativas de conforto em planilha eletrônica; dados de saída dos graus-hora com as temperaturas base de 18°C para aquecimento e 26°C para resfriamento para todo o ano. O *DesignBuilder* cumpre com as exigências do RTQ-C e fornece os dados de saída necessários para a elaboração das planilhas e informações requeridas pelo RAC.

As configurações e dados adotados para o programa estão descritos a seguir.

3.3.1. Arquivo climático

Pelotas ainda não possui um arquivo climático próprio, e por isso o utilizado para a simulação é o de Santa Maria (BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.epw), que está situada na mesma zona bioclimática, ZB 2 (NBR 15.220 – 3). É importante considerar que, embora as duas cidades estejam situadas na mesma zona bioclimática, algumas de suas características climáticas diferem-se (POUEY, 2011), e a simulação por esse arquivo climático, apesar de acordar com a norma e com os requisitos do RTQ-C, é apenas aproximada.

3.3.1.1. Temperatura do solo

A temperatura do solo foi obtida pelo *Slab*, programa complementar do *EnergyPlus*, que calcula a temperatura média mensal do solo a partir da temperatura

média do ar interna e da temperatura média externa. O edifício em estudo já modelado é simulado para a obtenção das temperaturas internas médias. Essas temperaturas, então, são inseridas no *EnergyPlus* para criação de um IDF e das temperaturas mensais médias a serem utilizadas nas configurações de temperatura de solo.

3.3.2. Modelagem

O processo de simulação computacional acontece a partir de uma modelagem detalhada da edificação. É nessa fase que todas as informações coletadas sobre a edificação são analisadas e montadas de maneira a corresponder de forma mais próxima a realidade, mesmo que de forma simplificada. O modelo é desenhado a partir das plantas baixas do térreo e do 2º pavimento, considerando o pé direito de cada ambiente e todas as aberturas de portas e janelas. A modelagem no *DesignBuilder* é limitada em se tratando de paredes não ortogonais, que no caso dessa construção histórica, são praticamente todas. Por isso, algumas adaptações e simplificações precisam ser feitas para não prejudicar os resultados da simulação.

3.3.2.1. Definição das zonas térmicas

Zonas térmicas podem ser definidas, de uma maneira generalista, como “[...] volumes de ar a uma temperatura uniforme delimitados por superfícies transferentes de calor” e “[...] são um conceito térmico e não geométrico [...]” (DOE, 2011 *apud* SOUZA e ALSAADANI, 2012, tradução nossa). Portanto, espaços com as mesmas características, como orientação solar, materiais, relação com os demais compartimentos, mesmo perfil de carga térmica, podem ser simplificados de vários ambientes, para apenas uma zona térmica.

Para a modelagem do Casarão 02, elas foram definidas de acordo com a planta original da edificação, onde cada compartimento é uma zona térmica, pois as análises consideram cada ambiente de permanência prolongada individualmente. No *DesignBuilder*, a delimitação de cada zona acontece de eixo a eixo das paredes internas e até a face interna da parede externa.

3.3.2.2. Construção do modelo

A configuração do envelope do edifício é feita a partir das características construtivas da edificação, algumas obtidas junto à SeCult e outras por observações feitas no local. As espessuras das paredes foram analisadas a partir das plantas baixas. Já a sua composição foi configurada com base nas medidas de um tijolo encontrado na Secretaria e que, segundo informações, data o mesmo período do Casarão 02. Então, a disposição dos tijolos dentro das paredes de espessuras elevadas, configuradas com espessura máxima de 87 centímetros (Figura 12), foi deduzida com base em um tratado de construção do mesmo período (BREYMANN, 1885). Além disso, amostras desse tijolo base (maciço) e da argamassa foram submetidas a ensaios de laboratório dos quais resultaram a densidade aparente real dos mesmos, característica, fundamental à configuração do envelope do edifício.

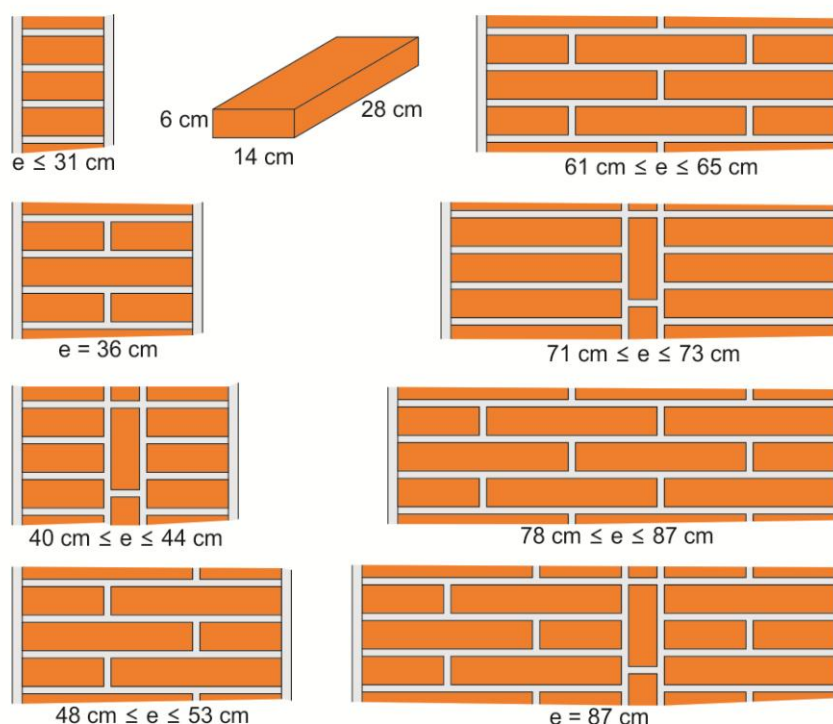


Figura 12 - Configuração das diversas espessuras das paredes do Casarão 02
Fonte: adaptado de Breymann(1885)

Como forma de simplificar o processo de modelagem, foi necessário definir espessuras padrão para as paredes externas e internas do Casarão e caracterizar as camadas com suas espessuras reais na configuração de materiais do programa. O primeiro critério de simplificação foi considerar a área útil de cada ambiente, que resultou em retângulos proporcionais às reais dimensões das salas, dispostos na

mesma posição do original, respeitando os limites das paredes externas. A malha do segundo pavimento foi sobreposta a do térreo, o que permitiu definir as espessuras das paredes no modelo, respeitando o alinhamento entre elas (Figura 13). Optou-se, então, por modelar as paredes externas do térreo com 60 cm e do segundo pavimento com 40 cm de espessura, e as internas do térreo com 20 cm, e do segundo pavimento com 15 cm (Figura 14).

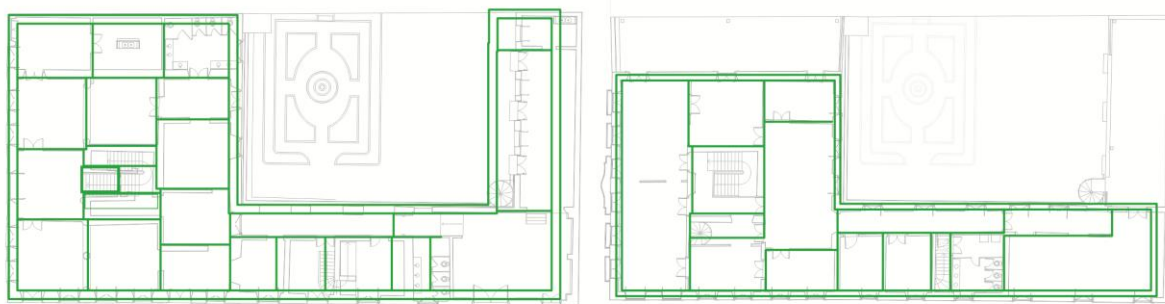


Figura 13 - Simplificação das paredes



Figura 14 - Simplificação plantas baixas térreo e 2º pavimento - *designbuilder*

Como as paredes são compostas por camadas heterogêneas (tijolo e argamassa), foi necessário fazer o cálculo de equivalência para obter as características de um material ideal, homogêneo, com mesmo comportamento que a parede real. Tomando como exemplo a parede de 44 centímetros de espessura, com valor de transmitância térmica (U) de $1,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ e capacidade térmica (C_T) $767,85 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$, foi possível calcular a densidade aparente de um material equivalente (ρ) para a camada de tijolos e argamassa igual a 1961 kg/m^3 , tendo-se para este caso uma espessura equivalente de 38cm (Figura 15). Logo, a parede em questão ficou composta por três camadas: uma interna e outra externa de reboco e uma camada de um material equivalente com as mesmas propriedades térmicas da parede original. As espessuras consideradas na configuração do modelo estão na Tabela 5, previamente apresentada.

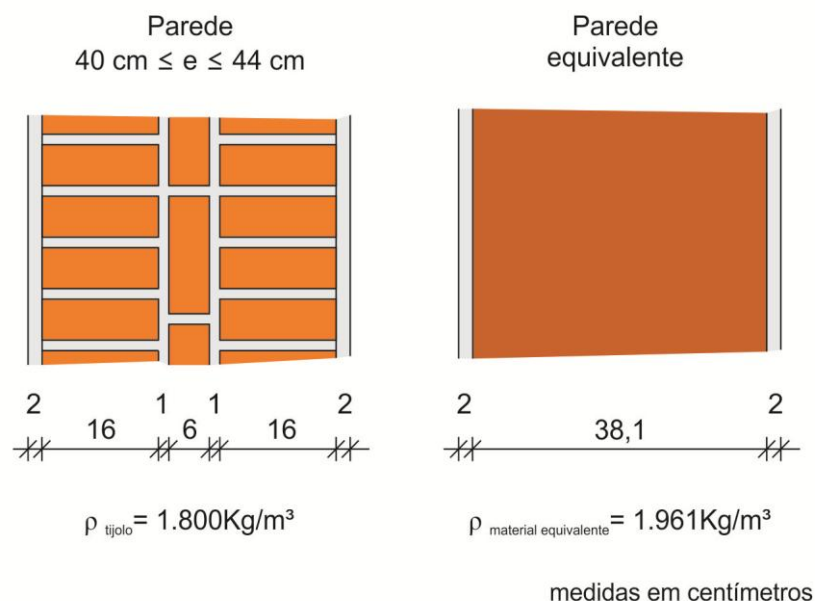


Figura 15 - Parede original e sua equivalente

As janelas são desenhadas obedecendo-se o projeto de restauração e, conforme verificado, são as mesmas existentes no local. Essas, assim como as portas, são configuradas com todas as características: tipo e porcentagem de vidro, tipo de esquadria, espessura de marcos, detalhe do postigo.

Ao configurar o telhado, um novo bloco foi modelado, considerando a inclinação e seus materiais, forro de madeira, estrutura de madeira e telha cerâmica tipo capa e canal.

É importante salientar, por mais uma vez, que este trabalho trata de uma edificação histórica e que todas as informações foram obtidas de levantamentos necessários à restauração do Casarão, sendo que fazer coletas mais aprofundadas ou experimentais no local não são adequadas ou mesmo permitidas.

3.3.3. Configuração do modelo

Além da configuração do envelope, que informa as características construtivas da edificação, é necessário configurar o modelo, ou seja, descrever como a edificação é utilizada, o que poderá ser observado a seguir.

3.3.3.1. Configuração da ventilação natural

A edificação não possui qualquer sistema de climatização artificial, portanto, o principal controle de conforto é através da ventilação natural, pela abertura e

fechamento das esquadrias. As janelas do casarão são de duas folhas de abrir (madeira e vidro) com postigo de madeira, que possibilitam 100% de abertura, para ventilação e iluminação. Na configuração do modelo, a opção de ventilação natural calculada – *Calculated Natural Ventilation* – foi escolhida a partir dessas informações. Essa opção permite a ventilação natural do ambiente interno quando a temperatura do ar interna está acima da temperatura de *setpoint* de resfriamento, e maior que a temperatura externa, e a *schedule* de operação permite ventilação.

O *setpoint* de temperatura de ventilação de 25°C é baseado no trabalho de Martins *et. al.* (2009), no qual o programa de simulação promove a abertura das janelas quando a temperatura no exterior é inferior à temperatura no interior das salas e esta superior a 25°C.

A *Schedule* de operação de janelas permite a ventilação dos ambientes durante o horário de funcionamento, das 8h às 17h, de segunda a sexta-feira, e o que determina sua abertura é a temperatura interna e o *setpoint* de resfriamento.

Os postigos de madeira foram representados como protetores solares internos e configurados com uma porcentagem de permeabilidade de fluxo de ar de 11%, estimado a partir da Figura 16, considerando a janela semiaberta, permitindo a ventilação natural e barrando a radiação solar direta.

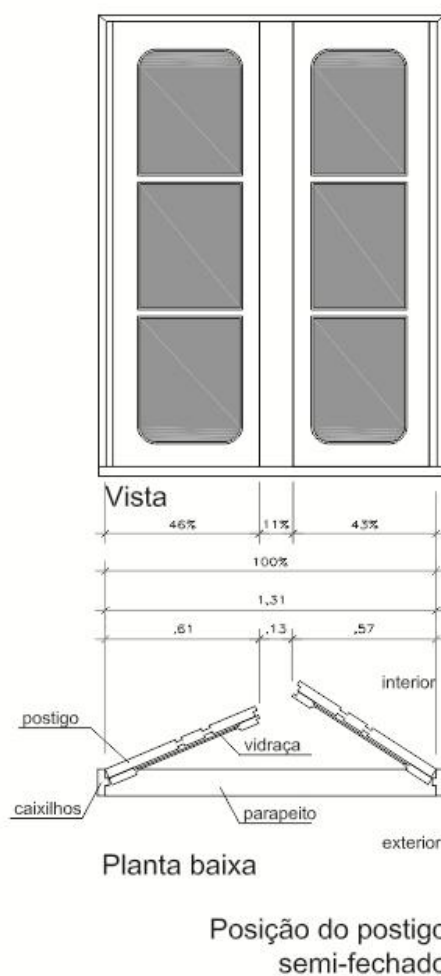


Figura 16 - Janela Casarao 02 – posição do postigo

3.3.3.2. Definição dos horários de ocupação

Para definir os horários de ocupação, é necessário saber os horários de funcionamento da SeCult, os turnos e o número de pessoas que trabalha em cada um deles. A partir daí, é possível configurar precisamente o modelo. Os levantamentos *in loco* auxiliaram nesse item, pois o questionário aplicado aos funcionários da Secretaria abordou sobre o horário de trabalho de cada ocupante.

3.3.3.3. Densidade de carga interna

A densidade de carga interna considera as fontes de geração de calor no ambiente, que atentam para o número de pessoas, a atividade desenvolvida por elas, equipamentos e iluminação.

Cada sala foi avaliada individualmente e, a partir disso, foi possível identificar o número de pessoas ou ocupação em cada uma e definir sua atividade

como leve de escritório, ou seja, 1.0 a 1.3 met. Para o sistema de iluminação, foram quantificados o número, tipo de lâmpadas e luminárias (Apêndice A), definindo, assim, a densidade de potência de iluminação por ambiente em *watts* por metro quadrado (W/m^2). Computadores, impressoras, aparelhos de fax e demais equipamentos foram agrupados e contabilizados e resultaram em uma potência geral por ambiente (Apêndice B).

3.4. Conforto térmico

O prédio em estudo é climatizado naturalmente e é de uso público. Essas informações levam às duas possibilidades escolhidas de análise de conforto térmico: o PMV e o Modelo Adaptativo. A ISO 7730, de 2005, que é baseada no índice de Fanger (PMV) e considera ambientes de escritórios, faz uma pequena consideração para ambientes climatizados naturalmente, sem estabelecer limites aos mesmos. Nesse contexto, a análise de desempenho térmico é conduzida para o modelo adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE Standard – 55 (2005), que considera a temperatura externa para estabelecer limites aceitáveis de conforto para ambientes ventilados naturalmente.

3.4.1. Determinação de conforto térmico com base no modelo adaptativo – ASHRAE Standard 55 – 2010

A análise de desempenho térmico foi desenvolvida a partir dos dados da simulação pelo modelo adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE Standard 55 de 2010. Tal modelo considera a temperatura externa e estabelece níveis aceitáveis de conforto para o ambiente interno. A temperatura média mensal mais os dados de saída de temperatura interna e temperatura radiante são inseridos em uma tabela que calcula, a partir da equação de temperatura operativa de conforto (Equação 2), os limites de conforto para 90% e 80% de aceitabilidade. A partir disso, é possível determinar as horas de conforto, frio e calor, com base nos limites estipulados.

3.5. Eficiência energética

As análises de eficiência energética da edificação foram desenvolvidas com base na variável graus-hora e pelo RTQ-C, considerando todos os requisitos nele estabelecidos.

3.5.1. Análise da eficiência energética: graus-hora

Para a análise de eficiência energética a partir de graus-hora, uma temperatura base deve ser estipulada para o cálculo de graus-hora de aquecimento e resfriamento. Considerando o modelo adaptativo, a temperatura base escolhida, tanto para resfriamento quanto para aquecimento, utiliza os limites de 80% de aceitabilidade para os cálculos.

3.5.2. Análise da eficiência energética: RTQ-C

Para análise da eficiência energética da edificação com base no RTQ-C pelo método de simulação todos os itens de envoltória, de iluminação e de ar condicionado são avaliados. Para avaliação do nível de eficiência de edificações condicionadas artificialmente, o prédio real e outro de referência para obtenção de nível pretendido são modelados e simulados.

Os modelos são configurados com as características da Tabela 7. A partir de então, são comparados para avaliação do desempenho do edifício real.

Tabela 7 - Síntese das características do modelo real e do modelo de referência

Característica do edifício	Modelo de Referência	Modelo Real
Geometria – dimensões	Igual ao do edifício proposto/existente	Igual ao do edifício proposto/existente
Orientação	Igual ao do edifício proposto/existente	Igual ao do edifício proposto/existente
Carga interna (DCI)	Igual ao do edifício proposto/existente	Igual ao do edifício proposto/existente
Padrão de uso – equipamentos e pessoas	Igual ao do edifício proposto/existente	Igual ao do edifício proposto/existente
Sistema de ar condicionado	Igual ao do edifício proposto/existente, com COP mínimo do nível desejado	Igual ao do edifício proposto/existente
Envoltória PAZ PAF _T AVS e AHS Tipo de vidro	Se existe no real PAZ =2% Calcular através do IC AVS=AHS=0 Vidro Simples = 3mm	Igual ao do edifício proposto/existente

Fator Solar Transmitância Térmica Absortância Solar	FS = 0,87 Máx. p/ eficiência desejada Máx. p/ eficiência desejada	
Sistema de Iluminação	DPI Max. p/ eficiência desejada – tabela 13 ou 14	Igual ao do edifício proposto/existente

Fonte: INMETRO (2010a)

3.5.2.1. Iluminação

A partir do levantamento no local é possível quantificar e qualificar a iluminação de todo o Casarão 02. Essas informações são configuradas no modelo quanto à necessidade de acionamento e pelos horários de funcionamento do edifício, conforme já caracterizado nos levantamentos *in loco*, item 3.2.3. e apêndice C. No entanto, o equivalente numérico de densidade de potência de iluminação (EqNumDPI), para cálculo da pontuação final do Casarão 02, na equação 6, é obtido pelo método prescritivo. Os ambientes devem atender os pré-requisitos específicos, que podem ser conferidos na Tabela 8.

Tabela 8 - Pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação

Nível	Divisão dos circuitos	Contribuição da luz natural	Desligamento automático
Nível A	Sim	Sim	Sim
Nível B	Sim	Sim	---
Nível C	Sim	---	---

Fonte: Adaptado de INMETRO (2010b).

A divisão de circuitos deve ser feita de maneira a possibilitar o desligamento do sistema de iluminação de ambientes isolados ou áreas de 250m², para ambientes de até 1000m² ou o acionamento de 1000m² para ambientes maiores que 1000m².

As luminárias devem possuir acionamento e fileiras independentes que proporcionem o aproveitamento da luz natural próximo às janelas.

O desligamento automático deve ser por sensor de presença, horário estabelecido ou por algum outro tipo de controle que indique que o ambiente está desocupado.

O cálculo da densidade de potência de iluminação (DPI) pode ser feito de duas maneiras: pela área do edifício ou pela atividade dos ambientes. Ao se utilizar o método da área, até 3 funções principais podem ser escolhidas com as potências máximas, de acordo com o nível pretendido. Essas potências são somadas,

ponderando a área e obtêm-se, assim, a potência limite para o edifício. A Tabela 9 apresenta os limites máximos de potências para as atividades do Casarão 02.

Tabela 9 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L)

Função do edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ²			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5

Fonte: Adaptado de INMETRO (2010b)

No cálculo pelo método das atividades do edifício deve-se multiplicar a área de cada atividade pela DPI_L (densidade de potência de iluminação limite) para que se encontre a potência limite de cada atividade. Estas são somadas e resultam no limite de potência do edifício. A Tabela 10 apresenta os limites para o nível pretendido.

Tabela 10 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível pretendido considerando atividades do Casarão 02

Ambiente/ Atividades	Limite do ambiente		DPI _L (W/m ²)			
	K	RCR	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Espaço de exposições	1,20	6	15,60	18,72	21,84	24,96
Circulação	<2,4 m largura		7,10	8,52	9,94	11,36
Escritório – Reuniões	0,60	8	11,90	14,28	16,66	19,04
Escritório planta livre	1,20	4	10,50	12,60	14,70	16,80
Hall de entrada	1,20	4	8,00	9,60	11,20	12,80
Museu – Sala de exibição	0,80	6	11,30	13,56	15,82	18,08

Fonte: Adaptado de INMETRO (2010b)

Os limites dos ambientes K (índice de ambiente) e RCR (*Room Cavity Ratio*) podem ser definidos pelas equações 5 e 6. (INMETRO, 2010b).

$$K = \frac{A_t + A_{pt}}{A_p}$$

(Equação 5)

Onde:

K é o índice de ambiente (adimensional);

A_t é a área de teto (m²);

A_{pt} é a área do plano de trabalho (m²);

A_p é a área de parede entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m²)

$$RCR = \frac{2,5 \times H_p \times P}{A}$$

(Equação 6)

Onde:

RCR é o Room Cavity Ratio (adimensional);

H_p é a altura da parede, entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m);

P é o perímetro (m);

A é a área do ambiente (m²).

No caso do ambiente possuir um índice de ambiente (K) menor ou um *Room Cavity Ratio* (RCR) maior que os limites definidos, este pode ter um aumento de 20% na densidade de potência de iluminação limite (DPI_L).

3.5.2.2. Avaliação de ambientes condicionados naturalmente

A edificação histórica e todas as suas características construtivas, reportadas no item 3.2, são consideradas no momento da modelagem do edifício no programa *DesignBuilder* versão 3.0.0.105. São considerados os tipos de tijolos e suas propriedades, os tipos de janelas com especificações detalhadas de porcentagem, tipo de vidro e também as características dos fechamentos verticais. A operação das janelas é propriamente configurada nas *schedules* das mesmas.

Para ambientes climatizados naturalmente, a avaliação deve ser feita por simulação e deve comprovar que os ambientes de permanência prolongada estão em conforto durante um percentual de tempo. É estabelecido, então, o POC (percentual de horas ocupadas em conforto) para cada ambiente e o equivalente numérico para esse percentual, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Equivalentes numéricos para ventilação natural

Percentual de horas ocupadas em conforto	EqNumV	Classificação final
POC ≥ 80%	5	A
70% ≤ POC < 80%	4	B
60% ≤ POC < 70%	3	C
50% ≤ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

Fonte: INMETRO (2010b)

A partir da ponderação da classificação de cada sala, é obtido um equivalente numérico de ventilação da edificação que é inserido na equação 7. Os parâmetros de cálculo para o percentual de horas conforto deve ser de acordo com a ASHRAE 55, ISO 7730 ou outra. Aqui ele é avaliado pela ASHRAE Standard 55 (2005).

Para avaliações por simulação, os pré-requisitos da envoltória não precisam ser atendidos, uma vez que a simulação já comprova as condições dos ambientes internos. O RTQ-C (2010) determina que:

Nos edifícios que possuem sistema de condicionamento de ar e ventilação natural, o EqNumV deve ser maior ou igual ao EqNumS. Nos casos em que esta condição não for atendida a classificação final será dada pelo EqNumV.

Edifícios que possuem apenas ventilação natural devem utilizar a Equação 2.1 para obtenção da Pontuação Total.

Então, após a simulação, obtenção do equivalente numérico de ventilação para toda a edificação e obtenção do equivalente numérico de densidade de potência de iluminação (EqNumDPI) pelo método prescritivo, esses dados são utilizados na equação 7. (INMETRO, 2010b).

$$PT=0,30 \left\{ \left(EqNumEnv \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} .5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + 0,3.(EqNumDPI) + 0,4 \left\{ \left(EqNumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} .5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + \frac{1}{0}$$

(Equação 7)

Onde:

EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumCA é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

EqNumV é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT é a área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC é a área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC é a área de piso dos ambientes condicionados;

AU é a área útil;

b é a pontuação obtida pelas bonificações que varia de zero a 1.

Considerando que o Casarão 02 não possui áreas condicionadas, a equação 7 pode ser simplificada para a equação 8, que dará a classificação final do edifício INMETRO (2010b).

$$PT = 0,70 \left(\frac{APT}{AU} + 0,5 + \frac{ANC}{AU} + EqNumV \right) + 0,3 \cdot (EqNumDPI) + \frac{b}{0}$$

(Equação 8)

Onde:

EqNumV é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;

APT é a área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC é a área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC é a área de piso dos ambientes condicionados;

AU é a área útil;

b é a pontuação obtida pelas bonificações que varia de zero a 1.

3.6. Proposição de medidas corretivas

Após as primeiras análises da edificação original, são feitos novos estudos com o intuito de aumentar os níveis de conforto térmico e eficiência energética do Casarão 02. As sugestões partem de alterações menos invasivas, como a mudança de cor das paredes externas e cobertura, com absorvância menor, e isolamento da cobertura, até a proposição de sistemas de sombreamento, mais agressivas. O prédio com as propostas é, então, novamente simulado e avaliado quanto ao novo

desempenho. Considerando que a edificação histórica é um bem tombado em nível federal e exige cuidados com questões de alteração de fachadas, entre outros, esses estudos pretendem verificar se as propostas seriam justificáveis apenas do ponto de vista do desempenho termoenergético. A aprovação do IPHAN é realizada por documentação que apresente argumentos concretos que validem qualquer intervenção nesse tipo de construção. As recomendações descritas a seguir são estudos comparativos do comportamento da edificação original com variadas soluções, permitindo, caso necessário, fundamentar a mais adequada escolha.

As propostas mais radicais (abertura de vãos para ventilação e protetores solares) são simuladas para possibilitar uma análise quantitativa e comparativa de conforto térmico com as propostas menos drásticas, consideradas mais adequadas pelos institutos de preservação, mesmo que sua implantação seja considerada ofensiva e descaracterize as fachadas da edificação. Porém, as avaliações são valiosas, pois permitem compreender o comportamento desses aparatos nessa edificação com alta inércia térmica.

3.6.1. Caracterização das medidas corretivas

No total, sete diferentes alternativas específicas são propostas, combinadas, configuradas e simuladas. A primeira medida é quanto ao sistema de iluminação artificial, com eficiência energética Nível A. A envoltória recebe seis diferentes propostas. Ao final, 64 novos casos são simulados e analisados.

3.6.1.1. Iluminação

A iluminação existente no local foi simulada apenas para a avaliação do edifício real. Para as demais 64 configurações modeladas e simuladas, foi considerado um sistema de iluminação classificado como Nível A de eficiência energética acordando com o RTQ-C, que pode ser consultado no Apêndice E.

3.6.1.2. Plano vertical

As paredes do Casarão 02 são pintadas originalmente de cal, na cor azul-clara. Na configuração do edifício original, foi considerada uma absorvância de 0,40. A proposta para as paredes sugere pintura com absorvância de 0,20, cor branca.

Como as paredes externas possuem grande espessura, com elevada capacidade térmica, não foram avaliadas propostas de isolamento para o plano vertical.

3.6.1.3. Plano horizontal

A cobertura original é composta por telhas de barro ($\alpha=0,75$), tipo capa-canal, com estrutura de madeira e forro de madeira. As propostas para o plano horizontal estipulam duas soluções, pintura em cor clara ($\alpha=0,20$) e isolamento da cobertura com lã de rocha ($e=2,5\text{cm}$). (Figura 17).

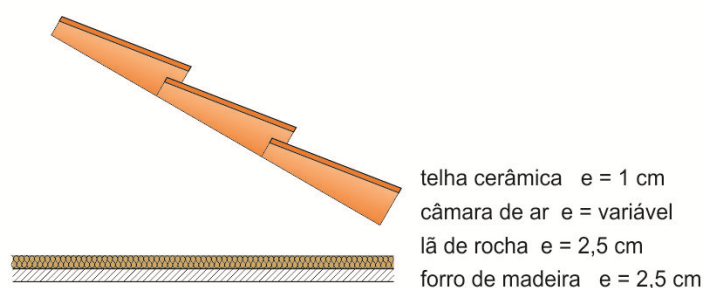


Figura 17 - Cobertura isolada

3.6.1.4. Ventilação

A ventilação do casarão é feita pela abertura das janelas. A configuração do modelo original permite essa operação durante o dia, nos horários ocupados. Para permitir ventilação mesmo sem ocupação, à noite e aos finais de semana, foram propostos dois sistemas: ventilação da cobertura e ventilação noturna sobre janelas.

O primeiro sugere a ventilação da cobertura (Figura 18) e, para essa solução, foi criado um *Schedule* de funcionamento específico, que permite a abertura da grelha, apenas no período de verão, de outubro a abril. O dimensionamento das aberturas para o posicionamento das grelhas considerou várias aberturas, em todas as fachadas possíveis, o que resultou em grelhas de $1,00 \times 0,20\text{m}$, nas seguintes orientações: 4 aberturas na fachada oeste, 6 na fachada sul, 4 na fachada leste e 6 na fachada norte. Bittencourt e Cândido (2005) afirmam que “[...] aberturas (de ventilação) de entrada e saída iguais, a média da velocidade interna de ar é função da porosidade da construção [...]”. Então, mantendo o mesmo número de aberturas para as fachadas opostas, a ventilação cruzada é favorecida, possibilitando a troca de ar contínua no ático e evitando o acúmulo de ar quente.

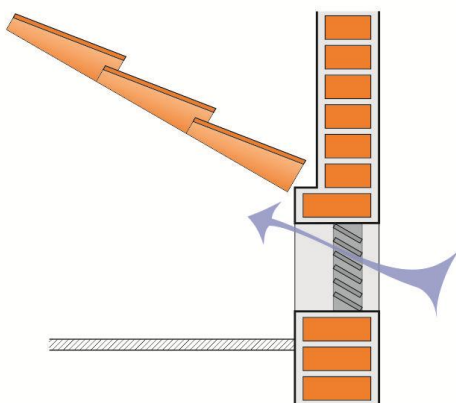


Figura 18 - Cobertura ventilada

O segundo possibilita a ventilação noturna no verão por aberturas acima das janelas, conforme Figura 19. Para essa opção o *Schedule* permite a ventilação durante a noite, das 22h às 8h, de outubro a abril. O dimensionamento do sistema de ventilação considerou a largura variável das esquadrias existentes. Então, as grelhas foram modeladas com as dimensões da largura da janela por 0,15cm de altura, com forma horizontal que, segundo Bittencourt e Cândido (2005), “aumentam a eficácia da ventilação para incidências oblíquas de vento.”

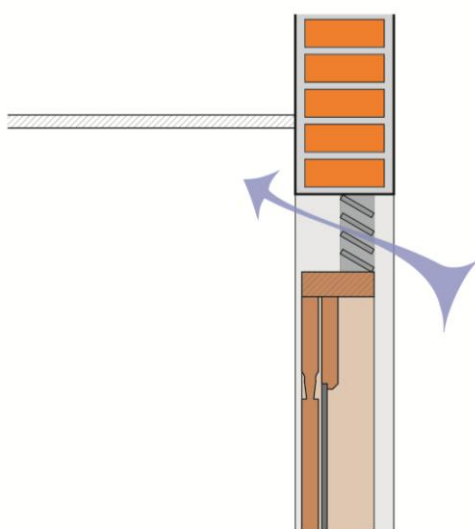


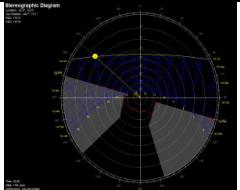
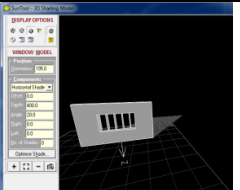
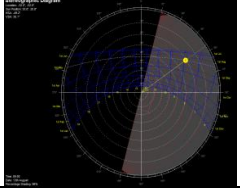
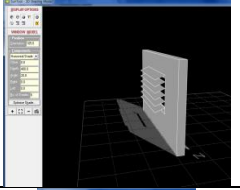
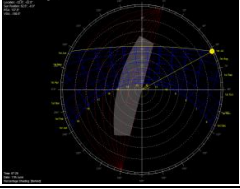
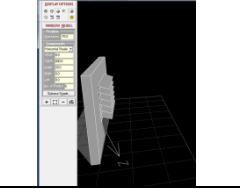
Figura 19 - Ventilação acima das janelas

3.6.1.5. Proteção solar

Outra sugestão para aumentar os níveis aceitáveis de conforto do Casarão 02 é a instalação de dispositivos de sombreamento externos nas janelas. Para tanto, foram consideradas as quatro orientações de fachadas existentes na construção para proposição de brises que possibilitem o sombreamento adequado. Com o

auxílio do programa *SunTool* (Tabela 12), foi possível dimensionar o tipo (horizontal ou vertical) o número, o tamanho e a inclinação dos protetores.

Tabela 12 - Dimensionamento protetores solar

Orientação	Protetores	Período de sombra	Máscara de sombra <i>SunTool</i>	Modelo <i>SunTool</i>
Sul	6 verticais L = 40cm $i = 0^\circ$	Verão Após 16:00		
Leste	6 horizontais L = 40cm $i = 20^\circ$	Verão Após 8:00		
Oeste	6 horizontais L = 40cm $i = 20^\circ$	Verão 14:00 às 17:00		
L = largura i = inclinação				

Na fachada oeste, é necessário sombrear no verão das 14h às 17h e permitir radiação durante o inverno. Então, seis elementos horizontais, de 40 cm de profundidade e inclinação de 20° foram modelados no *DesignBuilder*. Na fachada norte, não houve a necessidade de criar um elemento de sombreamento, já que no período mais crítico, o verão, a espessura elevada das paredes, combinada com a altura solar desta estação, proporcionam total proteção solar dos ambientes (Figura 20).

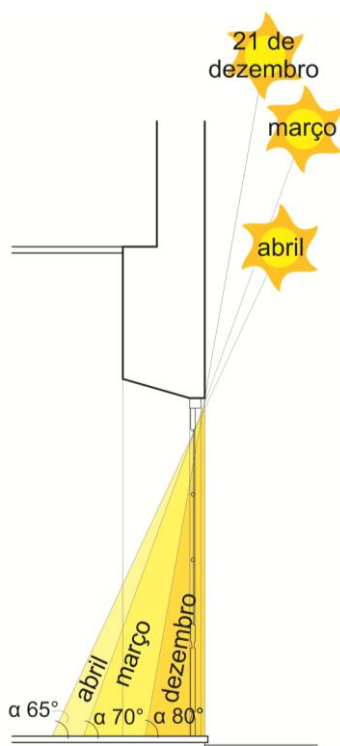


Figura 20 - Altura solar e autossombreamento da fachada norte

A fachada leste necessita bloquear o sol no verão a partir das 8h. Os protetores utilizados são os mesmos da fachada oeste: seis elementos horizontais, de 40cm de profundidade e inclinação de 20°, em toda a extensão da janela (Figura 21). Na fachada sul houve a necessidade de sombreamento, após às 16h, no período de verão. Para tanto, seis elementos verticais de 40 cm de profundidade foram propostos para essa orientação.

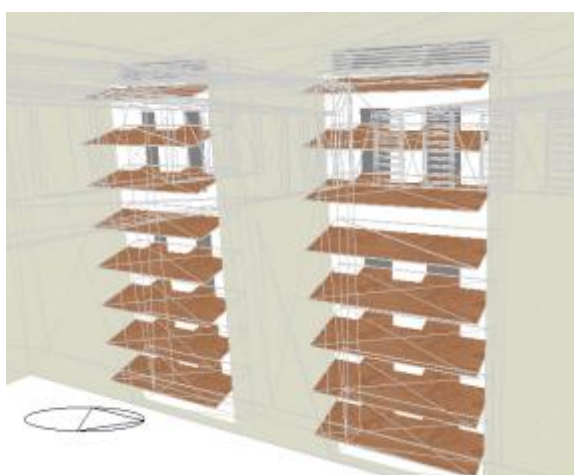


Figura 21 - Brises na fachada leste.

Fonte: DesignBuilder

A Figura 22 apresenta a combinação das medidas propostas que originaram as 64 simulações adicionais.

Composição cobertura

	CO	CC	CI	CCI	COV	CCV	CIV	CCIV	CO	CC	CI	CCI	COV	CCV	CIV	CCIV		
Paredes externas	PO	CB + Ilum.	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	Post
	PC	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	Post
	PO	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	PExt
	PC	P48	P49	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63	PExt
	sVNo									VNo								

Ventilação sobre janelas

Legenda:

CB + Ilum. - Caso Base + iluminação Nível A

PO - paredes originais
 $\alpha = 0,4$

PC - paredes claras
 $\alpha = 0,2$

CO - cobertura original
 $\alpha = 0,75$

CC - cobertura clara
 $\alpha = 0,2$

CI - cobertura isolada

CCI - cobertura clara isolada

COV - cobertura original

ventilada

CCV - cobertura clara ventilada

CIV - cobertura isolada ventilada

CCIV - cobertura clara isolada ventilada

VNo - ventilação noturna sobre janelas (verão)

sVNo - sem ventilação noturna sobre janelas (verão)

Post - postigo

PExt - protetor externo

Obs.: todas as propostas de melhoria já estão configuradas com o sistema de iluminação Nível A de eficiência energética.

Exemplo: P24 = Paredes claras + Cobertura Original + Postigo de Madeira + Ventilação Noturna sobre janelas (verão)

Figura 22 - Propostas corretivas

Uma tabela com a descrição das 64 propostas pode ser consultada no apêndice F.

3.6.2. Análise de conforto térmico das propostas corretivas

A análise de desempenho térmico para as propostas corretivas é feita pelos mesmos parâmetros mencionados no item 3.4.1 e, a partir desses novos dados, foi possível comparar o caso real com as novas configurações, o que pode justificar a melhor opção a ser adotada ou mesmo, manter a edificação como o original.

3.6.3. Análise de eficiência energética das propostas corretivas

Do mesmo modo que acontece com a análise de desempenho térmico para as medidas corretivas, a avaliação do aumento, ou não, da eficiência energética considera os mesmos parâmetros descritos no item 3.5.1.

3.7. Avaliação econômica das medidas corretivas

A eficiência das medidas corretivas propostas foi verificada, tanto na questão de desempenho térmico e energético, quanto na questão financeira. Uma proposta só pode ser considerada para ser implantada se os benefícios por ela alcançados

são maiores que os custos de sua implantação. Para tanto, é necessário utilizar a ferramenta que auxilie na análise econômica, ou seja, a matemática financeira. “Ela trata da relação entre valores monetários e o tempo.” (IBAM/Eletróbrás, 2004). Essa avaliação pode ser feita através de algumas metodologias descritas a seguir.

3.7.1. *Pay-back* simples

A avaliação do *pay-back* simples é realizada para verificar em quanto tempo o investimento inicial, neste caso, das medidas corretivas, se paga. Portanto, em quanto menos tempo a medida se pagar, mais justificada é sua implantação. A medida utilizada para esse indicador é “anos” e pode ser calculada a partir da equação 9, conforme Carlo (2008b).

$$PB = \frac{I}{CA}$$

(Equação 9)

Onde

PB é o *pay-back* simples (anos);

I é o investimento realizado (R\$);

CA é o custo anual da energia que pode ser economizada (R\$/ano).

3.7.2. Custo de energia conservada (CEC)

Para instalação de equipamentos em edificações existentes é interessante considerar, além do aumento dos níveis de conforto, o custo de energia conservada (CEC). Este índice verifica se determinada solução traz vantagens ao empreendimento, pois considera a instalação e a economia gerada no consumo de energia pelo uso desses novos equipamentos. A avaliação é feita em reais por quilowatt hora (R\$/kWh) e pode ser calculada a partir da equação 10, conforme Carlo (2008b).

$$CEC = \left(\frac{TCC}{\Delta E} \right) \cdot \left\{ \frac{d}{[1-(1+d)^{-n}]} \right\}$$

(Equação 10)

Onde:

CEC é o custo de energia conservada (R\$/kWh);

TCC é o custo de MCE (medidas de conservação de energia) (R\$);

ΔE é a energia economizada pela implementação da MCE em relação a um caso base (kWh/ano);

n é a vida útil da MCE (anos);

d é a taxa de desconto em base anual, equiparada ao INCC (IBGE).

Para verificar se a solução é atrativa, é realizada a análise de custo x benefício, onde o valor do custo de energia conservada é dividido pelo valor da energia elétrica fornecida pela concessionária para a edificação e só será considerada vantajosa se esse resultado for inferior a 1. (Equação 11)

$$\frac{\text{CEC}}{\text{Custo kWh}} < 1$$

(Equação 11)

Os resultados das simulações das configurações descritas neste capítulo serão analisados no capítulo 4, e a avaliação econômica das propostas será apresentada no capítulo 5.

4. Resultados da simulação do caso base e das medidas corretivas

As configurações descritas no capítulo 3, para o Casarão 02 e as 64 propostas que foram simuladas e serão analisadas neste capítulo, observando o comportamento termoenergético da edificação.

4.1. Conforto térmico

As análises consideram os limites de aceitabilidade estipulados pelo modelo adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE Standard – 55 (2010). A avaliação é feita para 80% de aceitabilidade, ou seja, 3,5°C a mais e 3,2°C a menos do que a temperatura operativa de conforto calculada hora a hora, a partir da temperatura média mensal externa, para os horários de ocupação da edificação para que seja possível a definição dos limites aceitáveis. A Figura 23 apresenta o gráfico com os limites, para a cidade de Pelotas.

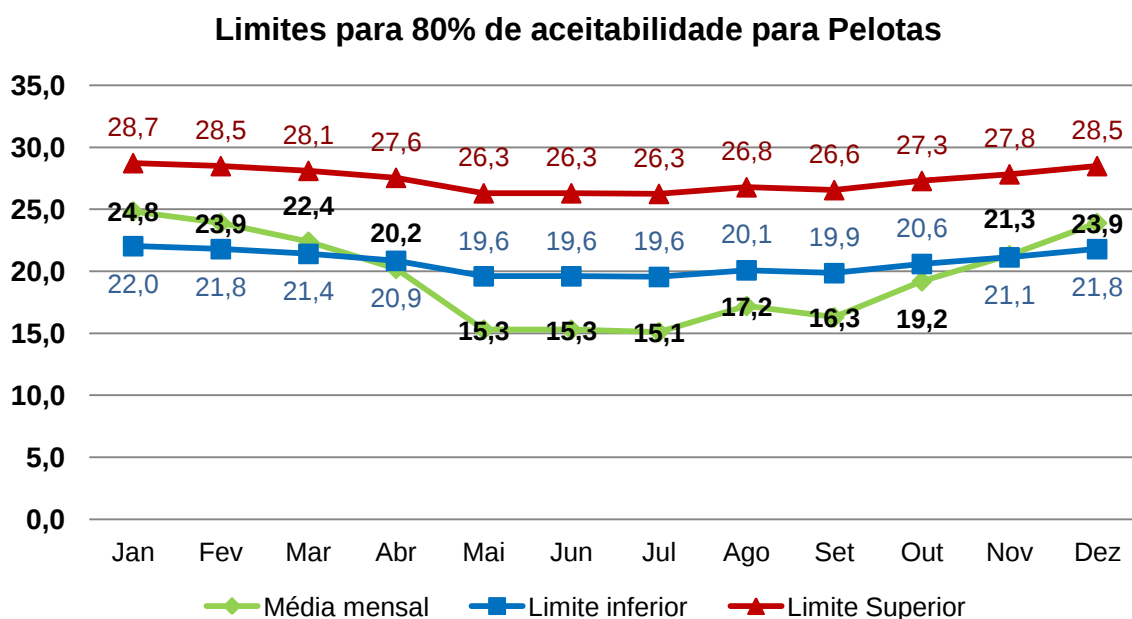


Figura 23 - Temperatura média mensal e os limites para 80% de aceitabilidade para Pelotas

Para a configuração original do Casarão 02 o nível de conforto térmico é de 69,50% das horas ocupadas, das 8h às 17h, de segunda a sexta-feira, 21,95% das horas em desconforto pelo calor e 8,54% de desconforto pelo frio. O período de maior desconforto pelo calor, considerando os meses com resultados acima de 30%, foi de dezembro a março, e pelo frio, com mais de 20%, de maio a junho, conforme mostra a Figura 24. Os meses de abril, agosto, setembro, outubro e novembro tiveram poucas horas de desconforto, somados menos de 20%, e conforto em mais de 80% das horas ocupadas.

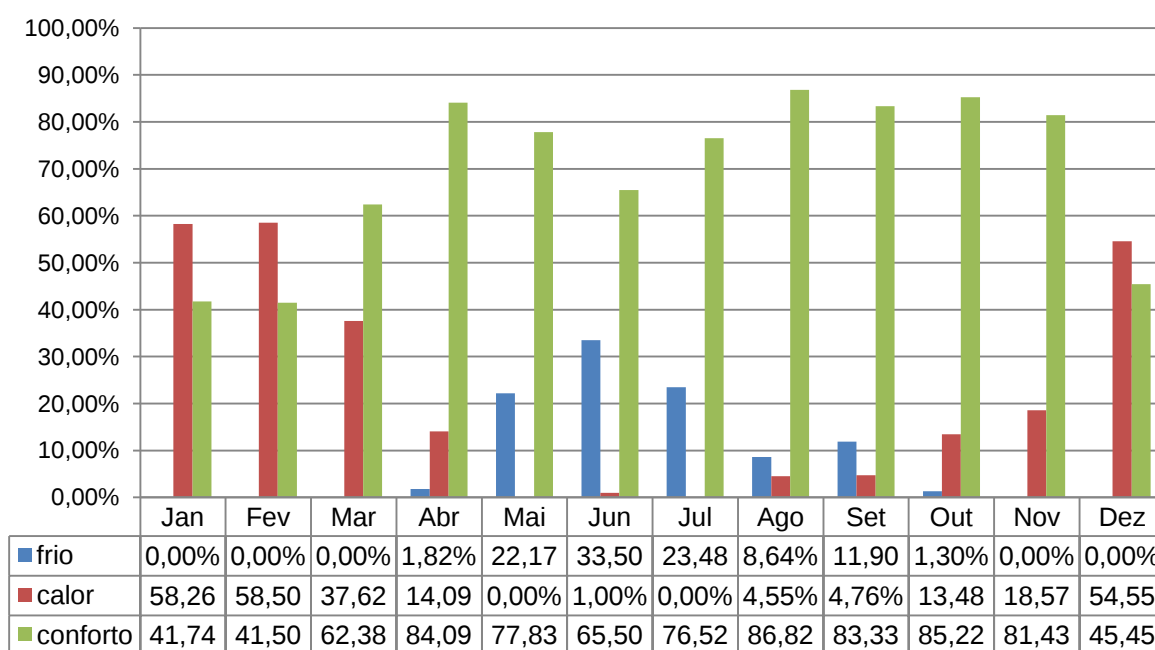


Figura 24 - Análise mensal de conforto Casarão 02 - configuração original

A edificação possui relativamente baixa ocupação, com 27 funcionários no total e usuários esporádicos das galerias de arte, resultando em uma densidade máxima para os escritórios de 0,13 pessoas/m² e 0,34 pessoas/m² para os ambientes de galeria. A NBR 16.401 – 3 (2008) sugere 0,14 pessoas/m² para escritórios de média densidade e 0,4 pessoas/m² para museus e galerias, ou seja, maior do que a verificada para o Casarão. Mesmo assim, as análises foram positivas, ao permitir verificar que as paredes espessas e orientação das salas influenciam favoravelmente nas questões de conforto, principalmente entre março a novembro, onde o conforto térmico é preponderante. A Figura 25 e a Figura 26 apresentam os percentuais anuais de conforto, desconforto por frio e por calor para cada ambiente de permanência prolongada analisado.

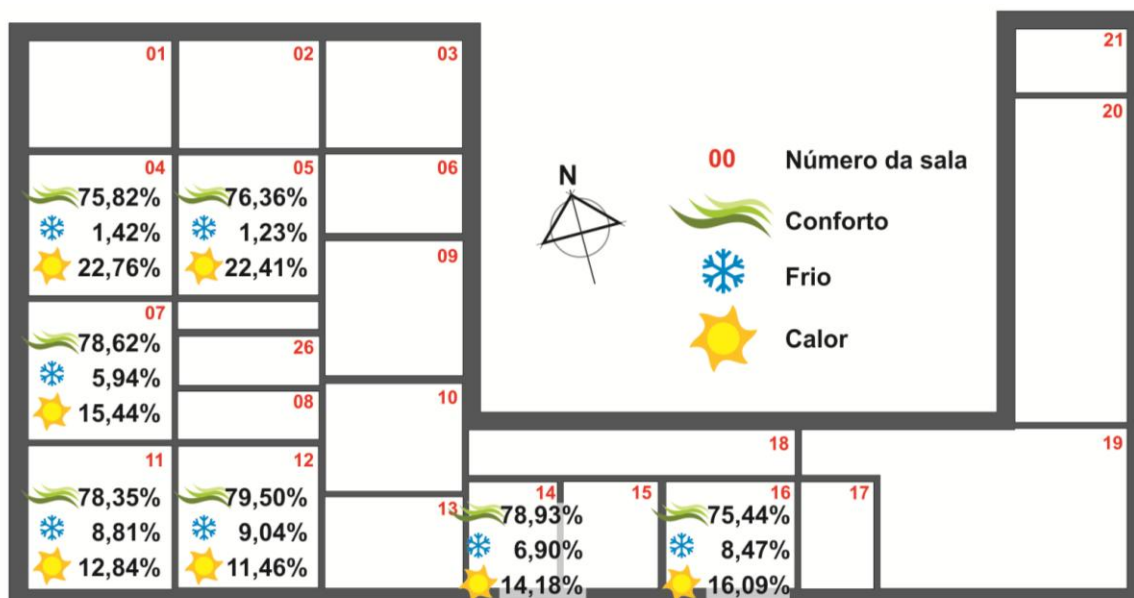


Figura 25 - Planta baixa térreo - Conforto dos ambientes de permanência prolongada

Embora os níveis de conforto sejam muito próximos para todo o pavimento térreo, nos ambientes voltados para o sul, os níveis de desconforto pelo frio são maiores do que nas salas da fachada oeste e o desconforto pelo calor também apresenta uma variação um pouco menor.

Comparando os dois pavimentos, é possível verificar que o térreo possui níveis mais elevados de conforto que o superior onde o desconforto maior é pelo calor. O 2º pavimento possui conexão direta com a cobertura, o que, de acordo com os resultados apresentados na Figura 26, favorece os ganhos térmicos. Já o térreo possui todo o entrepiso, pavimento superior e cobertura, criando um bom isolamento que favorece os melhores níveis de conforto térmico nesse pavimento.

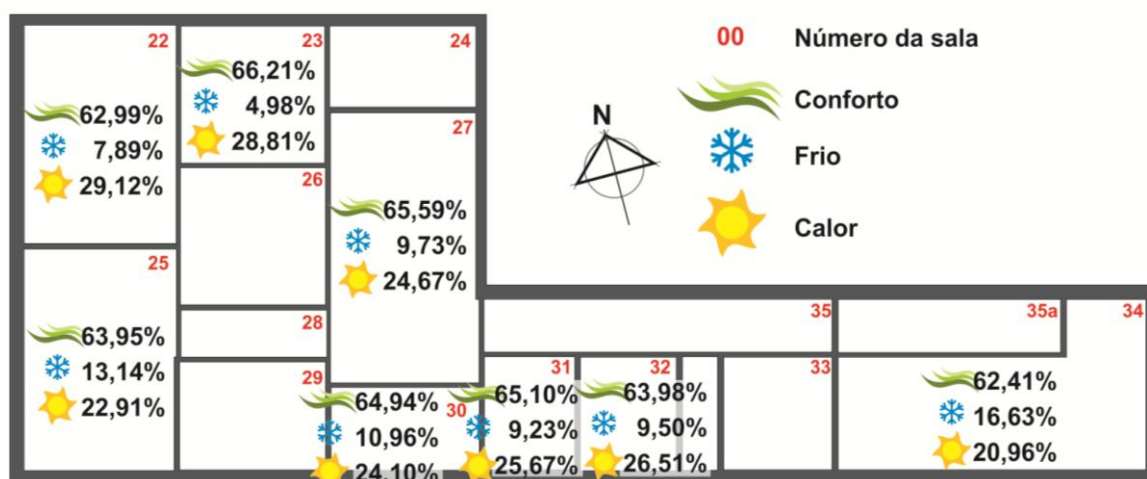


Figura 26 - Planta baixa 2º pavimento - Conforto dos ambientes de permanência prolongada

A partir das Figura 25 e Figura 26 é possível verificar que os ambientes do 2º pavimento com maior número de paredes expostas para o exterior são os mais desconfortáveis. A sala 34, com três paredes expostas, maior fachada para orientação sul, na qual também estão localizadas três das quatro janelas do compartimento, possui menor percentual de conforto, em decorrência do desconforto por frio. No geral os níveis de conforto para todo esse pavimento são muito próximos, oscilando em aproximadamente 4%. Entretanto, os níveis de desconforto pelo frio, são maiores que os verificados para o térreo e variam pouco mais de 11% entre uma sala e outra e onde os níveis de desconforto pelo calor oscilam em até 8%.

Para as medidas corretivas sugeridas, a proposta 03 foi a que obteve melhor desempenho térmico, com 79,43% das horas ocupadas dentro dos limites aceitáveis de conforto. Esta proposta sugere cobertura clara e isolada e paredes originais.

Já a proposta 56, com paredes claras, cobertura original, ventilação noturna sobre janelas e brises, obteve o pior desempenho com apenas 65,44% das horas em conforto. A Figura 27 apresenta os resultados das condições de conforto térmico anual, para a edificação como um todo, para cada uma das 64 simulações efetuadas considerando a execução de medidas corretivas sobre o caso base.

A partir dos resultados é possível verificar que as propostas com maior número de horas em conforto, acima de 78%, são aquelas que possuem isolamento da cobertura, propostas 02 e 03, e também a proposta que possui paredes claras, cobertura original ventilada e sem ventilação noturna acima das janelas, proposta 52.

Os melhores resultados de conforto para as médias são relativos ao isolamento da cobertura, com resultados acima de 77%. Já os piores, são aqueles que mantiveram a cobertura original, considerando as alterações da cobertura. Quando analisadas as médias para a mudança de absorvância das paredes, os valores não tiveram grandes variações, oscilando em apenas 0,43%. Fazendo a mesma análise para os casos isolados, a sugestão de ventilação noturna acima das janelas obteve, em todas as ocasiões, maiores percentuais de desconforto decorrente do frio. Essa mesma sugestão, quando analisada pelas médias, resulta, conseqüentemente, em valores maiores de desconforto pelo frio e menores de conforto e desconforto pelo calor.

Comparando a proposta 34 com a proposta 42, que difere da anterior apenas na ventilação noturna sobre janelas, é possível verificar uma diminuição das horas de conforto. O desconforto pelo calor diminuiu, mas o frio aumentou significativamente. Isso ocorre com praticamente todos os casos confrontando as situações: com e sem ventilação noturna sobre janelas. Essa estratégia gerou muito desconforto pelo frio, pois permite a ventilação durante toda noite e, talvez, poderia ser corrigida, permitindo menores períodos de exposição a essa situação.

Analisando as configurações com os piores resultados é possível verificar que foram aquelas que mantiveram a cobertura original – propostas CB+Ilum., 08, 16, 24, 32, 40, 48 e 56 – e naquelas onde as configurações possuem ventilação noturna acima das janelas. O percentual de desconforto pelo calor foi reduzido, e o desconforto pelo frio aumentou, mantendo o percentual de horas ocupadas em conforto em torno de 66%.

Comparando as propostas 20 e 52, que possuem a mesma configuração, porém, a segunda é provida de protetores solares externos, é possível verificar que houve um aumento nos resultados de conforto e de desconforto pelo frio em aproximadamente 2% e uma diminuição no percentual de desconforto pelo calor de também 2%. Isso ocorre com todas as propostas com ventilação do ático e onde a

única diferença entre elas é o protetor solar externo. Os brises bloqueiam a radiação solar direta, diminuindo o ganho térmico, o que é favorável no período de verão, mas durante o inverno essa solução é prejudicial para os ambientes internos. Então, considerando regiões com verão e inverno bem definidos, e edificações com alta inércia térmica, uma solução para essa estratégia poderia ser a utilização de aparatos móveis, que possibilitem a passagem dos raios solares na estação mais fria.

As soluções que podem ser classificadas como adequadas para o período de verão, ou para regiões mais quentes, são: ventilação noturna sobre janelas, ventilação da cobertura, paredes claras e protetor solar externo. A solução que reduziu ambos os efeitos, frio e calor, foi o isolamento da cobertura.

De todas as propostas simuladas e analisadas é possível considerar que a colocação de protetores solares e a abertura de fendas para ventilação noturna e do ático, que se classificam como grande alteração de fachada, não são justificáveis do ponto de vista do conforto térmico, nem mesmo em edificações de elevada inércia térmica, onde as alterações poderiam ser elementos integrantes da composição de fachada e volumetria. Já a edificação em questão, tombada a nível federal, essas modificações poderiam ser qualificadas como descaracterização ao patrimônio arquitetônico nacional e não passariam pela aprovação do IPHAN, impossibilitando sua implantação.

4.1.1. Comparação entre dois casos significativos

As três análises - conforto térmico, graus-hora e nível de eficiência energética (RTQ-C) – são relacionadas diretamente aos resultados de comportamento térmico. Portanto, o melhor desempenho para qualquer uma das avaliações será relativo aos limites aceitáveis estipulados pelo modelo adaptativo. A proposta 03 com paredes originais, cobertura clara e isolada recebe destaque de melhor solução, enquanto que a 56, com paredes claras, cobertura original, ventilação noturna acima das janelas e protetores solar, recebe de pior. A Tabela 13 apresenta os percentuais de conforto e desconforto, tanto para frio quanto para calor, das propostas 56 e 03 e, ainda, da configuração original, colocadas na ordem de menos para mais confortável.

Tabela 13 - Comparação de desempenho das salas - Proposta 56, Original e Proposta 19

Proposta 56			Casarão Original			Proposta 03			
Total	Frio	Calor	Conforto	Frio	Calor	Conforto	Frio	Calor	Conforto
	23.72%	10.84%	65.44%	8.54%	21.95%	69.50%	15.52%	5.67%	78.81%

As Figura 28 e Figura 29 apresentam os resultados para os ambientes de permanência prolongada para ambas, pior e melhor proposta.

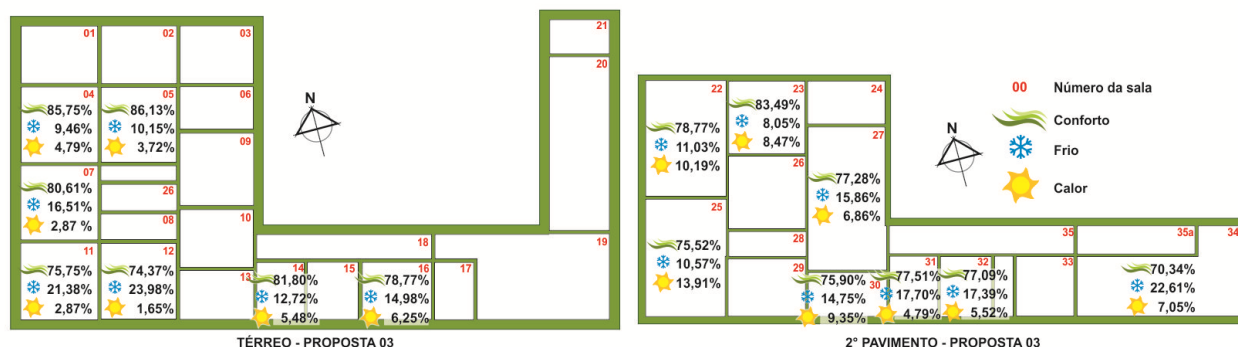


Figura 28 - Resultados de conforto - Proposta 03

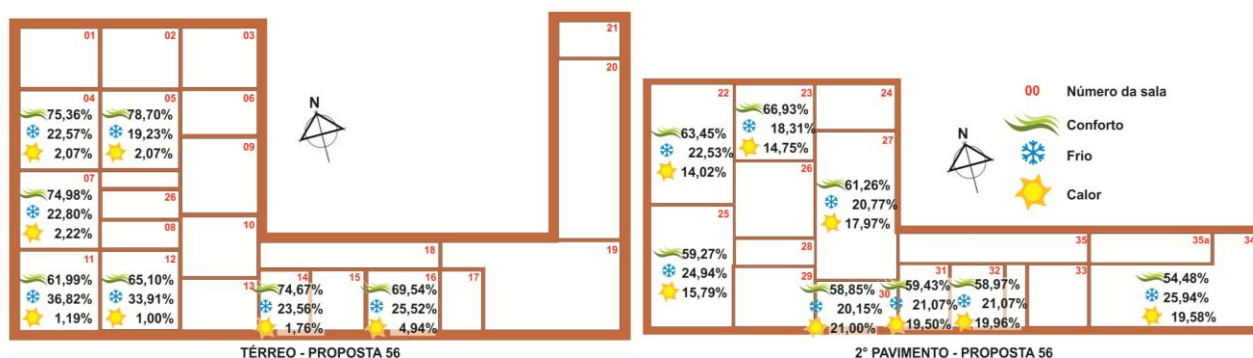


Figura 29 - Resultados de conforto - Proposta 56

Comparando as duas propostas é possível considerar alguns aspectos importantes. Por exemplo, a proposta 03, com melhores resultados, possui isolamento da cobertura e observando os percentuais de conforto para o segundo pavimento é possível encontrar uma variação de até 15,79% em relação aos do térreo. No entanto, na proposta 56, com piores resultados, os valores do segundo pavimento são até 24% menores que os do térreo. Neste sentido, é possível verificar a importância do isolamento da cobertura no desempenho do Casarão.

Dois ambientes, com mesma orientação, no térreo e segundo pavimento, foram selecionados para análise de comportamento térmico. A sala 11 no térreo, possui área de $A=24,46\text{m}^2$ com paredes externas com orientação oeste e sul, assim como a sala 25 que fica no segundo pavimento, possui área de $A=39,93\text{m}^2$ (Figura

30). A sala 11 está em contato direto com a sala 12, sem paredes ou divisórias que limitem as trocas térmicas entre elas. Porém, elas foram modeladas em zonas individuais, seguindo a designação de nomes, de acordo com o levantamento disponibilizado pela SeCult.

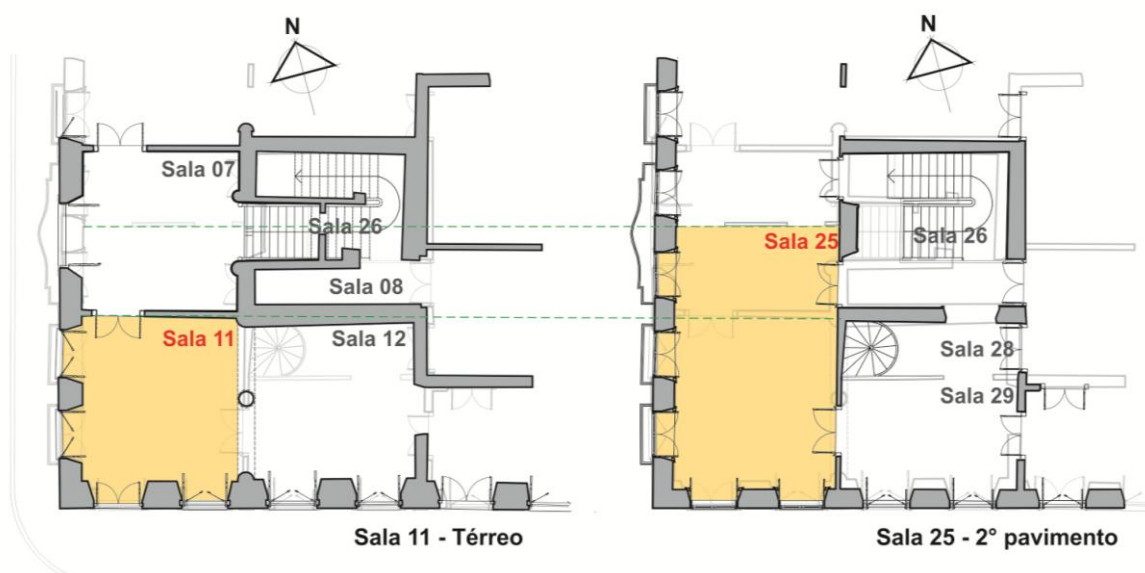


Figura 30 – Detalhe da posição das salas 11 e 25

Fonte: Adaptado de SeCult.

Os ambientes foram analisados quanto às trocas térmicas, em um dia de verão e um de inverno. Os dias analisados foram escolhidos a partir da média diária mais extrema, ou seja, o dia mais quente, com temperatura média do ar de 30,23°C, no dia 23 de janeiro. O dia mais frio, com 4,09°C é o dia 31 de julho, de acordo com o arquivo climático utilizado para todas as simulações. São apresentados os fluxos térmicos (W) dos dois ambientes em relação aos fechamentos: paredes, piso, forro e vidros; quanto à densidade de carga interna: iluminação e equipamentos; e quanto à ventilação.

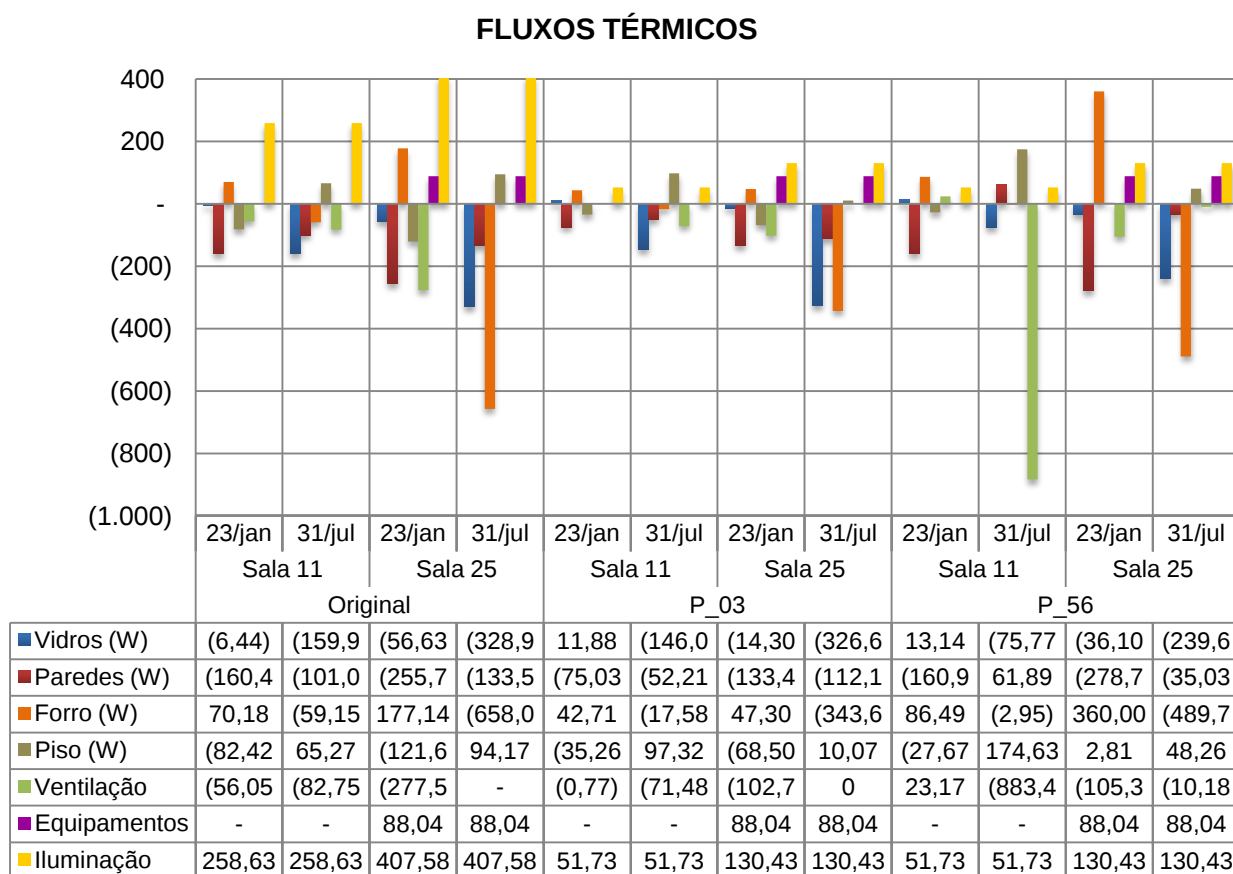


Figura 31 - Fluxos de calor para 3 propostas – média diária

Analisando a configuração original é possível notar que no segundo pavimento existe uma troca de calor significativa pelo forro/cobertura, enquanto no térreo ela é mais amena. O mesmo acontece no período de verão para a proposta 56, que não possui isolamento da cobertura. Já na proposta 03, há uma perda considerável pela cobertura apenas no segundo pavimento durante o inverno, e mesmo assim, inferior do que as duas outras. Nessa configuração, 03, as maiores perdas acontecem no dia mais frio, pelas paredes e principalmente pelos vidros, além da cobertura já mencionada. Na Figura 28 (resultados de conforto – Proposta 03) é possível verificar que a sala 25 possui o segundo pior desempenho, com apenas 75,52% de conforto. Devido à elevada inércia térmica, a sala 11 perde calor pelas paredes em todas as situações, exceto na proposta 56, no inverno. A iluminação contribui de forma significativa nos ganhos térmicos, na configuração original.

As janelas foram configuradas com protetor solar interno – postigos de madeira – que se mantêm fechados nos períodos de incidência direta de sol nos

ambientes. Por essa razão, as trocas expressivas pelos vidros são negativas, ou seja, os ambientes perdem calor por esse fechamento.

A configuração original possui grandes contribuições pela iluminação. O mesmo não acontece com as outras propostas que foram simuladas com um novo sistema de iluminação, mais eficiente.

A seguir são apresentados dados horários para a diferença de temperatura interna e externa e as trocas térmicas que as salas 11 e 25 fazem pelos componentes já descritos, para a proposta 03.

No verão os ambientes perdem calor pelas paredes impactando positivamente, pois na sala 25 as temperaturas internas estão próximas às externas e na sala 11, inferiores durante o período de ocupação (Figura 32 e Figura 33). Já no inverno há uma alternância entre as trocas. A sala 11 ganha calor pelas paredes nesse dia, até às 10h e começa a apresentar perdas a partir das 11h. A sala 25 apresenta um ganho de calor da 00h00m às 09h e a partir das 22h, e perde calor durante o intervalo, das 10h às 21h, praticamente o horário de ocupação (Figura 34 e Figura 35).

No dia 23 de janeiro, o pico de calor acontece às 15 horas, quando atinge a temperatura de 33°C. Nessa hora, as trocas térmicas pelos vidros invertem e o ambiente tem uma hora de perda de calor por esse fechamento. Pelos dados é possível considerar que a queda de temperatura externa tenha sido ocasionada por uma chuva de verão, que deixou o céu encoberto, e invertendo os fluxos de calor, naquele momento. Os ganhos térmicos pelo vidro são maiores quando a incidência do sol é direta nos ambientes. As paredes de grande espessura compensam os ganhos térmicos, decorrente da densidade de carga interna (DCI) de iluminação e equipamentos, e o ambiente perde calor, nesses horários, tanto no térreo, como no segundo pavimento. A ventilação e o piso são dois fatores importantes no fluxo de calor do ambiente. A sala 25, em janeiro, apresenta perdas de calor por ventilação, a partir das 8h, quando a temperatura interna começa a se elevar, chegando à mesma temperatura externa. Já a sala 11 começa a perder calor apenas após às 18h, quando a temperatura interna alcança a temperatura externa e se mantém acima desta. Antes desse horário, o ambiente ganha pequenas quantidades de calor pela ventilação. Em julho, existe uma grande perda de calor pela ventilação na sala 11, que possui ligação direta com a sala 12. A configuração do modelo para a simulação

considera a ventilação natural calculada, a qual estima os efeitos de infiltração por janelas, portas e fendas entre caixilhos e parede. Nesse caso, a sala 11, com maior contribuição de outras zonas adjacentes, é prejudicada no período de inverno, por essa variável. A calibração do modelo, quanto à ventilação natural será discutida no item 4.1.2.

Para o dia mais frio do ano, 31 de julho, as temperaturas internas mantiveram-se mais amenas, acima de 13°C enquanto a temperatura externa estava em -0,5°C. Na sala 11, as maiores perdas térmicas acontecem pelos vidros, pelas paredes e pela ventilação. Durante a madrugada este ambiente tem ganhos térmicos pelo piso e paredes que compensam as baixas temperaturas externas. A cobertura isolada, na sala 25, possui perdas durante as 24 horas analisadas. Nos horários em que a temperatura interna esteve mais elevada, nas horas ocupadas do dia, as paredes e piso passaram a apresentar perdas térmicas, amenizando essa diferença, que chega a quase 14°C às 08h. Os maiores ganhos térmicos são os obtidos pela iluminação e equipamentos. (Figura 34 e Figura 35)

23 de Janeiro- Sala 11

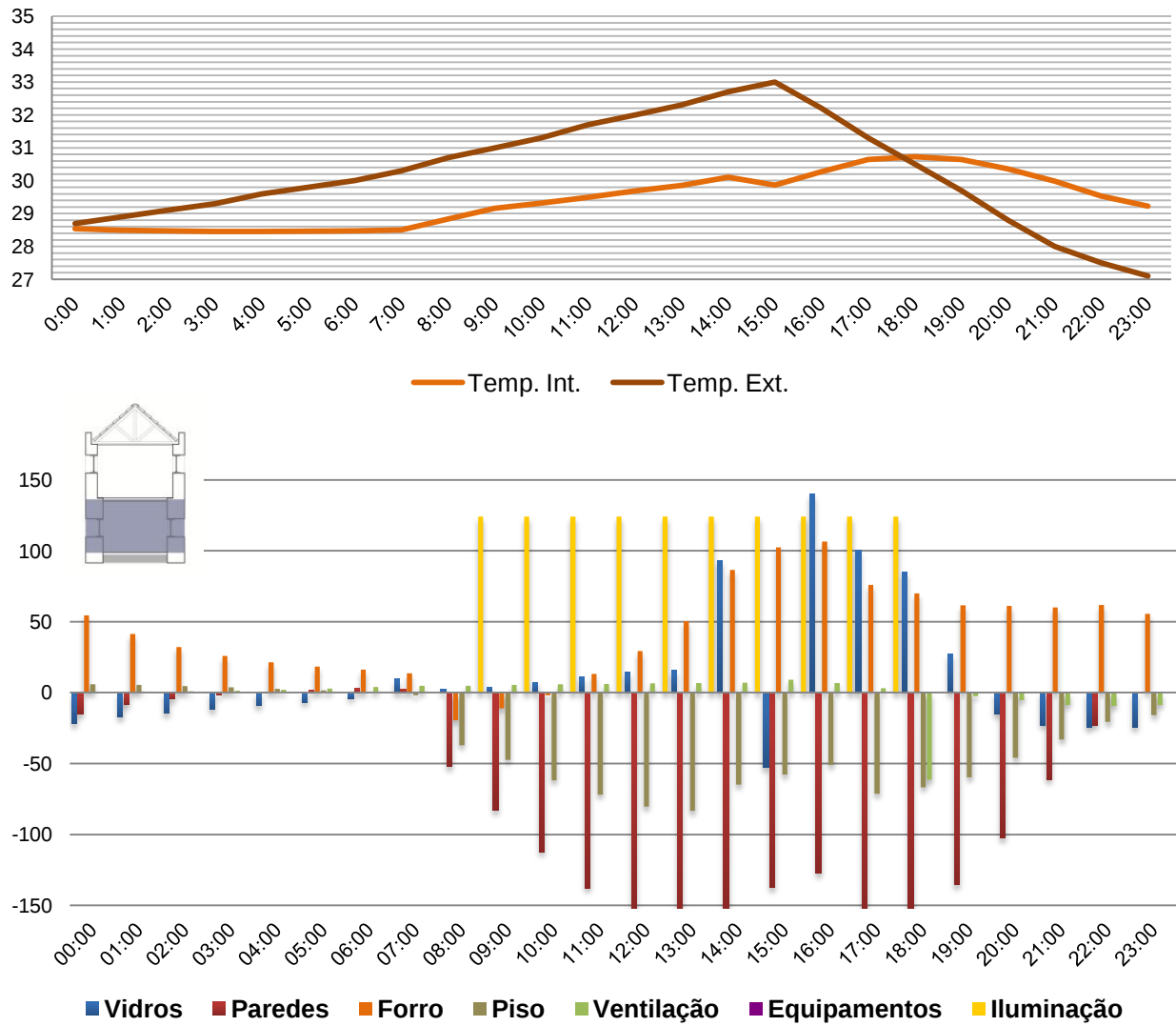


Figura 32 - Fluxos térmicos – Proposta 03 – Sala 11 – 23 de Janeiro

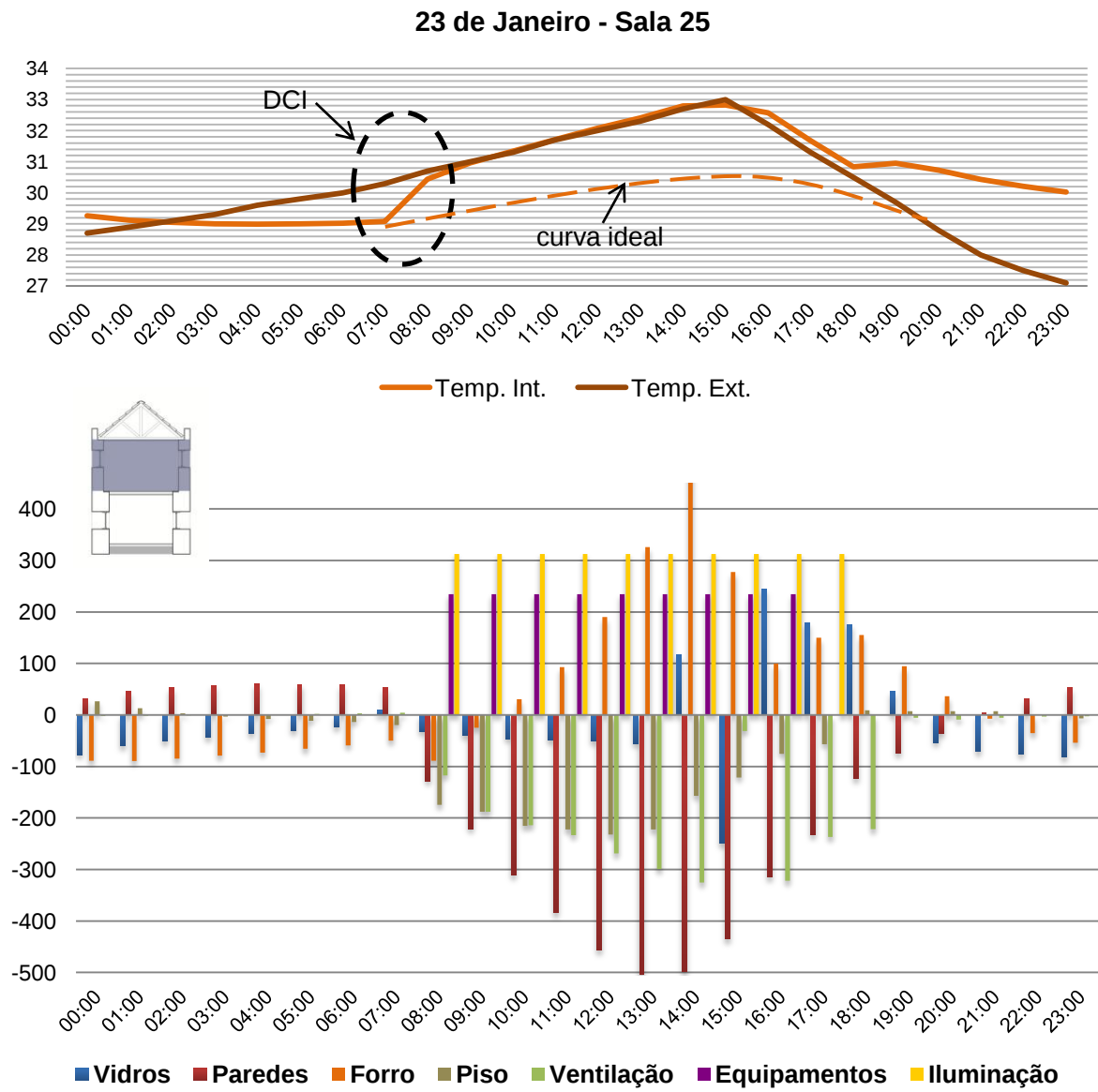


Figura 33 - Fluxos térmicos - Proposta 03 – sala 25 – 23 de Janeiro

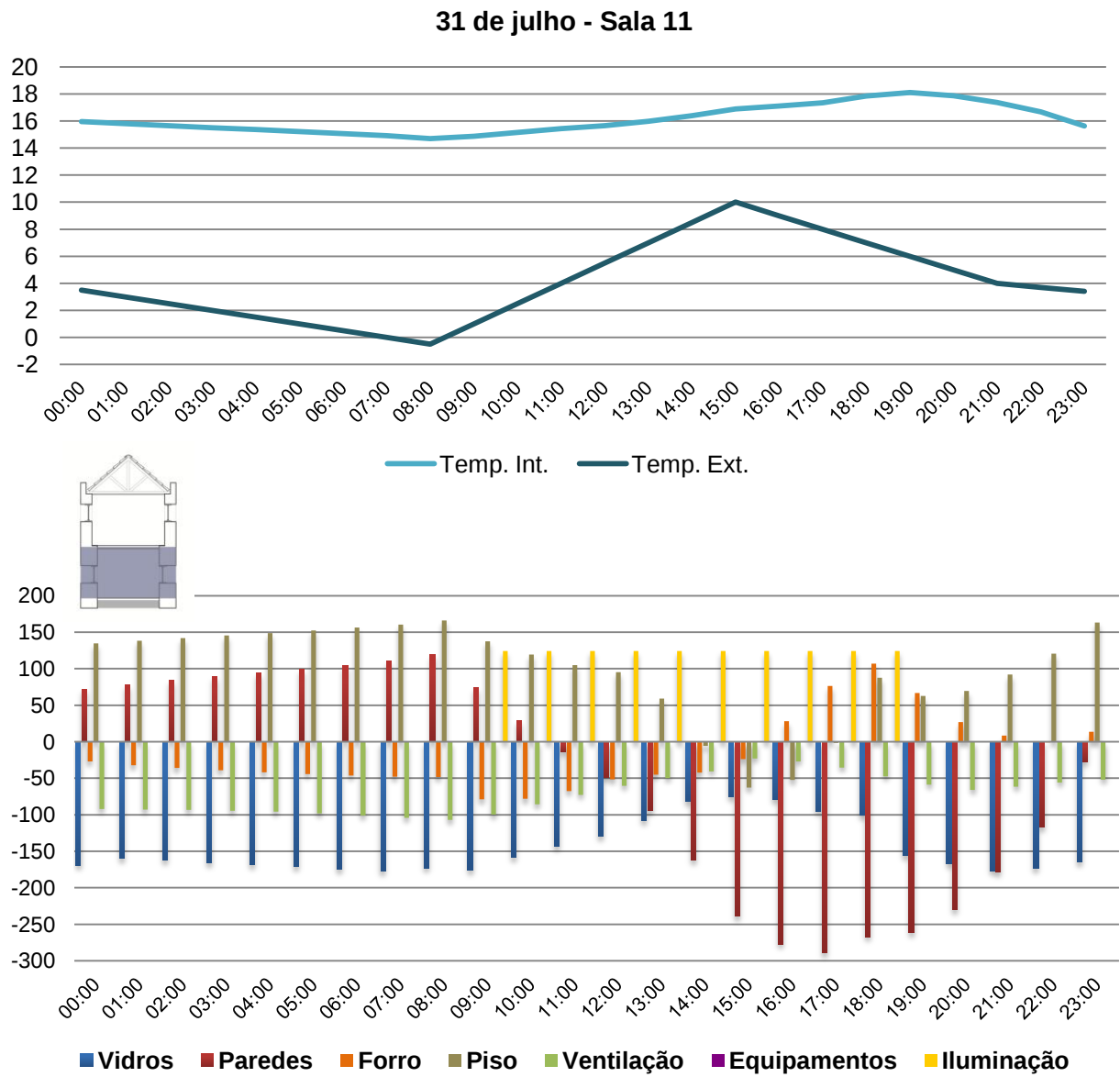


Figura 34 - Fluxos térmicos - Proposta 03 – Sala 11 – 31 de julho

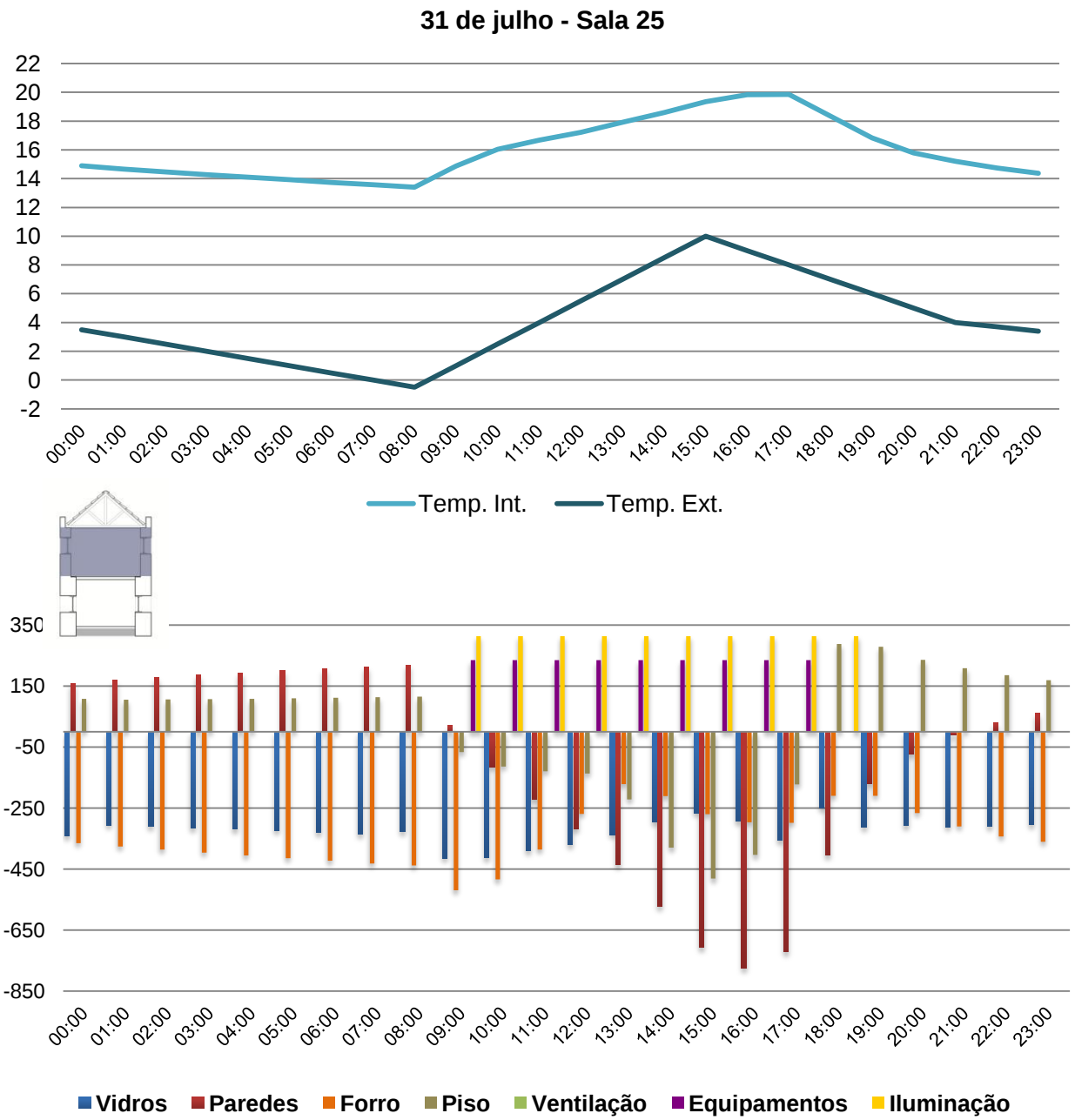


Figura 35 - Fluxos térmicos - Proposta 03 – Sala 25 – 31 de Julho

A Figura 36 caracteriza o desempenho das duas salas, para a proposta 03, com isolamento da cobertura e demais fechamentos da edificação.

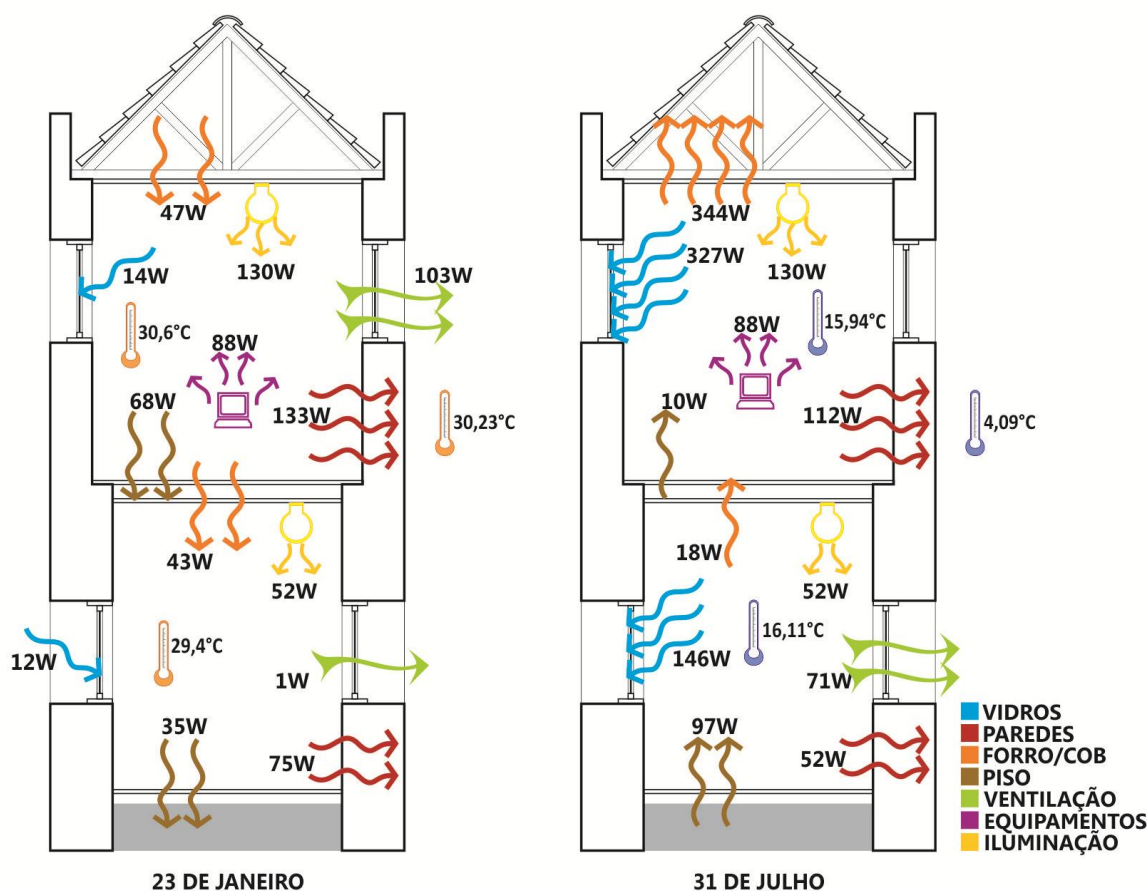


Figura 36 - Trocas térmicas – proposta 03

As trocas térmicas e temperaturas são relativas à média do dia em questão e é possível notar que as maiores acontecem através das paredes para as duas situações e também pelos vidros durante o período frio. A sala 25, maior que a sala 11, possui trocas pelo piso com a sala 07, no térreo. (Figura 30)

A iluminação tem uma grande contribuição nos ganhos térmicos, apesar de eficiente se consideradas as normas NBR 16.401(2008) de instalações de ar condicionado e NBR 5413 (1992) de iluminação de interiores. A NBR 16.401 – 1 (2008), adota 16W/m² a potência dissipada para um escritório com uma iluminância de 500lux. Porém, na proposta de melhoria do sistema e nas simulações, foi adotada uma iluminância de 750 lux, de acordo com a NBR 5413 (1992), o que gerou uma densidade máxima em algumas das salas de escritório de 12,08W/m². Mesmo com uma iluminância superior à sugerida pela NBR 16.401(2008), a potência é inferior, ou seja, com uma boa eficiência energética.

4.1.2. Teste de verificação – ventilação natural

Devido a supostas incoerências nos resultados de ventilação/infiltração da simulação, para a proposta 56, no inverno, foram realizados alguns testes para verificar a existência de erros no modelo ou no programa.

A ventilação foi definida como ‘calculada’, fazendo as trocas por ventilação e infiltração a partir do cálculo das variáveis do ambiente interno e condições climáticas do ambiente externo. Isso tudo, contando com as agendas de ocupação e operação de janelas e portas, que não permitem a abertura quando a temperatura do ambiente está abaixo de 25°C. Entretanto, na proposta 56, verificou-se na sala 11 uma grande perda de calor, no inverno, por ventilação. O modelo passou por algumas alterações na configuração para, então, ser novamente simulado.

A primeira verificação foi quanto à infiltração de ar por fendas. Em todos os modelos ela foi considerada com média vedação.



Figura 37 - fendas das esquadrias

A seguir são apresentados os dados utilizados para configuração da ventilação natural, infiltração e fendas. (Tabela 14)

Tabela 14 - Configurações para verificação da ventilação natural

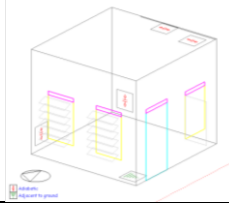
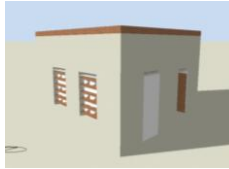
Options	Activity	Construction	HVAC	Door	Modulate opening areas	Resultados Sala 11 - 31/07
Natural Ventilation	Ventilation Setpoint Temp.	Airtighness	Natural Ventilation Outside air	Sala 11	Figura a	KW
Calculated	25°C	Excellent	3,0 ac/h		Figura a	-0,17909
Scheduled	25°C	Constant rate = 0,70	3,0 ac/h		Figura a	-0,31004
Calculated	25°C	Excellent	off		Figura a	-0,17753
Calculated	25°C	Medium	3,0 ac/h	off	Figura a	-0,88346
Calculated	25°C	off	0,5 ac/h	off	Figura a	0
Calculated	25°C	off	off		Figura a	-0,16404
Calculated	25°C	Medium	1,0 ac/h	off	Figura a	-0,88346
Calculated	25°C	Medium	off	off	Figura a	-0,85238
Calculated	25°C	Medium	3,0 ac/h	off	off	-0,88346
Calculated	25°C	Medium	3,0 ac/h	Operação Janelas 50% abertura 5% do tempo	off	-0,87177

Figura a – modulação de áreas de abertura

As revisões foram feitas a partir da qualidade de vedação entre janelas e paredes (*airtightness*), quanto à variação de temperatura interna e externa (figura a) como também quanto à quantidade de trocas de ar por hora (*outside air*). A configuração que considera ventilação e infiltração nulas, no período de inverno, é a R4 que não possui fendas (*cracks*). As configurações com vedações excelentes tiveram resultados mais amenos quanto à perda de calor pela ventilação/infiltração. Por se tratar de ventilação calculada, a alteração do número de trocas de ar por hora (*outside air* – ac/h) não teve grande influência nas perdas térmicas. As configurações que consideram média vedação obtiveram grandes perdas.

Outros testes para verificação das configurações foram: a) isolar a sala 11, a partir do arquivo existente (P_56 R teste) e b) criar um novo bloco com as mesmas configurações do modelo já simulado, para o dia mais frio do ano, 31 de julho. (Tabela 15)

Tabela 15 - configuração dos modelos de teste

Modelo	Imagem	Configuração	Air tightness	Vent. Acima janelas	Infiltração Inverno	Temp. interna
P_56 Rteste		Completo Adiabático	Medium	Sim	-0,136084 kW	15,93°C
P_56 RTeste 2		Completo Adiabático Sem vãos e portas internas	Medium	Sim	-0,13675 kW	15,97°C
P_56 Teste Modelo		Parte do original Paredes internas e forro adiabáticos Com vãos e portas internas	Medium	Sim	-0,11966 kW	14,96°C
Novo Modelo		Modelo novo Paredes internas e forro adiabáticos Sem vãos e portas internas	Medium	Sim	-0,13301 kW	15,65°C
Novo Modelo R1		Modelo novo Paredes internas e forro adiabáticos Sem vãos e portas internas	Excellent	Sim	-0,02058 kW	17,20°C
Novo Modelo R2		Modelo novo Paredes internas e forro adiabáticos Sem vãos e portas internas	Medium	Não	-0,06226 kW	16,86°C

A P_56 RTeste2 e o Novo Modelo, com as mesmas configurações, obtiveram perdas semelhantes por infiltração. Como o primeiro é simulado a partir do modelo do casarão completo e o segundo é simulado a partir de um novo modelo é possível verificar que não existem erros (*bugs*) no programa. As perdas acontecem pelo tipo de vedação entre janelas e paredes. Como na proposta 56, além de janelas e portas, existem, ainda, venezianas acima das janelas para ventilação, o número de vãos e fendas é maior do que nas outras propostas que não contam com essa estratégia.

A infiltração maior, que ocorre na sala 11, pode ser proveniente da relação direta com as salas 7 e 12, as quais influenciam nas perdas térmicas, por acrescentarem maior número de aberturas, diminuindo a estanqueidade do ambiente. (Figura 38)

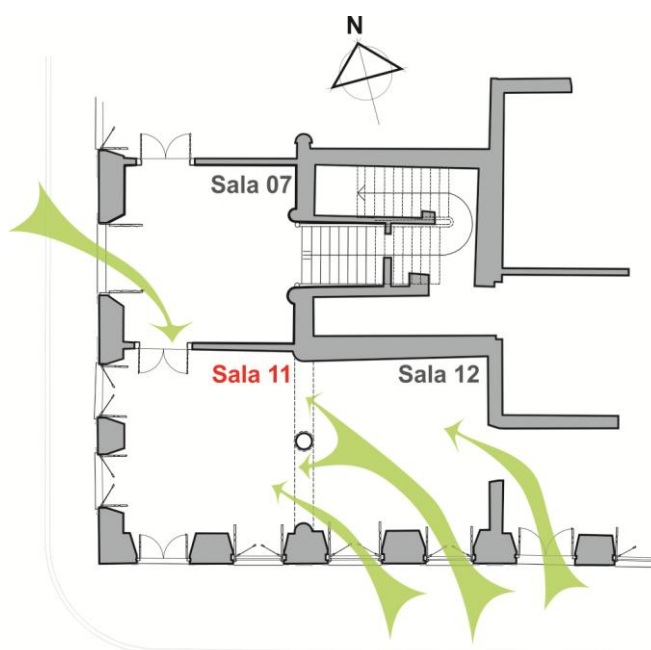


Figura 38 - sala 11 - interferências salas adjacentes

4.2. Desempenho energético

A avaliação de desempenho energético proposta pelo método de pesquisa considera graus-hora e o RTQ-C, método de simulação.

4.2.1. Desempenho energético: graus-hora

A avaliação de graus-hora, tanto para aquecimento quanto para resfriamento, considera a temperatura operativa de conforto utilizada para a avaliação de desempenho térmico para cálculo. Todos os casos foram avaliados para o período de ocupação do Casarão 02. (Figura 39)

As propostas com cobertura original sem ventilação noturna acima das janelas foram as que obtiveram piores resultados para graus-hora para resfriamento e as propostas com cobertura clara e com ventilação noturna acima das janelas resultaram nos maiores valores para graus-hora para aquecimento. Ou seja, o primeiro caso favorece ambientes com temperaturas mais elevadas e o segundo, ambientes com temperaturas mais baixas.

Enquanto a determinação do percentual de horas em conforto analisa as horas que cumprem com os limites estabelecidos a partir da equação 2, o indicador de graus-hora quantifica energeticamente essa avaliação.

Observando o Casarão 02, na sua configuração original, o modelo inicial com melhoria do sistema de iluminação apenas, observando também a pior e a melhor proposta, P_56 e P_03, respectivamente, foi possível obter o número de graus-hora para resfriamento e aquecimento para o ano todo e também para os horários ocupados, conforme gráfico da Figura 40.

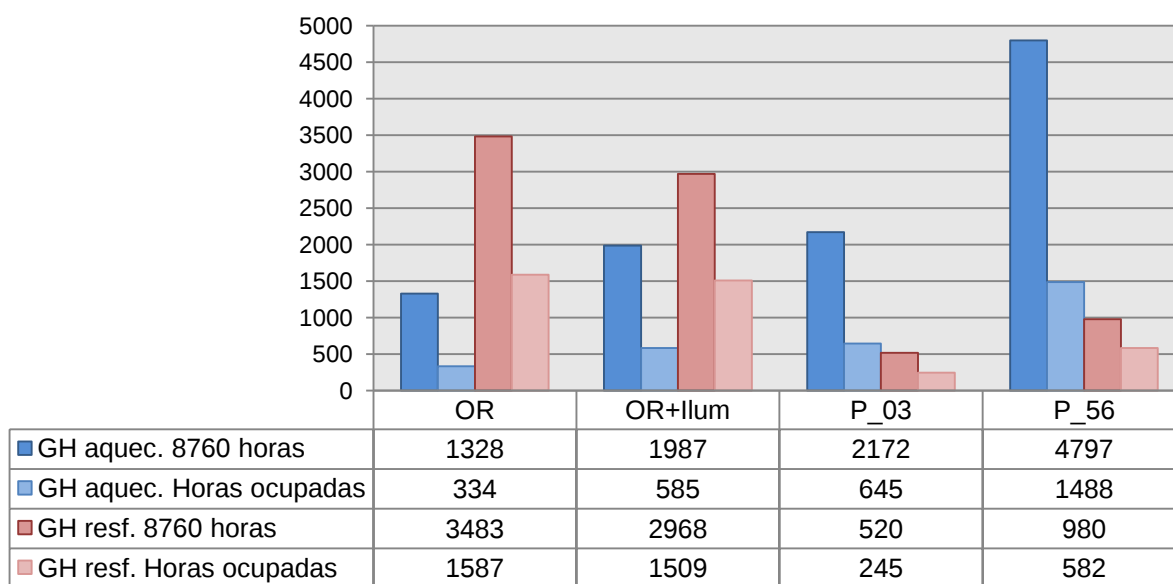


Figura 40 - Compilação dos resultados de graus-hora para 4 casos

É possível verificar que a melhor proposta, considerando o conforto térmico, é a que também apresenta os menores valores de graus-hora nas horas ocupadas, tanto para aquecimento quanto para resfriamento. Já a pior proposta, quanto ao desempenho térmico é, também, a menos eficiente, apresenta o maior número de graus-hora para aquecimento durante as duas avaliações, todas as horas do ano e horas ocupadas. Esses valores elevados, para GH aquec, reafirmam a ineficiência da proposta 56, em decorrência ao desconforto causado pelo frio.

4.2.2. Desempenho energético: RTQ-C

A análise de eficiência energética de edificações totalmente ventiladas naturalmente considera duas variáveis principais: o POC (percentual de horas ocupadas em conforto) e o EqNumDPI (equivalente numérico de densidade de iluminação). Para a obtenção da pontuação total e classificação do nível de eficiência energética é necessário utilizar a equação 8 (página 68).

4.2.2.1. Percentual de horas ocupadas em conforto

O POC de toda a edificação deve ser ponderado pela área dos ambientes de permanência prolongada, o que resulta em um EqNumV (equivalente numérico de ventilação) para todo o edifício. A Tabela 16 apresenta os resultados de todos os casos simulados.

Tabela 16 - Classificação do EqNumV para o Casarão Original e para as 64 demais configurações

	OR	OR+Illum	P_01	P_02	P_03	P_04	P_05	P_06	P_07	P_08	P_09
EqNumV	3,38	3,16	3,5	4,13	4,27	3,95	4,05	3,67	4,01	3,06	3,23
Nível	C	C	C	B	B	B	B	B	B	C	C
	P_10	P_11	P_12	P_13	P_14	P_15	P_16	P_17	P_18	P_19	P_20
EqNumV	3,59	3,81	3,91	3,85	3,85	3,91	3,02	3,37	4,13	4,07	4,02
Nível	B	B	B	B	B	B	C	C	B	B	B
	P_21	P_22	P_23	P_24	P_25	P_26	P_27	P_28	P_29	P_30	P_31
EqNumV	4,1	4,1	4,05	3,05	3,13	3,65	3,75	3,81	3,81	3,75	3,75
Nível	B	B	B	C	C	B	B	B	B	B	B
	P_32	P_33	P_34	P_35	P_36	P_37	P_38	P_39	P_40	P_41	P_42
EqNumV	3,16	3,68	3,63	4,16	4,06	4,1	4,06	4,16	2,92	3,31	3,44
Nível	C	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
	P_43	P_44	P_45	P_46	P_47	P_48	P_49	P_50	P_51	P_52	P_53
EqNumV	3,56	3,85	3,85	3,85	4	3,27	3,42	3,89	4,1	4,1	3,99
Nível	B	B	B	B	B	C	C	B	B	B	B
	P_54	P_55	P_56	P_57	P_58	P_59	P_60	P_61	P_62	P_63	
EqNumV	4,05	4,1	2,86	3,21	3,37	3,56	3,79	3,75	3,79	3,75	
Nível	B	B	C	C	C	B	B	B	B	B	

As propostas 03 e 56, em destaque, são a de maior e menor equivalente numérico de ventilação, respectivamente. Cabe ressaltar que se trata dos mesmos casos destacados na avaliação de desempenho térmico e graus-hora, no item anterior.

4.2.2.2. Equivalente numérico de densidade de potência de iluminação

O equivalente numérico de densidade de iluminação foi obtido pelo método prescritivo, método das áreas. A Tabela 17 apresenta as potências limites de para cada nível, considerando as atividades desenvolvidas no Casarão atualmente.

Tabela 17 – Eficiência energética iluminação – método das áreas

LIMITES POR FUNÇÃO				
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escritório				
DPI (W/m ²)	9,7	11,2	12,6	14,1
Potência (W)	3988,06	4604,77	5180,36	5797,07
Museu				
DPI (W/m ²)	11,4	13,1	14,8	16,5
Potência (W)	5053,62	5807,23	6560,84	7314,45
Limites máximos para edificação				
Potência limite	9041,678	10412	11741,2	13111,52

A edificação possui uma densidade de potência de iluminação igual a 41,95 W/m², sendo classificada como Nível E, uma vez que para Nível D a potência máxima não deve passar de 13.111,52W. O apêndice A apresenta o levantamento feito para a verificação do sistema de iluminação existente.

A proposta de melhoria no sistema para Nível A pode ser conferida no apêndice E. Todas as lâmpadas e reatores foram substituídos por outros mais eficientes. O novo dimensionamento foi feito a partir da NBR 5413 (ABNT, 1992), e considera iluminância média para cada uma das atividades: museu – 300 lux, escritório – 750 lux. Nas áreas de museu, as halógenas, de destaque, foram substituídas por lâmpadas PARs com a mesma função. Como nesses ambientes da edificação a iluminação não é complementada por uma iluminação geral, ela entra no cálculo de potência total, e por esse motivo foi totalmente substituída. A Tabela 18 apresenta as substituições feitas.

Tabela 18 - Sistema de iluminação original e proposto

Existente			Proposto		
Tipo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Tipo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)
Halógena	150	1800	DULUXSTAR® PAR 38 - Econômica	20	1144
Fluorescente	67	Não verificado	Fluorescente T8 F032W/830	56	2700
Reator			Reator -QTP8 2x32 T8 UNV ISN-SC		
Incandescente	100	100	DULUX® SUPERSTAR MICRO TWIST 19W 827	19	1180

Com essa nova iluminação a densidade de potência de iluminação passa de 18.104W para 5.790,69W, de nível E para nível A, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparação entre sistema de iluminação existente e sistema proposto

ILUMINAÇÃO ORIGINAL		ILUMINAÇÃO NOVA	
Potência por função		Potência por função	
Escritório	411,14 m ²	Escritório	411,14 m ²
DPI (W/m ²)	15,30	DPI (W/m ²)	9,44
Potência (W)	6289,00	Potência (W)	3882,75
Museu	443,30 m ²	Museu	443,30 m ²
W/m ²	26,65	W/m ²	4,23
W	11815,00	W	1874,48
Casarão		Casarão	
Potência total	18104,00	Potência total	5790,69
Nível E		Nível A	

4.2.2.3. Pontuação total

A partir da equação 8, apresentada no item 3.5.2.2., é possível obter a pontuação total do Casarão 02. As variáveis a serem utilizadas, são: área de permanência transitória (APT); área não condicionada (ANC) e área útil (AU) e estas não variam para as análises das 64 propostas de melhorias. Os valores estão descritos na Tabela 20. No entanto, os valores de EqNumV e EqNumDPI, são utilizados de acordo com as propostas analisadas, descritos nos itens 4.2.2.1. e 4.2.2.2.

Tabela 20 - Áreas para o cálculo da pontuação total - Casarão 02

Área	Área (m²)
Área útil (AU)	838,88
Área de Permanência Transitória (APT)	449,91
Área Não Condicionada (ANC)	388,97

A edificação original, com sistema de iluminação existente obteve pontuação total 3,27, e classificação Nível C. A Tabela 21 apresenta a pontuação total (PT) para todos os casos simulados.

Tabela 21 - Pontuação total (PT) do casarão original e das 64 propostas

Config.	OR	OR+ Illum	P_01	P_02	P_03	P_04	P_05	P_06	P_07	P_08	P_09
PT	3,27	4,40	4,51	4,72	4,76	4,66	4,69	4,57	4,68	4,37	4,43
Nível	C	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B

Config.	P_10	P_11	P_12	P_13	P_14	P_15	P_16	P_17	P_18	P_19	P_20
PT	4,54	4,61	4,65	4,63	4,63	4,65	4,36	4,47	4,72	4,70	4,68
Nível	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A

Config.	P_21	P_22	P_23	P_24	P_25	P_26	P_27	P_28	P_29	P_30	P_31
PT	4,71	4,71	4,69	4,37	4,39	4,56	4,59	4,61	4,61	4,59	4,59
Nível	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A

Config.	P_32	P_33	P_34	P_35	P_36	P_37	P_38	P_39	P_40	P_41	P_42
PT	4,40	4,57	4,56	4,73	4,69	4,71	4,69	4,73	4,32	4,45	4,49
Nível	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B

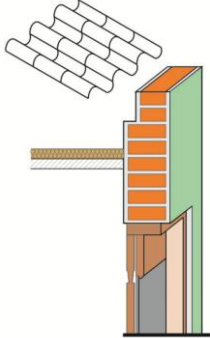
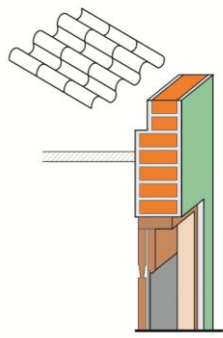
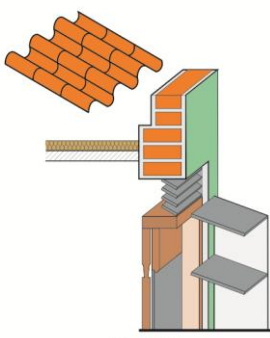
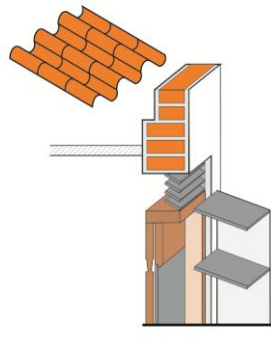
Config.	P_43	P_44	P_45	P_46	P_47	P_48	P_49	P_50	P_51	P_52	P_53
PT	4,53	4,63	4,63	4,63	4,68	4,44	4,49	4,64	4,71	4,71	4,67
Nível	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A

Config.	P_54	P_55	P_56	P_57	P_58	P_59	P_60	P_61	P_62	P_63
PT	4,69	4,71	4,31	4,42	4,47	4,53	4,61	4,59	4,61	4,59
Nível	A	A	B	B	B	A	A	A	A	A

O Apêndice G apresenta o gráfico com os resultados da pontuação total em ordem decrescente.

A melhor classificação final foi a proposta 03, com PT 4,76, Nível A e a pior classificação foi a proposta 56, com PT 4,31, Nível B. A Tabela 22 apresenta uma comparação entre o pior e o melhor de cada um dos dois níveis obtidos com a simulação.

Tabela 22 - Comparação entre melhor e pior configuração dos Níveis A e B

	Melhor Nível A	Pior Nível A
	 P_03 Paredes originais, cobertura clara e isolada	 P_01 Paredes originais, cobertura clara
EqNumV	4,27	3,50
PT	4,76	4,51
% conforto*	78,88%	68,54%
Graus-Hora	890,02	1.556,8
	Melhor Nível B	Pior Nível B
	 P_42 Paredes originais, cobertura isolada, ventilação noturna sobre janelas e protetores solar externos	 P_56 Paredes claras, cobertura original, ventilação noturna sobre janelas e protetores solar externos
EqNumV	3,44	2,86
PT	4,49	4,31
% conforto*	69,32%	64,18%
Graus-Hora	1487,2	2069,9
* % de conforto - média dos ambientes de permanência prolongada para as horas ocupadas – não considera a ponderação pelo equivalente numérico de ventilação		

O equivalente numérico de densidade de potência de iluminação é sempre o mesmo (EqNumDPI = 5) para todas as propostas de melhoria simuladas. Nesse contexto, o pior desempenho para os níveis de conforto – proposta 56 – obteve nível B de eficiência. Considerando que a iluminação possui peso de 30% na equação 8 e a ventilação os outros 70%, é possível verificar que as áreas de permanência

transitória, que, nesse caso, são maiores do que as de permanência prolongada, auxiliam significativamente para elevar o nível de eficiência energética de edifícios ventilados naturalmente.

5. Resultados de avaliação econômica das medidas corretivas

A avaliação econômica das medidas corretivas considera dois cenários para a análise. O primeiro é a troca do sistema de iluminação existente pelo proposto para Nível de eficiência energética A, segundo o RTQ-C. O segundo avalia o consumo de energia a partir de um hipotético sistema de ar condicionado, comparando o edifício real com a proposta de melhor desempenho.

5.1. Sistema de iluminação

Para a avaliação econômica da mudança no sistema de iluminação, primeiramente é necessário quantificar as lâmpadas e luminárias a serem trocadas, o valor unitário de cada item, o custo do kWh fornecido pela concessionária de energia e a economia no consumo anual da edificação. Para cálculo do consumo de energia anual foram considerados 22 dias úteis nos 12 meses do ano. (Tabela 23)

Tabela 23 - Consumo de energia anual

Potência Sistema Original	Potência Sistema Nível A	Economia de consumo	Horas ocupadas	Economia de Consumo anual	Valor da economia gerada no ano
18,10kW	5,79kW	12,31 kW	2.610 horas	32.129 kWh/ano	R\$ 15.315,94

O investimento total a ser feito é de R\$ 10.070,51, considerando luminárias, lâmpadas e mão de obra de instalação. A economia de energia anual seria de R\$ 15.315,94 com o novo sistema de iluminação, considerando R\$ 0,4767 o kWh fornecido pela CEEE (classificação Poder Público), já com impostos. O *payback* simples se dá em 0,66 ano, ou seja, em aproximadamente meio ano. A Tabela 24 apresenta os valores de investimento.

Tabela 24 - Investimento em iluminação

Lâmpada	Qtde	Valor unitário	Total
Fluorescente T8 F032W/830	77	R\$ 8,00	R\$ 616,00
Reator -QTP8 2x32 T8 UNV ISN-SC	41	R\$ 27,00	R\$ 1.107,00
DULUXSTAR MINI TWIST 18W 827	106	R\$ 10,74	R\$ 1.138,44
DULUXSTAR® PAR 38 - Econômica	63	R\$ 43,50	R\$ 2.740,50
Spot para lâmpadas PAR - 2 lâmpadas	32	R\$ 26,78	R\$ 843,57
Mão de obra	73	R\$ 50,00	R\$ 3.625,00
Total Investimento			R\$ 10.070,51

Para a avaliação do custo de energia conservada (CEC) e verificação das possíveis vantagens na implementação do novo sistema, os valores foram utilizados na equação 12.

Tabela 25 - Cálculo do custo de energia conservada (CEC) para novo sistema de iluminação

TCC (R\$)	ΔE (kWh ano)	n (anos)	d (%)	CEC (R\$/kWh)
6.445,52	32.129	3,07	7,30	0,12

O custo economizado ao longo de 3,07 anos é de R\$ 0,12 por kWh, ou seja, bem abaixo do custo do kWh fornecido pela concessionária para poder público. Então, para análise da eficiência, o CEC é dividido pelo valor do kWh resultando em 0,26, muito inferior a 1, provando o benefício financeiro da proposta.

5.2. Edifício climatizado artificialmente

Como maneira de avaliar a viabilidade econômica da melhor proposta de melhoria apresentada, o edifício original e a proposta 03 foram ambos simulados com sistema de ar condicionado, tipo *split*, nível A, nos ambientes de permanência prolongada. Os resultados de consumo de energia, para aquecimento e resfriamento, das duas simulações foram comparados. (Tabela 26)

Tabela 26 - Consumo de energia para aquecimento e resfriamento - Original e Proposta 19

Consumo Anual			
	Original kWh	P_03 kWh	Economia de Energia (kWh)
Aquecimento	1009,31	1642,89	-633,58
Resfriamento	14020,01	6954,32	7065,69
Total	15029,32	8597,21	6432,11

A partir daí, foi possível determinar o custo anual de energia economizada, R\$ 3.066,19, e o tempo de retorno, 13,66 anos. Os valores do investimento inicial estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores de investimento para proposta de melhoria nº 19

Melhoria	Qtde (m²)	Valor Unitário	Total
Lã de vidro + mão-de-obra - cobertura	514,30	R\$ 21,40	R\$ 11.006,02
Tinta branca - cobertura	622,30	R\$ 0,395	R\$ 983,23
Mão-de-obra - pintura			R\$ 29.888,00
Total Investimento			R\$ 41.877,25

Assim como na análise do novo sistema de iluminação, as medidas propostas aqui foram avaliadas quanto ao custo de energia conservada. Os dados para este cálculo estão na Tabela 28.

Tabela 28 – Cálculo do custo de energia conservada (CEC) para Proposta 19

TCC (R\$)	ΔE (kWh ano)	n (anos)	d (%)	CEC (R\$/kWh)
41.877,25	6.432,11	10	7,30	0,94

Avaliando se o custo de energia conservada é vantajoso nessa proposta, foi feito o mesmo cálculo utilizado no sistema de iluminação, dividindo o CEC pelo valor do kWh fornecido pela CEEE, que resultou em 1,97. Este resultado, diferente do anterior, apresenta uma desvantagem na sua implementação.

Outras propostas apresentaram bons resultados de eficiência energética e poderiam ser alternativas mais econômicas para implantação no Casarão 02. A proposta de número 2 é uma opção adicional e, na qual, apenas, os custos de isolamento de cobertura, seriam contabilizados. A configuração possui bom desempenho termoenergético, com classificação nível A, conforme previamente apresentado no item 4. A Tabela 29 apresenta a avaliação de custos para o isolamento da cobertura, que possui um *payback* em 3,59 anos.

Tabela 29 – Cálculo do custo de energia conservada (CEC) para isolamento da cobertura

TCC (R\$)	ΔE (kWh ano)	n (anos)	d (%)	CEC (R\$/kWh)
11.006,02	6.432,11	10	7,30	0,25

O cálculo de custo x benefício resultou em 0,52, podendo ser considerado como vantajoso.

6. Conclusões

Dentro de um panorama geral é possível dizer que o Casarão 02, em sua situação atual, possui um comportamento térmico adequado, com 69,50% das horas ocupadas em conforto. A análise considerou o modelo adaptativo de De Dear e Brager para a ASHRAE Standard 55 (2010), que estabelece limites aceitáveis de conforto para ambientes ventilados naturalmente.

A avaliação de eficiência energética pelo RTQ-C – método de simulação – definiu o Casarão 2 com Nível C. Atualmente a edificação está equipada com um sistema de iluminação bastante ineficiente, do ponto de vista energético, o que contribui para a sua classificação final. A alteração no sistema de iluminação, elevando o nível de eficiência energética para A, contribuiria, também, para uma grande economia em custos com consumo de energia.

A edificação condicionada naturalmente foi examinada para obtenção do nível de eficiência energética pelo método de simulação computacional do RTQ-C. Os resultados implicam em um EqNumV nível C, muito próximo à B e pontuação total de 3,27, classificação final nível C. O processo, em sua totalidade, englobou a avaliação do sistema de iluminação pelo método prescritivo e a obtenção do equivalente numérico de ventilação por simulação computacional, e expôs o grau de influência dos ambientes de permanência transitória. Tratando especificamente deste objeto em estudo é possível afirmar que essas áreas, que são maiores que as de permanência prolongada, favoreceram significativamente para o aumento da eficiência energética da edificação, elevando o nível de classificação.

As 64 propostas sugeridas e analisadas foram todas pensadas apenas como forma de elevar os níveis de conforto térmico. Para tanto, soluções que favorecessem a ventilação cruzada, do ático e dos ambientes, isolassem a cobertura, protetores solares e valores menores de absorvância para as fachadas e

cobertura foram simulados. No entanto, alguns casos simulados resultaram em menos horas ocupadas em conforto que a configuração original, e todas oscilando entre 65,44% a 78,81%. A variação entre o pior e melhor caso – P 56 e P 03, respectivamente difere em aproximadamente 9 semanas de desconforto no ano. Estes valores e hipoteticamente considerando que os melhores resultados seriam aqueles que descaracterizassem consideravelmente a fachada da edificação histórica, nem mesmo nesse caso, as propostas e as suas justificativas de aumento do conforto térmico, serviriam para possibilitar sua implementação. Entretanto, o melhor resultado foi aquele que considerou isolamento e menor absorvência da cobertura, proposta 03, com 78,81% das horas ocupadas em conforto térmico. Em segundo lugar, a proposta 52, com cobertura original e ventilada e paredes claras, obteve 78,51%. Em terceiro lugar, a proposta 02, resultou em 78,31% das horas ocupadas em conforto, sendo que ela propõe apenas isolamento da cobertura. A variação de 0,5%, entre a primeira e terceira colocação, é suficiente para propor apenas o isolamento da cobertura, como sugestão de modificação da envoltória da edificação.

Considerando a edificação tombada, torna-se imprescindível conhecer as limitações e possibilidades de alteração nesse tipo de construção. As normas do IPHAN, para esses casos, exigem a aprovação do projeto pelo instituto antes de qualquer modificação. As propostas sugeridas nesse estudo consideram as questões de conforto térmico e os classificados como melhores resultados de desempenho (propostas 02 e 03) apresentam-se como boas justificativas para a implantação, pois elevam significativamente os níveis internos de conforto e interferem relativamente pouco na estética da edificação. A questão do nível de eficiência energética, classificado como A para as propostas mais significativas, é outro argumento favorável para esta modificação, uma vez que se trata de um prédio com uso público.

As análises econômicas feitas para a proposta 03 apresentam o impacto financeiro decorrente das modificações sugeridas. O isolamento e a pintura da cobertura têm um tempo de retorno de 13,66 anos e um custo de energia conservada não considerado vantajoso para a implantação das medidas propostas. Porém, outra proposta, com bons resultados de desempenho, pode ser mais adequada do ponto de vista econômico. A proposta 2, que propõe paredes originais

e cobertura isolada, possui 78,81% das horas ocupadas em conforto, com nível A de eficiência energética.

Os levantamentos *in loco* permitiram iniciar a modelagem de janelas e postigos – informações que mostraram a adequada operação desses elementos pelos usuários – e estabeleceram horários de abertura e fechamento, tanto para possibilitar a ventilação quanto a iluminação natural. Para tanto, a ventilação natural foi configurada por temperatura de *setpoint*, estabelecida em 25°C, permitindo essa função apenas em situações em que o Casarão está em funcionamento e quando a temperatura interna está acima de 25°C e a externa está inferior à interna. Observando os dois casos, o real e o simulado, é possível verificar que a simulação representou fielmente a realidade, tornando a análise de resultados válida e muito próxima da situação real.

De um modo geral, os resultados foram satisfatórios, pois, em quase 70% das horas ocupadas, o Casarão, em sua configuração original, apresentou bons níveis de conforto térmico. É possível afirmar que, a alta inércia térmica das paredes, a baixa densidade de carga interna e o isolamento da cobertura são elementos que definem o edifício com altos níveis de desempenho termoenergético. Considerando o uso público, com horários comerciais de funcionamento e atividade leve de escritório, pode-se alegar que diferentes usos, com características semelhantes podem apresentar resultados muito próximos aos descritos para o Casarão 02. Alterações mais significativas de usos, com atividades mais pesadas e maiores ou menores horários de ocupação, demandam avaliações mais detalhadas de tal desempenho. Mesmo assim, a pesquisa pode ser estendida a outras edificações, com as mesmas características construtivas e usos similares e/ou distintas e, também, contemplar diferentes intervenções de melhorias que não foram abordadas nesse estudo. Porém, cada construção tem suas peculiaridades e, assim como eventuais mudanças significativas de usos, deve ser analisada por suas características específicas e simulada para a definição de níveis de desempenho termoenergético.

Analisar edificações e comprovar com resultados o bom comportamento termoenergético já é um assunto válido de ser estudado. Mas ao tratar-se de um edifício tombado, com restrições de alterações e, por vezes, visto com pouco interesse por investidores, é possível evidenciar sua qualidade térmica, através da

simulação, para os mais variados usos. As avaliações das propostas de melhoria são justificativas adicionais no momento de aprovação da modificação, pois apresentam dados concretos da eficiência energética e também de viabilidade econômica de tal medida. Portanto, a reabilitação de construções pode ser otimizada pela comprovação do desempenho das propostas sugeridas.

6.1. Limitações do trabalho

Muitas informações são necessárias para a modelagem no programa *DesignBuilder*. Muitas delas essenciais para obtenção de resultados precisos, como, por exemplo, a espessura de paredes e suas camadas. Nesse trabalho, as espessuras e composição das paredes foram deduzidas de bibliografia específica, afinal a análise detalhada dessa informação nas paredes da edificação é inviável, uma vez que a retirada de amostras significativas para observação seria considerada depredação e descaracterização do patrimônio.

Os materiais utilizados na construção, em 1830, são diferentes dos utilizados atualmente. Ensaio realizados para a obtenção da densidade do tijolo e da argamassa permitiram definir o calor específico e condutividade térmica do material, a partir da NBR 15.220 – parte 2 (ABNT, 2005). A forma mais precisa seria encomendar ensaios para a obtenção desses valores reais, a partir de amostras maiores.

Outra questão importante é a operação de janelas e postigos. As configurações do programa permitem definir horários de abertura e percentual de infiltração de ar, não sendo possível modelar o aparato de sombreamento interno como elemento independente. Então, a partir de um cálculo aproximado, foi estabelecido a abertura da esquadria e um percentual de permeabilidade para infiltração de ar do protetor interno (*internal shade*), para uso de janela semi-aberta e postigo fechado. Dessa forma, foi possível considerar simultaneamente o sombreamento parcial e ventilação natural do ambiente.

6.2. Trabalhos futuros

O estudo de edificações históricas é um assunto que pode ser visto de vários aspectos: históricos, artísticos, patrimoniais, técnicos, construtivos, etc. A avaliação de outras edificações similares ou de mesma importância cultural pode dar

continuidade a este estudo. A análise conjunta de outros exemplares pode ser comparativa de comportamento térmico e energético, a partir de suas características construtivas, usos, localização. A partir de uma análise comparativa entre demais exemplares, seria possível verificar a abrangência de algumas hipóteses, como, por exemplo, a interferência real da inércia térmica de paredes espessas, a diferença entre técnicas construtivas de diferentes períodos históricos, a influência da cobertura em outras edificações.

Ainda, a partir de análise de vários casos e com base nos resultados obtidos dessas várias simulações, seria possível definir algumas soluções possíveis de serem aplicadas para a melhoria do conforto térmico e também de eficiência energética como diretrizes de intervenção em edificações históricas.

7. Referências bibliográficas

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2009 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. SI Edition p. 9.19 Atlanta, 2009.

ANSI/ASHRAE – AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard – 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413. Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15.575. Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos --- Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 16.401 – 3. Instalação de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte – 3. Qualidade do Ar Interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BASTOS, Felipe Carlos. **Análise da Política de Banimento de Lâmpadas Incandescentes do Mercado Brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

BEZERRA, Inês Maria Torres de Oliveira. **Conforto Ambiental no Processo de Reutilização de Edifícios Históricos Tombados**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, concentração em edificações) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

BITTENCOURT, Leonardo. CÂNDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**. Editora UFAL. Maceió, Alagoas, 2005.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>> - Acessado em 20 de julho de 2011.

_____. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2001/10295.htm>> Acessado em 20 de julho de 2011.

_____. **Portaria Interministerial 364, de 24 de Dezembro de 2007**. Aprova a Regulamentação Específica de Condicionadores de Ar, na forma constante dos Anexos à presente Portaria. Ministério de Minas e Energia. Consultoria Jurídica. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/Portaria364_2007.pdf> Acessado em 10 de outubro de 2012.

_____. **Portaria Interministerial 1.007 de 31 de Dezembro de 2010**. Aprova a Regulamentação Específica de Lâmpadas Incandescentes. Lex: Diário Oficial da União. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.fiscolex.com.br/doc_18728302_PORTARIA_INTERMINISTERIAL_N_10_07_DE_31_DE_DEZEMBRO_DE_2010.aspx> Acessado em 26 de julho de 2011.

_____. Ministério da Cultura. Instituto do Programa Monumenta. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural** / Elaboração José Hailon Gomide, Patrícia Reis da Silva, Sylvia Maria Nelo Braga. _ Brasília : Ministério da Cultura, Instituto do Programa Monumenta, 2005a.

_____. Ministério da Cultura. Programa Monumenta. **Sítios históricos e conjuntos urbanos de monumentos nacionais: sudeste e sul**. Brasília: Ministério da Cultura, Programa Monumenta , 2005b.

BREYMANN, G. A. **Muri Costruzioni in mattoni ed pietre artificiali e naturali**. Da Breymann, Trattato di Costruzioni civili, 1885. Editrice Librerie Dedalo Roma.

CABREIRA, Cristiane V. et al. **Impacto no Projeto de Climatização na Reabilitação de Edificações Históricas**. Gestão e Tecnologia de Projetos. Volume 6, Número 1. 2011.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Florianópolis, 2008a. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

_____. **Relação entre a Eficiência Estabelecida pela Regulamentação para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e os Benefícios Econômicos Provenientes de Investimentos no Envolvimento**. Florianópolis, 2008b. Monografia (Concurso Catarinense de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética) Eco_Lógicas. Instituto IDEAL.

CARVALHO, Juliana de. **Análise de Ciclo de Vida Ambiental Aplicada à Construção Civil – Estudo de Caso: Comparação entre Cimentos Portland com Adição de Resíduos**. 2002. Dissertação (mestrado em engenharia civil) Faculdade de Engenharia Civil. Universidade de São Paulo.

COOK, Malcolm. YANG, Tong. CROPPER, Paul. **Thermal Comfort in Naturally Ventilated Classrooms: Application of Coupled Simulation Models**. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. Proceedings of Building Simulation 2011. Sydney. Novembro 2011. Disponível em: < http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2011/P_1714.pdf > Acessado em 06 de dezembro de 2012.

CUNHA, Eduardo G. ZECHMEISTER, Doris. MELO, Evanisa Quevedo. MASCARÓ, Juan José. VASCONCELLOS, Luciano de. FRANDOLOSO, Marcos Antônio Leite. **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural**. Porto Alegre: Masquatro, 2 ed, 2006.

DEPARTAMENTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO. **Tombamento e Participação Popular**. São Paulo. 2001. Disponível em: < ww2.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/cultura/CartilhaTombamento.doc > Acessado em 02 de outubro de 2012.

DESIGNBUILDER. Programa de simulação computacional de edificações. Disponível em: < <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/6/14/> > Acessado em 11 de dezembro de 2012.

DOMUS. Programa de simulação computacional de desempenho termo-energético. Disponível em: <http://domus.pucpr.br/mapa_r/> acessado em 12 de setembro de 2011.

GIRALT, Rômulo Plentz. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética na Reciclagem de Edifícios Históricos**. Projeto de Qualificação para tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2010. (Não publicado)

GONÇALVES, Joana Carla Soares. VIANNA, Nelson Solano. MOURA, Norberto Corrêa da Silva. **Iluminação Natural e Artificial**. PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética em Edificações. Rio de Janeiro, agosto 2011.

HENSEN, Jan L. M., LAMBERTS, Roberto. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Spon Press. London and New York. 2011.

IBAM/Eletróbrás. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. 2004. Reimpressão. Rio de Janeiro.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Manual de Aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade – RTQ-C e Regulamento de Avaliação da Conformidade RAC-C**. Eletróbrás, 2010a.

____. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C**. Eletróbrás, 2010b.

____. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RAC-C.** Eletrobrás, 2010.

____. **Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE /Eficiência Energética.** Brasil. [entre 1993 e 2012] Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>> Acessado em 14 de julho de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Área Territorial Oficial.** Brasil. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm> acessado em 06 de setembro de 2011.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN. **Roteiro para Apresentação de Projeto Básico de Restauração do Patrimônio Edificado.** Manual do IPHAN. Rio de Janeiro: DEPROT/ Divisão de Apoio Técnico, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 7730:** Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of Conditions for Thermal Comfort. Geneva, 1994.

____. **ISO 7730:** Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. Geneve, 2005.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

MAGALHÃES, Mario Osorio. **Opulência e Cultura na Província de São Pedro do Rio Grande do Sul: Um estudo sobre a história de Pelotas (1860 – 1890).** Pelotas. Livraria Mundial, 1993.

Manioglu, G.; Yilmaz, Z. **Economic Evaluation of the Building Envelope and Operation Period of Heating System in Terms of Thermal Comfort.** Energy and Buildings, v.38, n.1, p. 266-272, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880500099X>> acessado em 25 de fevereiro de 2013.

MARTINS, D. J.; RAU, S. L.; RECKZIEGEL, S.; FERRUGEM, A. P.; SILVA, A. C. S. B. **Ensaio sobre a Utilização da Automação de Aberturas na Simulação do Desempenho Térmico de Edificações**. X ENCAC. Anais do evento. Natal 2009.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Florianópolis. 2007. Dissertação (mestrado em engenharia civil) Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

MENEZES, Milton Serpa. **Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Sociais de Passo Fundo – RS**. Passo Fundo, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo. MINISTÉRIO DA CULTURA. **Manual do Usuário de Bens Inventariados**. Prefeitura Municipal de Pelotas, Secretaria Municipal de Cultura, Programa Monumenta, IPHAN. Pelotas: Edigraf, 2007.

MINISTÉRIO DA CULTURA. **Patrimônio Vivo, Pelotas – RS**. Brasília, DF : IPHAN / Programa Monumenta, 2007.

MIZGIER, Martin Ordenes. **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Apresentação. Curso Eletrobrás. Rio de Janeiro: Outubro de 2010.

NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque, et al. **Avaliação Do Conforto Ambiental em Salas de Aula: Estudo de Caso em Cuiabá – Mt**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais do evento. Fortaleza 2008.

ORDENES, M., PEDRINI, A., GHISI, E. LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no VisualDOE – 3.1**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

OSRAM. **Linha de Produtos OSRAM 2009|2010**. OSRAM, Maio, 2009.

POUEY, J. A. **Simulação do desempenho de estratégias bioclimáticas em locais de grande variação climática – Projeto de Edificação Residencial**

para Zona Bioclimática 2. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURA (SeCult). **Históricos de Prédios Praças e Monumentos.** Pelotas.

PREISER, W.F.E., VISCHER J. C., **Assessing Building Performance.** Oxford. Elsevier, 2005.

RIBEIRO, Marina Byrro. **A Importância do edifício para o Conforto e o Controle Ambientais nos Museus.** Actas do I Seminário de Investigação em Museologia dos Países de Língua Portuguesa e Espanhola. Volume 1. páginas 402 – 413. Porto, Portugal. 2010. ISBN: 978-972-8932-61-9.

RIBEIRO, Marina Byrro. **Conforto Ambiental em Prédios de Valor Cultural.** 1993. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

RUAS, Álvaro Cesar. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho.** Ministério do Trabalho. Fundacentro. São Paulo, SP. 1999.

SANTOS, A.H.M. et al. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006. 596 p.

SILVA, Mauri Luiz da. **Iluminação: Simplificando o Projeto.** Editora Ciencia Moderna. Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, Clarice Bleil de. ALSAADANI, Sara. **Thermal Zoning in Speculative Office Buildings: Discussing The Connections Between Space Layout and Inside Temperature Control.** First Building Simulation and Optimization, BSO.12. Anais do Evento. Loughborough, UK. 2012.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory.** Disponível em: < http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/> acessado em 15 de julho de 2012.

VIANNA, Nelson Solano. ROMERO, Marcelo de Andrade. **Procedimentos metodológicos para a avaliação pós-ocupação em conjuntos habitacionais de baixa renda com ênfase no conforto ambiental.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <

<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3427/1844> > Acessado em 10 de outubro de 2012.

VOLTANI, Eder R. LABAKI, Lucila C. **Revisão da Última Versão da Norma ISO 7730 (2005): Síntese Bibliográfica dos Trabalhos mais Relevantes.** XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. Fortaleza, 2008.

8. Apêndices

8.1. Apêndice A – Ficha de levantamento – iluminação

Sala	Luminária		Lâmpadas			Número pessoas
	Tipo	Quantidade	Tipo	potência	quantidade	
TÉRREO						
Sala 01	refletor	08	halógena	150W	08	Sem uso
Sala 02	Fluorescente	02	fluorescente		04	Sem uso
Sala 03	Fluorescente	01	fluorescente		02	Eventual
Sala 04	refletor	07	halógena	150W	07	8
Sala 05	refletor	06	halógena	150W	06	08
Sala 06	Fluorescente	01	fluorescente		02	Circulação
Sala 07	pendente	01	enconômica		08	03
Sala 08	--	--	--	--	--	Depósito
Sala 09	refletor	08	halógena	150W	08	Exposição
Sala 10	Refletor	04	halógena	150W	04	Exposição
Sala 11	refletor	03	halógena	150W	03	07
Sala 12	refletor	04	halógena	150W	04	08
Sala 13	refletor	04	halógena	150W	04	0
Sala 14	Refletor	03	halógena	150W	03	01
Sala 15	fluorescente	01	flourescente	verificar	02	0
Sala 16	fluorescente	2	fluorescente		04	02
Sala 17	Fluorescente	01	fluorescente		02	Eventual
Sala 18	Fluorescente	03	fluorescente		06	Circulação
Sala 19	Fluorescente	04	fluorescente		08	0
Sala 20	refletor	07	halógena	150W	07	Restaurant
Sala 21	Fluorescente	01	fluorescente		02	Copa/coz.
Sala 26	--	--	--	--	--	Escada
2º PAVIMENTO						
Sala 22	refletor	08	halógena	150W	08	02
Sala 23	Fluorescente	01	fluorescente		02	3
Sala 24	Fluorescente	01	fluorescente		02	Eventual
Sala 25	refletor	08	halógena	150W	08	04
Sala 26	--	--	--	--	--	Escada
Sala 27	refletor	08	halógena	150W	08	03
Sala 28	refletor	01	halógena	150W	01	Circulação
Sala 29	spot	01	econômica		01	Reunião
Sala 30	spot	01	econômica		01	01
Sala 31	Fluorescente	01	fluorescente		02	01
Sala 32	spot	01	econômica		01	01
Sala 33	spot	01	econômica		01	Eventual
Sala 34	spot	04	econômica		04	6
Sala 35a	spot	01	econômica		01	circulação
Sala 35	spot	02	econômica		02	circulação
Sala esc	--	--	--	--	--	--

8.2. Apêndice B – Ficha de levantamento - equipamentos

Sala	Equipamento				Atividade
	Tipo	Quantidade	Tipo	Quantidade	
TÉRREO					
Sala 01	---	---	---	---	Sem uso
Sala 02	---	---	---	---	Sem uso
Sala 03	---	---	---	---	Banheiro
Sala 04	---	---	---	---	Museu
Sala 05	---	---	---	---	Museu
Sala 06	---	---	---	---	Circulação
Sala 07	notebook	01	---	---	Recepção
Sala 08	---	---	---	---	Depósito
Sala 09	---	---	---	---	Exposição
Sala 10	---	---	---	---	Exposição
Sala 11	---	---	---	---	Galeria
Sala 12	---	---	---	---	Galeria
Sala 13	---	---	---	---	Circulação
Sala 14	---	---	---	---	Escritório
Sala 15	---	---	---	---	Circ./deposito
Sala 16	computador	01			Escritório
Sala 17	---	---	---	---	Banheiro
Sala 18	---	---	---	---	Circulação
Sala 19	---	---	---	---	Sem uso
Sala 20	---	---	---	---	Restaurante
Sala 21	---	---	---	---	Copa/coz.
Sala 26	--	--		--	Escada
2º PAVIMENTO					
Sala 22	computador	02	notebook	01	Escritório
Sala 23	Aquecedor	01	frigobar	01	Escritório
	Jarra elétrica	01	cafeteira	01	
	computador	01	---	---	
Sala 24	--	--		--	Banheiro
Sala 25	Computador	04	---	---	Escritório
Sala 26	--	--		--	Escada
Sala 27	computador	01	impressora	01	Secretaria
	notebook	02	---	--	
Sala 28	--	--		--	Circulação
Sala 29	--	--		--	Reunião
Sala 30	computador	01	impressora	01	Escritorio
Sala 31	computador	01		--	Escritório
Sala 32	computador	01		--	Escritório
Sala 33	--	--	---	--	Banheiro
Sala 34	computador	02	impressora	01	Escritório
Sala 35	--	--	---	--	Circulação
Sala 35a	--	--	---	--	Circulação
Sala esc	--	--		--	Escada

8.3. Apêndice C – Questionário desenvolvido para levantamentos *in loco* em conforto térmico

Avaliação de Conforto Térmico de Edificação Histórica – Casarão 02				
 Universidade Federal de Pelotas Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Disciplina de Avaliação Pós Ocupação Professora: Dra. Nirce Saffer Medvedovski Alunas: Helena Soares, Juliana Plá e Stífany Knop 				
Gênero	Data	Turno/hora	Temperatura medida	Nº: ____
() F () M	____/Jun/2011	() manhã () tarde	Int: ____°C Ext: ____°C	Característica do tempo
Sala: ____	Orientação: ____	Atividade: () escritório () outro descrever		
Área: ____ m ²	Horário de permanência: das ____ às ____		Incidência de sol: ____	
Tempo de serviço nesse local:				
1. Nesse momento, o conforto térmico nesse ambiente é:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
No Verão:				
1. No geral, o conforto térmico dessa sala é:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
2. No início da manhã, o conforto térmico dessa sala é:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
3. Ao meio dia, o conforto térmico dessa sala é:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
4. No final da tarde, o conforto térmico dessa sala é:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
5. A ventilação natural nessa sala é:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
Obs.:				
6. A incidência do Sol / a radiação solar:				
() péssimo () ruim () bom () muito bom () ótimo				
Obs.:				

No Inverno:							
1. No geral, o conforto térmico dessa sala é:							
() péssimo		() ruim		() bom		() muito bom () ótimo	
2. No início da manhã, o conforto térmico dessa sala é:							
() péssimo		() ruim		() bom		() muito bom () ótimo	
3. Ao meio dia, o conforto térmico dessa sala é:							
() péssimo		() ruim		() bom		() muito bom () ótimo	
4. No final da tarde, o conforto térmico dessa sala é:							
() péssimo		() ruim		() bom		() muito bom () ótimo	
5. A ventilação natural nessa sala é:							
() péssimo		() ruim		() bom		() muito bom () ótimo	
Obs.:							
6. A incidência do Sol / a radiação solar:							
() péssimo		() ruim		() bom		() muito bom () ótimo	
Obs.:							
Janelas							
Tipo de janela do ambiente							
() duas folhas de abrir com vidro		() duas folhas de abrir com vidro com postigo		() duas folhas de abrir com vidro e veneziana		() duas folhas de abrir cegas (sem vidro)	
Obs.							
1. Em que situação as janelas são abertas ?							
1.1. Apenas o postigo							
() Verão				() Inverno			
() início da manhã	() Meio da manhã	() meio dia	() Fim da tarde	() início da	() Meio da manhã	() meio dia	() Fim da tarde

				manhã			
Obs.				Obs.			
1.2. Postigo e vidros							
() Verão				() Inverno			
() início da manhã	() Meio da manhã	() meio dia	() Fim da tarde	() início da manhã	() Meio da manhã	() meio dia	() Fim da tarde
Obs.				Obs.			

8.4. Apêndice D – Roteiro de entrevista para levantamentos *in loco* em conforto térmico

Avaliação de Conforto Térmico de Edificação Histórica – Casarão 02				
 Universidade Federal de Pelotas Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Disciplina de Avaliação Pós Ocupação Professora: Dra. Nirce Saffer Medvedovski Alunas: Helena Soares, Juliana Plá e Stífany Knop 				
Gênero	Data	Turno/hora	Temperatura medida	Nº: ____
() F () M	____/Jun/2011	() manhã () tarde _____	Int: ____°C Ext: ____°C	Característica do tempo
Sala: ____	Orientação: ____	Atividade: () escritório () outro descrever		
Área: ____m²	Horário de permanência: das ____ às ____		Incidência de sol: _____	
Entrevista:				
1. Como você descreveria esse ambiente quanto ao conforto térmico?				
2. Que estratégias você utiliza para amenizar o calor ?				
3. Que estratégias você utiliza para amenizar o frio ?				
4. De que maneira as janelas são manuseadas para auxiliar no conforto térmico quando frio ?				
5. De que maneira as janelas são manuseadas para auxiliar no conforto térmico quando calor ?				
6. De que maneira as janelas são manuseadas para auxiliar na iluminação no verão ?				

7. De que maneira as janelas são manuseadas para auxiliar na iluminação no inverno ?

8.5. Apêndice E – Proposta de melhoria do sistema de iluminação

Ambiente	Ocupação	Lux¹	Iluminação	quantidade	potência (W)
sala 01	0	300	DULUXSTAR	5	20
sala 02	0	300	fluorescente	2	56
			reatores	1	
sala 03	0,06	300	fluorescente	2	56
			reatores	1	
sala 04	0,34	300	DULUXSTAR	6	20
sala 05	0,34	300	DULUXSTAR	6	20
sala 06	0	300	fluorescente	1	56
		300	reatores	1	
sala 07	0,12	300	DULUX	6	19
sala 08	0	300	incandescente	1	100
sala 09	0	300	DULUXSTAR	6	20
sala 10	0	300	DULUXSTAR	5	20
sala 11	0,34	300	DULUXSTAR	7	20
sala 12	0,34	300	DULUXSTAR	6	20
sala 13	0	300	DULUXSTAR	4	20
sala 14	0,08	750	fluorescente	3	56
			reatores	2	
sala 15	0	750	fluorescente	3	56
			reatores	2	
sala 16	0,12	750	fluorescente	5	56
			reatores	3	
sala 17	0	750	fluorescente	3	56
			reatores	2	
sala 18	0	750	fluorescente	6	56
			reatores	3	
sala 19	0	300	DULUXSTAR	6	20
sala 20	0	300	DULUXSTAR	7	20
sala 21	0	300	fluorescente	1	56
			reatores	1	
sala 22	0,08	750	fluorescente	10	56
			reatores	5	
sala 23	0,13	750	fluorescente	7	56
			reatores	4	
sala 24	0	750	fluorescente	4	56
			reatores	2	
sala 25	0,08	750	fluorescente	11	56
			reatores	6	

sala 26	0	750	NATURAL	0	0
sala 26a	0	750	NATURAL	0	0
sala 27	0,06	750	fluorescente	12	56
			reatores	6	
sala 28	0	750	DULUX	5	19
sala 29	0	750	DULUX	11	19
sala 30	0,13	750	DULUX	10	19
sala 31	0,08	750	fluorescente	1	56
			reatores	1	
sala 32	0,07	750	DULUX	9	19
sala 33	0,07	750	DULUX	10	19
sala 34	0,07	750	DULUX	34	19
sala 35	0	750	DULUX	12	19
sala 35a	0	750	DULUX	7	19
sala 36	0	300	fluorescente	4	56
			reatores	1	
sala 37	0	300	DULUXSTAR	4	20
sala esc	0	750	0	0	0
(1) Lux determinado para atividade de museu (300lux) e atividade de escritório (750lux), de acordo com a NBR 5413 (1992)					
Tipo			potência (w)		fluxo luminoso (lm)
halógena			150 W		1800
fluorescente T8 F032W/830			56 W		2700
reator -QTP8 2x32 T8 UNV ISN-SC					
incandescente			100 W		
DULUX® SUPERSTAR MICRO TWIST 19W 827			19 W		1200
DULUXSTAR® PAR 38 - Economica			20 W		1144

* DULUXSTAR PAR 38 usada para substituir lâmpadas halógenas

8.7. Apêndice G – Pontuação total de todos os casos simulados em ordem de classificação.

