



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA ATINGIR NÍVEL “A” SEGUNDO A INI-C: EDIFÍCIO HISTÓRICO NO SUL DO BRASIL¹

CARVALHO, Amanda (1); GRALA, Eduardo (2); OLIVEIRA, Ana (3); MACARTHY, Maritza (4)

(1) Universidade Federal de Pelotas, amandarosadc@gmail.com

(2) Universidade Federal de Pelotas, eduardogralachunha@yahoo.com.br

(3) Universidade Federal de Pelotas, lucostoli@gmail.com

(4) Universidade Federal de Pelotas, mmacarthy2013@gmail.com

RESUMO

As edificações são responsáveis por 42,6% do consumo total de energia elétrica no Brasil, sendo necessário investir em mecanismos que diminuam o seu consumo de energia. Um mecanismo é o retrofit energético em edificações históricas. As certificações de desempenho energético nas edificações brasileiras estão sendo atualizadas, como a INI-C, a qual foca em edificação não residencial. Esse trabalho é um estudo de caso com simulação computacional, visando analisar a viabilidade econômica para atingir o nível “A” da INI-C, em um edifício inventariado no nível um de tombamento, no contexto climático sul do Brasil, levando em consideração as restrições das legislações de preservação do patrimônio histórico. Foi utilizado como objeto de estudo o Casarão 2, sede da Secretaria da Cultura do município de Pelotas, RS, localizado no centro histórico e com nível um de tombamento. Os métodos de análise de conforto térmico e consumo de energia foram seguidos conforme a INI-C. Já a análise de viabilidade econômica foi feita através do payback simples. As soluções de retrofit que atingiram o nível “A” de eficiência energética, segundo a INI-C, não foram consideradas viáveis em termos econômicos, pois apresentaram payback simples superior a 8 anos.

Palavras-chave: Retrofit energético. Edifício histórico. INI-C

ABSTRACT

The buildings are responsible for 42.6% of the total electricity consumption in Brazil, making it necessary to invest in mechanisms that reduce their energy consumption. One of them is the energy retrofit in historic buildings. Energy performance certifications in Brazilian buildings are being updated, such as INI-C, which focuses on non-residential buildings. This work is a case study using computer simulation, aiming to analyze the economic feasibility to reach the “A” level of INI-C, in a listed building on level one of tipping, in the southern climatic context of Brazil, taking into account the restrictions of legislation for the preservation of historical heritage. Casarão 2, the headquarters of the Secretariat of Culture of the municipality of Pelotas, RS, located in the historic center and with a level one listed, was used as the object of study. The methods of analysis of thermal comfort and energy consumption were followed according to

¹ CARVALHO, Amanda; GRALA, Eduardo; OLIVEIRA, Ana; MACARTHY, Maritza. Estudo de viabilidade econômica para atingir o nível A segundo a INI-C: edifício no sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

INI-C. The economic feasibility analysis was done through simple payback. The retrofit solutions that reached level “A” of energy efficiency, according to INI-C, were not considered economically viable, as they presented simple payback over 8 years.

Keywords: Energy retrofit. Historic building. INI-C.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2019), o consumo de energia elétrica aumentou 25% entre 2009 e 2018. O Balanço Energético Nacional (BEN) 2019 revela que a edificação é responsável por 42,6% desse consumo, sendo 21,4% no setor residencial, 14,3% no setor comercial e 6,9% no setor público (MME; EPE, 2019). Isso mostra a necessidade de investir em mecanismos que diminuam o consumo de energia nas edificações. Segundo Mazzarella (2014), o *retrofit* energético é um desses mecanismos, pois atualiza os sistemas das edificações existentes às necessidades atuais do usuário. Essa atualização melhora o conforto térmico nos ambientes internos e propicia economia de energia.

Realizar *retrofit* energético na edificação tombada é mais complexo do que na edificação não tombada. Isso ocorre, pois, essa primeira apresenta restrições quanto as possibilidades de intervenções, causadas pelas legislações de preservação do patrimônio histórico (PISELLO *et al.*, 2014). Segundo Pelotas (2008), existem quatro níveis de tombamento. O nível um apresenta máxima proteção da edificação, não podendo realizar qualquer modificação que provoque a descaracterização permanente de sua envoltória interna e externa. Já nos outros níveis, as possibilidades de modificações vão se flexibilizando até chegar na completa reconstrução da edificação, comum no nível quatro.

Além disso, Webb (2017) afirma que o *retrofit* pode provocar perda no material histórico da edificação e descaracterizar os elementos arquitetônicos que a tornam de relevância histórica. Isso é ressaltado quando Cirami *et al.* (2017) e Boarin *et al.* (2014) mostram lacunas nos padrões e códigos atuais que propõem alternativas para equilibrar as melhorias de eficiência energética e a conservação do patrimônio histórico. Todavia, o *retrofit* energético em edificações históricas pode apresentar algumas vantagens. Uma delas, segundo Kass *et al.* (2017), é reviver o valor arquitetônico do edifício histórico. Outra vantagem é a possibilidade de prolongar a vida útil dessa construção (Martinez-Molina *et al.*; 2016).

No Brasil, os regulamentos para avaliação do desempenho energético da edificação, conhecidos como RTQ-R e RTQ-C, tratam a edificação histórica como exceção. Ou seja, não especificam os procedimentos para analisar o desempenho energético de construções históricas. Desde 2018, esses regulamentos estão passando por atualizações, sendo chamados, respectivamente, de INI-R e INI-C. A INI-C é focada em avaliar o nível de eficiência energética em edificações não residenciais, classificando-as entre os níveis “A” e “E”, através da análise comparativa entre um modelo real e um modelo referência (INMETRO, 2018). Essa instrução normativa leva em consideração o grupo climático em que a edificação se encontra e a sua tipologia. Essa tipologia pode ser classificada em escritórios, educacionais, hospedagem, hospitalares, varejo-comércio, varejo-mercado, alimentação e não descritas anteriormente ou gerais (INMETRO, 2018).

Com o cenário descrito anteriormente, este trabalho visa analisar a viabilidade econômica para atingir o nível “A” da INI-C, em um edifício inventariado no nível um de tombamento, no contexto climático sul do Brasil, levando em consideração as

restrições interventivas provenientes das legislações de preservação do patrimônio histórico.

2 MÉTODO

Essa pesquisa é um estudo de caso que utilizou a simulação computacional, para avaliar o consumo de energia de uma edificação histórica, a partir das possibilidades de *retrofit*. A pesquisa foi dividida em 4 etapas gerais: definição do objeto de estudo, simulação computacional, orçamento do *retrofit*, análise dos resultados.

Na primeira etapa, selecionou-se e caracterizou-se a edificação que representa o objeto de estudo. A edificação escolhida preencheu os seguintes critérios: pertencer a região sul do Brasil; ser inventariada no nível 1 de tombamento, em razão das restrições de modificações; ser pública, possibilitando o acesso da população; possuir área superior a 500m²; e ter implantação na esquina do lote, permitindo o maior número de fachadas em contato com o ambiente externo. Também foi realizado levantamento documental histórico e arquitetônico do objeto de estudo. Preenchendo todos esses requisitos, selecionou-se o Casarão 2, localizado no centro histórico de Pelotas, RS.

A segunda etapa foi dividida em modelagem 3D, configuração dos modelos (real e referência) e otimização até o nível "A" da INI-C. A modelagem foi realizada com auxílio do *plugin Euclid 0.9.3*, na interface do *SketchUp 2017*. Os parâmetros de material, ocupação, equipamento, iluminação e uso foram configurados no programa *EnergyPlus 8.7.0*, que permitiu analisar o desempenho térmico dos modelos. O Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) disponibilizou o arquivo climático de Pelotas.

O modelo real foi configurado conforme as recomendações da INI-C para edificação com tipologia geral. Ou seja, esse modelo passa a ter ocupação de 10m²/pessoa, durante 12 horas ao dia, no decorrer de 300 dias do ano, e densidade de potência de equipamentos (DPE) de 12W/m². Outras configurações, como componentes construtivos, densidade de potência de iluminação (DPI) e condição de piso e cobertura foram configurados conforme o edifício se encontra na condição real. O Casarão 2, por abrigar a Secretaria Municipal de Cultura, pode classificar sua atividade predominante nas áreas de permanência como trabalho de escritório, adotando 140W como calor produzido pelo metabolismo (ABNT, 2008).

Essa edificação possui climatização totalmente natural. As janelas de madeira foram configuradas com 100% de abertura, termostato a 24°C e postigos de madeira, conforme a condição real. A INI-C afirma que as edificações totalmente ventiladas naturalmente devem apresentar 90% do Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOC_T) (INMETRO, 2018). Caso esse PHOC_T não seja alcançado, os modelos reais devem ser simulados com climatização híbrida. Ou seja, climatização parcialmente natural e mecânica, onde o sistema *Package Terminal Heat Pump* (PTHP) passa operar quando a ventilação natural não atende o conforto térmico. Nesse caso, o PTHP da climatização híbrida opera com Coeficiente de Desempenho (COP) de 3,24W/W. A taxa de fluxo de ar por pessoa, a eficiência do motor do PTHP e a eficiência do seu ventilador foram configurados, respectivamente, com 0,00944m³/s, 90% e 80%.

O modelo de referência apresentou a mesma configuração de ocupação, DPE e atividade do modelo real. Segundo INI-C (INMETRO, 2018), a DPI desse modelo passou a ser 15W/m². As paredes externas foram configuradas para apresentar transmitância

de 2,39W/m²K, absorvância de 0,5, e capacidade térmica de 150kJ/m²K. Já a cobertura passou a apresentar transmitância de 2,06W/m²K, absorvância de 0,8, e capacidade térmica de 233kJ/m²K. O vidro de 6mm é simples incolor, com fator solar (FS) 0,82. O sistema de climatização foi configurado igual ao modelo real, com exceção do COP. A INI-C indica 2,6W/W para COP do modelo de referência (INMETRO, 2018).

Os modelos otimizados até o nível “A” da INI-C foram configurados para melhorar o desempenho energético do modelo real, de forma a preservar as características arquitetônicas que o torna relevante historicamente. Para isso, os parâmetros modificados progressivamente foram: cor das paredes; cor das coberturas; isolamento abaixo da cobertura e troca de vidros. As cores escolhidas foram branca e preta, com 0,20 e 0,97 de absorvância, respectivamente. No isolamento, foi utilizado lã-de-vidro com espessuras de 10mm, 50mm, 100mm, 150 e 200mm. Em último caso, o vidro simples foi trocado por vidro duplo (duas camadas de vidro com 20 mm e câmara interna de 12 mm).

Na terceira etapa dessa pesquisa, foi efetuado o orçamento de cada modelo otimizado. Isso foi realizado através das somas dos custos diretos (material, equipamento e mão-de-obra), mediante levantamento quantitativo dos materiais necessários para o *retrofit*. As composições dos custos e serviços foram efetuadas tendo como base a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) (PINI, 2010) e o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) (2019), referente ao mês de novembro de 2019, em Porto Alegre.

Na quarta etapa de pesquisa, realizou-se a análise do nível de conforto térmico, consumo de energia e *payback* simples, visando observar a viabilidade econômica dos *retrofit*. A INI-C estabelece 5 passos para determinar o nível de eficiência da edificação tendo como base o modelo de referência. Primeiro, determina-se o Consumo de Energia Primária (CEP) do modelo de referência. Em seguida, determina-se o Fator de Forma (FF) da edificação – razão entre a área total do envelope e o volume total da edificação. Depois, determina-se o Coeficiente de Redução do Consumo de Energia Primária da classe “D” para classe “A” (CRCEP_{A-D}). Esse coeficiente é um valor tabelado da INI-C que depende do FF, tipologia da edificação e seu grupo climático. Posteriormente, identifica-se o intervalo entre as classes “A” e “D” (i) de eficiência energética através da Equação 1. Por fim, com o intervalo entre classes, preenche-se a Tabela 1, a qual permite analisar e comparar o nível de desempenho energético do modelo real e dos modelos otimizados.

$$i = \frac{(CEP_{REF} \cdot CRCEP_{A-D})}{3} \tag{1}$$

Tabela 1 – Intervalo entre classes

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> CRCEP _{A-D} - 3i	> CRCEP _{A-D} - 2i	> CRCEP _{A-D} - i	> CRCEP _{A-D}
Limite inferior	≤ CRCEP _{A-D} - 3i	≤ CRCEP _{A-D} - 2i	≤ CRCEP _{A-D} - i	≤ CRCEP _{A-D}	-

Fonte: INI-C (INMETRO, 2018, p. 19)

O *payback* simples forneceu o período de retorno, em anos, dos investimentos nos *retrofits* sobre o custo anual da energia economizada decorrente das modificações. Esse custo foi obtido através da subtração entre os custos do consumo de energia

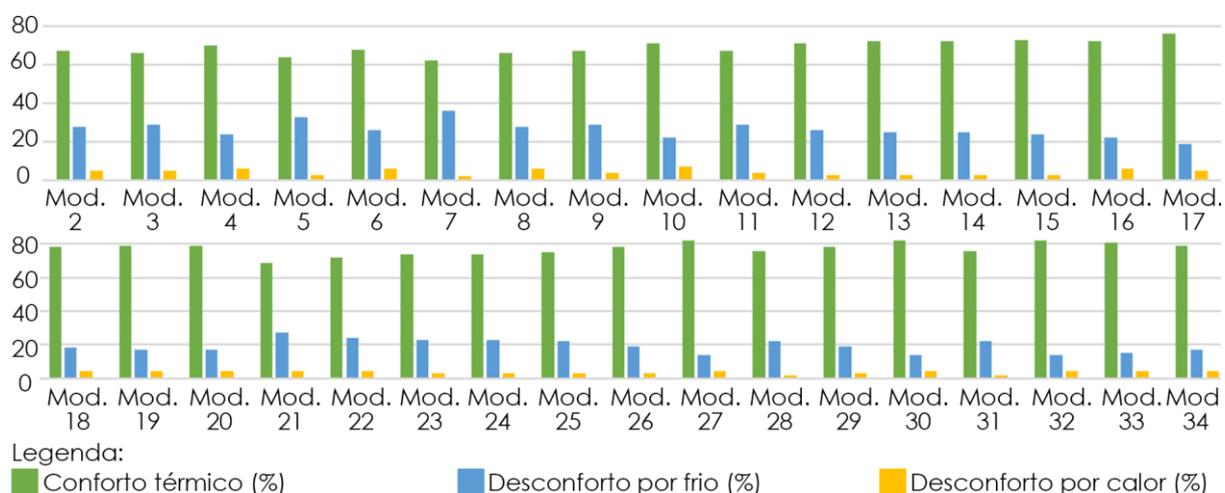
dos modelos real e otimizado. Segundo a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), o quilowatt-hora na tarifa energética do mês de novembro de 2019 custou R\$0,52. O *retrofit* foi considerado economicamente viável quando o *payback* simples for inferior a menor vida útil das modificações. Nesse estudo, como a pintura apresenta menor vida útil, utilizou-se 8 anos como limite máximo para o *payback* (ABNT, 2013).

3 RESULTADOS

O Casarão 2 é completamente climatizado por ventilação natural, cujo sistema opera através do controle de abertura nas esquadrias. Com a simulação computacional, constatou-se que essa edificação apresenta 67% de $PHOC_T$, e desconforto por frio e calor de 28% e 5%, respectivamente. Isso ocorre por causa da grande inércia térmica das paredes externas, que diminui os ganhos térmicos provenientes do ambiente externo. Ademais, as poucas zonas de permanência prolongada da edificação contribuem para a baixa geração de calor interno (metabolismo humano e equipamentos).

No modelo real climatizado naturalmente, foram realizadas 33 simulações, variando as cores de parede externa, cor de cobertura, a espessura da lâ-de-vidro na cobertura e esquadrias. Os resultados dessas simulações são representados pela Figura 1. Das 33 simulações, os Modelos 27, 30 e 32 apresentaram os melhores resultados, todos com 82% de conforto térmico e desconforto de 14% por frio e 4% por calor. Por não atingirem 90% $PHOC_T$ exigidos pela INI-C, foi necessário criar outro modelo real implementando a climatização híbrida.

Figura 1 – Gráfico do conforto térmico dos modelos de retrofit ventilados naturalmente



O modelo de referência do Casarão 2, com climatização híbrida, apresentou o CEP de 96.052,30kWh/ano. Levando em consideração que essa edificação possui FF de 0,41, apresenta tipologia geral e localiza-se no grupo climático 5, segundo a INI-C, o seu $CRCEP_{A-D}$ é 0,26. Com isso, foi possível descobrir que o intervalo entre as classes é de 10.393,92kWh/ano. Com esse intervalo, preencheu-se a Tabela 1, obtendo como resulta o consumo de energia primária de cada classes, assim como mostra a Tabela 2.

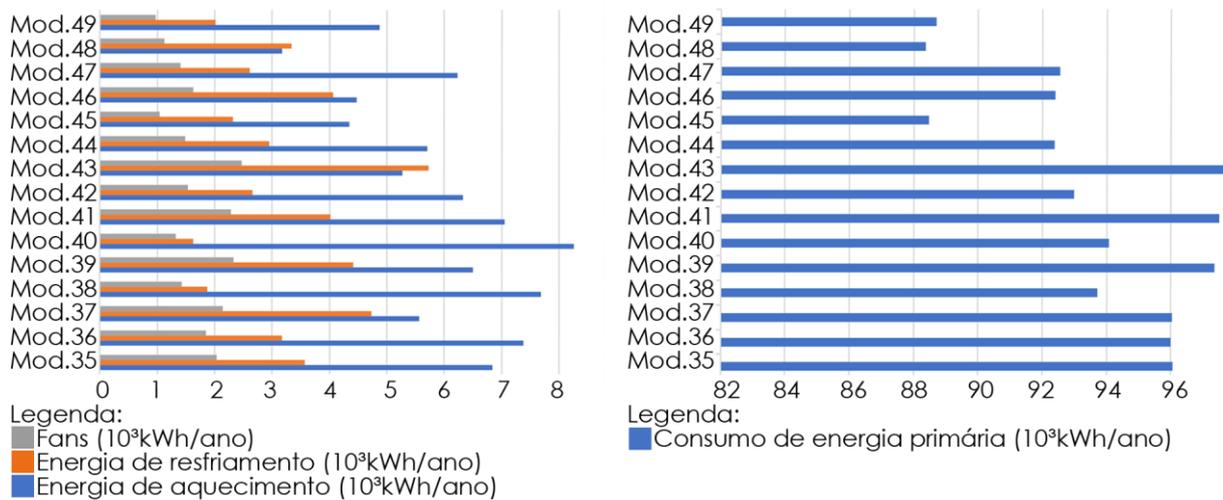
Tabela 2 – Intervalo entre classes do Casarão 2

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 88.748,11	> 99.142,03	> 109.535,95	> 119.929,87
Limite inferior	≤ 88.748,11	≤ 99.142,03	≤ 109.535,95	≤ 119.929,87	-

Fonte: Adaptado da INI-C (INMETRO, 2018, p. 19)

Segundo a Tabela 2, o modelo real apresentou nível de desempenho energético “B”. Visando alcançar o nível “A”, foram usados os mesmos critérios de modificação dos modelos ventilados naturalmente, com acréscimo do PTHP com COP 3,24W/W. A Figura 2 mostra a relação entre o consumo de energia de aquecimento, resfriamento, fans e primária das propostas de *retrofit*. Os Modelos 45, 48 e 49 atingiram o nível “A” da INI-C, pois apresentaram CEP inferior a 88.748,11kWh/ano. Dessas propostas, o Modelo 45 (5cm de lã-de-vidro na cobertura) apresentou menos modificações para atingir o nível “A” da INI-C.

Figura 2 – Gráfico do consumo de energia (a) por equipamento e (b) primária total



Os custos totais das modificações e o *payback* simples de cada *retrofit*, foram mostrados na Tabela 3. Essa tabela indicou que nenhum dos *retrofit* foram considerados economicamente viáveis. Os *retrofit* completamente ventilados naturalmente não atingiram os 90% PHOC_T, tendo o *payback* simples descartado. Já os modelos com climatização híbrida que atingiram o nível “A” da INI-C apresentaram *payback* simples superior a 8 anos, sendo considerados inviáveis.

Tabela 3 – Payback simples

Modelo	Investimento inicial (R\$)	Energia (R\$/ano)	Economia de energia (R\$/ano)	Payback simples (ano)
Mod. 45	47.090,01	46.099,90	3.949,72	11,92
Mod. 48	57.797,16	46.051,92	3.997,70	14,46
Mod. 49	57.797,16	46.226,81	3.822,81	15,12

O *retrofit* com a maior atratividade financeira é o Modelo 45, com 5cm de lã-de-vidro na cobertura e climatização híbrida. Ele apresenta investimento inicial de R\$47.090,01 e *payback* simples de 11,92 anos. Isso mostra que o custo da econômica de energia

com essas modificações é 8% do seu custo de seu investimento. Além disso, considerando a vida útil superior da pintura de 12 anos, segundo a NBR 15575, esse modelo foi o mais próximo de ser considerado economicamente viável.

Em relação ao impacto das modificações na envoltória histórica do Casarão 2, os modelos que possuem $PHOC_T$ inferior a 90% não foram considerados viáveis. A cor preta desses modelos provoca grande impacto na percepção visual do Casarão 2, uma vez que essa cor nunca foi utilizada em seu processo de revitalização. Ademais, essa cor acaba segregando o Casarão 2 do seu entorno imediato, em consequência da palheta de cores claras presentes nas demais edificações históricas da área. Já os modelos 45 e 49, foram considerados viáveis em termos de preservação do patrimônio histórico, pois as modificações realizadas foram implementação do PTHP, aplicação da lã-de-vidro na cobertura e pintura clara. O PTHP e o isolamento na cobertura podem ser instalados de forma a serem invisíveis ao público, além de poderem ser removidos futuramente. A cor clara na fachada não provoca impacto visual, pois é semelhante a cor original da edificação. Ou seja, foi possível realizar modificações no Casarão 2, respeitando a legislação preservação do patrimônio histórico num edifício com nível 1 de tombamento.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a viabilidade econômica de atingir o nível "A" da INI-C, em um edifício inventariado no nível um de tombamento, no contexto climático do sul do Brasil, levando em consideração as restrições de intervenções causadas pelas legislações de preservação do patrimônio histórico.

Apesar da falta de protocolo em equilibrar o *retrofit* energético com a preservação do patrimônio histórico, afirmado por Boarin *et al.* (2014) e Cirami *et al.* (2017), e das restrições de modificações em edificações históricas indicadas por PISELLO *et al.* (2014), foi possível otimizar o Casarão 2 até o nível "A" de eficiência energética, segundo a INI-C, sem provocar perdas no material histórico. Essa otimização garantiu ambiente interno com temperaturas de conforto térmico ao usuário, com os menores custos no consumo de energia. Isso comprova as vantagens do *retrofit* citadas por Martinez-Molina *et al.* (2016), Kass *et al.* (2017) e Mazzarella (2014).

Os *retrofit* com estratégias completamente passivas e climatização natural, não foram considerados viáveis, pois apresentaram $PHOC_T$ inferior a 90%, não apresentando classe "A" de eficiência energética. Os *retrofit* que alcançaram o nível "A" da INI-C também não foram considerados viáveis. Isso ocorre, pois, na análise de *payback* simples, o tempo de retorno do investimento foi superior à vida útil mínima da pintura externa. O modelo otimizado com menor tempo de *payback* (modelo 45), só pode ser considerado economicamente viável se considerar a vida útil superior da pintura externa (12 anos). Isso mostra uma flexibilização na interpretação dos dados. Ainda são necessários mais estudos sobre esse tema, com diferentes edificações e propostas de *retrofit* para se chegar a um veredito mais sólido.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401**: Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BOARIN, P.; GUGLIELMINO, D.; PISELLO, A. L.; COTANA, F. Sustainability assessment of historic buildings: lesson learnt from an Italian case study through LEED rating system. **Energy Procedia**, Itália, v. 61, p.1029-132, 2014.

CIRAM, S.; EVOLA, G.; GAGLIANO, A.; MARGANI, G. Thermal and economic analysis of renovation strategies for a historic building in Mediterranean area. **Buildings**, Itália, v. 7, 2017.

INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, 2018.

KASS, K.; BLUMBERGA, A.; BLUMBERGA, D.; ZOGLA, G.; KAMENDERS, A.; KAMENDERE, E. Pre-assessment method for historic building stock renovation evaluation. **Energy Procedia**, Letônia, v. 113, p.346-353, 2017.

MARTÍNEZ-MOLINA, A.; TORT-AUSINA, I.; CHO, S.; VIVANCOS, J. Energy efficiency and thermal comfort in history building: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, Espanha, v. 61, p. 70-85, 2016.

MAZZARELA, L. Energy of historic and existing buildings: the legislative and regulatory point of view. **Energy and buildings**, Itália, v. 95, p. 23-31, 2014.

MME MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2019**: Ano base 2018. Rio de Janeiro, 2019.

PELOTAS. Lei nº 5.502, de 11 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no município de Pelotas, e dá outras providências. **Gabinete do prefeito de Pelotas**, Pelotas, RS, 208.

PINI. **TCPO – Tabelas de composições e preços para orçamentos**. 13. Ed. São Paulo: PINI, 2010.

PISELLO, A. L.; PETROZZI, A.; CASTALDO, V. L.; COTANA, F. On an innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: thermal-energy, economic and environmental analysis of case study. **Applied Energy**, Itália, v. 162, 2014.

SINAPI SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES. Preços de insumos. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660. Acesso em 12 dez.2019.

WEBB, A. L. Energy retrofits in historic and traditional buildings: a review of problems and methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Estados Unidos da América, v. 77, p. 748-759, 2017.