

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Rafaela Alves Felício

**ARQUITETURA COLONIAL SOBRE A ÓTICA DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA: O CASO DO MUSEU REGIONAL DE CAETÉ**

Novo Hamburgo, RS  
2017

**Rafaela Alves Felício**

**ARQUITETURA COLONIAL SOBRE A ÓTICA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: O  
CASO DO MUSEU REGIONAL DE CAETÉ**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Giane de Campos Grigolett

Novo Hamburgo, RS  
2017

**Rafaela Alves Felício**

**ARQUITETURA COLONIAL SOBRE A ÓTICA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: O  
CASO DO MUSEU REGIONAL DE CAETÉ**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

**Aprovado em 05 de agosto de 2017:**

---

**GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI, Dra. (UFSM) - Orientador**

---

**ADEMAR MICHELS, Dr. (UFSM) - Co-orientador**

---

**CARLOS ROBERTO CAUDURO, Dr. (UFSM)**

---

**CESAR ADDIS VALVERDE SALVADOR, Dr. (UFSM)**

---

**ISIS PORTOLAN DOS SANTOS (UFSM), Dra. - Suplente**

Novo Hamburgo, RS  
2017

## RESUMO

### ARQUITETURA COLONIAL SOBRE A ÓTICA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: O CASO DO MUSEU REGIONAL DE CAETÉ

AUTORA: Rafaela Alves Felício

ORIENTADORA: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Giane de Campos Grigolett

Esse trabalho apresenta um estudo da eficiência energética do Museu Regional de Caeté, museu público de tipologia arquitetônica colonial mineira, avaliada a partir do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos ou RTQ-C. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica do tema eficiência energética e descrição do processo de etiquetagem, segundo o Regulamento Brasileiro, possibilitando a escolha para avaliação computacional por simulação. Além disso, com objetivo de contextualizar a área de conhecimento da arquitetura do estudo de caso, foram referenciados os temas patrimônio histórico e arquitetura de museus. Posteriormente, foi realizada a caracterização da cidade de Caeté, quanto ao clima e geografia e do Museu Regional de Caeté, conforme sua tecnologia formal e técnicas construtivas. Para a avaliação da eficiência energética por meio da simulação foram analisados os parâmetros para configuração do modelo real e modelo de referência, de acordo com a envoltória, condicionamento de ar, iluminação e percentual de horas ocupadas em conforto. Com esses parâmetros a modelagem computacional foi feita e as simulações realizadas permitindo a classificação da eficiência energética do Museu em nível B, mas com alto consumo energético. Após aplicação de medidas corretivas para o cumprimento dos critérios do RTQ-C, foi otimizado o desempenho da envoltória, sem que houvesse prejuízo na preservação do patrimônio. Foi comprovada a pertinência da aplicação da metodologia, que deve ter incluída as particularidades de materiais e sistemas das edificações históricas, para que a utilidade e importância de uma normativa como o RTQ-C seja benéfica na preservação do patrimônio cultural arquitetônico.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Patrimônio Cultural. Simulação. Museu Regional de Caeté.

## **ABSTRACT**

### **COLONIAL ARCHITECTURE ON THE OPTICS OF ENERGY EFFICIENCY: THE CASE OF THE CAETÉ REGIONAL MUSEUM**

This work presents a study of the energy efficiency of the Regional's Caeté Museum, a public museum of colonial architectural typology, evaluated based on the Technical Regulation of the Quality of Energy Efficiency of Commercial Buildings, Services and Public Buildings or RTQ-C. To develop this work, a literature review of the topic energy efficiency and description of the labeling process was carried out, according to the Brazilian Regulation, enabling the choice for computational evaluation by simulation. In addition, in order to contextualize the area of knowledge of the case study in architecture, themes and historical heritage museum architecture were referenced. Subsequently, the characterization of the city of Caeté, regarding the climate and geography was carried out, and the characterization of the Regional's Caeté Museum was held according to its formal technology and constructive techniques. For the evaluation of the energy efficiency through the simulation, the parameters for the configuration of the real model and reference model were analyzed, according to the envelopment, air conditioning, lighting and percentage of hours occupied in comfort. With these parameters the computer modeling was made and the simulations carried out, allowing the classification of the energy efficiency of the Museum in level B, but with high energy consumption. After applying corrective measures to meet the criteria of the RTQ-C, the performance of the envelopment was optimized, with no loss in heritage preservation. It was proven the relevance of the application of the methodology, which should have included the special features of the historic building materials and systems, so that the usefulness and importance of rules as the RTQ-C is beneficial in the preservation of the architectural cultural heritage.

**Keywords:** Energy efficiency. Cultural heritage. Simulation. Regional's Caeté Museum.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia do trabalho .....	17
Figura 2 – Fachadas principal e posterior do Museu .....	19
Figura 3 – Plantas baixas do 1º, 2º pavimento e subsolo do Museu Regional de Caeté.....	20
Figura 4 – Fachadas lateral direita e esquerda.....	21
Figura 5 – Identificação dos principais materiais e sistemas construtivos .....	23
Figura 6 – Tipos de esquadrias presentes no edifício .....	24
Figura 7 – Zonas térmicas na edificação .....	27
Figura 8 – Visualização da modelagem computacional .....	27
Figura 9 – Cálculo do Indicador de Consumo .....	30
Figura 10 – Iluminação e ganho solar do modelo real e modelo de referência nível A .....	35
Figura 11 – Proposta corretiva para esquadrias do Museu Regional de Caeté.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3 .....	18
Tabela 2 – Transmitância térmica dos sistemas .....	24
Tabela 3 – Síntese das características do modelo real e do modelo de referência .....	26
Tabela 4 – Dados para cálculo do PAFT .....	29
Tabela 5 – Consumo de energia anual (kWh) .....	30
Tabela 6 – Cálculo da potência limite para o MRC .....	31
Tabela 7 – Pré-requisitos específicos para o sistema de iluminação .....	32
Tabela 8 – Equivalentes numéricos para ventilação natural .....	32
Tabela 9 – Dados para cálculo da Pontuação Total .....	34
Tabela 10 – Transmitância térmica das propostas corretivas .....	37
Tabela 11 – Síntese dos resultados das simulações .....	38

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IBRAM	Instituto Brasileiro de Museus
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC)
LST	Laboratório de Sistemas Térmicos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
MRC	Museu Regional de Caeté
NBR	Norma Brasileira
PBE Edifica	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PROCEL Edifica	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
S3E	Simulador Eficiência Energética em Edificações
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
AU	Área útil (m <sup>2</sup> )
Ape	Área de projeção do edifício (m <sup>2</sup> )
Aenv	Área da envoltória (m <sup>2</sup> )
ANC	Área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada
APT	Área de piso dos ambientes de permanência transitória, não condicionados
Atot	Área total de piso (m <sup>2</sup> )
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento (o)
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento (o)
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
EqNumDPI	Equivalente Numérico de Densidade de Potência de Iluminação
EqNumV	Equivalente Numérico de Ventilação
FA	Fator Altura
FF	Fator de Forma
FS	Fator Solar
IC ou ICenv	Indicador de Consumo da envoltória
PAF <sub>T</sub>	Percentual de área de abertura na fachada total
POC	Percentual de Horas Ocupadas em Conforto
PT	Pontuação total
U	Transmitância Térmica W/(m <sup>2</sup> .K)
Vtot	Volume Total da Edificação (m <sup>3</sup> )

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1	JUSTIFICATIVA .....	10
1.2	OBJETIVOS .....	11
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	11
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O REGULAMENTO BRASILEIRO .....	12
2.2	SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA .....	13
2.3	PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARQUITETURA DE MUSEUS .....	14
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	17
3.1	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE CAETÉ .....	18
3.2	O MUSEU REGIONAL DE CAETÉ .....	19
<b>3.2.1</b>	<b>Tecnologia formal</b> .....	19
<b>3.2.2</b>	<b>Características construtivas</b> .....	22
3.3	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	25
<b>3.3.1</b>	<b>Escolha do programa computacional para simulação</b> .....	25
<b>3.3.2</b>	<b>Características em comum para o Modelo do Edifício Real e de Referência</b> .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	344
4.1	CÁLCULO DA CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO .....	344
4.2	MEDIDAS CORRETIVAS .....	366
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	399
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	411

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo urbanizado em que hoje vive a maior parte da população mundial consome “50% mais recursos naturais renováveis do que a Terra é capaz de repor” (BRASIL, 2015, p. 16). No Brasil, país de riquezas e diversidade de fontes de energia, a crise energética consequente da recente urbanização e mudanças climáticas acompanha os brasileiros desde 2001, com tendência a se intensificar nos próximos anos, se providências cruciais para o combate dos efeitos negativos do aumento do consumo de energia não forem cumpridas.

Em paralelo a isso, a especulação imobiliária e o processo de gentrificação<sup>1</sup> das cidades são agravantes na sobrevida de edifícios antigos e históricos que, unida à evolução do papel da edificação ao longo dos anos, demanda sua readequação de uso ou sua eliminação, ignorando o valor cultural que possa ter. A insciência da população quanto à importância da sustentabilidade na construção civil, aliada ao mercado, desconsideram o impacto positivo e a qualidade ambiental que as edificações reabilitadas podem gerar. Compreender a estratégia de readequação das edificações como forma de conservação ou preservação, organização de espaços urbanos e de valorização econômica torna-se indispensável na missão da eficiência energética para as edificações.

Os conceitos de patrimônio histórico e sustentabilidade apresentam em comum a preocupação com o ser humano, ora por meio do testemunho físico da sua identidade, ora pela responsabilidade com o consumo ascendente da sociedade contemporânea. Por eles se decide o equilíbrio entre passado e futuro. E, dentre os instrumentos para qualificar esse presente, aborda-se, nesse trabalho, a eficiência energética, ferramenta indispensável para atender uma das condições da Tripla Linha de Base, estabelecidas pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável: qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social (SOUSA, 2006). Para isso, deve ser promovida a valorização das características funcionais, estéticas e formais do imóvel, avaliando as possibilidades de transformação com auxílio da tecnologia atual para reinserção no mercado imobiliário.

É no encontro entre esses dois campos que foi analisada a eficiência energética do Museu Regional de Caeté (MRC), edifício público de tipologia arquitetônica colonial mineira do final do século XVIII, motivo pelo qual foi utilizado o Regulamento Técnico da Qualidade

---

<sup>1</sup> (...) deslocamento, processual ou súbito, de residentes e usuários com condições de vida precárias de uma dada rua, mancha urbana ou bairro para outro local para dar lugar à apropriação de residentes e usuários com maior status econômico e cultural. BRAGA, Emanuel Oliveira. Gentrificação. In: GRIECO, Bettina; TEIXEIRA, Luciano; THOMPSON, Analucia (Orgs.). *Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural*. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, 2016. (verbete).

do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). A escolha dessa edificação foi devido ao seu uso como museu, edifício readequado por seu valor histórico, artístico e cultural para receber tal função e sua tipologia estilística, a arquitetura colonial. Nesse estudo foi analisado o comportamento da edificação, considerando suas paredes de grande espessura e elevada capacidade térmica, que unida as diversas aberturas que permitem ventilação natural, permitiram a análise do nível de sua eficiência energética.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2016 (BRASIL, 2016) os setores público, comercial e residencial somados consomem 43% do fluxo de energia elétrica anual, ultrapassando o setor industrial, com 31,9% (LAMBERTS *et al.*, 2014, p. 40). Esse dado retrata o perfil urbano que possui o país atualmente, além de indicar o caminho que deve ser adotado nas estratégias de economia de energia. No intuito de estimular inovações e aplicação de sistemas que otimizem o conforto ao usuário, como de iluminação e climatização, foram criados o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) e o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica), destinados a edificações residenciais, de serviços, comerciais e públicas.

No âmbito do setor público, em 2014, foi publicada normativa de obrigatoriedade da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* (BRASIL, 2014). A compulsoriedade da medida se justifica pelo aumento de 29% do consumo energético no setor público, no período de 2006 a 2015, segundo o BEN de 2016 (BRASIL, 2016). Edifícios de valor histórico não se incluem nesse grupo, no entanto, no seu artigo 7º a normativa adiciona a seguinte informação:

Art.7º No caso de obra de *retrofit* da envoltória é vedado baixar a classe de eficiência existente, recomendando-se obter a maior classe possível de eficiência, observadas as restrições intransponíveis do projeto original como, por exemplo, o tombamento da edificação (BRASIL, 2014).

Nesse sentido, argumenta-se sobre a possibilidade de alinhar a conservação de energia com a preservação de edifícios históricos. A aplicação do RTQ-C funciona como uma ferramenta que mensura a eficiência energética e o desempenho técnico-construtivo do edifício e o uso a que se propõe, com estabelecimento, aplicação e processamento de indicadores, que permitirão estabelecer a hierarquia dos valores relacionados, informando sobre o êxito ou fracasso no atendimento aos parâmetros. Além disso, a aplicação dessa metodologia para o

Museu Regional de Caeté, pode ser utilizada na conscientização sobre o tema, se tratando de edificação histórica e, portanto, não sendo obrigatória sua etiquetagem, e na difusão quanto ao desempenho de eficiência energética da tipologia colonial analisada.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Esse estudo buscou avaliar a eficiência energética do Museu Regional de Caeté, edifício exemplar da arquitetura colonial mineira, de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) pelo método de simulação, colaborando, dessa forma, para a melhor adequação dessa edificação a demandas atuais, garantindo sua preservação através de uso efetivo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para viabilizar o objetivo geral da pesquisa foi realizado o estudo dos seguintes objetivos específicos:

- a) caracterizar o edifício a partir de sua tecnologia formal, composta por sua envoltória, dimensões e aberturas e pelas técnicas construtivas, compostas pelos seus materiais e respectivas características;
- b) definir o nível de eficiência energética do Museu Regional de Caeté com base no RTQ-C, método de simulação computacional;
- c) propor mudanças necessárias para o cumprimento dos critérios do RTQ-C e avaliar se elas comprometeriam a preservação do patrimônio cultural arquitetônico;
- d) refletir sobre os aspectos positivos e negativos de aplicação da etiquetagem para edifícios históricos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O REGULAMENTO BRASILEIRO

Segundo Lamberts *et al* (2014, p. 5), eficiência energética se define como um “atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia”. O mesmo conceito é regulamentado pelo poder executivo brasileiro na Lei nº10.295, de 17 de outubro de 2001, por meio da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de energia (BRASIL, 2001) com níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas, aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, além das edificações aqui construídas.

O aumento da eficiência no uso de energia passa pelo melhor desempenho em todas as fases do processo de fornecimento da energia elétrica, que se agrupa em quatro fases distintas: geração, transmissão, distribuição e consumo (LAMBERTS *et al.*, 2014). A contribuição da arquitetura reside na concepção do projeto, com conhecimento dos partidos arquitetônicos, estratégias de conforto dos usuários e nas propriedades térmicas dos seus elementos construtivos.

Em setembro de 2010, foi instituído, no Brasil, o RTQ-C por meio da Portaria nº 372 de 17 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010). O Regulamento especifica requisitos técnicos e métodos para a etiquetagem do nível de eficiência dos edifícios, dividido em quatro partes: Envoltória, Sistema de Iluminação, Sistema de Condicionamento de Ar e a edificação como um todo. A classificação é feita para cada requisito variando de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Para obter a classificação geral do edifício, as classificações por sistemas individuais devem ser avaliadas, resultando em uma classificação final. Para isso, pesos são atribuídos para cada sistema individual e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) apresentada na ENCE. (BRASIL, 2010, p. 18).

O procedimento de aplicação do Regulamento envolve uma série de aspectos que devem ser analisados e desenvolvidos para uma correta classificação. Em 2014, se tornou obrigatória a obtenção da etiqueta, pela Instrução Normativa nº 2 de 4 de junho (BRASIL, 2014) na qual edifícios construídos ou adaptados com recursos públicos federais, com área construída igual ou superior a 500m<sup>2</sup>, ou que possuam o valor igual ou superior ao CUB médio de uma edificação

de 500m<sup>2</sup>, devem obter a ENCE em todos os sistemas - envoltória, iluminação e condicionamento de ar - em que houver alteração.

A etiquetagem de edifícios deve ser realizada através dos métodos prescritivo ou de simulação, que se diferenciam pela execução, sendo o prescritivo baseado na análise por meio de cálculo matemático e a simulação, pelo uso de programa computacional de simulação termoenergética. No caso desse estudo, a aplicação da simulação se justifica por se tratar de edifício não condicionado, exigindo esse método. Com a execução da simulação termoenergética é possível analisar as variáveis de desempenho térmico da edificação como temperatura, umidade, movimento do ar, insolação e sombreamento, através da sua visualização e quantificação.

## 2.2 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

A certificação por meio da simulação não descarta o método prescritivo, que é utilizado em determinadas etapas do processo. Quanto aos pré-requisitos, os mesmos giram em torno dos simuladores, que são programas computacionais que simulam o desempenho termoenergético dos edifícios e, segundo o anexo da Portaria nº 372 de 17 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010), deve atender aos critérios mínimos:

- a) proporcionar a análise do consumo de energia em edifícios;
- b) atender a *ASHRAE Standard 140-2004: Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs*;
- c) reproduzir o comportamento do edifício durante as 8.760 horas anuais;
- d) modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- e) simular efeitos de inércia térmica, efeitos de multi-zonas térmicas e estratégias bioclimáticas;
- f) produzir relatórios horários do uso final de energia.

Internacionalmente alguns dos programas computacionais conhecidos são *Green Building Studio* (GBS), *Ecotect*, *Project Vasari*, *VE-Pro*, *TRNSYS*, *Energy Plus* e *Design Builder*, este último escolhido para a simulação. Foram pesquisadas ainda possibilidades brasileiras, dentre elas o Programa de Simulação Termoenergética de Edificações Domus – Procel Edifica, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas Térmicos da Pontifícia Universidade

Católica do Paraná (2013), no âmbito do PROCEL Edifica. O Domus – Procel Edifica apresenta a vantagem de ser um módulo gráfico interativo, facilitando seu uso na realização dos cálculos durante o processo de simulação. Outro recurso é o Simulador Eficiência Energética em Edificações S3E, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (2011).

Para a avaliação da edificação são feitos modelos do edifício no programa, sendo o primeiro real e os demais de referência, com as características adaptadas ao nível pretendido. Esses modelos de referência são concebidos de acordo com o método prescritivo, onde são determinadas suas características adaptadas ao nível da eficiência visado. Todos os modelos são simulados utilizando o mesmo arquivo climático e o resultado da simulação do edifício real deve ter um consumo de energia anual igual ou menor que o modelo de referência para o nível pretendido.

Além disso, para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas, é obrigatório comprovar pela simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas. Entende-se portanto, como o método mais preciso para avaliar a eficiência energética de uma edificação.

Os critérios para escolha do programa computacional para simulação se basearam na sua disponibilidade em plataforma livre; onde o edifício pudesse ser visualizado graficamente e; posteriormente fossem emitidos gráficos e tabelas para simplificar a análise. O programa que apresentou simultaneamente essas características foi o *Design Builder* V5.0.3.007 (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017), desenvolvido no Reino Unido e disponibilizado para testes em página eletrônica.

### 2.3 PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARQUITETURA DE MUSEUS

Para compreender o conceito da readequação de uso de edificações, por meio da análise da sua eficiência energética e sua relação com a sustentabilidade é necessário recuperar a valorização do patrimônio histórico edificado, através de características que podem estar ligadas ao seu valor hedônico, com valorização da composição arquitetônica originalmente concebida, além de funcionar como testemunho físico da memória de um povo. “A arquitetura é o único meio de que dispomos para conservar vivo um laço com o passado ao qual devemos nossa identidade, e que é parte de nosso ser.” (CHOAY, 2006, p. 139).

O valor que o usuário atribui para o patrimônio ambiental e sócio-cultural depende da sua relação com esse patrimônio, condicionando a valorização que o bem receberá pelas gerações futuras. A indiscriminada e acelerada especulação sobre os bens patrimoniais deve ser disciplinada através da destinação das edificações a novos usos que apresentem uma função útil a sociedade e por isso, sobrevivam ao mercado imobiliário. Mas antes deve ser considerada ação de uso cultural, o que diferencia a preservação como campo disciplinar com referenciais teóricos e metodologia própria.

Sendo do conhecimento de todos que a melhor forma de garantir a vida e a manutenção de uma edificação histórica é através do uso, não podemos deixar essa definição a um segundo plano. Mas não deve ser definido um uso qualquer, o uso deve ter referência ao potencial do edifício para, dessa forma, agregar valores, permitindo a sobrevivência do mesmo. (GUERRA, 2006, p. 111).

Desta forma, o uso museológico surge como uma das possibilidades mais recorrentes no que se relaciona a edifícios históricos. Veiga (2012) defende que o museu como instituição social e educativa não pode se ausentar do debate e da inserção de medidas de economia de consumo energético. Adiciona ainda, que o desempenho dos sistemas do museu devem ser incluídos na sua avaliação, “visando alcançar o nível máximo de eficiência energética (A), o mínimo esperado de uma instituição que se proclama cultural e didática.” (VEIGA, 2012, p. 151).

A arquitetura de museus desperta para conscientização da influência que o clima tem sobre o funcionamento de um museu, que ultrapassa a sensação de conforto do usuário, como cita Gonçalves (2016) em seu estudo dos parâmetros de gerenciamento ambiental, quanto aos limites de temperatura e umidade relativa, na conservação preventiva de coleções. Esse estudo deve fazer parte de um planejamento estratégico, no qual os materiais presentes nas coleções e suas vulnerabilidades, devem se associar a infraestrutura do edifício e vice-versa. Por esse ângulo, avalia-se inclusive se, “mais importante do que alcançar índices de temperatura e umidade desejáveis para preservação dos objetos, seria importante a criação de ambientes internos estáveis.” (RIBEIRO, 2010, p. 406).

No projeto de climatização de um museu, por exemplo, devem ser conciliadas as necessidades dos usuários na mesma proporção que as exigências das coleções, bem como todo o consumo energético que pode ser resultante desse processo. Quando possível, estratégias e recursos arquitetônicos passivos podem ser consideradas, estabelecendo-se para seu êxito rotinas de conservação preventiva, que otimizem sua aplicação. Gonçalves (2016) cita ainda que soluções arquitetônicas adotadas podem englobar mistura de recursos ativos e passivos, o

que caracteriza um sistema híbrido e apresenta a melhor relação custo-benefício no gerenciamento ambiental de coleções.

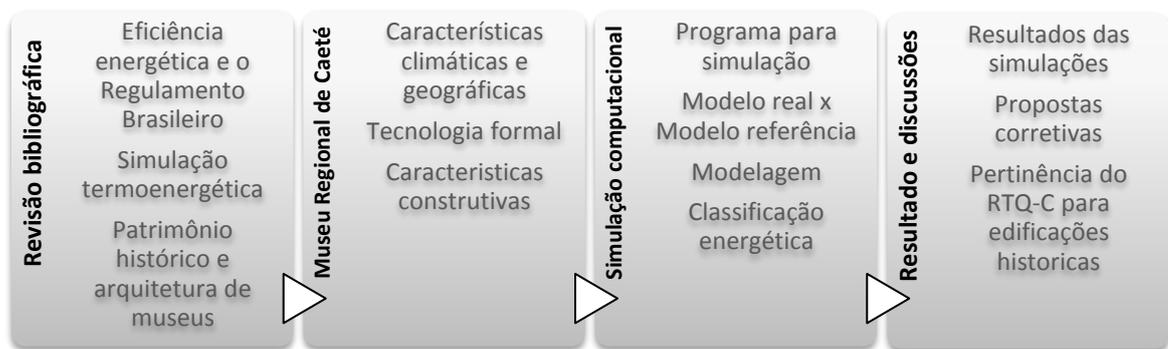
Nessa lógica, é importante estabelecer parâmetros de medição do desempenho de um museu, de forma a conhecer seu comportamento térmico e a interferência que os materiais e sistemas construtivos tem no processo de transmissão de calor. Conhecendo a relação entre interior e exterior, é possível trabalhar no controle e a obtenção de valores internamente distintos dos valores exteriores (RIBEIRO, 2010).

O estudo de eficiência energética em edifícios históricos é matéria de discussão no hemisfério norte, devido ao clima, que apresenta características mais severas no inverno e a antiguidade das edificações, maior do que as do Brasil. Aqui existem estudos similares, como Knop (2012), que avaliou o comportamento termoenergético de uma edificação histórica com novo uso localizada no centro da cidade de Pelotas, por meio do RTQ-C, aplicando o método de simulação de edificação totalmente ventilada. Carotenuto (2009), avaliou o desempenho termoenergético do prédio histórico do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com elevada inércia térmica. Essas experiências foram consideradas nesse estudo.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para realização do trabalho é apresentada na Figura 1 e foi iniciada através de uma revisão bibliográfica do tema eficiência energética e descrição do processo de etiquetagem, segundo o RTQ-C. Após essa revisão, foi descrita a simulação termoenergética e apresentados alguns dos programas computacionais indicados nas avaliações. Após as análises, o programa *Design Builder* (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017) foi escolhido para a avaliação computacional por simulação. Finalmente, com objetivo de contextualizar a área de conhecimento da arquitetura do estudo de caso, foram referenciados os temas patrimônio histórico e arquitetura de museus.

Figura 1 – Metodologia do trabalho



Fonte: Autora.

Na sequência foi realizada a caracterização da cidade de Caeté, quanto ao clima e geografia e do Museu Regional de Caeté, conforme sua tecnologia formal e tipologia construtiva, formada por sua envoltória, dimensões e aberturas e pelas técnicas construtivas, compostas pelos seus materiais e respectivas características, permitindo determinar suas propriedades térmicas.

Para a avaliação da eficiência energética por meio da simulação, foram analisados os parâmetros para configuração do modelo real e modelo de referência, de acordo com a envoltória, condicionamento de ar, iluminação e percentual de horas ocupadas em conforto (POC). Com esses parâmetros, a modelagem computacional foi feita e as simulações realizadas permitindo a classificação da eficiência energética do Museu.

Finalmente, a partir do desempenho do edifício, foi feita avaliação dos resultados, com análise de propostas de medidas corretivas para o cumprimento dos critérios do RTQ-C, quanto ao prejuízo na preservação do patrimônio cultural arquitetônico e a conclusão a respeito da

pertinência da aplicação para edifícios históricos e a modelagem computacional no programa *Design Builder*.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE CAETÉ

A essência de uma edificação é a concepção do seu espaço e sua aplicação como forma (BANGS, 2010). A aplicação formal do estilo colonial brasileiro apresenta profunda interdependência entre a arquitetura e a estrutura da cidade, sendo a arquitetura o resultado de uma escolha tipológica, com função e composição, resultado da manipulação de sólidos geométricos que são construídos por técnicas, mão de obra e materiais combinados.

Caeté, cidade do estado de Minas Gerais localizada a 53km de Belo Horizonte, apresenta conjunto urbano composto por ruas estreitas, adaptadas ao relevo da região, bastante acidentado, com casas localizadas no alinhamento das vias. Diferentemente de Ouro Preto, Sabará e Diamantina, a cidade não teve seu conjunto urbano protegido e, com o declínio da mineração no século XIX, o crescimento industrial na cidade no século XX e a proximidade com a capital do estado, teve a modernização do município caracterizada pela perda de seu patrimônio histórico, principalmente as edificações vistas como arquitetura modesta.

Quanto ao clima, está localizada na Zona Bioclimática 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Apresenta verão moderadamente quente e úmido e inverno frio e seco. A temperatura média anual é de 19,9°C, com pluviosidade média de 1458mm, sendo o mês com maior precipitação, janeiro e menor, junho. (AM ONLINE PROJECTS). Segundo a NBR 15220 – Parte 3, que fala sobre o Desempenho térmico de edificações, as diretrizes construtivas para a Zona 3 seriam as demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3

Aberturas		Vedações externas		Condicionamento passivo	
Ventilação	Sombreamento	Parede	Cobertura	Verão	Inverno
Médias	Sol durante inverno	Leve refletora	Leve isolada	Ventilação cruzada	Aquecimento solar Vedações internas pesadas (Inércia térmica)

Fonte: Adaptado de (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003)

## 3.2 O MUSEU REGIONAL DE CAETÉ

O Museu Regional de Caeté, localizado na cidade de Caeté, é gerido pelo Instituto Brasileiro de Museus, autarquia do Ministério da Cultura. Trata-se de um sobrado em estilo colonial com área de 460m<sup>2</sup>, construído no final do século XVIII que teve seu uso de museu inaugurado em 17 de fevereiro de 1979. A Casa Setecentista, como é conhecida a edificação, foi tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional (IPHAN) em 1950 (IMPACTO CONSTRUTORA, 2014).

### 3.2.1 Tecnologia formal

A tecnologia formal é importante de ser estudada devido à contribuição que implantação, orientações e insolação podem gerar na ventilação e iluminação de um edifício. A essência de uma edificação é a concepção do seu espaço e sua aplicação como forma (BANGS, 2010). A aplicação formal do estilo colonial brasileiro apresenta profunda interdependência entre a arquitetura e a estrutura da cidade, sendo a arquitetura o resultado de uma escolha tipológica, com função e composição, resultado da manipulação de sólidos geométricos que são construídos por técnicas, mão de obra e materiais combinados.

Figura 2 – Fachadas principal e posterior do Museu



Fonte: (BARBOSA, 2012)

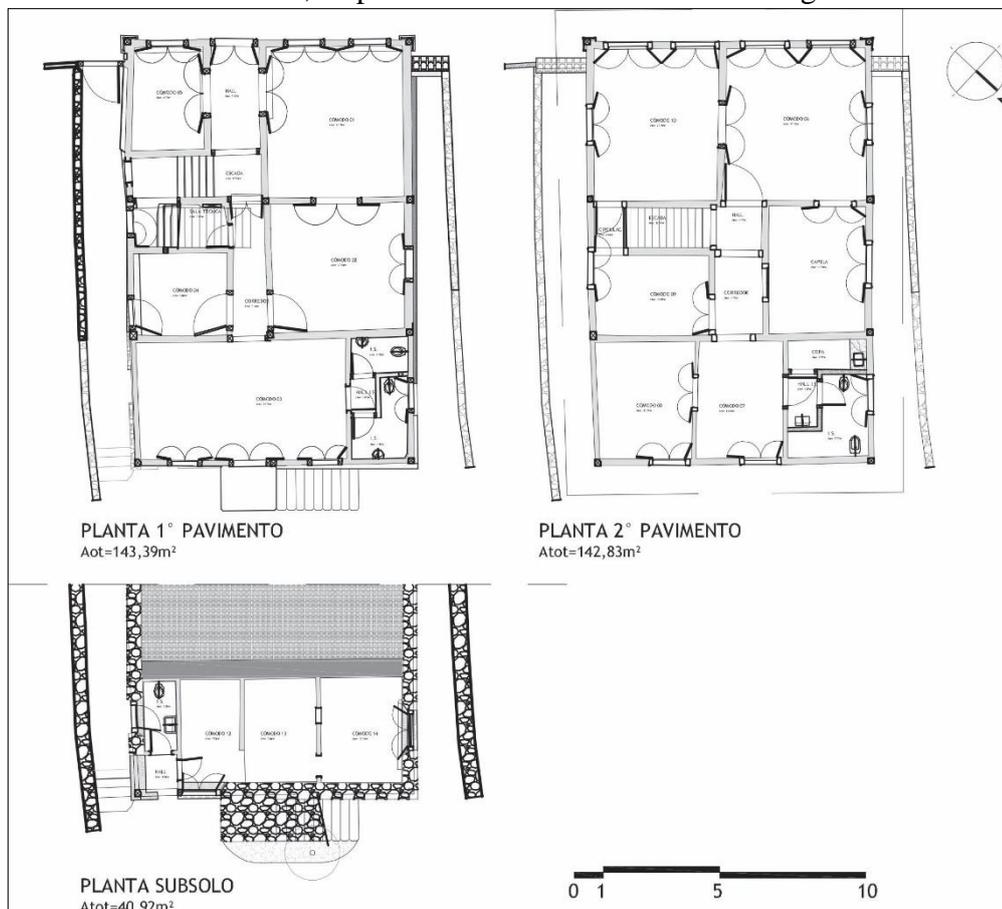
Presumivelmente de uso residencial quando construído, o edifício possui partido arquitetônico retangular, em dois pavimentos acima do nível da rua e um subsolo na sua parte posterior, resultado do desnível do terreno. Sua fachada principal está implantada no

alinhamento da rua, mas apresenta afastamentos nas laterais do terreno que fazem entorno com casas térreas o que lhe confere grande imponência, como é possível observar na Figura 2.

De possível uso social, em sua origem, o pavimento térreo apresenta corredor central ladeado pela recepção e cômodos ocupados por salas expositivas e escada central, que leva ao pavimento superior. Na chegada da subida ao pavimento superior desloca-se para cômodos menores, possíveis quartos de dormir, e para duas grandes salas de provável uso social, hoje, todas salas de exposição. Em ambos os pavimentos na parte dos fundos, junto à fachada sudoeste, há banheiros para uso dos visitantes, resultado de adições posteriores a sua construção.

Como é possível observar nas plantas do edifício na Figura 3, os cômodos localizados nas fachadas nordeste e noroeste são aqueles que recebem maior incidência solar, no primeiro e segundo pavimentos, na parte da tarde. Essa característica pode ser desfavorável no verão, mas favorável no inverno. A radiação deve ser considerada devido ao uso que predomina nessas salas, que é o uso expositivo.

Figura 3 – Plantas baixas do 1º, 2º pavimento e subsolo do Museu Regional de Caeté



Fonte: (IMPACTO CONSTRUTORA, 2014, p. 22)

Em ambos os pavimentos, a ventilação natural cruzada é favorecida pelas diversas aberturas nas fachadas e nas divisões internas, quase não existindo bloqueios que impeçam a fluidez dos ventos, bem como permitindo a iluminação natural nos cômodos. Nota-se a adequação da quantidade e tamanho dos vãos que são maiores e mais numerosos nas fachadas com menor insolação, e menores e menos numerosos naquelas atingidas diretamente pelo sol. Essa solução permite a ventilação no verão, moderadamente quente, úmido e, a possibilidade de fechamentos dessas esquadrias, no inverno seco e ligeiramente frio.

O destaque estético é a fachada principal, que orientada a sudoeste, é composta por esquadrias de duas folhas de madeira com abertura em giro, emolduradas por ombreiras, peitoril e verga em madeira, sendo uma porta principal e três janelas no pavimento térreo, como se observa na Figura 2, e no superior, quatro portas com guarda-corpo em balaústres de madeira, todos os vãos em arco abatido.

Na Figura 4, na fachada lateral esquerda, orientada a sudeste, predominam as partes cegas, no térreo com três vãos, sendo apenas um original e na parte superior duas aberturas, formadas por ombreiras, peitoril e vergas em linha reta. A fachada posterior é formada por porta central, ladeada por duas janelas e, no piso superior, janela e porta com guarda-corpo em balaústres de madeira. Nessa fachada é possível observar ainda o subsolo, que possui acesso por vão sem fechamento, ladeado por janela.

Figura 4 – Fachadas lateral direita e esquerda



Fonte: (BARBOSA, 2012)

### 3.2.2 Características construtivas

As características construtivas da edificação foram obtidas no Levantamento Cadastral, produzido em 2014 (IMPACTO CONSTRUTORA, 2014). Apresenta construção em sistema misto, composto por fundações em pedra, estrutura autônoma em madeira e vedação em adobe. Como se observa na Figura 5, as paredes externas do subsolo apresentam espessuras entre 51 cm e 66 cm, são executadas em pedra e cal, tendo sido aproveitadas provavelmente as pedras da região. Para acabamento, recebem emboço de barro e reboco de cal e areia.

No resto da edificação esteios em madeira estruturam seu volume, formando um reticulado de madeira vedado por tijolos de adobe. Os tijolos são compostos por paralelepípedos de barro cru com uma porcentagem de argila e areia, misturado com estrume de boi para otimizar a aderência entre os materiais. O adobe é assentado e emboçado com barro e recebe acabamento em cal e areia. As paredes externas do 1º pavimento, possuem espessura média de 32 cm e, do 2º pavimento 25 cm.

Quanto a vedação interna, as paredes são executadas em pau a pique, sistema composto por estruturas roliças em madeira verticais que recebem taliscas em madeiras horizontais e que são unidos por pregos. Nessa trama é jogado manualmente o barro que é apertado até que se atinja a espessura desejada, que no MRC tem média de 20 cm. O acabamento também é em reboco de cal e areia.

Figura 5 – Identificação dos principais materiais e sistemas construtivos



Fonte: (IMPACTO CONSTRUTORA, 2014, p. 15)

Essas espessuras, principalmente no subsolo e no 1º pavimento, auxiliam na inércia térmica dos materiais, permitindo a manutenção da temperatura no interior da edificação ao longo do dia. Assim, as trocas mais significativas de ganhos e perdas térmicas acontecem pelos vãos do edifício, cujas aberturas são controladas por usuários. Desse modo, no verão, nas fachadas nordeste e noroeste, que recebem maior incidência solar, algumas das janelas permanecem com uma folha ou mais fechadas, enquanto nas demais fachadas, elas são abertas, permitindo a ventilação natural sem ganho de calor por radiação solar direta, mantendo a temperatura interna mais amena. Como as aberturas são vedadas por esquadrias em madeira maciça pintadas de azul escuro, cegas, com abertura em giro, o fenômeno da transferência de calor por condução permanece, favorecido pela cor escura dos fechamentos opacos.

Os pisos são executados em madeira, compostos por sistema de barrotes e tábua em madeira. No subsolo e parte do 1º pavimento o forro é em esteira de taquara, enquanto na outra parte do 1º e no 2º pavimento ele é em tabuado de madeira. O telhado é composto por estrutura em madeira e telha de barro tipo capa e canal.

Para execução da simulação, foram inseridos no *Design Builder* os materiais que compõem os sistemas, conforme descritos anteriormente, obtendo-se as transmitâncias térmicas descritas na Tabela 2.

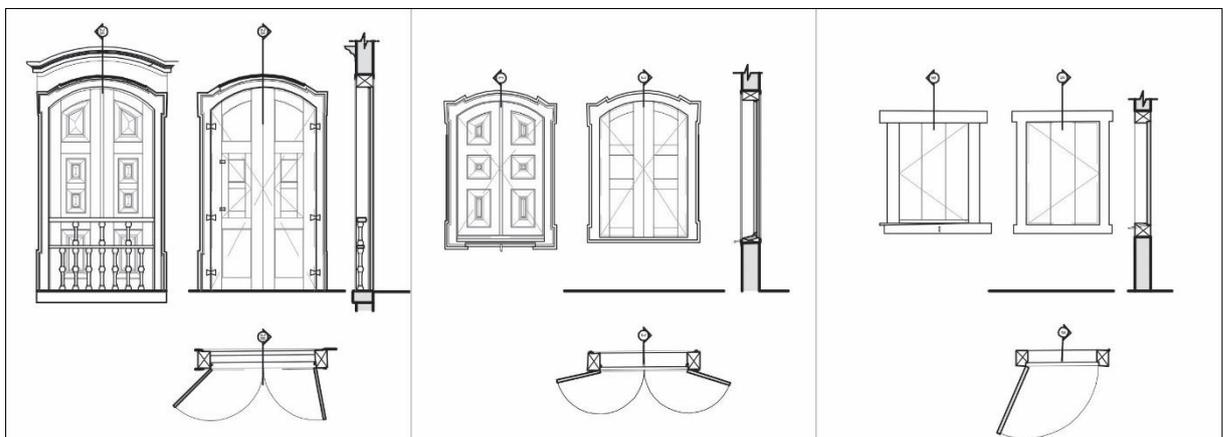
Tabela 2 – Transmitância térmica dos sistemas

Material	Paredes em pedra		Paredes em adobe		Pisos/Forro		Telhado
Espessuras	58cm	32cm	25cm	25cm	Térreo	Pavtos	
<b>U</b>	2,37	1,85	2,15	4,73	1,70	2,02	
<b>W/(m².K)</b>							

Fonte: (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017)

Quanto às esquadrias presentes no edifício, como é possível observar na Figura 6, todas as janelas e portas são em madeira, folhas cegas com abertura em giro. Como as trocas térmicas que o ambiente interno faz com o externo ocorrem através dos fechamentos, essas esquadrias, quando fechadas, dificultam a passagem de calor e quando abertas, permitem a ventilação, mas também a transmissão de calor sem nenhum bloqueio. Outro aspecto, é o aumento do consumo de iluminação artificial, já que quando fechadas, não permitem a iluminação dos cômodos.

Figura 6 – Tipos de esquadrias presentes no edifício



Fonte: (IMPACTO CONSTRUTORA, 2014, p. 33)

### 3.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

#### 3.3.1 Escolha do programa computacional para simulação

Para executar a avaliação por simulação computacional do desempenho termoenergético foi estabelecida a metodologia do RTQ-C nos aspectos aplicáveis. O *Design Builder* viabiliza a modelagem gráfica de edificações, com método similar aos programas de desenho habitualmente utilizados, além de permitir a importação de arquivos bidimensionais em formato .dxf. Possui incorporado banco de dados de materiais e arquivos climáticos e apresenta interação com o modelo de simulação do *EnergyPlus* 8.7.0, programa aberto, recomendado pela NBR 15575-1, norma brasileira de desempenho de edificações, mas que apresenta difícil interface de utilização e de análise dos dados (SANTOS, 2009).

Outras vantagens viabilizadas pelo programa são a obtenção de dados de saída de conforto, além de possibilitar a modelagem de todas as horas do ano (8.760 horas), exigências do RTQ-C para edificações não condicionadas. Possibilita ainda a modelagem das esquadrias de acordo com suas principais características e configuração da ventilação natural a partir das suas aberturas com a definição de uma temperatura base. (KNOP, 2012)

#### 3.3.2 Características em comum para o Modelo do Edifício Real e de Referência

Para modelagem do edifício, as características relativas a geometria, orientação, carga interna, equipamentos e pessoas serão as mesmas para ambos os modelos. Como não há sistema de condicionamento de ar no edifício, as condicionantes se aplicarão apenas aos critérios da envoltória e sistema de iluminação. Como expressado na Tabela 3, o modelo de referência serve de base na comparação com o modelo real, assim, ao atender as características mínimas para o nível de eficiência desejado, o Museu Regional de Caeté tem seu nível de eficiência determinado.

Além disso, outro fator que se aplica a edifícios naturalmente ventilados é a obrigatoriedade de comprovar por simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas. Para o método de simulação, deve-se realizar a simulação do modelo real e verificar se as áreas não condicionadas atendem as condições de conforto.

Tabela 3 – Síntese das características do modelo real e do modelo de referência

<b>Característica do edifício</b>	<b>Modelo de Referência</b>	<b>Modelo Real</b>
Geometria – dimensões	Igual ao do edifício existente	Igual ao do edifício existente
Orientação	Igual ao do edifício existente	Igual ao do edifício existente
Carga interna (DCI)	Igual ao do edifício existente	Igual ao do edifício existente
Padrão de uso – equipamentos e pessoas	Igual ao do edifício existente	Igual ao do edifício existente
Sistema de ar condicionado	Ventilação natural	Ventilação natural
Envoltória		Igual ao do edifício existente
	PAFT	Calcular através do IC
	AVS e AHS	AVS=AHS=0
	Tipo de vidro	Vidro Simples = 3mm
	Fator Solar	FS = 0,87
	Transmitância Térmica	Máx. p/ nível eficiência desejada
	Absortância Solar	Máx. p/ nível eficiência desejada
Sistema de Iluminação	DPI Max. p/ nível eficiência desejada	Igual ao do edifício existente

Fonte; Adaptado de (CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2016, p. 191)

### 3.3.2.1 Configuração do modelo

Iniciando a modelagem computacional, que corresponde a reprodução gráfica da edificação, foram desenhados os pavimentos e cobertura, e posteriormente feitas as divisões internas, em zonas térmicas, conforme denominado pelo programa. Para esse estudo as zonas delimitadas foram as mesmas existentes nas plantas originais da edificação e estão desenhadas na Figura 7, bem como a orientação da edificação de acordo com o Norte geográfico. Para atribuição de materiais, foram considerados os elementos construtivos e composição das camadas construtivas conforme descrito na Tabela 2, previamente apresentada.

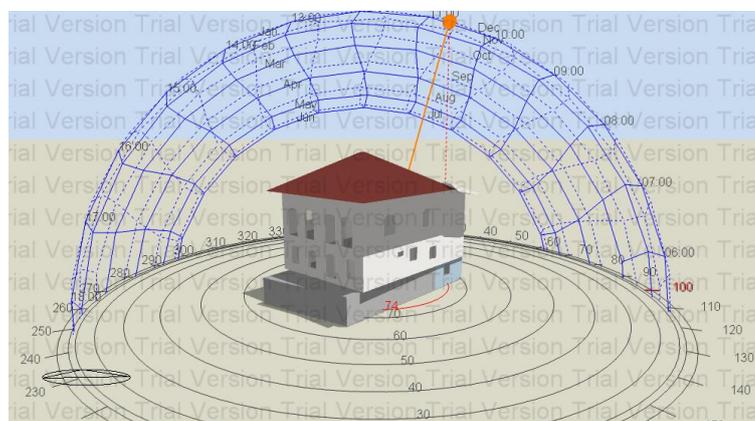
Figura 7 – Zonas térmicas na edificação



Fonte: (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017)

Como a cidade de Caeté não possui arquivo climático validado por laboratório de eficiência energética, foi necessário utilizar o arquivo de Belo Horizonte (BRA\_BELO HORIZONTE\_PAMPULHA\_SWERA), situado a 53km da cidade e na mesma zona bioclimática, a Zona 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). O resultado gráfico da modelagem é visualizado na Figura 8.

Figura 8 – Visualização da modelagem computacional



Fonte: (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017)

Considerando que o edifício é completamente ventilado naturalmente, as esquadrias da edificação funcionam como instrumentos de regulação do conforto. Como essas esquadrias apresentam 100% da abertura, para ventilação e iluminação, em ambos os modelos foi feita a opção de ventilação natural calculada – *Calculated Natural Ventilation*, para a qual foi determinado o *setpoint* de temperatura de 25°C. Isso significa que quando essa temperatura é atingida, as esquadrias são abertas, permitindo a ventilação dos ambientes durante o horário de funcionamento do Museu, que ocorre diariamente, das 10h às 17h.

No MRC, como mencionado anteriormente, as esquadrias são em madeira, não havendo vidro em sua composição. O RTQ-C inclusive não considera como abertura um vão parcialmente fechado com material opaco e o programa *Design Builder* tem como prerrogativa básica o vidro na abertura. Embora seja possível compreender esse critério para edificações contemporâneas, no patrimônio histórico a esquadria sem vidro é recorrente e por isso considerou-se que não deve ser ignorada. Assim, para viabilizar a simulação das esquadrias com seus ganhos de iluminação e térmicos, optou-se por manter a simulação das janelas configuradas através da opção *no glazing* e inserindo um elemento externo, em madeira, simulando a folha, mas permitindo que a ventilação ainda fosse fator a ser considerado para o desempenho dos cálculos do programa.

Para a densidade de carga interna, como o edifício tem uso exclusivo de museu, estando a área administrativa localizada em outro bloco, foi quantificado apenas o sistema de iluminação, sendo definida a densidade de potência de iluminação em watts por metro quadrado (W/m<sup>2</sup>). O edifício apresenta baixa ocupação, contando com um quadro de 15 funcionários no total e visitantes fortuitos nas salas expositivas. Considerando a média de visitantes mensal, que é de 298 visitantes, têm-se uma densidade máxima para a edificação de 0,1 pessoas/m<sup>2</sup>. A NBR 16.401 – 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) sugere 0,4 pessoas/m<sup>2</sup> para museus e galerias, ou seja, bem maior do que a verificada para o Museu.

### 3.3.2.2 *Envoltória*

Os parâmetros estabelecidos para a simulação do modelo de referência foram aqueles referentes ao pré-requisito da envoltória, que, para o MRC, são apresentados a seguir.

- a) O Percentual de área de abertura na fachada total (PAFT) deve ser calculado de forma que se obtenha o maior percentual de abertura possível para se obter o nível desejado, mas com os seguintes parâmetros:
  - a. AVS=0 e AHS=0;
  - b. Vidro simples, 3 mm, com FS=0,87.

- b) Para o nível A a transmitância térmica da cobertura não deve ultrapassar 1,00 W/(m<sup>2</sup>.K), para o nível B, 1,50 W/(m<sup>2</sup>.K), e para o nível C ou D, 2,00 W/(m<sup>2</sup>.K).
- c) Para os níveis A, B, C ou D, a transmitância térmica das paredes externas não deve ultrapassar 3,70 W/(m<sup>2</sup>.K).
- d) Para os níveis A e B, a absorptância solar da cobertura deve ser menor que 0,50, e para os níveis C ou D, igual ao do modelo real.
- e) Para o nível A, a absorptância solar das paredes externas deve ser menor que 0,50, e para os níveis B, C ou D, igual ao do modelo real.

Para o cálculo do PAF<sub>T</sub> do modelo de referência foram adotados Fator de Forma (FF) e Fator de Altura (FA) iguais ao do Museu, e os demais dados conforme determinação do pré-requisito, todos eles descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados para cálculo do PAF<sub>T</sub>

<b>Dados do edifício</b>	<b>Sigla</b>	<b>Valor</b>
Área de projeção da cobertura do edifício (m <sup>2</sup> )	Apcob	143,39
Área de projeção do edifício (m <sup>2</sup> )	Ape	143,39
Área total construída (m <sup>2</sup> )	Atot	327,14
Área da envoltória (m <sup>2</sup> )	Aenv	462,86
Volume total da edificação (m <sup>3</sup> )	Vtot	1283,71
Fator solar	FS	0,87
Fator de forma	FF	0,36
Fator de altura	FA	0,44

Fonte: Autora

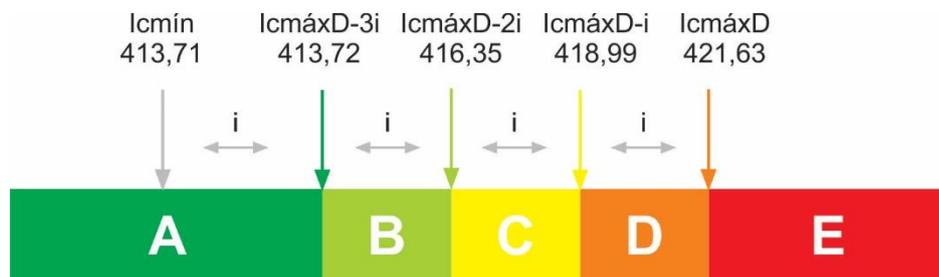
Uma vez obtidos FF e FA, é necessário determinar o Indicador de Consumo (IC), que servirá como parâmetro para avaliação comparativa da eficiência da envoltória. Para isso é utilizada a Equação 1 determinada pelo RTQ-C para a Zona bioclimática 3 (BRASIL, 2010).

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAF_t + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS \\
 & + 275,19 \frac{FA}{FF} + 213,35.FA.FF - 0,04.PAF_t.FS.AVS - 0,45.PAF_t.AHS + 190,42
 \end{aligned}$$

Equação 1

Aplicando a equação são obtidos o limite máximo ( $IC_{máxD}$ ) e mínimo ( $IC_{mín}$ ) do indicador de consumo, discriminados na Figura 9, de A a E, com seus devidos valores. O  $IC_{máxD}$  representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, já que acima deste valor, sua classificação passa a ser nível E. O limite máximo do  $IC_{máxA}$  para a classificação A é de 413,71, mostrando que valores acima deste farão com que a edificação mude para B.

Figura 9 – Cálculo do Indicador de Consumo



Fonte: Adaptado de (CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2016, p. 116)

Após conhecer os valores do IC, foram simulados o modelo real e os diferentes modelos de referência para o edifício, alterando sua envoltória para os respectivos  $PAF_T$  calculados, o DPI do sistema de iluminação, além das transmitâncias e absortâncias, todos de acordo com nível de eficiência desejado. Para ser possível a comparação do valor de consumo dos modelos simulados com o modelo real, as aberturas são distribuídas nas mesmas fachadas com mesma proporção que o edifício. Para o modelo real foi obtido um consumo anual de 8662,47kWh, consumo de energia anual maior que qualquer dos modelos de referência, que estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo de energia anual (kWh)

	Consumo de energia (kWh)	PAFT	Tempo em conforto (%horas/ano)
<b>Modelo real</b>	8662,47	0,11	79,88%
<b>Nível A</b>	4049,92	0,09	79,02%
<b>Nível B</b>	4419,83	0,21	76,63%
<b>Nível C</b>	4947,65	0,33	75,89%
<b>Nível D</b>	5537,65	0,45	75,80%

Fonte: Autora

### 3.3.2.3 Sistema de condicionamento de ar

Para o sistema de condicionamento, a representação em ambos modelos deve ser representada de acordo com o sistema existente. Como no caso em estudo, trata-se de edificação completamente não condicionada, o edifício de referência deverá ser simulado com condicionamento natural, não se aplicando os pré-requisitos de condicionamento artificial estabelecidos no RTQ-C.

### 3.3.2.4 Sistema de Iluminação

Para executar a simulação, é necessário obter, pelo método prescritivo, o equivalente numérico de Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPI<sub>L</sub>). A escolha do método de avaliação do sistema de iluminação se deu pela área da edificação, visto que é realizada apenas uma atividade principal no Museu. A partir dessa função do edifício, que determina os limites de iluminação por metro quadrado, de acordo com o níveis de eficiência pretendidos, foram determinados os limites de DPI<sub>L</sub>, conforme Tabela 6, em seguida determinada a potência limite para a área iluminada do edifício, que equivale a 289,49m<sup>2</sup>.

Tabela 6 – Cálculo da potência limite para o Museu Regional de Caeté

	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
<b>Função da edificação</b>	<b>Densidade de Potência de Iluminação limite (W/m<sup>2</sup>)</b>			
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
<b>Área iluminada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potência limite (W)</b>	<b>Potência limite (W)</b>	<b>Potência limite (W)</b>	<b>Potência limite (W)</b>
289,49	3.300,19	3.792,32	4.284,45	4.776,59

Fonte: Autora

Os ambientes devem atender os pré-requisitos específicos, que podem ser conferidos na Tabela 7, do Manual para aplicação do RTQ-C (CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2016). Quanto a Divisão dos Circuitos, todos os ambientes possuem controles de acionamento da iluminação localizados de forma visível e acessível, portanto, todos os ambientes avaliados atendem a esse pré-requisito. Quanto a Contribuição da Luz Natural, o acionamento das luminárias se dá por um único circuito, mesmo que o das luminárias localizadas no interior do ambiente, assim o pré-requisito não é atendido pelo edifício. O terceiro pré-requisito não se aplica a nenhum dos ambientes avaliados, pois nenhum desses possui mais de 250 m<sup>2</sup>. Sendo assim, é considerado como atendido.

Tabela 7 – 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: (CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2016, p. 125)

Com base no levantamento cadastral da edificação (IMPACTO CONSTRUTORA, 2014) foi possível determinar a potência instalada para a iluminação existente no Museu, que tem como total 3.300W de potência, o que comparado com as potências limite na Tabela 6, resulta na classificação da iluminação no nível A. No entanto, ao considera-se os pré-requisitos, em consonância com a Tabela 7, o nível máximo de eficiência alcançado é o nível C, com equivalente numérico de 3.

#### 3.3.2.4 Percentual de horas ocupadas em conforto (POC)

Para ambientes climatizados naturalmente, deve ser comprovado que os ambientes de permanência prolongada estão em conforto durante um percentual de tempo. A Tabela 8 indica o equivalente numérico a ser usado na classificação do edifício, que pode variar de acordo com o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) que for alcançado na simulação.

Tabela 8 – Equivalentes numéricos para ventilação natural

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

Fonte: (BRASIL, 2010, p. 81)

Na simulação executada foi usado como parâmetro o modelo adaptativo da norma *ASHRAE Standard 55 Environmental Conditions for Human Occupancy*, que avalia o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados partindo do princípio de que as pessoas tendem a se adaptar às condições ambientais de seu entorno. O cálculo dos limites da faixa de conforto tem como parâmetros a temperatura externa e a temperatura operativa e esses valores podem ser considerados para duas faixas de aceitabilidade, 80% e 90% das pessoas satisfeitas com a temperatura. (KNOP, 2012)

A partir dessa definição foram fornecidas pelo *Design Builder* as taxas resultantes do dado *Time Not Comfortable*, de acordo com as zonas térmicas definidas e de acordo com todo o edifício. Assim foi possível obter o equivalente numérico de ventilação (EqNumV) para todo o edifício, igual a 79,88% das horas ocupadas, o que tem como EqNumV o valor de 4, classificação B, nível de conforto das horas ocupadas, das 10h às 17h, de segunda a sábado. O período de maior desconforto pelo calor, se concentra nos meses de janeiro a março, e pelo frio, de junho a agosto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CÁLCULO DA CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

Na simulação do modelo real foi adotado para o sistema de iluminação o valor de 11,4 W/m<sup>2</sup> para DPI, considerada a ventilação natural para o edifício e suas características construtivas. Em relação à etiqueta parcial de envoltória, com esses parâmetros, o edifício teve um consumo de energia anual maior do que todos os demais modelos de referência, se classificando com nível de eficiência energética nível E.

Por outro lado, para a classificação do nível de eficiência geral se aplica a Equação 2, composta por uma relação entre pesos (estabelecidos por usos finais) para cada sistema e pelo equivalente numérico de seu nível parcial de eficiência. Essa equação é utilizada para obter a pontuação total (PT) de edifícios totalmente simulados que possuam apenas ventilação natural, caso do Museu, e será utilizada com os dados constantes na Tabela 9, viabilizando o cálculo para classificação final do edifício.

$$PT = 0,70 \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \text{ EqNumV} \right) + 0,3 \cdot (\text{EqNumDPI}) + b_0^1$$

Equação 2

Tabela 9 – Dados para cálculo da Pontuação Total

Sigla	Dados do edifício	Valor
PT	Pontuação total	
APT	Área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados	57,66m <sup>2</sup>
AU	Área útil	294,36m <sup>2</sup>
ANC	Área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada	236,70m <sup>2</sup>
EqNumV	Equivalente numérico de ventilação	4
EqNumDPI	Equivalente numérico do sistema de iluminação	3
<b>B</b>	Pontuação obtida pelas bonificações que varia de zero a 1	0

Fonte: Autora

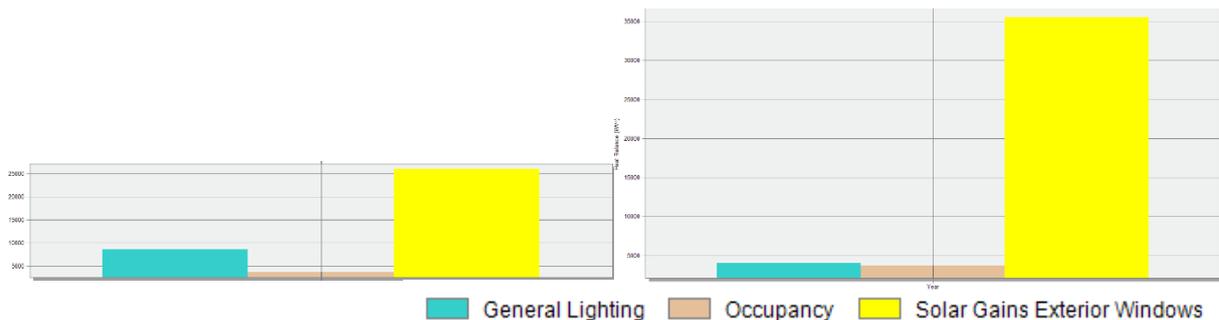
Executando a equação obtêm-se o equivalente numérico a 3,84, valor que encontra-se entre o intervalo 3,5 a 4,5 (BRASIL, 2010, p. 17) e equivale à classificação final B.

Após a classificação da edificação segundo o RTQ-C, foi alcançado o nível E para a envoltória, nível C para o sistema de iluminação e na classificação geral, nível B de eficiência energética para o Museu Regional de Caeté. Como o ponto principal desse estudo é analisar a eficiência energética em edificação histórica, avalia-se aqui a execução desse cálculo segundo o método escolhido. Para isso é importante revisitar os parâmetros que ocasionaram esse resultado.

No caso da avaliação geral da edificação, o EqNumV é favorecido pelo bom desempenho da edificação quanto ao conforto nas áreas de permanência prolongada. Valor esse que pode ser otimizado se a envoltória tiver um excelente desempenho.

No que se relaciona a avaliação da envoltória, um aspecto que merece destaque e pode ser considerado o principal responsável pelo nível menos eficiente na sua classificação são as esquadrias. Como expressado na Figura 10, que compara o modelo real com o modelo de referência nível A, o ganho solar da janelas externas é muito maior com as esquadrias em vidro 3mm do que com as janelas originais da edificação. No modelo real, o fato das janelas e portas serem em madeira e folhas cegas, minimiza o ganho por radiação e iluminação natural, dificultando o aquecimento solar no inverno, já que seu acionamento depende exclusivamente do usuário, além de aumentar o gasto energético com iluminação artificial, ao inviabilizar o aproveitamento da luz do dia.

Figura 10 – Iluminação e ganho solar do modelo real e modelo de referência nível A



Fonte: (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017)

Outro enfoque na envoltória é o desempenho da cobertura, aquém daquele necessário, devido aos altos valores de transmitância e absorvância térmicas que a telha cerâmica sem isolamento causa. Esse é um fator no acréscimo do desconforto nas áreas de permanência prolongada, que unido ao aumento das aberturas na edificação, quando comparados os modelos de referência, tem como consequência a diminuição do POC nas simulações.

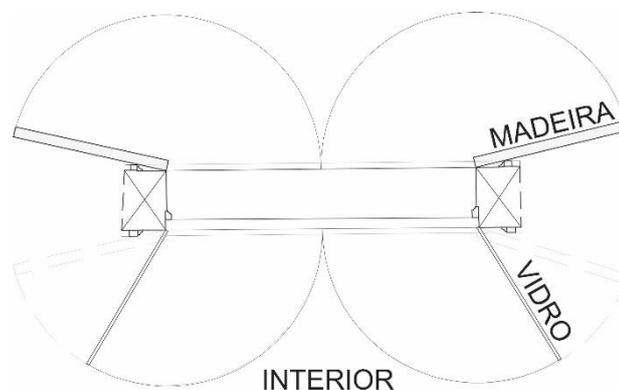
Quanto ao sistema de iluminação, o não atendimento ao pré-requisitos de divisão dos circuitos, para otimização da luz natural, prejudica sua classificação e por consequência a pontuação total final. Além disso, o desligamento automático, no museu, pode ser uma solução bastante interessante, visto se tratar de um circuitos expositivos, com ambientes nos quais há possibilidade das pessoas permanecerem muito tempo, tanto quanto estar vazio por algum tempo.

#### 4.2 MEDIDAS CORRETIVAS

Considerando que o Museu precisa otimizar seu gasto energético e percentual de conforto dos usuários e que por ser edificação histórica e tombada, esse tipo de construção possui limitações, foram elaboradas propostas corretivas para o cumprimento dos critérios do RTQ-C. Cabe aqui, realizar a avaliação de cada uma delas quanto ao prejuízo na preservação do patrimônio cultural arquitetônico.

Partindo da envoltória, considerando que nos resultados as janelas foram diagnosticadas como ponto fraco, propõem-se a otimização das esquadrias, acrescentando ao caixilho em madeira existente uma nova esquadria em perfil estreito de alumínio, com abertura em giro para dentro e lâmina de vidro monolítico, com objetivo de realizar o controle térmico, permitindo a iluminação natural e reduzindo consumo de energia para iluminação artificial, além de evitar ventilação indesejável no inverno. Para isso, conforme Figura 11, será necessário inverter o sentido de abertura das folhas de madeira para o exterior, permitindo que durante a horário de funcionamento do edifício as esquadrias estejam totalmente abertas, já que a regulação térmica será feita pelas folhas em vidro.

Figura 11 – Proposta corretiva para esquadrias do Museu Regional de Caeté



Essa solução procura retomar a característica presente em algumas edificações coloniais da esquadria formada por dois elementos, sendo o primeiro opaco e o segundo translúcido, cuja esquadria é composta por folha opaca de madeira com abertura em giro e internamente folhas de vidro e madeira com abertura tipo guilhotina. A idéia aqui é seguir a inspiração do estilo arquitetônico, de modo que a proposta se adeque ao valor estético e cultural do edifício. E para isso, o vidro pode ser um material de bastante êxito, ainda que para menor interferência estética, seja inviável sua abertura em madeira e vidro tipo guilhotina.

Para a cobertura, originalmente composta por telhas de barro, tipo capa-canal, com estrutura de madeira, considerando que todos os cômodos possuem forro em madeira, acrescenta-se acima dele um isolamento em lã de rocha, material incombustível, resistente ao fogo e isolante, que pode ser aplicado sem prejuízo estético a edificação, servindo a sua função e diminuindo a transmitância térmica da cobertura, como se nota na Tabela 10, para o interior da edificação. Quando a absorvância, uma hipótese seria a pintura da cobertura, para diminuir seu valor. No entanto, essa ação comprometeria a estética do edifício, além de dificilmente ser uma intervenção aprovada pelo IPHAN.

Tabela 10 – Transmitância térmica das propostas corretivas

<b>Material</b>	<b>Esquadria sem moldura com vidro monolítico</b>	<b>Cobertura com isolamento em lã de rocha</b>
<b>Espessuras</b>	<b>6mm</b>	
<b>U</b>	4,25	0,5
<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>		
<b>FS</b>	0,23	

Fonte: (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017)

Quanto a absorvância e transmitância térmica das paredes externas, como são pintadas em branco e possuem grande espessura, com elevada capacidade térmica, não foram avaliadas propostas de isolamento para o plano vertical.

Por fim, como terceira ação, a proposta é de revisão do sistema de iluminação, que necessita ser readequado para melhor uso das atividades no edifício. Assim, realiza-se a divisão dos circuitos nas salas, permitindo o desligamento das luminárias que não sejam necessárias, quando da contribuição da luz natural e a instalação de sensores, permitindo seus desligamento automático, quando não for necessário seu uso.

As três medidas foram inseridas no modelo real da edificação e realizada a simulação com objetivo que comparar os modelos de referência. Para a simulação da proposta foram

adotados para o sistema de iluminação o valor de 11,4 W/m<sup>2</sup> para DPII e a ventilação natural do edifício. Com a simulação obtém-se o consumo anual de 3176,32 kWh, consumo de energia anual menor que qualquer dos modelos de referência, que por isso, leva a classe de eficiência energética nível A. Neste sentido, é possível verificar a importância da solução das esquadrias e do isolamento da cobertura no desempenho energético do MRC.

Quanto ao sistema de iluminação, a partir das medidas corretivas, segundo o método prescritivo, o sistema recebe classe de eficiência energética A, o que quando aplicado na equação da classificação geral, eleva o edifício para o Nível A, conforme Tabela 11. Para o POC, o resultado foi de 79% das horas ocupadas em conforto, mantendo sua classificação no nível B.

Tabela 11 – Síntese dos resultados das simulações

	<b>Simulação modelo de referência nível A</b>	<b>Edifício real</b>	<b>Edifício real após medidas corretivas</b>
<b>Consumo de energia (kWh)</b>	4049,92	8662,47	3176,32
<b>Tempo em conforto (%horas/ano)</b>	79,02 Nível B	79,88 Nível B	79,02 Nível B
<b>Etiqueta parcial de Iluminação</b>	11,4 Nível C	11,4 Nível C	11,4 Nível A
<b>Pontuação total (PT)</b>		3,84 Nível B	4,44 Nível B

Fonte: (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2017)

De um modo geral, os resultados foram satisfatórios, ainda que quanto ao EqNumV, sobre a relação do conforto nas horas ocupadas, entenda-se que foi atingido um limite, que pode ter relação com a ocupação para além das intervenções arquitetônicas que aqui foram propostas e por isso mereça estudo mais aprofundado.

Finalmente, é possível afirmar que, a alta inércia térmica das paredes, o baixo consumo energético e o isolamento da cobertura são elementos que definem o edifício com altos níveis de desempenho termoenergético.

## 5 CONCLUSÕES

Após as propostas de medida corretivas a avaliação de eficiência energética pelo RTQ-C, através do método de simulação, definiu o Museu Regional de Caeté com a classe de eficiência energética nível A para a envoltória, nível A para o sistema de iluminação e na classificação geral, nível B. É importante então refletir sobre a aplicação do RTQ-C como ferramenta que mensura a eficiência energética, o êxito da aplicação dessa metodologia para edificações históricas e na conscientização e difusão sobre o tema.

Os objetivos desse trabalho foram bem atendidos quanto a caracterização da edificação e dos materiais que a compõem, sendo possível contar com o programa *Design Builder* na tarefa de conhecer detalhadamente os materiais existentes para simulação computacional e na definição dos níveis de eficiência dos modelos de referência, versátil para estudo das possibilidades de diminuição do consumo de energia e aprimoramento do conforto térmico. Uma dificuldade verificada foi a de configurar esquadrias que não fossem envidraçadas, assim como os dados para que a ventilação natural fosse efetivamente consideradas na simulação.

Sobre às propostas de mudanças necessárias para o cumprimento dos critérios do RTQ-C e sua relação com o tombamento da edificação, esse foi um fator desafiador tanto na análise, quanto pelo desafio de propor soluções que atendessem as limitações e possibilidades de alteração nesse tipo de construção. No entanto, no caso do Museu Regional de Caeté é indispensável reconhecer o valor do seu sistema construtivo e seu êxito, principalmente pelas suas alvenarias e número de aberturas, que viabilizaram uma proposta de adequação para alcance de altos níveis de classe energética.

Quanto a pertinência da aplicação do RTQ-C em edificações históricas é possível avaliá-la como viável, visto que atende o objetivo de informar o nível de eficiência energética das edificações, sendo uma metodologia de possível aplicação em outros edifícios, com as devidas adaptações ou evoluções. Uma crítica construtiva quanto à sua aplicação em edificações históricas, está relacionada a particularidades existentes e que não constam como possibilidade no Regulamento. Compreender por exemplo que uma esquadria em madeira maciça e cega pode funcionar como reguladora da ventilação, mesmo que não possua vidro, ocorra recorrentemente nas casas antigas. Para difusão da aplicação do RTQ-C para esses edifícios é importante que essas particularidades sejam estudadas e possibilidades ampliadas.

Se por um lado, a readequação de uso como simples ato comprovaria a sustentabilidade arquitetônica, através do reaproveitamento do sistema construtivo, materiais e reinvenção do uso, por outro, para a potencialização do conforto ambiental e eficiência energética na

atualização das construções, a compreensão da arquitetura histórica e suas soluções arquitetônicas, sistemas e uso da tecnologia dos materiais podem e devem ser importantes aliados. Por isso essa metodologia deve ser mais estudada e divulgada, para que a utilidade e importância de uma normativa como o RTQ-C seja benéfica na preservação do patrimônio cultural arquitetônico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AM ONLINE PROJECTS. Clima: Caeté. **Climate-Data.org**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/25012/>>. Acesso em: 22 Mai 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, p. 66. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401 – 3. Instalação de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte – 3. Qualidade do Ar Interior**. Rio de Janeiro, p. 23. 2008.

BANGS, H. **O Retorno da Arquitetura Sagrada: a razão áurea e o fim do modernismo**. São Paulo: Editora Pensamento, 2010.

BARBOSA, S. **Fachada do Museu Regional de Caeté**. Fotografia, 2012.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Presidência da República**, 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm)>. Acesso em: 21 Jun 2017.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e qualidade industrial. **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 21 Jun 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº2, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão**, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>>. Acesso em: 21 jun 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Eficiência Energética: guia para etiquetagem de edifícios**, Brasília, p. 70, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015**, Rio de Janeiro, 2016.

CAROTENUTO, A. **Análise do desempenho termoenergético de um prédio histórico de elevada inércia térmica**. Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 251 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia).

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Universidade Federal de Santa Catarina/ Eletrobras. [S.l.], p. 203. 2016.

CHOAY, F. **A Alegoria do Patrimônio**. São Paulo: Estação Liberdade, UNESP, 2006.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. DesignBuilder. **Designbuilder**, 2017. Disponível em: <<https://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em: 15 Mai 2017.

GONÇALVES, W. Interfaces e conflitos entre o conforto ambiental humano e a conservação preventiva do acervo em edifícios que abrigam coleções. **Museologia e Patrimônio - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio - Unirio | MAST**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 27, 2016.

GUERRA, S. O uso do Patrimônio Histórico (o caso do Paço Imperial). **Cadernos do PROARQ**, Rio de Janeiro, 2006.

IMPACTO CONSTRUTORA. **Projeto de Restauração do Museu Regional de Caeté**. Instituto Brasileiro de Museus. Belo Horizonte, MG. 2014.

KNOP, S. **Comportamento termoenergético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura**. Pelotas: Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2012. 143 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **S3E - Simulador Eficiência Energética em edificações**, 2011. Disponível em: <<http://www.s3e.ufsc.br/login?e=0&test=true>>. Acesso em: 10 Mai 2017.

LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ - PUCPR. Domus. **Instrumento de apoio à Eficiência Energética de Edificações**, 2013. Disponível em: <<http://domus.pucpr.br/>>. Acesso em: 15 Mai 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3a edição. ed. [S.l.]: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia\\_energetica\\_na\\_arquitetura.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf)>. Acesso em: 27 Mar 2017.

RIBEIRO, M. **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. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 2010. p. 402-413.

SANTOS, I. **Análise de envoltória e do sistema de iluminação a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e de proteções solares**. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura).

SOUZA, A. **Responsabilidade social e desenvolvimento sustentável: a incorporação dos conceitos a estratégias empresarial**. Rio de Janeiro: Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético).

VEIGA, A. **Modelo de Referência para a gestão de projetos de museus e exposições**. Belo Horizonte, MG: Escola de Belas Artes: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.