

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Fernanda Gonçalves Martins

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR
EM DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS DO BRASIL POR MEIO DE UM MÉTODO
SIMPLIFICADO

Florianópolis

2022

Fernanda Gonçalves Martins

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR
EM DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS DO BRASIL POR MEIO DE UM MÉTODO
SIMPLIFICADO

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil
Orientador: Prof^a. Ana Paula Melo, Dr^a.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Martins, Fernanda Gonçalves

Avaliação da eficiência energética de uma
residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas
do Brasil por meio de um método simplificado /
Fernanda Gonçalves Martins; orientador, Ana Paula
Melo, 2022.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Graduação em
Engenharia Civil, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência Energética em
Edificações. 3. Instrução Normativa Inmetro para a
Classificação de Eficiência Energética de Edificações
Residenciais. I. Melo, Ana Paula . II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Civil.
III. Título.

Fernanda Gonçalves Martins

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR EM DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS DO BRASIL POR MEIO
DE UM MÉTODO SIMPLIFICADO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Catarinense

Florianópolis, 29 de março de 2022.

Prof^a. Liane Ramos da Silva, Dr^a.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a Ana Paula Melo, Dr^a.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Roberto Lamberts, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a Renata De Vecchi, Dr^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de graduação,
ao meu namorado e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, principalmente à minha família, meus pais Anézia e Renoir e meu irmão Bruno, por todo apoio durante a graduação e elaboração desse trabalho.

Ao meu namorado Alessandro, pelo companheirismo e suporte emocional em todas as horas.

À minha orientadora Ana Paula Melo, por sempre se mostrar disponível para me auxiliar, fazendo correções rápidas e detalhistas, e simplificando esse importante trajeto.

Aos meus amigos de graduação, especialmente a Victória Schmidt, que esteve sempre ao meu lado em maior parte da graduação e me dá muito orgulho pela grande profissional que se tornou.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que estiveram presentes, não só no período deste trabalho, mas em toda a minha graduação.

RESUMO

Com o aumento da discussão mundial sobre as questões energéticas e ambientais, a promoção de programas e implantação de políticas de eficiência energética vêm ganhando cada vez mais destaque. No Brasil, desde de 1984 existe o Programa Brasileiro de Etiquetagem, uma política de etiquetagem sobre o nível de eficiência energética de equipamentos, veículos e edificações, entre outros. No âmbito das edificações, em 2003, foi criado o “Procel Edifica”, a fim construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações brasileiras, culminando no primeiro Regulamento para a avaliação da eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R), em 2009, que vem sofrendo melhorias através do trabalho em conjunto do Procel Edifica e CB3E. Em 12 de julho de 2021, foi publicada a Consulta Pública da Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), nova proposta de alteração do RTQ-R, ainda em desenvolvimento. Este trabalho buscou avaliar, com base na INI-R, como medidas de eficiência energética podem influenciar na demanda de energia para resfriamento e aquecimento de uma edificação unifamiliar de baixa renda, a partir dos dados climáticos de Curitiba e Natal. O trabalho analisa diversas medidas de eficiência energética (MEEs), como isolamentos nas paredes e coberturas; absorvância térmica da envoltória da edificação; utilização de vidros duplos e aplicação de venezianas nas janelas. O primeiro passo da análise foi avaliar a envoltória do caso de estudo, a partir do metamodelo disponibilizado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), que tem como saída a Carga Térmica Anual, Temperatura operativa anual máxima e mínima e o Consumo energético para aquecimento e resfriamento. Em seguida, foram aplicados ao caso base as MEEs e avaliados os resultados obtidos, sendo que, aqueles que proporcionaram os melhores resultados obtidos para cada cidade, foram combinadas entre si, formando pacotes de medidas de eficiência energética. Para Natal, as MEEs 3 e 6, referentes à redução da absorvância das paredes de 0,5 para 0,3 e da cobertura de 0,6 para 0,3, respectivamente, foram as que atingiram melhores resultados e fizeram parte dos quatro pacotes formadas para a cidade, juntamente com as medidas de implantação de vidro duplo (MEE7) e colocação de venezianas (MEE8), que obtiveram resultados medianos. Já para o clima de Curitiba, as medidas de isolamento térmico das paredes externas (MEE2) e cobertura (MEE5) que atingiram resultados mais satisfatórios e fizeram parte de todos os cinco pacotes, juntamente com outras medidas alternativas. Todos os pacotes de MEEs, sendo para Natal ou Curitiba, resultaram em reduções nas Carga Térmica anual da edificação, sendo que, para a primeira cidade atingiram uma classificação “C” de eficiência energética e todos para Curitiba, classificação “A”. Por fim, na análise de viabilidade econômica, em Natal, apenas o pacote 1, composto apenas pela medida MEE 3 e MEE 6, se mostrou viável com um *Payback* de 8 anos e TIR de 16%. Já em Curitiba, apesar da boa classificação energética, nenhum dos pacotes é viável economicamente, devido ao alto custo de implantação das medidas propostas. Com o trabalho foi possível confirmar a importância da avaliação do perfil climático onde a edificação vai ser inserido, bem como a adoção adequadas das técnicas construtivas e materiais utilizados.

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Edificação unifamiliar de baixa renda.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Zunahme der globalen Diskussion über Energie- und Umweltfragen, gewinnt die Förderung von Programmen und die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen immer mehr an Bedeutung. In Brasilien gibt es seit 1984 das Brazilian Labelling Program, eine Kennzeichnungsrichtlinie unter anderem zur Energieeffizienz von Geräten, Fahrzeugen und Gebäuden. Im Zusammenhang mit Gebäuden, wurde 2003 das „Procel Edifica“ ins Leben gerufen, um die notwendigen Grundlagen zur Rationalisierung des Energieverbrauchs in Gebäuden in Brasilien zu schaffen, was in der ersten Verordnung zur Bewertung der Energieeffizienz in Wohngebäuden (RTQ-R), im Jahr 2009, das durch die gemeinsame Arbeit von Procel Edifica und CB3E verbessert wurde. Am 12. Juli 2021 wurde die Normative Anleitung zur Energieeffizienz-Klassifizierung von Wohngebäuden (INI-R) veröffentlicht, ein neuer Vorschlag zur Änderung der RTQ-R, der sich noch in der Entwicklung befindet. Ziel dieser Arbeit war es, basierend auf der INI-R, zu bewerten wie Energieeffizienzmaßnahmen den Energiebedarf für Kühlung und Heizung eines Einfamilienhauses mit niedrigem Einkommen beeinflussen können, mit Hilfe der Klimadaten für Curitiba und Natal. Die Arbeit analysiert verschiedene Energieeffizienzmaßnahmen (MEEs), wie z. B. Wand- und Dachdämmung; Wärmeabsorption der Gebäudehülle; Verwendung von Doppelverglasung und Anbringen von Rollläden an Fenstern. Der erste Schritt der Analyse bestand darin, die Gebäudehülle der Fallstudie auf der Grundlage des vom brasilianischen Zentrum für Energieeffizienz in Gebäuden (CB3E) bereitgestellten Metamodells zu bewerten, dass die jährliche Wärmelast, die maximale und minimale jährliche Betriebstemperatur und den Energieverbrauch zum Heizen und Kühlen angibt. Anschließend wurden die MEEs auf die Fallstudie angewendet und die erzielten Ergebnisse ausgewertet, und diejenigen, die für jede Stadt die besten Ergebnisse lieferten, wurden miteinander kombiniert, um Pakete von Energieeffizienzmaßnahmen zu bilden. Für Natal waren die MEEs 3 und 6, die sich auf die Reduzierung des Absorptionsgrades der Wände von 0,5 auf 0,3 bzw. des Daches von 0,6 auf 0,3 bezogen, diejenigen, die die besten Ergebnisse erzielten und zu den vier Paketen gehörten, die für die Stadt zusammengestellt wurden, wie auch die Maßnahmen der Einführung von Doppelverglasung (MEE7) und der Nutzung von Fensterläden (MEE8), die durchschnittliche Ergebnisse erzielten. Was das Klima von Curitiba betrifft, erzielten die Wärmedämmungsmaßnahmen der Außenwände (MEE2) und des Daches (MEE5), die zufriedenstellendere Ergebnisse erzielten und neben anderen alternativer Maßnahmen Teil aller fünf Pakete waren. Alle MEE-Pakete für Natal oder Curitiba führten zu einer Verringerung der jährlichen Wärmelast des Gebäudes, da sie für die erste Stadt eine Klassifizierung „C“ der Energieeffizienz und alle Pakete für Curitiba die Klassifizierung „A“ erreichten. Schließlich erwies sich in der wirtschaftlichen Durchführbarkeitsanalyse in Natal nur Paket 1, das nur aus den Maßnahmen MEE 3 und MEE 6 bestand, mit einer Amortisationszeit von 8 Jahren und einem IRR von 16 % als realisierbar. In Curitiba ist trotz der guten energetischen Bewertung keines der Pakete aufgrund der hohen Kosten für die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen wirtschaftlich tragbar. Mit der Arbeit konnte bestätigt werden, wie wichtig die Bewertung des Klimaprofils am Ort des Errichtens des Gebäudes sowie die angemessene Anpassung der verwendeten Bautechniken und Materialien sind.

Schlüsselwörter: Energieeffizienz von Gebäuden. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Einkommensschwaches Einfamilienhaus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caso base: Perspectiva edificação unifamiliar térrea representada em 3D	33
Figura 2 – Caso base: Planta baixa edificação unifamiliar térrea.....	33
Figura 3 - Gráfico comparativo das CgTTUH de Natal/RN	50
Figura 4 - Gráfico comparativo das CgTT _{UH} de Curitiba	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de aplicação do método simplificado, variáveis da UH.....	26
Tabela 2 - Limites de aplicação do método simplificado, variáveis do APP.....	26
Tabela 3 - Propriedades térmicas das paredes e coberturas	34
Tabela 4 - Informações das aberturas dos ambientes dos APPs.....	34
Tabela 5 - Componentes construtivos do caso base e das medidas de eficiência energética .	37
Tabela 6 - Parâmetros gerais da envoltória	39
Tabela 7 - Informações gerais dos APPs.....	39
Tabela 8 - Levantamentos dos APPs conforme a orientação geográfica.....	40
Tabela 9 - Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto à CgTTUH	42
Tabela 10 - RedCgTTmínD para o atendimento à classe D de eficiência energética	42
Tabela 11 - RedCgTTmínB para o atendimento à classe B de eficiência energética	43
Tabela 12 - RedCgTTmínA para o atendimento à classe A de eficiência energética	43
Tabela 13 - Resultados do caso referência e do estudo de caso para Natal/RN e Curitiba/PR	46
Tabela 14 - Classificação do caso de estudo (real) em Natal/RN e Curitiba/PR.....	47
Tabela 15 - Resultados da aplicação das MEEs em Natal/RN	48
Tabela 16 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Natal/RN.....	50
Tabela 17 - Resultados da aplicação das MEEs em Curitiba/PR	51
Tabela 18 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Curitiba/PR.....	52
Tabela 19 – Pacotes de MEEs da edificação em Natal/RN.....	53
Tabela 20 - Resultados da aplicação dos pacotes de MEEs em Natal/RN.....	54
Tabela 21 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Natal/RN.....	55
Tabela 22 - Pacotes de MEEs da edificação em Curitiba/PR.....	56
Tabela 23 - Resultados da aplicação dos pacotes de MEEs em Curitiba/PR.....	56
Tabela 24 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Curitiba/PR.....	57
Tabela 25 - Redução do consumo e da tarifa de energia elétrica em Natal	60
Tabela 26 - Redução do consumo e da tarifa de energia elétrica em Curitiba	60
Tabela 27 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica para os Pacotes de MEEs em Natal	61
Tabela 28 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica para os Pacotes de MEEs em Curitiba.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP - Ambiente de Permanência Prolongada

APT - Ambiente de Permanência Transitória

As - Clima Tropical de Savana

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações

Cfb - Clima Oceânico Temperado

CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE)

CONPET - Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural

EE - Eficiência Energética

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ESCO - Empresas de Serviços de Conservação de Energia

FI - Fator de iluminação

FS - Fator Solar

FV - Fator de ventilação

GT-Edificações - Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País

INI-R - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

INMETRO - O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MEE - Medidas de Eficiência Energética

MME - Ministério de Minas e Energia (MME)

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia

PDEE - Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica

PEN - Política Energética Nacional

PHFT - Percentual de horas em que uma unidade habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa pré-definida

PHiFT - Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa

PHsFT - Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa

PNE - Plano Nacional de Energia

PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética

PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

SPE - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético

TBS - Temperatura de Bulbo Seco

TIR - Taxa Interna de Retorno

PVC - Policloreto de Vinila

HIS - Habitações de interesse social (HIS)

MCMV - Programa “Minha Casa Minha Vida”

PIS - Programa de Integração Social (PIS)

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS EDIFICAÇÕES	18
2.1.1	Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)	23
2.2	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	27
2.3	ANÁLISE ECONÔMICA	28
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
3	MÉTODO.....	32
3.1	CASO DE ESTUDO.....	32
3.2	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	36
3.3	MÉTODO SIMPLIFICADO.....	38
3.3.1	ENVOLTÓRIA.....	38
3.3.2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DA UNIDADE HABITACIONAL.....	41
3.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA	43
4	RESULTADOS	46
4.1	CASO BASE	46
4.2	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	48
4.3	PACOTE IDEAL DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A EDIFICAÇÃO	53
4.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	58

5	CONCLUSÃO.....	64
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	66
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
6	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

As emissões de gases de efeito estufa, são, provavelmente, o principal responsável pelo aumento da temperatura desde meados do século XX. As cidades são responsáveis por grande parte dessas emissões, o que vem piorando com o aumento dos centros urbanos (PBMC, 2016). Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a expectativa é de que esta proporção aumente para 70% até 2050 (FAO, 2019). Já no Brasil, a maior parte da população brasileira, 84,72%, vive em áreas urbanas (IBGE, 2015).

A expansão dos centros urbanos, decorrentes do aumento da população mundial e do êxodo rural, juntamente com a modernização das cidades, melhoria nos padrões de vida e o surgimento de novos polos consumidores, refletiu no consumo final de eletricidade no mundo, resultando em um aumento de 129,67% no período de 1990 a 2019 (IEA, 2021). Atualmente, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2021, o consumo mundial anual de energia elétrica de 2019 foi de 25.027,28 TWh. No Brasil, foi equivalente a 545,6 TWh no mesmo ano (EPE, 2020).

Dentro do consumo final de energia elétrica do Brasil, parte significativa fica destinada às edificações, compostas pelos setores residencial, comercial e público, que foi responsável por 51,2% do consumo de energia elétrica no Brasil no ano de 2020 (EPE, 2021). A projeção de consumo de energia para o setor residencial prevê um aumento de 2,7% ao ano, entre 2013 e 2050. Já no setor comercial estima-se que o crescimento da demanda de energia ocorra à taxa média anual de 4,3% a.a., um pouco maior devido a participação do setor no Produto Interno Bruto brasileiro (BRASIL, 2020).

A alta demanda de recursos energéticos dedicados para as edificações, decorre do processo de globalização e industrialização, a partir da Revolução Industrial, no qual, expandiu-se a ideia de mecanização do processo construtivo em diferentes condições climáticas, não considerando as características climáticas locais. Em decorrência disso, para a obtenção de conforto humano, antes obtido através de forma naturais, agora viu-se necessário a aplicação de mecanismos artificiais (BRASIL, 2011).

Apenas nas últimas décadas, a partir da crise do petróleo de 1973, que as questões energética e ambiental, foram reconhecidas como problemáticas (BRASIL, 2011). Na mesma época surgiram as primeiras iniciativas governamentais de redução do consumo de energia,

culminando no lançamento de programas importantes como Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em 1984 e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985. Hoje no Brasil há inúmeros mecanismos de promoção à eficiência energética e conservação de energia, tanto do ponto de vista de leis e decretos que regulamentam a matéria, quanto de programas (SOUZA et al., 2009).

No entanto, apesar do Brasil se mostrar disposto a promover a eficiência energética, quando comparado aos outros países, fica evidente que o país ainda precisa avançar muito para alcançar níveis ótimos no uso da energia. Esse fato é evidenciado na pesquisa divulgada pelo Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente, o qual em uma lista de países avaliados em relação às suas políticas e empenho para promoção da Eficiência Energética (EE) em 2018, o Brasil se encontra na 20ª posição em um ranking de 25 países (ACEEE, 2018).

Nesse contexto, espera-se que a adoção de Medidas de Eficiência Energética (MEE), sejam ampliadas e induzam à redução do consumo médio de eletricidade. Segundo o LADE (2021), o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações estima que as medidas de eficiência geram um potencial de redução de consumo de energia elétrica em 50% para novas edificações e de 30% em obras de retrofit, que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. Estas medidas não comprometem o conforto lumínico, acústico e ergonômico, de modo a atingir melhoria na qualidade do ambiente e do processo produtivo, proporcionando, não somente redução no custo de energia, como também nos impactos ambientais.

Com o intuito de auxiliar na avaliação e classificação de eficiência energética das edificações, podemos destacar o emprego de métodos de avaliação tanto para edificações que ainda estão em projeto quanto para as já construídas. No Brasil, o Procel Edifica, juntamente com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética (CB3E), vêm desenvolvendo, desde 2012, ações para a melhoria do atual método utilizado na avaliação de edificações comerciais, de serviços e públicas, bem como de edificações residenciais (CB3E, 2020). O resultado para o setor residencial é a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), que avalia os edifícios entre as classes A (mais eficiente) até E (menos eficiente).

O alcance de um bom nível de eficiência energética em uma edificação, depende do emprego de Medidas de Eficiência Energética (MEEs). Porém, uma medida com bom desempenho ambiental é inviabilizada quando os custos, comparados aos das técnicas construtivas convencionais, são muito elevados. Então, junto ao estudo da melhoria de

eficiência, deve ser calculado o tempo de retorno do investimento, possibilitando assim o julgamento da sua viabilidade (PAMPLONA, 2013).

Assim, nesse trabalho serão analisadas Medidas de Eficiência Energética em uma edificação residencial por meio do novo método de etiquetagem de edificações residenciais, localizadas em duas cidades com condições climáticas distintas no Brasil, sendo elas, Curitiba/PR e Natal/RN. E por fim, será também realizada uma análise de viabilidade econômica das MEE, por meio do *Payback*, do valor presente líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR).

1.2 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste Trabalho de Conclusão de Curso.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral, avaliar a eficiência energética de uma edificação unifamiliar situada em duas diferentes zonas climáticas no Brasil, Zona 1 e Zona 8, por meio do método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Analisar o impacto da alteração de parâmetros da envoltória da edificação no nível de eficiência energética da edificação nas duas zonas climáticas;
- Analisar a viabilidade econômica das medidas de eficiência energética através do *Payback Corrigido*, do Valor Presente Líquido e da Taxa Interna de Retorno.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS EDIFICAÇÕES

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo consumo de energia. Portanto, considera-se que uma edificação é mais eficiente que outra quando proporciona, com menor consumo de energia, as mesmas condições ambientais aos usuários, dentre elas, conforto térmico, visual e acústico (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Ao longo dos anos, os esforços governamentais para a pauta de eficiência energética não foram especificados por um planejamento de longo prazo bem estruturado e no geral, sucederam como resultados de episódios pontuais de dificuldades no atendimento da demanda por energia (ASSUNÇÃO, 2018). Sendo que, a partir dos choques no preço do petróleo na década de 1970, juntamente com o crescimento populacional e o aumento significativo na demanda de energia, se viu necessário a elevação da produção de eletricidade, bem como, a diversificação das matrizes energéticas no Brasil (LIMA et al., 2015). Além disso, também passaram a pensar em maneiras mais eficientes de geração e consumo, pois ficou claro que o uso das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista ambiental.

Em meados dos anos de 1980, entrou na agenda de discussões em todo mundo, o impacto da queima de combustíveis fósseis na variação climática global (SOUZA et al., 2011). Na mesma época no Brasil, em 1981, houve a criação do Programa Conserve, a primeira iniciativa do poder público para incentivar, em nível nacional, o uso de medidas de eficiência energética (ALTOÉ et al., 2017). O programa, desenvolvido pelo Ministério da Indústria e Comércio, foi responsável pela redução de aproximadamente 18% do consumo de óleo combustível (SOUZA et al., 2011).

Em 1985, através de uma iniciativa conjunta entre o Ministério de Minas e Energia (MME) e do Ministério da Indústria e Comércio Exterior, a Portaria Interministerial N° 1.877 de 10 de outubro de 1985 instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Segundo a lei, o objetivo do Programa era “racionalizar o uso de energia elétrica e, como decorrência da maior eficiência, propiciar o mesmo produto ou serviço com menor consumo, eliminando desperdícios e assegurando redução global de custos e de investimentos em novas instalações no sistema elétrico” (BRASIL, 1985).

Dois anos depois, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas divulgou o documento “Nosso futuro comum”, como foi intitulado o *Relatório Brundtland*, no qual destacou-se a frase "desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades", popularizando o conceito de desenvolvimento sustentável (IPIRANGA et al., 2011). O relatório frisou a necessidade de uma nova interação do ser humano com meio ambiente habitado, expondo o desencontro entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo, sem sugerir a estagnação do crescimento econômico e sim a consonância entre questões ambientais e sociais (CUNHA e AUGUSTIN, 2014).

Voltando pro cenário brasileiro, seguindo o exemplo do PROCEL, foi instituído em 1991, por Decreto Presidencial, a criação de um programa similar para o setor de petróleo e gás natural, surgindo assim o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET) (BRASIL, 1991). O programa tinha como objetivo principal o incentivo do uso eficiente destas fontes de energia não renováveis no transporte, nas residências, na indústria, no comércio e na agropecuária (SOUZA et al., 2009).

Iniciando o ciclo de grandes conferências internacionais pós-guerra fria, sobre temas globais, realizados pela ONU (CPDOC,2022), o Rio de Janeiro, em 1992, sediou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que contou com a participação 178 países, ONGs e agências especializadas e ficou conhecida como Eco-92 ou Cúpula da Terra (STIEFELMANN, 2012). De acordo com Barreto (2009) o evento “foi a largada para que a conscientização ambiental e ecológica entrasse definitivamente na agenda dos cinco continentes”. Na conferência foram aprovados importantes documentos como a Declaração dos Princípios sobre Florestas, a Convenção sobre a Mudança do Clima, a Declaração do Rio, as Convenções sobre a Diversidade Biológica e a Agenda 21 (BORN, 2006).

Em 1996, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, a Agência Nacional de Energia Elétrica, conforme políticas e diretrizes do governo federal (ANEEL, 2022). No ano seguinte, a Política Energética Nacional (PEN), baseada na Lei 9478/1997, foi lançada, na qual se destaca “a importância da sustentabilidade das soluções preconizadas, a utilização de energias renováveis, o uso eficiente da energia, a diversificação da matriz energética e a preservação do meio ambiente” (Brasil, 1997). Mas, segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (2001), a lei carecia do detalhamento estruturado, com objetivos pouco esclarecedores. Além da PEN, foram também estabelecidos o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional de Petróleo.

Com o crescimento do PIB de 4,2% em 2000 e a perspectiva de se repetir a taxa no ano seguinte, evidenciou-se uma grave discordância entre a capacidade de oferta de energia elétrica e a necessidade de consumo (PÊGO FILHO et al., 2001). O não suprimento da demanda, se devia principalmente à ausência de investimento e planejamento na geração e distribuição de energia, aliada à falta de chuvas para abastecer os reservatórios de hidrelétricas. A ameaça de colapso no setor elétrico levou o governo a adotar o racionamento de energia, que provocou a redução no consumo de energia elétrica no país em torno de 24% (BARDELIN, 2004).

Segundo Haddad (2002), uma das contribuições positivas do racionamento foi a Lei nº 10.295, chamada de Lei de Eficiência Energética, sancionada pelo governo Federal, na qual estabeleceu-se que “O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes” (BRASIL, 2001). A lei foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059, o qual instituiu em 19 de dezembro de 2001, o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Só em 27 de junho de 2019, o Decreto nº 9.864 substituiu o Decreto nº 4.059, estabelecendo novas competências para o CGIEE e do Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-Edificações) e atualizando os membros dos grupos. (MME, 2022)

Em consonância com a Lei de Eficiência Energética, o Procel desenvolveu, em 2003, o “Procel Edifica”, estendendo também para as edificações a promoção de eficiência energética, trabalho que era já feito antes para bens e serviços, a fim de torná-las mais sustentáveis e construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações brasileiras. (PROCEL INFO, 2022).

O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) criou, com o objetivo de apoiar projetos de eficiência energética do país, a linha de financiamento PROESCO em 2006 (BNDES, 2006). Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (2022), a falta de linhas de crédito para financiar projetos de eficiência eram um grande limitador da expansão do mercado sustentável. Inicialmente, o financiamento era voltado para o apoio às Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCO), mas em 2015, o BNDES, reformulou sua linha de crédito, que passou a se chamar BNDES Eficiência Energética e expôs condições financeiras mais atrativas, que podem ser acessadas por qualquer empresa com sede e administração no País (BNDES, 2015).

De acordo com o MME (2006), ainda em 2006 foi lançado o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE), que vinha sendo planejado desde 2005, contando com o apoio da equipe da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE), de técnicos das empresas do setor elétrico, além da participação de Grupos de Estudos, sob a coordenação da EPE. O último estudo oficial de médio prazo era o “Plano Nacional de Energia Elétrica 1993/2015”, que já datava mais de dez anos. Por isso, o estudo anterior foi descartado e suas diretrizes, que estarem desatualizadas, foram ignoradas (MME, 2006).

No ano seguinte, foi divulgado o Plano Nacional de Energia 2030, que foi primeiro estudo de planejamento a longo prazo para o setor energético pelo Governo Federal, o trabalho foi conduzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e pelo Ministério de Minas e Energia (MME) (MME, 2007). O Plano Nacional de Energia (PNE) e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE), como passou a ser chamado o PDEE, são atualizados periodicamente e buscam fornecer dados para a definição de uma estratégia de expansão da oferta de energia pensando no atendimento do crescimento da demanda, segundo uma perspectiva de longo e médio prazo, de forma econômica e sustentável (EPE, 2022).

Em 2009, o Brasil assumiu um objetivo mais concreto, através da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) que foi instituída pela Lei nº 12.187, na qual foi estabelecido que o país adotaria ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com o objetivo de reduzir até 2020, de forma voluntária, entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas (BRASIL, 2009). Posteriormente, o Senado aprovou o PL 6539/2019, que modifica a lei para incluir os compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, instrumento assinado em 2015, que tem como objetivo de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais. (BRASIL, 2019).

No decorrer dos anos, a questão da eficiência energética vem sendo desenvolvida paulatinamente de forma mais detalhada no planejamento energético do governo, resultando na elaboração do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) em 2011, que faz um diagnóstico mais aprofundado do tema. O PNEf expõe diferentes ações para expandir a conservação de energia nos setores industrial, transportes, edificações, iluminação pública, saneamento, educação, entre outros (MME, 2011).

Ainda em relação ao uso de energia em edificações, segundo o MME (2011), no Plano Nacional de Eficiência Energética, salienta-se a relevância da inclusão de conceitos de eficiência energética nos códigos de obras dos municípios brasileiros e nos estudos de planejamento urbano. Destaca-se também a importância de investir em capacitação técnica de

profissionais que atuem na área da eficiência energética e conservação e o valor de tornar a certificação de eficiência energética de edifícios de caráter mandatório (ASSUNÇÃO, 2018). Sendo que, mais tarde, através da Instrução Normativa 02, em 4 de julho 2014, a certificação tornou-se obrigatório para edifícios públicos federais, considerando edifícios novos e retrofits, estando em caráter voluntário para os edifícios públicos estaduais e municipais, comerciais e residenciais (BRASIL, 2014).

Em 2020, foi aprovado pelo Ministério de Minas e Energia, o PNE 2050, o qual estabelece diretrizes para o planejamento de longo prazo do setor de energia. De acordo com o Instituto Acende Brasil (2020), desde o lançamento do PNE 2030 em 2007, muita coisa aconteceu e a visão determinística adotada na edição precisou ser repensada. Frente ao contexto de grande imprevisibilidade do Brasil e do mundo, o PNE 2050 tem como objetivo auxiliar os tomadores de decisão, explorando alternativas de futuro, sendo num cenário de estagnação ou expansão, e fornecendo o fundamento pertinente para adaptação àquele que vier a se estabelecer (BRASIL, 2020).

A pandemia alterou a dinâmica energética do Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2020), em comparação com 2019, o setor residencial demandou mais eletricidade em 2020, devido ao isolamento, o qual levou as pessoas a ficarem mais tempo em casa. Por outro lado, pelos efeitos de lockdown e fechamento, o setor de comércio e automobilístico tiveram a demanda menor.

A Agência Internacional de Energia (2020) aponta que, apesar da queda sem precedentes no investimento global em energia, a eficiência energética tem um grande potencial para contribuir na recuperação econômica pós covid-19, podendo impulsionar o crescimento econômico, gerar menores custos de energia, criar empregos e estimular os mercados no médio e longo prazo.

Em 2022, segundo a ABESCO (2020), será lançado o primeiro Plano Decenal de Eficiente Energética (PDEf), em uma ação coordenada pela Eletrobras, por meio do PROCEL, com participação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Ministério de Minas e Energia (MME). O PDEf começou ser desenvolvido já em 2020 e vem sendo elaborado pela consultoria IX Estudos e Projetos, que envolve a entrega de 11 produtos, dentre eles, diagnósticos dos programas atuais da área, indicadores, propostas de novas ações, experiências anteriores, custos e prazos para garantir o uso eficiente da energia. O setor de edificações é contemplado no “Produto 5” entre os entregues pela consultoria, o qual discorre sobre as propostas de novas ações no setor de edificações, contemplando os subsetores residencial, comercial, serviços e

poder público. Nesse documento, foram estudadas as experiências internacionais em políticas de eficiência e os programas, ações e políticas vigentes no Brasil (ELETROBRAS, 2020). Segundo o IX Estudos e Projetos (2020), durante o diagnóstico dos principais programas de etiquetagem, selo e certificação implantados no Brasil, destaca-se que os programas de iniciativa governamental, a Etiqueta PBE Edifica, Selo Procel e Selo Casa Azul, quando comparados com os de iniciativa privada, LEED e AQUA-HQE, possuem ainda números poucos expressivos de edificações etiquetadas e ou certificadas. Com isso, a empresa prestadora da consultoria propôs a determinação da compulsoriedade da Etiqueta PBE Edifica para resultar no aumento da quantidade de edificações.

A Etiqueta PBE Edifica, desenvolvida em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e a Eletrobrás/PROCEL Edifica, retrata o potencial de economia de energia da edificação, através do conhecimento do nível de eficiência energética das edificações. Os níveis variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), de acordo com normas e regulamentos técnicos, podendo ser aplicada na etapa de projeto ou na etapa de edificação construída (PBE EDIFICA, 2022).

Primeiramente, foi lançado o RTQ-C em 2009, para a avaliação das edificações comerciais, de serviços e públicas, difundindo para a avaliação de edifícios residenciais, em 2010, através do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Desde 2012, o Regulamento para a avaliação da eficiência energética de edificações residenciais vem sendo revisado pelo Procel Edifica juntamente com o CB3E. Os estudos culminaram em 2021, na publicação da Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, proposta de alteração do RTQ-R (PBE EDIFICA, 2021).

2.1.1 Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e o Ministério da Economia, publicaram, através da Consulta Pública nº 18, de 12 de julho de 2021, a Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). A nova proposta tem como objetivo aprimorar os critérios existentes para a etiquetagem das edificações residenciais, buscando uma proximidade entre os resultados da avaliação e o consumo real da edificação (BRASIL, 2021).

As principais mudanças da INI-R em relação ao RTQ-R, de acordo com Fossati (2021), coordenadora do Núcleo de Edificações Residenciais do CB3E, “são o alinhamento do método com a NBR 15575, a adoção do conceito de edificação de referência, a avaliação em energia primária e a possibilidade de avaliação de edificações que geram sua própria energia”. Além disso, é previsto na proposta, a cada 5 anos, uma atualização dos fatores de conversão empregados a cada tipo de energia, possibilitando a adaptação da INI-R às possíveis modificações nos cenários da matriz energética nacional, tendo como resultado, uma melhor avaliação dos sistemas da residência (NETO, 2018).

A INI-R avalia a eficiência energética das edificações residenciais através da comparação dos valores de consumo de energia primária, da edificação em sua condição real e da mesma edificação com o emprego das características de referências equivalentes à classe C de eficiência energética (PBE, 2021). Segundo Bavaresco e Ghisi (2016), conforme o panorama internacional, a consideração da energia primária nas avaliações do consumo energético, facilita a determinação do real consumo da edificação e possibilita a estimativa do impacto ambiental provocado pelo consumo.

Essa avaliação pode ser feita a partir do método prescritivo, método simplificado e a simulação computacional, descritos na INI-R.. Sendo que, além do consumo, os métodos simplificado e de simulação, possibilitam a determinação do percentual de horas da edificação ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente (FOSSATI, 2021).

A classificação da envoltória a partir do método prescritivo, consiste em um *checklist*, por meio da comparação de características geométricas dos Ambiente de Permanência Prolongada (APPs), como são chamados os ambientes de ocupação contínua por um ou mais indivíduos, e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos. Se todos os itens da *checklist* forem atendidos, a edificação recebe uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de classe “C”. Entretanto, caso um ou mais itens não estejam de acordo, deve-se avaliar a edificação com o método simplificado ou método de simulação. O método é direcionado especialmente para as residências unifamiliares de baixa renda, facilitando e reduzindo os custos da avaliação (ELI, 2017).

O método simplificado, foco deste trabalho, se baseia em um metamodelo, o qual utiliza dados equivalente à geometria da edificação, aos materiais utilizados e à potência dos equipamentos de iluminação e equipamentos (SILVA, 2019). Além disso, ele é o único entre os três métodos que possibilita a avaliação de dois sistemas distintos: a envoltória e o aquecimento de água (BRASIL, 2021)

O metamodelo, surgiu com o objetivo de tornar a simulação computacional uma ferramenta mais aplicável no dia a dia de projetistas e pesquisadores. Por definição, é um modelo que aproveita parâmetros de outros modelos, através de um banco de dados de simulações computacionais e adotando estimativas sobre o clima, tipologia de uso e elementos construtivos (MADERSPACHER et. al, 2015). Eles são construídos com diversas técnicas estatísticas, sendo os mais comuns: os métodos de engenharia, estatísticos e de inteligência artificial (ZHAO e MAGOULÊS, 2012).

Os primeiros metamodelos para os regulamentos brasileiros começaram a ser desenvolvidos através do Signor (1999). Ele apresentou equações de modelos para a avaliação de consumo de energia elétrica de edifícios comerciais artificialmente condicionados, para 14 cidades brasileiras, através de simulações no programa VisualDOE. Em 2007, desta vez com o programa EnergyPlus, Westphal e Lamberts (2007) desenvolveram equações de regressão linear múltipla para predição do consumo de energia de edificações comerciais no Brasil. Seguindo a mesma linha, Carlo e Lamberts (2008) publicaram um metamodelo para a avaliação de envoltórias, desenvolvido com equações de regressão linear.

Recentemente, devido ao comportamento não-linear das edificações e buscando o aperfeiçoamento na precisão das equações de avaliação de edificações comerciais, Melo (2012) construiu um novo método a partir da utilização de redes neurais artificiais, para estimar o consumo de energia de edificações comerciais, resultando em avanços consideráveis no método de predição dos regulamentos vigentes.

O aperfeiçoamento dos metamodelos, vêm possibilitando uma avaliação energética ainda mais simples e barata, diferente dos métodos de simulação que exigem usuários experientes, entradas detalhadas e recursos computacionais consideráveis dependendo da complexidade do edifício. Assim, não são necessários tantos parâmetros de entrada, tornando-se mais acessível para uso da avaliação de várias combinações de dados de entrada, possibilitando a comparação entre diversos cenários. Os novos modelos com uso de redes neurais se mostram mais flexíveis e precisos (MELO et al., 2014).

Apesar do método simplificado da INI-R, englobar as alternativas arquitetônicas mais habituais em edificações residenciais, para o emprego do método, determinados parâmetros construtivos da edificação devem ser atendidos, conforme apresentado na Tabela 1 e Tabela 2. Na hipótese de algum valor situar-se fora dos limites correspondentes, deve-se usar o método de simulação computacional (BRASIL, 2021).

Tabela 1 - Limites de aplicação do método simplificado, variáveis da UH

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Absortância solar da cobertura	0,20	0,90
Absortância solar da parede	0,20	0,90
Área do ambiente de permanência transitória	2 m ²	100 m ²
Capacidade térmica da cobertura	25 kJ/m ² K	500 kJ/m ² K
Capacidade térmica das paredes externas	26 kJ/m ² K	400 kJ/m ² K
Capacidade térmica do piso	25 kJ/m ² K	400 kJ/m ² K
Fator de abertura para ventilação	0,05	1,00
Fator solar do vidro	0,20	0,87
Pé-direito	2,40 m	7,50 m
Transmitância térmica da cobertura	0,45 W/m ² .K	3,80 W/(m ² .K)
Transmitância térmica das paredes externas	0,24 W/m ² .K	4,40 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do piso	0,70 W/m ² .K	4,10 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do vidro	2,50 W/m ² .K	5,87 W/(m ² .K)

Fonte: (BRASIL, 2021)

Tabela 2 - Limites de aplicação do método simplificado, variáveis do APP

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Ângulo vertical de sombreamento	0°	50°
Ângulo horizontal de sombreamento direito e esquerdo	0°	60°
Ângulo de obstrução vizinha	0°	60°
Área do ambiente de permanência prolongada	5 m ²	100 m ²
Área envidraçada	0 m ²	30 m ²
Dimensão horizontal da parede externa	0 m	15 m
Dimensão horizontal da parede interna	0 m	20 m

Fonte: (BRASIL, 2021)

Sendo os parâmetros da edificação dentro dos limites estabelecidos, a estimativa da carga térmica anual de refrigeração é calculada a partir da “Interface Web”, disponível no site do PBE Edifica: “<http://pbeedifica.com.br/redes/residencial/>”. De acordo com Boldrini (2020), para a validação do metamodelo da interface foi realizado um estudo com 60.000 casos de simulações com a observação da carga térmica de aquecimento, resfriamento e horas de conforto, levando em consideração o emprego de ventilação natural e sistema de ar condicionado. Para a sua utilização, é necessário apenas a inserção dos dados de entrada e a cidade onde a edificação está situada, resultando no Percentual de horas em que uma unidade habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa pré-definida (PHFT),

Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa (PHsFT), Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa (PHiFT), no valor da carga térmica (CgT) para resfriamento e aquecimento dos APPs da UH, na Temperatura Operacional mínima e máxima (Tomax e Tomín) e por fim no Consumo para resfriamento e para aquecimento.

Se os valores estiverem fora dos parâmetros da Tabela 1, deve-se utilizar método de simulação, que consiste em uma modelagem computacional da geometria da edificação. Nesse tipo de análise são inclusos diferentes parâmetros físicos de entrada, como temperatura do ar e do solo, radiação solar, ventilação natural, entre outros (MISK, 2019). Apesar de ser bastante abrangente, em relação às possibilidades de avaliação, o método de simulação se mostra complexo quanto à execução, quando comparado aos outros métodos.

2.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A busca do uso eficiente da energia elétrica tem proporcionado equipamentos e métodos construtivos cada vez mais eficientes, causando não só a redução o consumo de energia elétrica em edificações, sem privar seus ocupantes do conforto térmico, lumínico e acústico, como também na diminuição nos impactos ambientais. Tanto em edificações novas, como na renovação de edificações existentes, pode-se buscar alternativas que visem a otimização do funcionamento e do desempenho energético. Estas alternativas são chamadas de medidas de eficiência energética (MEE) (SOUSA, 2019).

No processo de avaliação das MMEs, o clima da região em que a edificação está localizada se mostra importante, com isso, com o objetivo de otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática, a NBR 15220 foi lançada em 2005. A norma divide do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e contém um conjunto de recomendações técnico-construtivas (ABNT, 2005).

Eli (2017), também analisou o impacto da adoção de diversas medidas de eficiência na envoltória de uma edificação multifamiliar de baixa renda em duas zonas climáticas brasileiras, São Paulo e Salvador, a partir do método de simulação da proposta do novo regulamento brasileiro de etiquetagem residencial. Na pesquisa, foram propostas alterações nas composições da cobertura, paredes externas e esquadrias. Sendo que, estas propostas foram analisadas isoladamente e agrupadas em pacotes, de modo a determinar o melhor custo benefício. Conforme o estudo, o pacote de medidas que trouxe melhores resultados em São

Paulo foi uma combinação da redução da absorvância da cobertura com o uso de isolamento nas paredes e cobertura. Todavia, devido ao alto custo do tipo de cobertura com isolamento utilizado, tornou-se mais coerente substituí-la por telha de fibrocimento com laje pré-moldada com Poliestireno Expandido (EPS). Já em relação à classe de eficiência energética, em São Paulo, no caso base, o resultado era nível “B” para o pavimento térreo e tipo e “C” para a cobertura. Após a aplicação das MEE’s o nível do pavimento térreo e tipo se mantiveram, mas a cobertura passou a ter a classificação “A”. Já em Salvador, os componentes construtivos que obtiveram a melhor classificação de eficiência energética e a melhor análise financeira foram a parede sem isolamento, com bloco cerâmico e argamassa interna e externa, juntamente com a telha de fibrocimento e laje pré-moldada com EPS. No pacote ideal para a cidade considerou-se um aumento de 75% nas aberturas para ventilação e redução da absorvância solar das paredes de 0,50 para 0,30 e na cobertura de 0,80 para 0,40. Quando analisada a classe de eficiência energética, atingiu-se nível “B” para o pavimento térreo, tipo e cobertura, podendo-se observar uma melhora quando comparado ao caso base, que era nível “C” para o térreo, “D” para o tipo e “E” para a cobertura.

Neto (2018) identificou medidas de eficiência energética e analisou as orientações solares (Norte, Leste, Sul e Oeste) do caso base, aplicáveis para uma casa geminada típica de baixa renda, localizada na região da Grande Florianópolis com base na proposta da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Em seu estudo, as medidas de eficiências que se mostraram mais viáveis foram relacionadas ao sistema de aquecimento de água. Com o uso de aquecedores a gás, obteve-se uma redução de cerca de 22% em relação ao consumo de energia primária do chuveiro elétrico adotado como referência para sistemas de aquecimento sem armazenamento. Já no caso do uso do aquecimento solar obteve-se uma redução de cerca de 62% em relação à energia primária utilizada pelo boiler adotado como referência para sistemas de aquecimento individuais com armazenamento. As duas propostas em questão, obtiveram classificação A, porém, a primeira opção foi a única medida do estudo que se mostrou viável.

2.3 ANÁLISE ECONÔMICA

Muitas medidas de eficiência trazem grandes resultados quanto à redução dos gastos energéticas das edificações, mas possuem alto valor de implementação, o que a tornam incoerentes para determinadas situações. A análise da viabilidade financeira do emprego de

medidas de eficiência energética, em geral, confronta o custo da aplicação de uma medida com a redução dos gastos energéticos geradas pela mesma, além da efetividade em termos de retorno e benefícios sobre o investimento a ser realizado. Essas informações podem ser traduzidas através de indicadores econômicos para a análise financeira como: *Payback Corrigido*, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Todos esses dispõem do princípio de análise de ciclo de vida do investimento, considerando os custos executivos e os custos operacionais, por meio de análise de fluxo de caixa e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) definida para o projeto (ELI, 2017).

O *Payback Corrigido* calcula o tempo necessário para que o retorno acumulado se iguale ao valor investido, considerando as variações do dinheiro ao longo através da TMA. Já o VPL de uma medida de eficiência energética pode ser definido como a soma algébrica dos valores de fluxo de caixa, com desconto da TMA, a ele associado, trazidos para o momento presente. Valores positivos de VPL indicam bons investimentos. A TIR é definida como a taxa anualizada dos retornos sobre o investimento realizado e possibilita a comparação entre diferentes investimentos dados como viáveis pelo VPL e *payback*.

A literatura apresenta uma vasta base com o estudo de viabilidade de projetos de efficientização energética através de indicadores financeiros. Por exemplo, no estudo de um edifício histórico em Florianópolis, Silva (2019) realizou a classificação de eficiência energética e propôs medidas de aumento de eficiência energética. O edifício em questão, teve a envoltória e o sistema de iluminação classificados conforme os métodos simplificado e de simulação computacional da INI-R. A envoltória e a iluminação tiveram classificação de eficiência energética “D” e “A”, sucessivamente, por meio do método simplificado. Já as paredes externas do edifício foram avaliadas por simulação computacional, pois não atendem ao limite superior de capacidade térmica para a classificação da envoltória pelo método simplificado, ainda resultando na classe D de eficiência energética para a envoltória. Em seguida, avaliou-se através do método simplificado, as medidas de substituição das lâmpadas fluorescentes de 54 W por lâmpadas do tipo diodo emissor de luz (LED) de 24 W, a troca dos vidros simples por laminado incolor Eco Lite com 8 mm, transmitância térmica de 5,7 W/m² e fator solar de 0,57, sempre com a preocupação de não alterar a estética histórica da edificação, e por fim, o isolamento térmico da cobertura. O arranjo dessas três medidas permitiu uma carga térmica de refrigeração em torno de 15% menor em comparação ao caso base. Portanto, a substituição por lâmpadas LED, quando analisada individualmente, se mostrou a única medida viável economicamente, com reduções tanto no consumo tanto no sistema de iluminação,

quanto na carga térmica de refrigeração, a qual acarretou em um VPL de R\$11.221,21, TIR de 163,5% e Payback Corrigido de 1 ano.

Misk (2019) em seu estudo identificou medidas de eficiência energética aplicáveis a um edifício de escritórios, localizado em Florianópolis. Ao observar que os vidros com um fator solar reduzido influenciaram significativamente os resultados de carga térmica da edificação, o autor inseriu a medida em todos arranjos de medidas analisados. Com isso, a classificação baseada na INI-C, resultou no alcance de nível “A” de eficiência, em treze dos quinze pacotes pesquisados. A partir das economias anuais geradas dos pacotes de medidas, com o intuito de validar a viabilidade econômica de cada cenário, foi realizado o uso dos indicadores financeiros. O pacote com menor custo inicial de implantação e que gerou as maiores reduções na tarifa de energia elétrica apresentou um payback de 10 anos e valores de VPL e TIR negativos, os quais inviabilizaram a sua implementação. No entanto, foi elaborado um pacote extra de medidas, que se demonstrou economicamente viável, considerando apenas reduções nas absorptâncias e no percentual de abertura da fachada, desconsiderando alterações de alto custo nos vidros do caso base. O novo pacote, apesar de ter sido classificado com a etiqueta nível “C”, apresentou economia em comparação ao caso base e resultando em um VPL de R\$89.960,49. Como a pintura das paredes externas e da cobertura com cores claras gerou ganhos energéticos e apresentou economias ao ser aplicado, o autor recomendou a medida para todas as edificações similares ao caso base, especialmente localizadas em climas quentes.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme demonstrado por essa revisão, a discussão sobre projetos e execuções de edificações mais sustentáveis vem se tornando foco da sociedade e das entidades governamentais, com destaque no desempenho da edificação e vida útil dos materiais. Existem diversos mecanismos que possibilitam a estruturação desses projetos e normas de desempenho que direcionam esse processo.

A aplicação de medidas de eficiência energética em edificações, tanto comerciais quanto residenciais, pode proporcionar conforto e qualidade de vida dos usuários, quando consideradas determinadas características climáticas e materiais disponíveis da localização. Além disso, as estimativas de reduções na tarifa de energia elétrica e benefícios financeiros de estratégias de construções eficientes, podem ser consideradas nas análises de viabilidade econômica. Essas análises geralmente são feitas através do uso de ferramentas financeiras como o *Payback* e a TIR, trazendo resultados concretos para projetistas, investidores e/ou usuários.

3 MÉTODO

No estudo, inicialmente foi definido a edificação que será usada como caso de estudo, estabelecendo também a cidade onde ela está localizada, bem como os parâmetros referentes à mesma, por exemplo, os materiais construtivos. Só então, como descrito nos objetivos específicos, é realizada a análise de eficiência energética do sistema de envoltória da edificação. Tal procedimento é baseado na nova proposta da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Tendo concluído a primeira etapa, são aplicadas medidas de eficiência energética na edificação base, buscando definir os pacotes de medidas que tiveram uma maior contribuição para a redução do consumo em cada cidade adotada. Para isso, classifica-se a edificação conforme a eficiência energética da envoltória para cada medida de eficiência energética, assim como para os pacotes de medidas, pelo método simplificado.

Posteriormente, levando em conta a redução de custos energéticos e os custos de implantação, realizou-se a análise de viabilidade econômica dos pacotes de MEEs, com base no *Payback Corrigido* e da Taxa Interna de Retorno. Com isso, pode-se apontar a configuração que obteve destaque do ponto de vista energético e financeiro em cada uma das duas regiões climáticas determinadas no projeto.

Cada uma dessas etapas é descrita detalhadamente neste capítulo.

3.1 CASO DE ESTUDO

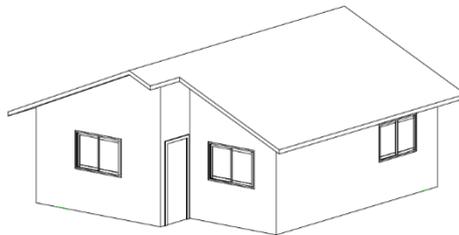
Triana (2016) definiu em sua tese de doutorado, projetos representativos de habitações de interesse social (HIS) brasileiras através do Censo de 2010. A autora analisou as tipologias de projetos predominantes no programa “Minha Casa Minha Vida” (MCMV), com o objetivo de avaliar o desempenho termoenergético e influência das mudanças climáticas na eficiência energética das edificações em questão.

Os projetos reunidos por Triana (2016) foram divididos em dois níveis de renda: Nível 1 (renda familiar de até R\$1.600,00) e Nível 2 (renda familiar de R\$1.600,00 à R\$5.000,00). Dentre as edificações de baixa renda, especificamente do Nível 1, a tipologia com predominância é edificação unifamiliar térrea, a qual foi escolhida nesse trabalho para ser analisada em termos de eficiência energética.

A edificação de tipologia unifamiliar térrea, no estudo de Triana (2016), possui uma área total de 43,24 m², distribuídos em uma sala e cozinha conjugada que, juntamente com a área de circulação entre os quartos, somam uma área de 21,43 m², dois quartos com 8,30 m² e 8,85 m² e um banheiro de 4,66 m². A cozinha, sala, área de circulação e quartos são considerados ambientes de permanência prolongada (APP). Já o banheiro é considerado área de ambiente de permanência transitória (APT).

A edificação está demonstrada na Figura 1, Figura 2 e Figura 3, sendo respectivamente, a perspectiva e a planta baixa e fachadas da edificação.

Figura 1 – Caso base: Perspectiva edificação unifamiliar térrea representada em 3D



Fonte: Triana (2016);

Figura 2 – Caso base: Planta baixa edificação unifamiliar térrea



Fonte: Triana (2016);

O pé-direito da edificação é de 2,50 m e sombreamento através de beiral de 0,50 m. As paredes são compostas por blocos de tijolos cerâmicos 9x14x24 cm com reboco interno e

externo de 2,5 cm e pintura externa na cor amarelo antigo. A cobertura tem duas águas com telha cerâmica de cor natural e inclinação de 23,6°, no projeto base de Triana (2016) o forro era de Policloreto de Vinila (PVC), mas como a capacidade térmica da composição da cobertura resultava em 21 kJ/m²K, e o limite mínimo no metamodelo é 22,4 kJ/m²K, neste trabalho será considerado a utilização de forro de madeira no projeto base. O piso é composto por contrapiso de concreto de 10 cm revestido com piso cerâmico. As características térmicas das paredes, cobertura e piso estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades térmicas das paredes e coberturas

Componente construtivos	Transmitância térmica U (W/m²K)	Capacidade térmica CT (kJ/m²K)	Absortância α (adimensional)
Paredes externas	2,46	150	0,5
Cobertura	2,02	26	0,6
Piso	3,65	244	

Fonte: Triana (2016); Brasil (2013)

As aberturas são de alumínio e não são equipadas com venezianas, sendo que na sala de estar, quartos e cozinha são com duas folhas de correr e peitoril de 1,10 m. Já no banheiro as janelas são do tipo basculante com peitoril de 1,50 m. O vidro adotado foi de 3 mm incolor, com fator solar (FS) de 0,87 e transmitância térmica de 5,7 W/m²K. Na Tabela 4 está a informação detalhada das aberturas de cada ambiente, com os valores de Fator de ventilação (FV), Fator de iluminação (FI) e área de abertura.

Tabela 4 - Informações das aberturas dos ambientes dos APPs

Ambiente	Área de abertura (m²)	Fator de Ventilação	Fator de Iluminação
Sala de estar	1,50	0,45	0,80
Quartos	1,50	0,45	0,80
Cozinha	1,20	0,45	0,80
Total	4,20	0,45	0,80

Fonte: Triana (2016);

Além das características do empreendimento é essencial a determinação dos locais de análise da residência. Buscando um estudo entre regiões com características climáticas bem distintas, as cidades escolhidas para o estudo foram Curitiba/PR e Natal/RN.

Conforme a NBR 15220, a cidade de Curitiba encontra-se demarcada como zona bioclimática 1 e Natal se situa na zona climática 8 na qual encontram-se as cidades mais quentes do

país. De acordo com a Classificação climática de Köppen-Geiger, Curitiba se encontra em um Clima Oceânico Temperado (Cfb) e Natal em um Clima Tropical de Savana (As).

As cidades pertencentes ao Cfb, possuem temperaturas moderadas durante o ano todo, sendo uma das características, a ausência de uma estação seca. Curitiba diferente da maior parte do Brasil, tem média anual de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) de 17,4°C. Já o As, é um clima tropical com estação seca, com pouquíssima precipitação, no período em que o Sol está mais alto e os dias são mais longos. A média anual de TBS, na região de Natal/RN, é 26,9°C.

3.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Buscando a redução do consumo de energia da edificação, foram propostos nesse trabalho a aplicação de oito medidas de eficiência energéticas, sendo elas empregadas nas paredes externas, cobertura e esquadrias. A geometria da edificação de referência permanece igual, o que muda são alguns elementos da envoltória. As alterações na composição das paredes externas e na cobertura são referentes ao isolamento e à coloração adotada, que geram alterações na transmitância, capacidade e absorvância térmicas. No caso das esquadrias, serão analisados os vidros, quanto ao tipo, variando entre vidros duplos e simples e também será avaliado a aplicação de venezianas nas janelas.

Em relação as paredes externas, considera-se a utilização de lã de rocha como camada de isolamento em duas diferentes espessuras, sendo a MME 1 com uma camada de 2,5 cm de isolamento, a MME 2 com uma camada de 5 cm de isolamento e a MEE 3 com a adoção de cores claras com absorvância (α) de 0,3. Na cobertura, foram consideradas telhas com absorvância (α) de 0,5 e a adoção de isolamento de lã de rocha com 2,5 cm na MME 4 e 5 cm na MME 5, já na MEE 6, foi adotado, assim como para as paredes externas, cores claras com absorvância (α) de 0,3. No que diz respeito aos vidros, para MEE 7, optou-se em vidros duplos com fator solar de 0,42 e transmitância térmica de $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, descrito no Anexo V do RAC (BRASIL, 2013). Além disso, para as esquadrias serão considerados para o MME 8 a aplicação de venezianas nas janelas dos APPs.

Todos os dados dos componentes construtivos do caso base de estudo e das medidas de eficiência sugeridas estão compiladas na Tabela 5.

Tabela 5 - Componentes construtivos do caso base e das medidas de eficiência energética

Componentes Construtivos	Medidas de eficiência energética			
Paredes Externas	Caso Base	MEE 1 – PAREDE 1	MEE 2 – PAREDE 2	MEE 3 – α PAREDE
	Argamassa interna (2,5 cm) Tijolo 9x14x24 (9 cm) Argamassa externa (2,5 cm) $U_{PAR} = 2,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha_{PAR} = 0,5$ $CT_{PAR} = 150 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Argamassa interna (2,5 cm) Tijolo 9x14x24 (9 cm) Lã de rocha (2 cm) Argamassa externa (2,5 cm) $U_{PAR} = 1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha_{PAR} = 0,5$ $CT_{PAR} = 176,21 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Argamassa interna (2,5 cm) Tijolo 9x14x24 (9 cm) Lã de rocha (5 cm) Argamassa externa (2,5 cm) $U_{PAR} = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha_{PAR} = 0,5$ $CT_{PAR} = 200,26 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Utilização de cores claras nas paredes externas $\alpha_{PAR} = 0,3$ (cores claras) Mantendo a estrutura da parede da edificação em análise
Cobertura	Caso Base	MEE 4 – COBERTURA 1	MEE 5 – COBERTURA 2	MEE 6 – α COBERTURA
	Telha de barro cor natural duas águas (23,6°) Forro de madeira $U_{COB} = 2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha_{COB} = 0,6$ $CT_{COB} = 26 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Telha de barro duas águas (23,6°) Lã de rocha (2,5 cm) Forro de PVC $U_{COB} = 0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $\alpha_{COB} = 0,6$ $CT_{COB} = 25 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Telha de barro duas águas (23,6°) Lã de rocha (5 cm) Forro de PVC $U_{COB} = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $\alpha_{COB} = 0,6$ $CT_{COB} = 25 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Utilização de cores claras na cobertura $\alpha_{COB} = 0,3$ (cores claras) Mantendo a estrutura da cobertura da edificação em análise
Vidros e Esquadrias	Caso Base	MEE 7 – VIDRO 1	MEE 8 – ESQUADRIA 1	
	Esquadrias metálicas Duas folhas sem veneziana Vidro simples incolor (3 mm) FS = 0,87 $U_{vid} = 5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	Vidro de controle solar (6mm) + Ar (12mm) + Vidro Laminado incolor(6mm) FS = 0,42 $U_{vid} = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	Esquadrias metálicas Duas folhas com veneziana Vidro simples incolor (3 mm) FS = 0,87 $U_{vid} = 5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	

3.3 MÉTODO SIMPLIFICADO

Os parâmetros construtivos das medidas de eficiência energética propostas para análises estão entre os valores limites da INI-R, conforme apresentado na Tabela 1 e Tabela 2, no item 2.2.1 deste trabalho. Com isso, a aplicação do método simplificado é possível para esse caso. Do contrário, para edificações que não atendem a um ou mais critérios, deve-se utilizar o método de simulação.

3.3.1 ENVOLTÓRIA

A determinação do nível de eficiência da envoltória, no modo simplificado da INI-R, é realizada através de um metamodelo de análise que utiliza redes neurais artificiais para diferentes realidades climáticas brasileiras. O metamodelo utilizado nesse trabalho é disponibilizado pelo Núcleo de Edificações Residenciais do Centro Brasileiro (CB3E) e como ele está sendo aprimorado, e sofre alterações ao longo do tempo, é importante destacar que esta etapa do trabalho está sendo realizada em março de 2022.

Para a utilização desse metamodelo é necessário determinar uma série de variáveis como dados de entrada, dentre elas: o local da edificação em estudo, condição de exposição do piso e da cobertura, determinação dos parâmetros geométricos e térmicos da envoltória, informações dos ambientes de permanência prolongada, nas quais envolve o uso do ambiente, dimensões das paredes, área de elementos transparentes e ângulos de sombreamento. Este procedimento deve ser realizado tanto para o caso de estudo (condição real) do edifício quanto para a condição de referência, possibilitando uma comparação entre os mesmos e obtendo assim, a classe de eficiência da edificação.

A Tabela 6, 7 e 8 expõe respectivamente, os parâmetros gerais referentes a envoltória do caso de estudo e de referência, as informações gerais dos APPs e os levantamentos dos APPs conforme a orientação geográfica, tal qual as informações solicitadas no metamodelo.

Tabela 6 - Parâmetros gerais da envoltória

Parâmetro	Edificação Caso de estudo (Real)	Edificação Referência
Cidade	Curitiba (PR)/ Natal (RN)	
Condição da exposição do piso	Contato com o solo	
Condição da exposição da cobertura	Exposto ao sol e vento	
Pé-direito [m]	2,5	
Área total dos APTs [m ²]	4,66	
Absortância solar das paredes externas (α)	0,5	0,58
Absortância solar da cobertura (α)	0,6	0,65
Fator solar do vidro	0,87	
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	5,70 W/m ² K	
Abertura de ventilação	0,45	
Transmitância térmica da cobertura ($UCob$)	2,02 W/m ² K	
Transmitância térmica das paredes externas ($UPar$)	2,46 W/m ² K	4,40 W/m ² K
Transmitância térmica do piso ($UPiso$)	3,65 W/m ² K	
Capacidade térmica da cobertura ($CTCob$)	26 W/m ² K	
Capacidade térmica das paredes externas ($CTPar$)	150 kJ/m ² K	240 kJ/m ² K
Capacidade térmica do piso ($CTPiso$)	244 kJ/m ² K	

Fonte: Autora (2022)

Tabela 7 - Informações gerais dos APPs

Uso do ambiente	Sala/Cozinha	Quarto 1	Quarto 2
Área de piso do APP [m ²]	21,44	8,85	8,30
Ângulo de desvio em relação ao norte verdadeiro [°]	0	0	0
Dim. Horizontal de paredes em contato com APT [m]	4,64	0,00	0,00
Dim. Horizontal de paredes e portas em contato com o dormitório [m]	5,69	2,75	2,75
Dim. Horizontal de paredes e portas em contato com a sala [m]	0,00	3,22	2,34

Fonte: Autora (2022)

Para cálculo do ângulo de desvio em relação ao norte verdadeiro, primeiramente é levantado para cada APP, a parede que tem a orientação mais norte e nessa parede então, calcular o ângulo de desvio em relação ao norte. Portanto, como todos os APPs tem alguma parede voltada para o norte, o ângulo de desvio resultou 0°. As dimensões das paredes descritas na Tabela 7 e Tabela 8 foram extraídas da planta baixa do projeto.

Tabela 8 - Levantamentos dos APPs conforme a orientação geográfica

FACHADA NORTE	Sala/Cozinha	Quarto 1	Quarto 2
AHSd [°]	0	0	0
AHSe [°]	0	0	0
AOV [°]	0	0	0
AVS [°]	11,30	0	11,30
Dim. Horizontal Parede Externa [m]	1,17	0,00	2,75
Dim. Horizontal Parede Interna [m]	2,70	2,70	0,00
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²]	0,00	0,00	0,00
Portas internas	Não	Não	Não
FACHADA SUL	Sala/Cozinha	Quarto 1	Quarto 2
AHSd [°]	0	0	0
AHSe [°]	0	22,78	0
AOV [°]	0	0	0
AVS [°]	11,30	11,30	0
Dim. Horizontal Parede Externa [m]	3,86	2,75	0,00
Dim. Horizontal Parede Interna [m]	0,00	0,00	2,75
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²]	1,50	1,50	0,00
Portas internas	Não	Não	Não
FACHADA LESTE	Sala/Cozinha	Quarto 1	Quarto 2
AHSd [°]	67,21	0	0
AHSe [°]	0	0	0
AOV [°]	0	0	0
AVS [°]	11,30	11,30	11,30
Dim. Horizontal Parede Externa [m]	1,08	3,22	3,02
Dim. Horizontal Parede Interna [m]	5,59	0,00	0,00
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²]	0,00	0,00	1,50
Portas internas	Sim	Não	Não
FACHADA OESTE	Sala/Cozinha	Quarto 1	Quarto 2
AHSd [°]	0	0	80,19
AHSe [°]	0	0	0
AOV [°]	0	0	0
AVS [°]	11,30	0	11,30
Dim. Horizontal Parede Externa [m]	4,96	0,00	0,56
Dim. Horizontal Parede Interna [m]	1,94	3,22	2,34
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²]	1,20	0,00	0,00
Portas internas	Sim	Sim	Sim

Fonte: Autora (2022)

Conforme a definição da interface do metamodelo, o Ângulo Horizontal de Sombreamento à direita (AHSd) é o ângulo entre a largura da parede para uma dada orientação e o a distância horizontal da parede e o ponto mais distante do elemento de sombreamento localizado no lado direito da parede, tendo a orientação da parede como referência. O Ângulo Horizontal de Sombreamento à esquerda (AHSe) é o ângulo entre a largura da parede para uma dada orientação e o a distância horizontal da parede e o ponto mais distante do elemento de sombreamento localizado no lado esquerdo da parede, tendo a orientação da parede como referência. O Ângulo de Obstrução Vizinha (AOV) é o ângulo de sombreamento estabelecido pelo entorno e finalmente o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) é o ângulo de sombreamento estabelecido por proteção horizontal solar, obtido entre o nível do piso até o elemento de sombreamento e o tamanho da sua projeção no plano horizontal (CB3E, 2022).

No caso de estudo, foi desconsiderado o entorno da edificação, portanto, o AOV em todas as orientações da edificação é igual a zero (0°). Já para o cálculo do AVS, como estamos tratando de uma edificação térrea, foi considerado o beiral como projeção horizontal solar, sendo ele de 50 cm em torno de toda a edificação. O AHS considerado o ângulo promovido por elementos da própria edificação.

Ao concluir a inserção de todos os dados de entrada referentes à envoltória da edificação e das Áreas de Permanência Prolongada, tem-se como dados de saídas: Percentual de horas em que uma unidade habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa pré-definida (PHFT), Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa (PHsFT), Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa (PHiFT), o valor da carga térmica (CgT) para resfriamento e aquecimento dos APPs da UH, a Temperatura Operacional mínima e máxima (Tomax e Tomín) e por fim o Consumo para resfriamento e para aquecimento. Para o valor de consumo, foi inserido no metamodelo o Coefficient of Performance (COP) do sistema de condicionamento de 3,24 para resfriamento e aquecimento, considerando equipamento nível “A”.

3.3.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DA UNIDADE HABITACIONAL

Na proposta de escala para classificação de eficiência energética da envoltória da INI-R, existem alguns critérios que podem ser utilizados. Nesse trabalho foi usado o critério de

CgTTUH, pois é condizente aos valores resultantes do metamodelo. Nesse critério, é considerado o percentual de redução da carga térmica total da UH no modelo real em relação ao modelo de referência, conforme a Tabela 9, onde a RedCgTTmín representa o percentual mínimo de redução da CgTTUH,real em relação à CgTTUH,ref. O cálculo da RedCgTT está representado na equação abaixo.

$$\text{RedCgTT} = ((\text{CgTTUH, ref} - \text{CgTTUH, real}) / \text{CgTTUH, ref}) \times 100$$

$$\text{RedCgTT} = \frac{\text{CgTTUH, ref} - \text{CgTTUH, real}}{\text{CgTTUH, ref}} \times 100$$

Tabela 9 - Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto à CgTTUH

Classificação de eficiência energética	Critério
Classe D	RedCgTT ≥ RedCgTTmínD
Classe C	RedCgTT ≥ 0%
Classe B	RedCgTT ≥ RedCgTTmínB
Classe A	RedCgTT ≥ RedCgTTmínA

Fonte: Brasil (2021)

Os valores de RedCgTTmín para cada D, B e A para Tipologia Unifamiliar estão apresentados na Tabela 10, 11 e 12, respectivamente. Nas tabelas, a CgTTUH,ref deve ser analisada em relação à Ap,UH, que representa a soma das áreas de piso de todos os APPs da UH (Ap,APP), em metros quadrados. Para as classes B e A, também é necessário o atendimento à um ΔPHFTmín, que é o incremento do PHFTUH,real em relação ao PHFTUH,ref..

Tabela 10 - RedCgTTmínD para o atendimento à classe D de eficiência energética

Critério	Unifamiliar
CgTTUH,ref / Ap,UH (kWh/(ano.m ²))	RedCgTTmínD (%)
CgTTUH,ref / Ap,UH < 100	-17
CgTTUH,ref / Ap,UH ≥ 100	-27

Fonte: Brasil (2021)

Tabela 11 - RedCgTTmínB para o atendimento à classe B de eficiência energética

Critério		Unifamiliar
PHFTUH, ref (%)	CgTTUH, ref / Ap, UH (kWh/(ano.m²))	ΔPHFTmín (%)
<i>PHFTUH, ref < 70%</i>	Todos os valores	$\Delta PHFTmín$ = 45 – 0,58 × PHFTUH, ref
<i>PHFTUH, ref ≥ 70%</i>	Todos os valores	0
PHFTUH, ref (%)	CgTTUH, ref / Ap, UH (kWh/(ano.m²))	RedCgTTmínB (%)
<i>PHFTUH, ref < 70%</i>	Todos os valores	0
<i>PHFTUH, ref ≥ 70%</i>	$CgTTUH, ref / Ap, UH < 100$	17
	$CgTTUH, ref / Ap, UH \geq 100$	27

Fonte: Brasil (2021)

Tabela 12 - RedCgTTmínA para o atendimento à classe A de eficiência energética

Critério		Unifamiliar
PHFTUH, ref (%)	CgTTUH, ref / Ap, UH (kWh/(ano.m²))	ΔPHFTmín (%)
<i>PHFTUH, ref < 70%</i>	Todos os valores	$\Delta PHFTmín$ = 45 – 0,58 × PHFTUH, ref
<i>PHFTUH, ref ≥ 70%</i>	Todos os valores	0
PHFTUH, ref (%)	CgTTUH, ref / Ap, UH (kWh/(ano.m²))	RedCgTTmínA (%)
Todos os valores	$CgTTUH, ref / Ap, UH < 100$	35
	$CgTTUH, ref / Ap, UH \geq 100$	55

Fonte: Brasil (2021)

3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA

O cálculo de viabilidade econômica do projeto é realizado a partir do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e do *payback* corrigido. O tempo de retorno máximo considerado será 10 anos.

O VPL é um método utilizado para trazer os pagamentos futuros para a data presente, a partir da taxa de desconto, considerada nesse caso a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é o percentual mínimo que um investidor está disposto a ganhar como consequência de uma

aplicação financeira. Para atestar a viabilidade do investimento, é necessário que o VPL seja maior do que zero para o período de retorno máximo considerado. O seu cálculo foi realizado a partir da Equação 1, demonstrada abaixo:

$$VPL = \sum_{N=0}^n \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde,

VPL = Valor Presente Líquido

TMA = Taxa Mínima de Atratividade

FC= Fluxo de caixa no período n

n = Número de períodos

O valor da TMA considera-se o valor da taxa básica de juros da economia, a Selic, que é referência para investimentos de renda fixa. A taxa Selic atual (início de 2022), se encontra apresenta um pouco alta, com o valor de 10,75%, ou seja, 100% da Selic, é um investimento considerado aceitável.

Já a Taxa Interna de Retorno (TIR) representa a taxa de desconto que deve ter um FC para a que o valor presente líquido se iguale a zero, como indica a Equação 2. Então, para que um projeto seja viável é necessário que a TIR seja superior à TMA.

$$0 = \sum_{N=0}^N \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde,

VPL = Valor Presente Líquido

TIR = Taxa Interna de Retorno

FC= Fluxo de caixa no período n

n = Número de períodos

O *Payback Corrigido* é tempo de retorno do investimento considerando a desvalorização dos ganhos no tempo, ou seja, é uma avaliação do risco através do tempo. A ideia deste indicador é selecionar o projeto que reponha o investimento no menor espaço de tempo, pois quanto mais prolongada é a recuperação do capital, mais incertezas e maiores as chances de se ter um cenário diferente daquele considerado nas hipóteses iniciais da análise. A

partir da Equação 3, encontramos a proporção que indica o momento do ano em o *Payback* acontece.

$$payback = \frac{|\text{último FC negativo}|}{|\text{último FC negativo} - \text{primeiro FC positivo}|} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde,

Último FC negativo = último fluxo de caixa negativo

Último FC positivo = primeiro fluxo de caixa positivo

Para a determinação dos custos dos componentes construtivos demonstrado no trabalho, foi utilizado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) desonerado em sua versão mais recente de janeiro de 2022 (CAIXA, 2022) ou pesquisa de mercado. Só então, a partir da redução de custo energético estipulada, calcula-se o VPL, TIR e *Payback* Corrigido para cada medida de eficiência com o objetivo de avaliar sua viabilidade.

Para o consumo em reais da edificação, deve considerar o valor da tarifa para cada cidade em estudo, no caso desse trabalho, Curitiba e Natal. O consumo é a soma do Programa de Integração Social (PIS), da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) de cada localidade. Com o valor da tarifa de energia elétrica, o gasto em reais com energia elétrica para refrigeração e aquecimento é obtido através do produto da tarifa, do consumo e da Área da edificação, conforme a Equação 4, sendo o consumo em kWh/m²ano e a área em m².

$$\text{Consumo em reais} = \text{Tarifa} * \text{Consumo UH} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde,

Tarifa = Tarifa de Energia Elétrica do local analisado

Consumo UH = Consumo de energia elétrica da Unidade Habitacional

Área UH = Área da Unidade Habitacional

4 RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia descrita anteriormente.

4.1 CASO BASE

A Tabela 13 foi desenvolvida com os resultados do caso base (Real) e do caso de referência (Ref), obtidos pelo metamodelo e por cálculos indicados no método do INI-R.

Tabela 13 - Resultados do caso referência e do estudo de caso para Natal/RN e Curitiba/PR

Identificação da edificação	CgTT_{UH} (kWh/ano)	RedCgTT_{UH} (%)	$\frac{CgTT}{ApUH}$	PHFT (%)	PHsFT (%)	PHiFT (%)	ΔPHFT
Ref_Natal	8103,58	0,00	209,99	40,48	59,52	0	0
Real_Natal	7015,56	13,43	181,80	49,13	50,87	0	8,65
Ref_Curitiba	1311,22	0,00	33,98	74,64	5,27	20,08	0
Real_Curitiba	1104,88	15,74	28,63	75,42	6,87	17,71	0,78

Fonte: Autora (2022)

Onde, CgTT_{UH} é a Carga Térmica Total da Unidade Habitacional, RedCgTT_{UH} é a redução da Carga Térmica Total da Unidade Habitacional da edificação analisada em relação ao modelo de referência, $\frac{CgTT}{ApUH}$ é a Carga Térmica Total da Unidade Habitacional dividido pela área da Unidade Habitacional, PHFT é o Percentual de horas em que uma unidade habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa pré-definida, PHsFT Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa, PHiFT é o Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa, Δ PHFT é a variação do PHFT da edificação em estudo em relação à edificação de referência.

As edificações obtiveram %RedCgTT_{UH} positivo e bem semelhantes, quando comparados o caso base (real) em relação à edificação de referência, em ambas as localidades. Sendo uma redução de 15,70% da carga térmica do total em Natal e de 15,74% em Curitiba. Essa diferença foi causada pela adoção de métodos construtivos diferentes na edificação de referência e o caso base, com mudanças na estrutura das paredes externas, bem como, na abertura para ventilação e absorvência da cobertura e paredes, com tons mais claro no caso de estudo.

Devido ao perfil climático da cidade de Natal, com média anual de temperatura de bulbo seco de 26,8°C, a faixa de temperaturas operativas para a determinação do PHFT a ser considerada, segundo a INI-R, é abaixo de 28° C. Apesar da Δ PHFT de 8,65% do caso de estudo em relação à edificação de referência, o valor do percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa (PHsFT) ainda assim permaneceu alto, com 50,87%. No caso dos Percentuais de horas ocupadas do APP com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa (PHiFT) encontrados para edificação referência e para o caso de estudo foram quase nulos e não apresentaram variações, o que condiz com o perfil climático.

Já em Curitiba o comportamento da edificação se mostrou diferente, devido às características climáticas do local, que possui a média anual da temperatura de bulbo seco de 17,4°C, fazendo com que, a faixa de temperaturas operativas fique entre 18 e 26°C. O Δ PHFT da edificação base em relação à edificação de referência foi apenas 0,78% e ainda 17,71% das horas ocupadas do APP se encontram abaixo das temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa, ou seja, abaixo de 18°C.

Além dos dados de temperatura efetivas, as informações de consumo obtidas nas cidades de Natal e Curitiba, mostram também a importância da análise climática para a eficiência das edificações, sendo que no caso em estudo o consumo de energia elétrica para refrigeração em Natal é aproximadamente seis vezes maior do que Curitiba.

Com base nessas informações, e aplicando o método já discutido no item 3.3.2, em relação à envoltória do caso base, a edificação foi classificada como nível C para duas localizações analisadas, Curitiba-PR e Natal-RN. Para ambas as localidades, o %RedCgTTUH do caso base (real) estava de acordo com a classificação nível B, mas quando analisado a Δ PHFT, se encontraram abaixo do valor mínimo proposto pela INI-R para a classe (Δ PHFTmin), portanto, receberam classe C. Os resultados da classificação estão compilados na Tabela 14.

Tabela 14 - Classificação do caso de estudo (real) em Natal/RN e Curitiba/PR

Identificação da edificação	RedCgTT_{UH} (%)	CgT/ApUH	ΔPHFT	ΔPHFTmín (classe A e B)	Classe
Real_Natal	13,43	181,80	8,65	21,5216	C
Real_Curitiba	15,74	28,63	0,78	1,7088	C

Fonte: Autora (2022)

4.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Foram aplicadas na envoltória do caso base oito medidas de eficiências, listadas anteriormente neste trabalho na Tabela 5, relacionadas às paredes, coberturas e janelas, em duas zonas climáticas distintas. A aplicação das MEEs, apresentaram resultados bem diferentes quando analisados nas edificações localizada na Zona Climática 1 (Curitiba) e na edificação da Zona Climática 8 (Natal).

Os valores obtidos pelo metamodelo e por cálculos indicados no método do INI-R para as medidas de eficiências aplicadas para edificação localizada em Natal, estão demonstrados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados da aplicação das MEEs em Natal/RN

Identificação da edificação	CgTT _{UH} (kWh/ano)	RedCgTT _{UH} (%)	CgTT ApUH	PHFT (%)	PHsFT (%)	PHiFT (%)	ΔPHFT	Tomax (°C)	Tomin (°C)
REF	8103,58	0,00	209,99	40,48	59,52	0,00	0,00	34,80	24,91
REAL	6831,38	15,70	177,02	35,95	64,05	0,00	-4,53	34,47	24,51
MEE1	6857,89	15,37	177,71	33,81	66,19	0,00	-6,67	34,37	25,07
MEE2	6943,73	14,31	179,94	33,41	66,59	0,00	-7,07	34,51	25,61
MEE3	6060,28	25,21	157,04	40,10	59,90	0,00	-0,38	34,21	24,43
MEE4	6754,86	16,64	175,04	34,67	65,33	0,00	-5,81	34,05	24,67
MEE5	6764,82	16,52	175,30	34,54	65,46	0,00	-5,94	33,96	24,70
MEE6	5461,35	32,61	141,52	48,10	51,90	0,00	7,62	33,18	24,25
MEE7	6362,05	21,49	164,86	41,32	58,68	0,00	0,84	34,09	24,65
MEE8	6494,21	19,86	168,29	40,71	59,29	0,00	0,23	33,63	24,35

Fonte: Autora (2022)

Os valores da Tabelas do percentual de RedCgTT_{UH} são obtidos através da comparação da edificação em estudo e da edificação de referência.

Em Natal, os resultados se mostraram satisfatórios quando foi reduzido a absorvância das paredes externas e cobertura para 0,3 (MEE3 e MEE6, respectivamente). Especialmente a MEE6, causou uma diminuição da CgTT_{UH} de 8103,58 kWh/ano para 5461,35 kWh/ano, representando 32,61% de redução, além disso, fez com que o valor do percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa (PHsFT) fosse reduzido. Isso porque, segundo a literatura, quanto mais baixa é a absorvância solar da tinta, menor a temperatura das superfícies da cobertura (COELHO *et al.*, 2017; CAVALCANTI, 2020). Sendo assim, considerando que em Natal, mesmo no inverno as Temperaturas de Bulbo Seco (TBS) médias são superiores à 26°C (LabEEE, 2020), a redução da absorvância gerou o

aumento do percentual de horas ocupadas dentro das temperaturas operacionais, considerado temperaturas abaixo de 28°C em Natal.

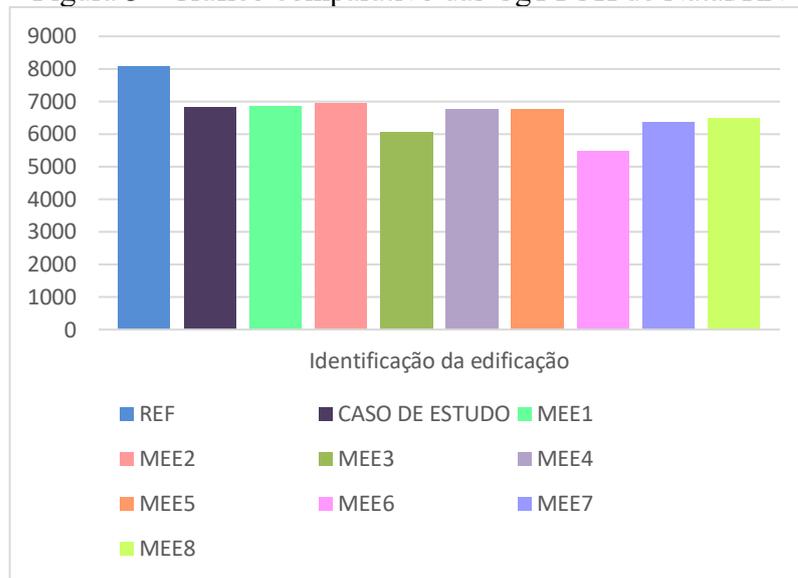
Os isolamentos com lã de vidro na cidade de Natal geraram bons resultados em algumas situações e piorou o desempenho em outras. No caso do isolamento das paredes externas, tanto na espessura 2,5 cm (MEE1) quanto em 5,0 cm (MEE2), apesar de ter resultado em uma redução da carga térmica total da unidade habitacional ($CgTT_{UH}$) em relação à edificação de referência, isso não ocorreu quando comparado ao caso de estudo (real). Isso é justificado pelo retardamento da troca de calor entre o ambiente externa da edificação e o ambiente interno, gerado pela aplicação do isolamento térmico, que causou um aumento da Temperatura operativa anual mínima (Tomin). Nesse caso, o aumento da Tomin não é bom pois na cidade de Natal, já era uma temperatura alta, devido à baixa amplitude das temperaturas anuais da região, e sucedeu na ampliação do consumo para resfriamento. Sendo que, à medida que aumenta a espessura do isolamento de 2,5 para 5,0, mais visível é esse efeito e maior é a carga térmica para refrigeração.

Isso também pode ser observado nos isolamentos da cobertura, também com lã de rocha, com 2,5 cm (MEE4) e com 5 cm (MEE5), mas diferente do isolamento das paredes, nesse caso resultados foram moderados, gerando reduções de carga térmica da edificação de 16,64% e 16,52%, respectivamente. Isso se explica pois na cobertura a queda da Tomax foi maior, passando de 34,47°C no estudo de caso para 33,96°C com o uso do isolamento, compensando assim, o acréscimo da Tomin gerado, que foi de apenas 0,19°C.

No caso das janelas, a MEE7 referente à colocação de vidros duplos e MEE8, à utilização de venezianas, também apresentaram alterações não muito significativas nos valores de $CgTT_{UH}$ quando comparadas com o caso de estudo, de 5,92 e 1,97%, respectivamente. O baixo valor, decorre do tamanho da área das janelas, que em relação à área total da edificação, não é muito significativa.

Esses valores podem ser observados na Figura 3, a qual demonstra o $CgTT_{UH}$ de todas as MEEs aplicadas à edificação.

Figura 3 - Gráfico comparativo das CgTTUH de Natal/RN



Fonte: Autora (2022)

Quanto a classificação da edificação, nenhuma medida atingiu os requisitos mínimos da Classe A e B, especialmente a $\Delta PHFT_{\text{mín}}$ que era de 21,52 para ambas as classes. Portanto, todas as medidas de eficiência energética ficaram como Classe C, na qual é exigido apenas uma $RedCgTT_{UH}$ acima de zero em relação ao caso de referência.

O resultado pode ser observado Tabela 16.

Tabela 16 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Natal/RN

Identificação da edificação	RedCgTT _{UH} (%)	CgTT ApUH	$\Delta PHFT$	$\Delta PHFT_{\text{mín}}$ (classe A e B)	Classe
MEE1	15,37	177,71	-6,67	21,52	C
MEE2	14,31	179,94	-7,07	21,52	C
MEE3	25,21	157,04	-0,38	21,52	C
MEE4	16,64	175,04	-5,81	21,52	C
MEE5	16,52	175,30	-5,94	21,52	C
MEE6	32,61	141,52	7,62	21,52	C
MEE7	21,49	164,86	0,84	21,52	C
MEE8	19,86	168,29	0,23	21,52	C

Fonte: Autora (2022)

Já em Curitiba, na zona climática 1, todas as medidas de eficiência energética geraram reduções em relação à edificação referência e ao caso de estudo, conforme pode ser analisado na Tabela 17, a qual são apresentados os valores obtidos pelo metamodelo e por cálculos indicados no método do INI-R para as medidas de eficiências aplicadas para edificação da cidade de Curitiba/PR.

Tabela 17 - Resultados da aplicação das MEEs em Curitiba/PR

Identificação da edificação	CgTT _{UH} (kWh/ano)	RedCgTT _{UH} (%)	CgTT ApUH	PHFT (%)	PHsFT (%)	PHiFT (%)	ΔPHFT	Tomax (°C):	Tomin (°C):
REF	1311,22	0,00	33,98	74,64	5,27	20,08	0,00	31,35	13,15
REAL	1104,88	15,74	28,63	75,42	6,87	17,71	0,78	31,99	13,43
MEE1	786,43	40,02	20,38	80,86	6,00	13,14	6,22	31,53	14,69
MEE2	633,69	51,67	16,42	83,20	5,06	11,74	8,56	31,10	15,72
MEE3	1028,43	21,57	26,65	75,96	4,50	19,54	1,32	31,30	13,21
MEE4	754,54	42,46	19,55	78,96	6,06	14,98	4,32	31,46	14,21
MEE5	688,82	47,47	17,85	78,14	5,88	15,98	3,50	29,94	14,35
MEE6	813,33	37,97	21,08	73,73	4,51	21,75	-0,91	29,07	13,15
MEE7	1039,5	20,72	26,94	73,37	4,13	22,50	-1,27	30,37	13,36
MEE8	1083,1	17,40	28,07	75,06	6,77	18,17	0,42	30,59	13,44

Fonte: Autora (2022)

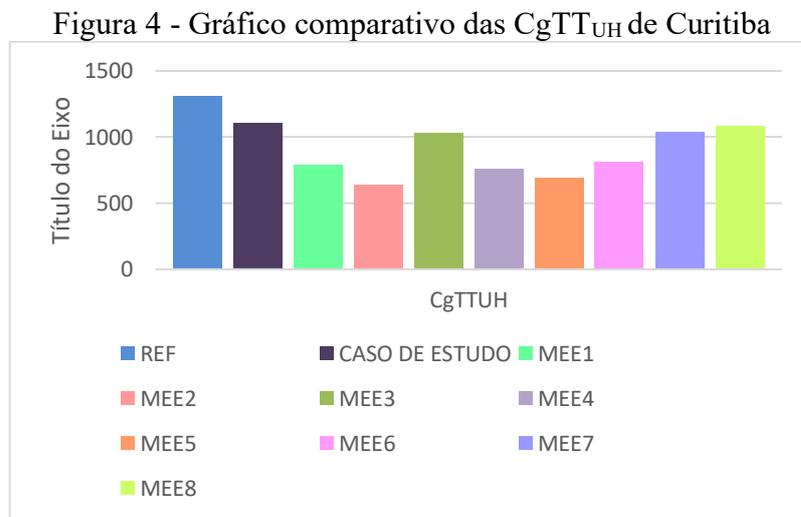
Ainda segundo a Tabela 17, as MEEs que tiveram destaque foram referentes ao isolamento com lã de vidro, nas paredes (MEE1 e MEE2) e na cobertura (MEE4 e MEE5). Diferente de Natal, em Curitiba, os isolamentos de lã de rocha com espessura de 5 cm obtiveram resultados ainda melhores, quando comparados aos isolamentos de 2,5 cm, tanto na cobertura quanto nas paredes externas. A MEE2, com isolamento de 5 cm, reduziu a diferença entre a Temperatura operativa anual máxima (Tomax) e a Temperatura operativa anual mínima (Tomin), em mais de 2°C quando comparada com o caso base e com o caso de referência, diminuindo a Tomax, e elevando a Tomin. Diferente de Natal, essa consequência causa ótimos resultados considerando que é satisfatório aumentar a Tomin, já que, essa temperatura se encontra abaixo da faixa de temperatura operativa para Curitiba, segundo a INI-R, ou seja, abaixo de 18°C, ou ainda, abaixo da temperatura de desconforto para o frio, que segundo, Rossi et al. (2012), para Curitiba, são consideradas temperaturas abaixo de 15°C. Com isso, o isolamento nesse caso, causa a redução do consumo para aquecimento. O mesmo efeito ocorreu na MEE5, mas a redução da Tomax foi ainda maior, fazendo com que a Carga Térmica Total da Unidade Habitacional fosse ainda melhor, obtendo assim, o melhor desempenho entre as medidas.

No caso da redução das absorvâncias das paredes externas e cobertura (MEE3 e MEE6), as medidas geraram uma redução da carga de resfriamento na edificação em relação ao caso de estudo de 76,45 kWh/ano e 291,55 kWh/ano, respectivamente, porém ambas geraram também um grande aumento da carga de aquecimento em relação ao caso de estudo, pois diferente do isolamento térmico, essas medidas causaram a diminuição tanto da Tomax

quanto da Tomin. Entretanto, a diminuição do consumo para resfriamento superou o aumento para aquecimento e a medida pode ser levada para a análise financeira posterior.

As medidas MEE7 e MEE8, relacionadas às janelas, também provocaram reduções nas cargas térmicas, apesar de que quando comparadas ao caso real, não foram tão representativas, provavelmente devido à pequena área envidraçada da edificação.

Os resultados das cargas térmicas totais, para cada medida de eficiência aplicadas à edificação, podem ser observados na Figura 4.



Fonte: Autora (2022)

Na cidade de Curitiba, metade das medidas de eficiência resultaram no aumento da classificação da edificação para classe A, de acordo com o Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto à $CgTT_{UH}$, da INI-R, conforme demonstrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Curitiba/PR

Identificação da edificação	Red $CgTT_{UH}$ (%)	$\frac{CgTT}{ApUH}$	$\Delta PHFT$	$\Delta PHFT_{\min}$ (classe A e B)	Classe
MEE1	40,02	20,38	6,22	1,71	A
MEE2	51,67	16,42	8,56	1,71	A
MEE3	21,57	26,65	1,32	1,71	C
MEE4	42,46	19,55	4,32	1,71	A
MEE5	47,47	17,85	3,5	1,71	A
MEE6	37,97	21,08	-0,91	1,71	C
MEE7	20,72	26,94	-1,27	1,71	C
MEE8	17,40	28,07	0,42	1,71	C

Fonte: Autora (2022)

4.3 PACOTE IDEAL DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A EDIFICAÇÃO

Para a definição dos pacotes de medidas de eficiência, considerou-se as medidas que obtiveram excelentes desempenhos energéticos na edificação, em todos os pacotes e foi complementado com outras medidas que atingiram resultado bom ou mediano, mas que ao interagir com outras medidas aumentam a eficiência da edificação.

Em Natal/RN, as MEEs 3 e 6, relativo respectivamente à redução da absorvância das paredes de 0,50 para 0,30 e na cobertura de 0,60 para 0,30, com cores mais claras, foram as que atingiram os melhores resultados. Já, as MEEs 1 e 2, associadas ao isolamento de lã de rocha das paredes externas, devido ao baixo desempenho quando comparado aos outros, não foram aplicadas na composição de nenhum pacote. No entanto, as MEEs 7 e 8, as quais dizem respeito, respectivamente, à aplicação de vidro duplos e colocação de venezianas nas janelas, apesar de não terem obtido resultados tão bons quando comparadas com o caso de estudo, foram aplicados em pacotes de medidas para avaliar a interação com outras medidas. Além disso, como a MEE6, a qual estabelece a adoção de absorvância térmica baixa para a cobertura, de 0,3, está presente em todos os pacotes, também não se optou por realizar o isolamento térmico de lã de rocha na cobertura, descartando da composição dos pacotes, as MEEs 4 e 5. Essa escolha é justificada pois, apesar do isolamento térmico da cobertura ter gerado um resultado relativamente bom quando aplicado individualmente, no clima em questão, em conjunto com uma baixa absorvância térmica o resultado é uma diminuição menor das cargas térmicas, do que quando aplicada a MEE6 sozinha.

Com isso, a formação dos pacotes para Natal, está demonstrado na Tabela 19.

Tabela 19 – Pacotes de MEEs da edificação em Natal/RN

Pacotes	Medidas de eficiência energética
Pacote 1	MEE3, MEE6
Pacote 2	MEE3, MEE6, MEE8
Pacote 3	MEE3, MEE6, MEE7
Pacote 4	MEE3, MEE6, MEE7, MEE8

Fonte: Autora (2022)

Tendo pronto os pacotes de MEEs, os mesmos foram inseridos do metamodelo conforme indicado na INI-R, sendo que os valores obtidos, aplicadas para edificação localizada em Natal, estão exibidos na

Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados da aplicação dos pacotes de MEEs em Natal/RN

Identificação da edificação	CgTT_{UH} (kWh/ano)	RedCgTT_{UH} (%)	CgTT ApUH	PHFT (%)	PHsFT (%)	PHiFT (%)	ΔPHFT	Tomax (°C):	Tomin (°C):
REF	8103,58	0,00	209,99	40,48	59,52	0,00	0,00	34,80	24,91
REAL	6831,38	15,70	177,02	35,95	64,05	0,00	-4,53	34,47	24,51
PACOTE 1	4722,07	41,73	122,37	50,27	49,73	0,00	9,79	32,97	24,17
PACOTE 2	4550,04	43,85	117,91	55,84	44,16	0,00	15,36	32,01	23,99
PACOTE 3	4683,85	42,20	121,37	58,23	41,77	0,00	17,75	31,93	24,30
PACOTE 4	4744,80	41,45	122,95	61,65	38,35	0,00	21,17	31,63	24,22

Fonte: Autora (2022)

Como pode ser observado na

Tabela 20, os resultados dos Pacotes foram semelhantes, todos os pacotes de medidas de eficiência aplicados à cidade de Natal resultaram na diminuição da Carga Térmica Total da Unidade Habitacional, em torno de 40%, comparado à edificação de referência e 30% quando comparada com o caso de estudo (edificação real). Além disso, todos também tiveram redução das Tomax e Tomin, que para a cidade de Natal, é um resultado satisfatório, devido ao clima quente durante todo ano, aumento assim, o PHFT, tanto em relação à edificação de referência quanto o estudo de caso (edificação real).

O Pacote 1, o qual as únicas mudanças em relação ao caso de estudo é redução da absorvância das paredes de 0,50 para 0,30 (MEE3) e na cobertura de 0,60 para 0,30 (MEE6), teve como resultado a redução de 2109,31 kWh/ano, equivalente à 30,88%, em relação ao caso de estudo. Considerando a simplicidade das medidas aplicadas, mesmo em uma obra de retrofit, referente apenas a alteraram da pintura com uso de cores mais claras, o resultado foi satisfatório e gerou melhoria nas condições de conforto térmico.

Além das medidas propostas no Pacote 1, no Pacote 2, é acrescido também a colocação de venezianas nas janelas dos APPs, referente à MEE8. Com isso, obteve-se como resultado uma redução ainda maior do que o anterior, com a diminuição da Tomax de 2,46°C e uma

diminuição 2281,34 kWh/ano, que representa uma redução de 33,40% da carga térmica da edificação quando comparado com ao caso de estudo.

O Pacote 3, constituído pelas MEEs 3, 6 e 7, sendo a última medida referente à utilização de vidros duplos. Quando comparado com os dois pacotes anteriores, a redução da carga térmica total da edificação em relação com o caso de estudo também foi semelhante com 2147,53 kWh/ano, referente à 31,44%, poucos pontos percentuais abaixo do Pacote 2.

Já o Pacote 4, foi o pacote de medidas que gerou a menor redução do da CgTTUH, com apenas 30,54% de diminuição em relação ao caso de estudo. Portanto, considerando que esse Pacote possui o maior número de medidas e que resultou no pior desempenho, já se considera descartado da análise de viabilidade que será feita em seguida, no próximo item deste trabalho.

Quanto a classificação da edificação, todos os pacotes de MEEs, atingiram a classe “B”. Isso porque, de acordo com o “Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto à CgTTUH” a RedCgTTUH para CgTT/ApUH>100 deve ser maior de 55% para a classe “A”. O resultado está demonstrado na Tabela 21.

Tabela 21 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Natal/RN

Identificação da edificação	RedCgTT_{UH} (%)	CgTT/ApUH	ΔPHFT	ΔPHFT_{mín} (classe A e B)	Classe
Pacote 1	41,73	122,37	9,79	21,5216	C
Pacote 2	43,85	117,91	15,36	21,5216	C
Pacote 3	42,20	121,37	17,75	21,5216	C
Pacote 4	41,45	122,95	21,17	21,5216	C

Fonte: Autora (2022)

Em Curitiba, as medidas que obtiveram excelentes desempenhos são ligadas com o isolamento com lã de rocha de 5 cm, nas paredes externas e coberturas, sendo elas MEE2 e MEE5, respectivamente. Portanto, essas duas medidas fazem parte da composição de todos os pacotes. As outras medidas referentes ao isolamento de 2,5 cm, MEE1 e MEE4 foram descartadas e não fazem parte de nenhum pacote.

Todas as outras medidas restantes, MEEs 3, 6, 7 e 8, apesar de terem atingido reduções medianas de cargas, quando testadas individualmente, foram inseridas em cinco pacotes buscando o estudo das interações entre si e entre os elementos com isolamento que compõe todos os pacotes. Sendo MEE3 e MEE6, referente à aplicação de baixas absorvância nas paredes

externas e cobertura, respectivamente, a MEE7 diz respeito à aplicação de vidros duplos nas áreas de APPs e por último, a MEE8 consiste na adição de venezianas nas esquadrias dos APPs.

As composições dos pacotes de MEEs podem ser visualizadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Pacotes de MEEs da edificação em Curitiba/PR

Pacotes	Medidas de eficiência energética
Pacote 1	MEE2, MEE5
Pacote 2	MEE2, MEE5, MEE6
Pacote 3	MEE2, MEE5, MEE7
Pacote 4	MEE2, MEE5, MEE3, MEE6
Pacote 5	MEE2, MEE5, MEE3, MEE6, MEE8

Fonte: Autora (2022)

Com os pacotes de MEEs finalizados, os mesmos foram testados no metamodelo e classificados com base na INI-R. Os resultados estão expostos na Tabela 23.

Tabela 23 - Resultados da aplicação dos pacotes de MEEs em Curitiba/PR

Identificação da edificação	CgTT _{UH} (kWh/ano)	RedCgTT _{UH} (%)	CgTT / ApUH	PHFT (%)	PHsFT (%)	PHiFT (%)	ΔPHFT	Tomax (°C):	Tomin (°C):
REF	1311,22	0,00	33,98	74,64	5,27	20,08	0,00	31,35	13,15
REAL	1104,88	15,74	28,63	75,42	6,87	17,71	0,78	31,99	13,43
Pacote 1	410,42	68,70	10,64	89,31	3,36	7,33	14,67	30,10	16,77
Pacote 2	188,00	85,66	4,87	89,44	1,72	8,84	14,80	29,01	16,40
Pacote 3	269,22	79,47	6,98	91,64	1,37	6,99	17,00	28,31	16,58
Pacote 4	116,17	91,14	3,01	87,95	1,11	10,93	13,31	28,63	16,12
Pacote 5	69,52	94,70	1,80	88,26	0,84	10,90	13,62	27,45	16,25

Fonte: Autora (2022)

Diferente da cidade de Natal, em Curitiba, todos os Pacotes de MEEs propostos geraram o aumento da Tomin, porém, como a segunda cidade tem as temperaturas médias anuais inferiores, por estar localizada em um clima oceânico temperado, esse resultado se mostrou satisfatório e também causou a redução da Carga Térmica Total da Unidade Habitacional em todos os casos analisados.

O Pacote 1, composto apenas com as MEEs que tiveram os melhores desempenhos individuais entre as medidas, relativo ao isolamento com lã de rocha de 5 cm nas paredes externas (MEE2) e na cobertura (MEE5), apesar de ter um bom desempenho, com redução de CgTTUH de 62,85% em relação ao caso de estudo, quando comparados com os outros pacotes, foi o que resultou a menor redução de consumo.

O Pacote 2, possui além da MEEs 2 e 3, também a MEE 6, que é a redução da cobertura de 0,60 para 0,30, com utilização de cor mais clara. Quando comparado com o Pacote 1, pode-se observar que, como esperado, a MEE6 causou uma redução, tanto no Tomax quanto no Tomín, porém a economia do consumo para resfriamento superou o aumento do consumo para aquecimento, gerando uma economia geral e uma diminuição da carga térmica da edificação de 1123,22 kWh/ano, 85,66%, em relação ao caso de referência.

As MEEs 2, 3 e 7, compõe o Pacote 3, sendo a última medida referente à colocação de venezianas nas janelas. Com esse pacote ocorreu o mesmo efeito do Pacote 2, mas a economia geral resultante foi um pouco menor. Ainda assim, quando comparado com caso de estudo houve uma redução da CgTTUH de 89,49%, equivalente à 988,71 kWh/ano.

Já o Pacote 4, é formado pelas MEEs 2,3,5 e 6. Quando analisados individualmente, as MEEs 3 e 6, causavam a diminuição tanto da Tomax, que é favorável para a edificação em estudo, quanto da Tomín, que não é satisfatório, considerando as baixas temperaturas de Curitiba. Porém, quando analisados em conjunto com as MEEs 2 e 5, esse efeito foi balanceado, resultando em aumento de Tomax e diminuição do Tomín, resultando na diminuição da Carga Térmica da edificação e fazendo com que tanto o consumo para resfriamento quanto o consumo para aquecimento sofressem redução.

E por último Pacote 5, assim como o Pacote 4, é composto com as MEEs 2, 3, 5 e 6, porém acrescido a MEE8, relativa à utilização de vidros duplos. Foi o Pacote que causou a maior redução de carga entre os analisados, porém, o menor percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas dentro da faixa de temperatura operativa, no entanto ainda satisfatória. Quando comparado com o caso de estudo, a redução da Carga Térmica Total da Unidade Habitacional foi de 93,71%, passando de 1104,88 kWh/ano para 69,52 kWh/ano e a PHFT de 75,42% para 88,26%.

O resultado da classificação conforme a INI-R está demonstrado na Tabela 24.

Tabela 24 - Classificação das MEEs aplicadas na edificação em Curitiba/PR

Identificação da edificação	RedCgTT_{UH} (%)	$\frac{CgTT}{ApUH}$	$\Delta PHFT$	$\Delta PHFT_{mín}$ (classe A e B)	Classe
Pacote 1	68,70	10,64	14,67	0,00	A
Pacote 2	85,66	4,87	14,80	0,00	A
Pacote 3	79,47	6,98	17,00	0,00	A
Pacote 4	91,14	3,01	13,31	0,00	A
Pacote 5	94,70	1,80	13,62	0,00	A

Fonte: Autora (2022)

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise da viabilidade econômica, em Curitiba, foram considerados todos os pacotes de medidas de eficiência energética avaliados, dado que todos alcançaram classe de eficiência energética superior ao edifício de referência e se mostram coerentes. Porém para a cidade de Natal, apesar de todos os terem atingido desempenho energético melhor do que o caso de estudo, o Pacote 4 não será avaliado economicamente, considerando que possui o maior número de medidas e resultou no pior desempenho entre os pacotes avaliados. Com isso, com exceção das MEEs 1 e 4, que não compõem nenhum pacote, todas as outras farão parte da análise de viabilidade econômica dos pacotes.

Em relação à pintura das paredes externas e cobertura para redução da absorvância, na análise de viabilidade o MEE 3 não será incluído, considerando que foi apenas alterada a cor da tinta para um tom mais claro e que a pintura das paredes já é um investimento que faz parte da manutenção da edificação. Já a pintura da cobertura na MEE6, como o caso base considera apenas o uso de telha de barro sem camada de tinta, essa medida gerou um custo adicional. Conforme o arquivo SINAPI do mês de janeiro de 2022, código 00035692, referente à Tinta Látex Acrílica Standard de Cor Branca, custa 14,65 R\$/L. Considerando que Latas de tintas de 18 litros rendem de 300 a 500 m² por demão, logo, obteve-se um valor de rendimento de 7,40 m²/L e, conseqüentemente, 1,98 R\$/m². De acordo com a Associação Brasileira de Pintores Profissionais (2022), o custo da mão de obra para a pintura de 3 demãos com o tipo de tinta citado anteriormente, deve ser no mínimo 20,20 R\$/m². Sendo a área de cobertura equivalente a 70,36 m², o gasto com tinta para a pintura da cobertura é R\$ 1941,90.

O preço do vidro duplo utilizado na composição do MEE7 foi obtido a partir de pesquisa de mercado, sendo cotado a 400,00 R\$/m². Visto que a área de abertura das fachadas do edifício equivale a 4,2 m², a aplicação da medida 7 tem um custo de R\$ 1680,00.

Na análise da cobertura, a medida que obteve melhor resultado foi a MEE 5, que é composta por telha de barro duas águas, isolamento térmico de 5 cm com lã de rocha e forro PVC. Apesar da classificação do caso de estudo ter sido feita considerando forro de madeira, a edificação possui forro de PVC, mas ele se encontrava fora dos limites da INI-R, então para possibilitar a utilização do metamodelo e atingir os limites mínimos da INI-R, foi considerado nos cálculos forro de madeira. No entanto, no estudo de viabilidade da MEE 5, não será

considerado a troca do forro e das telhas de barros, apenas a aplicação do isolamento térmico de 5 cm de lã de rocha. De acordo com dados de estudo de mercado, o metro quadrado de rolo de lã de rocha custa em torno de R\$ 20,63 e o preço de colocação de lã de rocha, conforme Triana (2018), é 9,07 R\$/m². Com isso, considerando a área da cobertura que será revestida, 54,7 m², o valor total da medida para a edificação fica em torno de R\$ 1624,317.

Nas paredes externas, também foi considerado o isolamento térmico com lã de rocha com espessura de 5 cm, a partir da MEE 2. Como a estrutura interna da parede se manteve igual, então, o gasto com isolamento estaria relacionado somente à colocação dos painéis de lã de rocha. O preço de colocação foi considerado o mesmo proposto anteriormente para a cobertura, referente à 9,07 R\$/m² e o valor dos painéis de lã de rocha com densidade de 32 kg/m³ fica em torno de 36,32 R\$/m². Como a área das paredes externas totalizam 61,97 m², o valor total seria 2250,75.

Para a MEE8, é necessário a substituição das janelas do caso base para janelas com venezianas. Para as esquadrias de 100x120, optou-se pelo uso da janela de alumínio de correr com 3 folhas (2 venezianas e 1 para vidro), código 94572 da SINAPI, com custo de 527,97/m², resultando em um gasto de R\$ 633,56. Já as janelas de 100x150, como não constavam na tabela SINAPI, foi considerado a janela de alumínio de 120x150 de correr com 4 folhas (2 venezianas e 2 vidros) código 94573, com o preço 426,67/m², totalizando R\$ 1.280,01, considerando as duas unidades substituídas. Em ambas as composições já estão inclusos os materiais, sendo eles, vidros, batente, acabamento com acetato ou brilhante e ferragens e a mão de obra para instalação. O preço de aplicação da MEE8 ficou 1913,60.

Tendo os custos determinados, pode-se iniciar a análise de viabilidade dos pacotes de medidas de eficiência energética. Considerando que, o valor total cobrado ao consumidor final é calculado segundo a tarifa de energia elétrica, que corresponde à 0,83156 R\$/kWh em Curitiba e 0,61948 R\$/kWh em Natal.

Com os valores de consumo energético, do caso base e dos pacotes de medidas de eficiência energéticas, obtidos através do metamodelo, foi possível calcular a redução do consumo energético e com isso, a redução do custo de energia elétrica dos pacotes em relação ao edifício base para Natal e Curitiba, como pode ser visualizado pela Tabela 25 Tabela 26, respectivamente.

Tabela 25 - Redução do consumo e da tarifa de energia elétrica em Natal

Pacotes	Medidas de eficiência energéticas	Redução no consumo energético (kWh/ano)	Redução anual da tarifa de energia elétrica (R\$/ano)
Pacote 1	MEE3, MEE6	651,02	R\$ 403,29
Pacote 2	MEE3, MEE6, MEE8	704,12	R\$ 436,19
Pacote 3	MEE3, MEE6, MEE7	662,82	R\$ 410,60

Fonte: Autora (2022)

Tabela 26 - Redução do consumo e da tarifa de energia elétrica em Curitiba

Pacotes	Medidas de eficiência energéticas	Redução no consumo energético (kWh/ano)	Redução anual da tarifa de energia elétrica (R\$/ano)
Pacote 1	MEE2, MEE5	214,33	R\$ 178,23
Pacote 2	MEE2, MEE5, MEE6	282,98	R\$ 235,32
Pacote 3	MEE2, MEE5, MEE7	257,92	R\$ 214,48
Pacote 4	MEE2, MEE5, MEE3, MEE6	305,15	R\$ 253,75
Pacote 5	MEE2, MEE5, MEE3, MEE6, MEE8	319,56	R\$ 265,74

Fonte: Autora (2022)

Calculada a redução de energia elétrica proporcionada pela aplicação dos pacotes de medidas de eficiência energética, foi possível compor um fluxo de caixa para cada pacote, com o objetivo de calcular indicadores financeiros e demonstrar se os casos são ou não viáveis economicamente.

Tabela 27 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica para os Pacotes de MEEs em Natal

Pacote 1 - Natal			Pacote 2 - Natal		
Período	Valor	Valor presente	Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 1.941,90		0	-R\$ 3.855,47	
1	R\$ 403,29	R\$ 364,15	1	R\$ 436,19	R\$ 393,85
2	R\$ 403,29	R\$ 328,80	2	R\$ 436,19	R\$ 355,62
3	R\$ 403,29	R\$ 296,89	3	R\$ 436,19	R\$ 321,10
4	R\$ 403,29	R\$ 268,07	4	R\$ 436,19	R\$ 289,93
5	R\$ 403,29	R\$ 242,05	5	R\$ 436,19	R\$ 261,79
6	R\$ 403,29	R\$ 218,55	6	R\$ 436,19	R\$ 236,38
7	R\$ 403,29	R\$ 197,34	7	R\$ 436,19	R\$ 213,44
8	R\$ 403,29	R\$ 178,19	8	R\$ 436,19	R\$ 192,72
9	R\$ 403,29	R\$ 160,89	9	R\$ 436,19	R\$ 174,01
10	R\$ 403,29	R\$ 145,27	10	R\$ 436,19	R\$ 157,12
	VPL	R\$ 458,30		VPL	-R\$ 1.259,50
	TIR	16%		TIR	2%
	Payback Corrigido	8		Payback Corrigido	>10 anos

Pacote 3 - Natal		
Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 3.621,90	
1	R\$ 410,60	R\$ 370,75
2	R\$ 410,60	R\$ 334,76
3	R\$ 410,60	R\$ 302,27
4	R\$ 410,60	R\$ 272,93
5	R\$ 410,60	R\$ 246,44
6	R\$ 410,60	R\$ 222,52
7	R\$ 410,60	R\$ 200,92
8	R\$ 410,60	R\$ 181,41
9	R\$ 410,60	R\$ 163,81
10	R\$ 410,60	R\$ 147,91
	VPL	-R\$ 1.178,20
	TIR	2%
	Payback Corrigido	>10 anos

Fonte: Autora (2022)

Pode-se concluir, através da Tabela 27, a qual estão demonstrados os cálculos de VPL, TIR e *Payback* da edificação de Natal/RN, que apenas o Pacote 1 se mostrou viável, dado que, foi o único pacote que atingiu um *Payback* abaixo de 10 anos. Já em Curitiba, conforme a Tabela 28, pode-se observar que nenhum dos cinco pacotes de MEEs atingiu *Payback* abaixo de 10 anos, portanto, nenhum é viável economicamente.

Tabela 28 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica para os Pacotes de MEEs em Curitiba

Pacote 1 - Curitiba		
Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 3.875,07	
1	R\$ 178,23	R\$ 160,93
2	R\$ 178,23	R\$ 145,31
3	R\$ 178,23	R\$ 131,20
4	R\$ 178,23	R\$ 118,47
5	R\$ 178,23	R\$ 106,97
6	R\$ 178,23	R\$ 96,59
7	R\$ 178,23	R\$ 87,21
8	R\$ 178,23	R\$ 78,75
9	R\$ 178,23	R\$ 71,10
10	R\$ 178,23	R\$ 64,20
	VPL	-R\$ 2.814,34
	TIR	-12%
	Payback Corrigido	>10 anos

Pacote 2 - Curitiba		
Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 5.816,97	
1	R\$ 235,32	R\$ 212,48
2	R\$ 235,32	R\$ 191,85
3	R\$ 235,32	R\$ 173,23
4	R\$ 235,32	R\$ 156,41
5	R\$ 235,32	R\$ 141,23
6	R\$ 235,32	R\$ 127,52
7	R\$ 235,32	R\$ 115,15
8	R\$ 235,32	R\$ 103,97
9	R\$ 235,32	R\$ 93,88
10	R\$ 235,32	R\$ 84,76
	VPL	-R\$ 4.416,49
	TIR	-14%
	Payback Corrigido	>10 anos

Pacote 3 - Curitiba		
Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 5.555,07	
1	R\$ 214,48	R\$ 193,66
2	R\$ 214,48	R\$ 174,86
3	R\$ 214,48	R\$ 157,89
4	R\$ 214,48	R\$ 142,56
5	R\$ 214,48	R\$ 128,73
6	R\$ 214,48	R\$ 116,23
7	R\$ 214,48	R\$ 104,95
8	R\$ 214,48	R\$ 94,76
9	R\$ 214,48	R\$ 85,56
10	R\$ 214,48	R\$ 77,26
	VPL	-R\$ 4.278,61
	TIR	-14%
	Payback Corrigido	>10 anos

Pacote 4 - Curitiba		
Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 5.816,97	
1	R\$ 253,75	R\$ 229,12
2	R\$ 253,75	R\$ 206,88
3	R\$ 253,75	R\$ 186,80
4	R\$ 253,75	R\$ 168,67
5	R\$ 253,75	R\$ 152,30
6	R\$ 253,75	R\$ 137,51
7	R\$ 253,75	R\$ 124,17
8	R\$ 253,75	R\$ 112,11
9	R\$ 253,75	R\$ 101,23
10	R\$ 253,75	R\$ 91,41
	VPL	-R\$ 4.306,77
	TIR	-13%
	Payback Corrigido	>10 anos

Pacote 5 - Curitiba		
Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 7.468,64	
1	R\$ 265,74	R\$ 239,94
2	R\$ 265,74	R\$ 216,65
3	R\$ 265,74	R\$ 195,62
4	R\$ 265,74	R\$ 176,63
5	R\$ 265,74	R\$ 159,49
6	R\$ 265,74	R\$ 144,01
7	R\$ 265,74	R\$ 130,03
8	R\$ 265,74	R\$ 117,41
9	R\$ 265,74	R\$ 106,01
10	R\$ 265,74	R\$ 95,72
	VPL	-R\$ 5.887,12
	TIR	-15%
	Payback Corrigido	>10 anos

Fonte: Autora (2022)

5 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou a eficiência energética de uma residência unifamiliar, considerando duas zonas bioclimáticas distintas, com base no método simplificado da nova proposta da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Para tanto, utilizou-se como caso de estudo, um projeto representativo de edificação unifamiliar, de baixa renda (nível 1, renda familiar de até R\$ 1.600,00), levantado por Montes (2016).

Primeiramente, foi analisado a carga térmica de resfriamento e aquecimento dos casos de estudo e de referência, localizados na cidade de Curitiba/PR e Natal/RN, por meio da versão do metamodelo para avaliação da eficiência energética de edificações residenciais, vigente no início do mês de março de 2022, com base na nova proposta do regulamento brasileiro, disponibilizado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Com os resultados de Carga Térmica Total da Unidade Habitacional (C_{gTTUH}) e Percentual de horas ocupadas com conforto térmico PHFT, a envoltória do caso de estudo foi classificada segundo o “Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto à C_{gTTUH} ” presente na INI-R, o qual foi categorizado na classe “C” de eficiência energética nas duas cidades em estudo.

Em seguida, foram aplicadas medidas de eficiência energética (MEEs) ao caso de estudo, com o objetivo de avaliar a carga térmica da edificação com as medidas, fazendo uso do mesmo método utilizado anteriormente, nas duas cidades propostas, Natal/RN e Curitiba/PR. As oito MEEs propostas dizem respeito ao isolamento das paredes externas com lã de rocha de 2,5 cm (MEE 1) e 5,0 cm (MEE 2), isolamento da cobertura também com lã de rocha de 2,5 cm (MEE 4) e 5,0 cm (MEE 5), a redução da absorvância das paredes externas de 0,5 para 0,3 (MEE 3) e da cobertura de 0,6 para 0,3 (MEE 6), além da aplicação de vidro duplo nas janelas da APPs (MEE 7) e da colocação de venezianas nas APPs (MEE 8). Sendo que, com os resultados das medidas de eficiência obtidos pelo metamodelo, foram formados pacotes com as melhores medidas de eficiência energética para Natal/RN e Curitiba/PR.

Em Natal, a redução da absorvância das paredes externas (MEE3) e da cobertura (MEE6), uso de venezianas nas janelas (MEE8) e vidros duplos (MEE7), obtiverem resultados satisfatórios, atingindo reduções de até 32,61% da carga térmica total da edificação quando comparado à edificação de referência, e foram agrupados com diferentes combinações em quatro pacotes. Sendo o Pacote 1, composto pelas MEEs 3 e 4, com resultado a redução de

4722,07 kWh/ano, equivalente à 41,73%, em relação à edificação de referência. No Pacote 2 as MEEs 3, 4 e 8 estão presentes, obteve-se como resultado uma redução ainda maior do que o anterior, com uma redução de 43,85% da carga térmica da edificação. O Pacote 3, constituído pelas MEEs 3, 6 e 7, teve redução semelhante aos anteriores, referente à 42,20%, também comparados ao caso de referência. Já o Pacote 4, foi o pacote de medidas que gerou a menor redução do da CgTTUH, com 41,45% de diminuição em relação à edificação referência e por ser o pacote que possui o maior número de medidas e que resultou no pior desempenho nem foi considerado no estudo financeiro.

Em Curitiba, as MEEs 2 e 5, referentes ao isolamento com 5 cm de lã de rocha, das paredes externas e da cobertura, respectivamente, foram as medidas que obtiveram os melhores resultados e fizeram parte da composição de todos os cinco pacotes, junto com as MEEs 3, 6, 7 e 8, que tiveram resultados bons ou medianos. Sendo assim, o Pacote 1, composto apenas com as MEEs 2 e 5, apresentou redução de CgTTUH de 68,70% em relação à edificação de referência, a menor entre os cinco pacotes. O Pacote 2, que possui as MEEs 2, 3 e 6, gerou uma diminuição da carga térmica da edificação de 85,66%. As MEEs 2, 3 e 7, compõe o Pacote 3, também teve um bom resultado com redução de 79,47% da carga térmica em relação ao caso de referência. E por fim, os Pacotes 4 e 5, compostos pelas MEEs 2, 3, 5 e 6, além da 8, que faz parte apenas do pacote 5, obtiveram os melhores resultados quando considerados a carga térmica total da edificação, com reduções de 91,14 e 94,70% em relação ao caso de referência.

No estudo de viabilidade, em Natal, devido ao custo elevado das modificações nas janelas em relação à economia gerada, mostrou-se viável apenas o Pacote 1, composto pelas MEEs 3 e 6. A economia anual de energia elétrica gerado pelo pacote em questão foi de R\$ 445,98 e o investimento para implantação foi de R\$ 1.941,90, referente apenas à pintura da cobertura, dado que a pintura das paredes externas não gera custos extras, considerando que esse serviço já faz parte da manutenção da edificação. Com isso, o Pacote 1, obteve um *payback* de 8 anos e foi classificado como C, segundo as classes de eficiências impostas pela INI-R. Já em Curitiba, embora todos os pacotes tenham resultado em classificação “A”, nenhum se mostrou viável economicamente.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações encontradas para realização deste trabalho foram:

- O metamodelo disponibilizado pelo PBE Edifica, utilizado para a estimativa de carga térmica da edificação, está em desenvolvimento, por conta disso, ele sofreu algumas modificações durante o desenvolvimento desse trabalho, mudando algumas variáveis de entrada e gerando dúvidas, além disso, não havia sido desenvolvido ainda um manual de uso.
- Dificuldade de coletar os preços relacionados aos vidros e do isolamento com lã de rocha no arquivo disponibilizado pelo SINAPI, tendo que recorrer para estudo de mercado.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a realização de trabalhos futuros, sugere-se:

- O trabalho se limitou ao estudo de duas zonas bioclimáticas, as zonas 1 e 8. Para trabalhos futuros, sugere-se que outras zonas sejam comparadas, com o objetivo de levantar suas discrepâncias e limitações.

6 REFERÊNCIAS

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

ABESCO. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Plano Decenal de Eficiência Energética começa a ganhar forma**. 2020. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/novidade/plano-decenal-de-eficiencia-energetica-comeca-a-ganhar-forma/> Acesso em: 10 jan. 2022.

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, p. 30. 2005.

ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy). **The 2018 International Energy Efficiency Scorecard**. Washington, 2018. Disponível em: <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/i1801.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2021

ALTOÉ, Leandra et al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. Estudos Avançados [online]. 2017, v. 31, n. 89, pp. 285-297. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022> . Acesso em: 28 dez. 2021.

ANEEL -. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - Disponível em: Acesso em: 03 jan. 2022.

ASSUNÇÃO, Juliano et al. Climate Policy Initiative (Cpi). **Panorama e desafios da eficiência energética no brasil**. 2018. Disponível em: https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2018/08/Sumario_Panorama_Desafios_Eficiencia_Energetica_Brasil.pdf. Acesso em: 09 jan. 2022.

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. doi:10.11606/D.3.2004.tde-23062005-084739. Acesso em: 05 jan. 2022.

BARRETO, Pedro. História - Rio-92. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, v. 56, p. 82-85, dez. 2009 Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/images/stories/PDFs/desafios056_completa.pdf Acesso em: 03 jan. 2022.

BARZAN NETO, Antonio. **Análise da eficiência energética de uma edificação residencial através da nova proposta brasileira de etiquetagem de edificações**. 2018. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ufsc, Florianópolis, 2018.

BAVARESCO, V. M., & GHISI, E. **Métodos de avaliação de eficiência energética por consumo global e energia primária**. 2016. 135 f. Disponível em: https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/downloads/201602_Bavaresco_Ghisi.pdf Acesso em: 19 jan. 2022.

BNDES. **BNDES aprova nova política ambiental e cria linha para projetos de eficiência energética**. 2006. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20060713_not117_06. Acesso em: 07 jan. 2022.

BNDES. **BNDES melhora condições para linha de crédito de apoio à eficiência energética.** 2015. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20150728_eficienciaenergética. Acesso em: 07 jan. 2022.

BOLDRINI, Leandra Carolina. **BIM e Design da experiência do usuário na otimização de uma ferramenta para avaliação simplificada da eficiência energética da envoltória de edificações residenciais.** 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ufsc, Florianópolis, 2020.

BORN, Rubens Harry. **Agenda 21 e a biodiversidade.** Brasília: MMA, 2006. 23 p. (Caderno de debate agenda 21 e sustentabilidade).

BRASIL Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2009.

BRASIL Projeto de Lei nº 6539, de 2019. Altera a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasília: Senado, 2009.

BRASIL. Consulta Pública nº 18, de 12 de julho de 2021. Proposta de alteração da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Brasília: Diário Oficial da União, 2021.

BRASIL. Decreto de 18 de julho de 1991. Institui o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 1991.

BRASIL. Instrução normativa nº 2, de 4 de junho de 2014. Altera a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Brasília: Diário Oficial da União, 2014.

BRASIL. Lei 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

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. Brasília: Diário Oficial da União, 2001.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética. Brasília: MME Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cgiee> Acesso em: 06 jan. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética.** Brasília: MME, 2011

BRASIL. Ministério de minas e energia; Empresa de pesquisa energética. **Plano Nacional de Energia 2050: Demanda de Energia.** Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. MME/EPE. **Nota Técnica DEA 14/10: Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019).** Rio de Janeiro: MME/ EPE, 2010.

BRASIL. Portaria Interministerial MME/MIC n.1.877, de 30 de dezembro de 1985. Institui o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 1985.

BRASIL. Portaria nº 50, de 2013. **Anexo Geral V - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Brasília, DF, 2013.

CARLO, Joyce C.; LAMBERTS, Roberto. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy And Buildings**. [s.i.], v. 40, p. 2002-2008. 11 mai. 2008.

CAVALCANTI, Fernando Sa. **Impacto da absorvância e transmitância das fachadas na eficiência energética e conforto térmico para habitação de interesse social**. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, [S.L.], n. 28, 23 nov. 2020. Programa de Pos-Graduacao em Arquitetura e Urbanismo - Univ. de Brasilia. <http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n28.2020.10>.

CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações). **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Florianópolis, 2020. Centro Brasileiro de Informações de Eficiência energética. **PROCEL Info**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID={A84BD56D-D750-477C-8E20-2BF2D94B4EE2}>. Acesso em: 07 jan. 2022.

COELHO, Thamys da Conceição Costa et al. **Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural**. Ambiente Construído, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 147-161, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100129>.

CPDOC (Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil). FGV. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92)**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.fgv.br/cpdoc/acervo/dicionarios/verbete-tematico/conferencia-do-rio>. Acesso em: 28 dez. 2021.

CUNHA, Belinda Pereira da; AUGUSTIN, Sérgio. **Sustentabilidade ambiental: Estudos jurídicos e sociais**. Caxias do Sul, RS: Educs, 2014. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf. Acesso em: 02 Jan 2022

ELETOBRAS. **Proposta do Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEf)**. Disponível em <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PlanoDecenalEficienciaEnergetica.aspx> Acesso em: 10 jan. 2022.

ELI, Letícia Gabriela. **Avaliação de medidas de eficiência energética em uma edificação multifamiliar por meio do regulamento brasileiro de etiquetagem**. 2017. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2017.

EPE. **Balanco Energético Nacional : Ano Base 2020**. Rio de Janeiro, Brasil. 2021.

EPE. Empresa de pesquisa energética. **Atlas da Eficiência Energética**. Relatório de Indicadores. Brasília, 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia - 2030**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 08 jan. 2022.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO framework for the Urban Food Agenda**. Roma, 2019. doi: <<https://doi.org/10.4060/ca3151en>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

FERRADOR FILHO, Antonio Luiz; AGUIAR, Alexandre de Oliveira e; KNISS, Claudia Terezinha. **Eficiência Energética com base nos critérios PROCEL: Estudo de caso em edificio público**. Rio

Grande do Norte v. 7, p. 2-25, 22 dez. 2018. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2018.7216>.

FILHO, Bolívar Pêgo *et al.* Impactos Fiscais da Crise de Energia Elétrica: 2001 e 2002. **Texto Para Discussão**, Rio de Janeiro, n. 816, ago. 2001. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1995/1/TD_816.pdf. Acesso em: 05 jan. 2022.

FOSSATI, Michele. **Melhorias na regulamentação de eficiência energética de edificações residenciais**. CBIC. 2021. Disponível em: <https://cbic.org.br/artigo-melhorias-na-regulamentacao-de-eficiencia-energetica-de-edificacoes-residenciais/>. Acesso em: 18 jan. 2022.

HADDAD, Jamil. A lei de eficiência energética e os possíveis impactos nos setores produtivos. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Proceedings online**. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100006&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 06 jan. 2022.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios : síntese de indicadores 2015**. 108p. Rio de Janeiro, 2016.

IEA. International Energy Agency (Agência Internacional de Energia). **World energy outlook 2021**. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf> Acesso em: 17 dez. 2021

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. **A eficiência energética e o novo modelo do setor energético**. Rio de Janeiro: INEE, 2001.

Instituto Acende Brasil. **O Plano Nacional de Energia 2050, cenários e sinais de longo prazo**. White Paper 25, São Paulo, 24 p, 2021.

Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Financiamento**. Disponível em: http://www.inee.org.br/escos_financiamento.asp?Cat=escos. Acesso em: 07 jan. 2022.

IPIRANGA, Ana Silva Rocha et al. RAM. **Revista de Administração Mackenzie** [online]. 2011, v. 12, n. 3, pp. 13-20. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-69712011000300002>. Acesso em: 02 Jan 2022

IX Estudos e Projetos. Eletrobras. **Produto 5 -Propostas de novas ações no setor de Edificações**. Minas Gerais, 2021. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/iX%20-%20Eletrobras%20-%20PDef%20-%20Produto%2005_vfinal%20-%20gravado%20e%20impresso.pdf Acesso em: 10 jan. 2022.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Conheça os produtos da Proposta do Plano Decenal de Eficiência Energética (PDef)**. Disponível em <https://labeee.ufsc.br/node/978> Acesso em: 10 jan. 2022.

LABEEE. **Proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. 2012. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro> Acesso em: 18 jan. 2022.

LADE. **O que é eficiência energética em edificações?** Disponível em: <https://lade.ufms.br/oi/duvidas/o-que-e-eficiencia-energetica-em-edificacoes/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:

<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2021.

LIMA, Maria Thereza da Silva Lopes *et al.* Sobre a Situação Energética Brasileira: De 1970 a 2030. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 6-16, 26 jul. 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547642003.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2021.

MADERSPACHER, Johannes *et al.* **Comparison of different meta model approaches with a detailed buiding model for long-term simulations.** In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 14., 2015, Hyderabad, India. **Proceedings...** [s.i.]: IBPSA, 2015. p. 106 - 113.

MELO, A.P. *et al.* Development of surrogate models using artificial neural network for building shell energy labelling. **Energy Policy**, [S.L.], v. 69, p. 457-466, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.001>.

MELO, Ana Paula. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais.** 2012. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MISK, André Ferreira. **Avaliação de medidas de eficiência energética na envoltória de um edifício de escritórios por meio de um Método Simplificado.** 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2019.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006/2015.** Brasília, 2006.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília, 2007.

MOURA NETO, Virginio Francisco de. **Etiqueta PBE edifica no campus cajazeiras – Estudo de caso.** 2021. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

PAMPLONA, Edson; MEDINA, Juan; ARAGÓN, Carolina. Identificação de investimentos em eficiência energética e sua avaliação de risco. **Gestão & Produção.** São Carlos, v. 20, n. 3, p. 525-536, 2013

PBE EDIFICA. **A ETIQUETA.** Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>. Acesso em: 10 jan. 2022.

PBE EDIFICA. **Nova Instrução Normativa Inmetro.** 2021. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/nova-ini>. Acesso em: 10 jan. 2022.

Programa Brasileiro de Etiquetagem. PBE Edifica. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)** Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/nova-ini/inir>. Acesso em: 11 jan. 2022.

SIGNOR, Régis. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SILVA, Michel Klein Pinheiro da. **Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica**. 2019. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2019.

SOUSA, Raquel Fernandes de. **Análise Financeira de Medidas de Eficiência Energética e Geração de Energia em Habitações de Interesse Social**. 2019. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2019.

SOUZA, Andrea; GUERRA, Jorge Carlos Corrêa; KRÜGER, Eduardo. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. **Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 7, n. 12, 13 jun. 2011. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2571/1675>. Acesso em: 28 dez. 2021.

SOUZA, Hamilton Moss de; LEONELLI, Paulo Augusto; PIRES, Carlos Alexandre Príncipe; SOUZA JÚNIOR, Valdir Borges; PEREIRA, Roberto Wagner Lima. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 12, n. 1, p. 7-26, 1o Sem. 2009.

STIEFELMANN, Gessika Caldeira. **Mudanças na visão sobre ambiente entre conferência das nações unidas para o meio ambiente e o desenvolvimento (Eco 92) e a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20)**. 2012. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Relações Internacionais, Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TRIANA, María Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. 2016. 473 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2016.

VANZOLINI. Fundação Vanzolini. **PBE edifica**. Disponível em <https://vanzolini.org.br/produto/pbe-edifica/> Acesso em: 11 jan. 2022.

WESTPHAL, Fernando S. LAMBERTS, Roberto. **Regression analysis of electric energy consumption of commercial buildings in Brazil**. In: International IBPSA Building Simulation Conference. 2007. **Proceedings...**Beijing, China: BS 2007.

ZHAO, Hai-Xiang; MAGOULÈS, Frédéric. A review on the prediction of building energy consumption. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. [s.i.], v. 16, p. 3586-3592. 27 abr. 2012.