



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Eduardo Pierozan

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL E DE ENERGIA QUASE ZERO NO
CLIMA DA SERRA GAÚCHA**

Araranguá
2021

Eduardo Pierozan

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL E DE ENERGIA QUASE ZERO NO
CLIMA DA SERRA GAÚCHA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em energia e sustentabilidade.

Orientadora: Profa. Elise Sommer Watzko, Dra.

Coorientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD.

Araranguá

2021

Ficha de identificação da obra

Pierozan, Eduardo
ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL E DE ENERGIA QUASE
ZERO NO CLIMA DA SERRA GAÚCHA / Eduardo Pierozan ;
orientadora, Elise Sommer Watzko, coorientador, EneDir
Ghisi, 2021.
163 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em
Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2021.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. eficiência
energética. 3. edificação de energia quase zero. 4.
simulação computacional. I. Sommer Watzko, Elise . II.
Ghisi, EneDir. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Energia e
Sustentabilidade. IV. Título.

Eduardo Pierozan

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL E DE ENERGIA QUASE ZERO NO
CLIMA DA SERRA GAÚCHA**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Elise Sommer Watzko, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Forgiarini Rupp, Dr.
Technical University of Denmark

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em energia e sustentabilidade.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Profa. Elise Sommer Watzko, Dra.
Orientadora

Araranguá, 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Elise, que aceitou ser minha orientadora, não poupando esforços para que pudesse ser mantida a área de pesquisa do trabalho. Agradeço também por me ter trazido a oportunidade do estágio em docência, pela contribuição à dissertação, além de toda a atenção e paciência despendidos.

Ao Professor Enedir, por ter aceitado coorientar o trabalho, com enorme comprometimento e importantes contribuições.

Agradeço à banca, composta pelos professores Giuliano Arns Rampinelli e Ricardo Forgiarini Rupp, pela avaliação do trabalho e contribuições.

À minha família e em especial à minha noiva Fernanda, pelo apoio e compreensão durante este período.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Energia em Sustentabilidade e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, por todo o aprendizado oferecido.

RESUMO

As edificações residenciais consomem 29,6% da energia elétrica gerada no Brasil, representando o segundo maior setor consumidor. Paralelamente existe um déficit de 5,9 milhões de habitações no país. As habitações de interesse social vêm sendo amplamente difundidas desde o ano de 2009, com a criação do Programa Minha Casa Minha Vida. No entanto, diversos estudos apontaram que este tipo de habitação costuma fracassar em proporcionar conforto térmico aos seus ocupantes. Para compensar o baixo desempenho térmico, os ocupantes tendem a climatizar artificialmente suas habitações, o que aumenta o consumo de energia elétrica no setor residencial. Esta dissertação teve como objetivo selecionar um projeto representativo de habitação de interesse social e definir medidas de eficiência energética para que a edificação fosse de energia quase zero. Foi considerado o contexto climático da serra gaúcha, onde se avaliou o nível de desempenho térmico e a classe de eficiência energética do projeto representativo, por meio da aplicação dos métodos computacionais da Norma ABNT NBR 15575 e da Instrução Normativa INI-R do INMETRO. Foi aplicado um questionário para levantamento dos hábitos de uso e ocupação em habitações de interesse social, a fim de verificar se eles eram condizentes com aqueles pré-definidos nas normas utilizadas. Por fim, foi realizada a análise de viabilidade econômica das medidas de eficiência energética considerando dois cenários distintos de uso e ocupação. Entre os resultados obtidos estão: a descrição do contexto climático; a seleção de um projeto representativo de interesse social; a avaliação de desempenho térmico e eficiência energética do projeto representativo por simulação computacional; a determinação da envoltória de menor custo para o projeto representativo ter Classe A de eficiência energética; a identificação dos hábitos de uso e ocupação de moradores de habitações de interesse social na serra gaúcha; o dimensionamento de um sistema de geração local de energia renovável e a análise de viabilidade econômica. No cenário de uso e ocupação conforme a INI-R, a edificação de energia quase zero teve custo 11,7% maior em relação ao projeto representativo, com redução do consumo de energia primária de 14,6%. No cenário de uso e ocupação adaptado a partir da pesquisa, por sua vez, o sobrecusto foi de 9,9%, e a redução do consumo de energia primária foi de 25,1% em relação ao projeto representativo. A análise econômica das medidas utilizadas indicou Valor Presente Líquido positivo e período de retorno do investimento menor que seis anos. Concluiu-se que as edificações de interesse social e de energia quase zero avaliadas neste trabalho são tecnicamente e economicamente viáveis. Por meio da utilização das medidas de eficiência energética foi possível atingir o balanço de energia quase zero, nos termos da INI-R.

Palavras-chave: eficiência energética, edificação de energia quase zero, simulação computacional.

ABSTRACT

Residential buildings consume 29.6% of the electricity generated in Brazil, representing the second largest consumer sector. At the same time, there is a deficit of 5.9 million homes in the country. Social housing has been extensively built since 2009, with the creation of the *Minha Casa Minha Vida* Program. However, several studies have shown that this type of housing usually fails to provide thermal comfort to its occupants. To compensate their poor thermal performance, occupants tend to artificially acclimatize their homes, which increases electricity consumption in the residential sector. This study aimed to select a representative social housing model and define energy efficiency measures, for the building to achieve the nearly zero energy target. The southern Brazilian climatic context was considered, and the thermal performance and energy efficiency of the representative model were evaluated through the application of the computational methods of the ABNT NBR 15575 Standard and the INMETRO Normative Instruction INI-R. A questionnaire was applied to survey the habits of use and occupation in social housing in order to verify if they were consistent with those predefined in the standards. Finally, an analysis of the economic feasibility of energy efficiency measures was carried out considering two scenarios of use and occupation. The main results are: the description of the climate context; the selection of a representative model of social housing; the evaluation of thermal performance and energy efficiency of the representative model through computer simulation; the determination of the lowest cost envelope for the representative model to have Class A energy efficiency; the identification of the habits of use and occupation of residents of social housing in the southern Brazilian region; the local renewable energy generation system sizing and the economic feasibility analysis. In the scenario of use and occupation according to INI-R, the nearly zero energy building had an 11.7% higher cost compared to the representative model, with a reduction in primary energy consumption of 14.6%. In the scenario where the use and occupation pattern was adapted from the survey, the extra cost was 9.9%, and the reduction in primary energy consumption was 25.1% in relation to the representative model. The economic analysis of the measures used indicated a positive Net Present Value and a payback of nearly six years. It was concluded that the nearly zero energy buildings for social housing evaluated in this work are technically and economically feasible. Through the use of energy efficiency measures, it was possible to reach the nearly zero energy target according to the INI-R Normative Instruction.

Keywords: Energy efficiency. nearly zero energy building. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema típico de uma edificação de energia quase zero.	24
Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	27
Figura 3 – Diferentes tipos de isolantes térmicos utilizados na construção civil.	28
Figura 4 – Consumo energético anual com condicionamento de ar em diferentes cenários de ventilação natural e de propriedades térmicas da envoltória.....	31
Figura 5 – Controle de operação do sistema de artificial de condicionamento de ar.	32
Figura 6 – Variação das horas em desconforto em função da taxa de infiltração de ar.	34
Figura 7 – Fluxograma do método aplicado.	41
Figura 8 – Representação das medidas de eficiência energética para a cobertura.	45
Figura 9 – Representação das medidas de eficiência energética para as paredes externas.	45
Figura 10 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico.	50
Figura 11 – Fluxograma do procedimento de simulação computacional.	53
Figura 12 – Ábaco e equações para a obtenção do incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa quando o percentual do modelo de referência for inferior a 70%.....	61
Figura 13 – Temperaturas médias mensais em Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Canela e Vacaria.	77
Figura 14 – Habitações multifamiliares de interesse social em Caxias do Sul.	78
Figura 15 – Projeto representativo de habitação multifamiliar adotado.....	79
Figura 16 – Modelo computacional utilizado na avaliação de desempenho térmico.....	80
Figura 17 – Resultados para a edificação real na condição de uso com ventilação natural.	81
Figura 18 – Comparação de resultados entre a edificação de referência e real na condição de uso com ventilação natural.	82
Figura 19 – Cargas térmicas de aquecimento e resfriamento no modelo real, na condição de uso sem ventilação natural.	84
Figura 20 – Comparação entre as cargas térmicas totais nos modelos de referência e real.	84
Figura 21 – Usos finais de energia elétrica no projeto representativo.....	91
Figura 22 – Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro em 2019.	91

Figura 23 – Incremento mínimo, médio e máximo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa devido à utilização das medidas de eficiência energética.	93
Figura 24 – Representação combinações de medidas de eficiência energética aplicadas à envoltória.....	95
Figura 25 – Percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa com as combinações de medidas de eficiência energética.....	96
Figura 26 – Carga térmica total com as combinações de medidas de eficiência energética.	97
Figura 27 – Usos finais de energia elétrica no projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.	105
Figura 28 – Respostas para a pergunta 3 do questionário: “Seu apartamento fica em qual andar?”.	109
Figura 29 – Respostas para a pergunta 4 do questionário: “Em qual parte do dia seu apartamento pega sol?”.	109
Figura 30 – Respostas para a pergunta 5 do questionário: “Quantas pessoas vivem no seu apartamento?”.	110
Figura 31 – Respostas para as perguntas 6 e 7 do questionário: “Assinale na tabela abaixo os horários em normalmente que há pessoas nos quartos” e “Assinale na tabela abaixo os horários em normalmente que há pessoas na sala”.....	111
Figura 32 – Padrão de ocupação estabelecido pela INI-R.....	111
Figura 33 – Respostas para a pergunta 8 do questionário: “Quando você abre as janelas do seu apartamento?”.	112
Figura 34 – Respostas para a pergunta 9 do questionário: “No inverno você sente frio no seu apartamento?”.	113
Figura 35 – Respostas para a pergunta 10 do questionário: “Você usa algum tipo de aquecedor ou estufa no inverno?”.	113
Figura 36 – Respostas para a pergunta 11 do questionário: “No verão você sente calor no seu apartamento?”.	114
Figura 37 – Respostas para a pergunta 12 do questionário: “Você usa ventilador no verão?”.	115
Figura 38 – Respostas para a pergunta 13 do questionário: “O que você faria no seu apartamento para sentir menos frio no inverno e menos calor no verão?”.	116

Figura 39 – Respostas para a pergunta 14 do questionário: “Desde o início da pandemia de Covid-19 você tem passado mais tempo dentro de casa?”	117
Figura 40 – Respostas para a pergunta 15 do questionário: “A despesa com a conta de energia elétrica no seu orçamento é muito alta?”	117
Figura 41 – Comparação entre os consumos do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética, nos diferentes cenários de uso e ocupação.	129
Figura 42 – Preços de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência, entre os anos de 2013 e 2018.....	131
Figura 43 – Fluxo de caixa descontado do projeto representativo de energia quase zero.....	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Transmitância térmica de referência para paredes externas e cobertura.	29
Tabela 2 – Capacidade térmica de referência para paredes externas.....	30
Tabela 3 – Medidas de eficiência energética para coberturas e suas propriedades térmicas.	44
Tabela 4 – Medidas de eficiência energética para paredes externas e suas propriedades térmicas.	44
Tabela 5 – Características dos modelos real e de referência.	53
Tabela 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à carga térmica total.....	58
Tabela 7 – Critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico intermediário	58
Tabela 8 – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e redução mínima da carga térmica total para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário.	60
Tabela 9 – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e redução mínima da carga térmica total para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior.	60
Tabela 10 – Intervalos das classificações de eficiência energética da unidade habitacional.	66
Tabela 11 – Relação de equivalência entre os níveis de desempenho térmico e as classes de eficiência energética da envoltória.	67
Tabela 12 – Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto ao percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa.	68
Tabela 13 – Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto a carga térmica total.....	69
Tabela 14 – $RedCgTT_{\min D}$ para o atendimento à classe D de eficiência energética.....	69
Tabela 15 – Limites inferiores de percentual de redução do consumo de energia primária necessário para atender a demanda de água quente da edificação, para cada classificação de acordo com o sistema empregado.	70
Tabela 16 – Latitude, longitude e altitude de Caxias do Sul e Bento Gonçalves.	77

Tabela 17 – Principais características do projeto representativo de habitação multifamiliar proposto por Triana et al. (2015).....	79
Tabela 18 – Incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e a redução de carga térmica total.	85
Tabela 19 – Verificação dos critérios para determinação do nível de desempenho térmico da envoltória.....	86
Tabela 20 – Critérios para classificação do projeto representativo como nível superior de desempenho térmico.....	87
Tabela 21 – Verificação dos critérios para determinação da classe de eficiência energética da envoltória.....	88
Tabela 22 – Parâmetros utilizados na determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água.	89
Tabela 23 – Consumo de energia e classe de eficiência energética geral do projeto representativo.	92
Tabela 24 – Combinações de medidas de eficiência energética avaliadas.....	94
Tabela 25 – Incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa mediante a utilização das diferentes combinações de medidas de eficiência energética da envoltória.....	96
Tabela 26 – Custo relacionado às combinações de medidas de eficiência utilizadas.	98
Tabela 27 – Parâmetros utilizados para o cálculo da energia proveniente do sistema de aquecimento de água solar.	99
Tabela 28 – Fração solar mensal e parcela de energia proveniente do sistema de aquecimento solar de água.	100
Tabela 29 – Parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia associado às perdas térmicas do sistema de aquecimento de água solar.	100
Tabela 30 – Consumo de energia elétrica para aquecimento de água considerando a contribuição de energia proveniente do aquecimento solar de água.....	101
Tabela 31 – Custo estimado do sistema de aquecimento solar de água.	102
Tabela 32 – Medidas de eficiência energética da edificação com Classe A de eficiência energética geral.	102
Tabela 33 – Verificação dos critérios para Classe A de eficiência energética da envoltória.	103

Tabela 34 – Parâmetros utilizados na determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água com aquecimento solar.	104
Tabela 35 – Comparação de desempenho entre o projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.....	105
Tabela 36 – Consumo de energia e classe de eficiência energética geral do projeto representativo com medidas de eficiência energética.	106
Tabela 37 – Características e produtividade do sistema de geração local de energia renovável proposto.....	108
Tabela 38 – Mudança dos padrões de uso e ocupação a serem utilizados em relação ao padrão da INI-R.....	120
Tabela 39 – Parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia para aquecimento de água no projeto representativo, com padrão de uso e ocupação adaptado.	121
Tabela 40 – Fração solar mensal e parcela de energia proveniente do sistema de aquecimento solar de água.	122
Tabela 41 – Parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia associado às perdas térmicas do sistema de aquecimento de água solar.	122
Tabela 42 – Consumo de energia do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.....	124
Tabela 43 – Características e rendimento do sistema de geração local de energia renovável proposto.....	126
Tabela 44 – Comparação entre os consumos do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética, nos diferentes cenários de uso e ocupação.	130
Tabela 45 – Custo das medidas de eficiência energética da edificação de energia quase zero.....	132
Tabela 46 – Custo da energia elétrica na serra gaúcha para consumidores de baixa.	132
Tabela 47 – Consumo de energia elétrica e economia financeira nos cenários avaliados.	133
Tabela 48 – Indicadores econômicos do projeto representativo de energia quase zero.	134
Tabela B.1 – Planilha orçamentária: revestimento da parede com lã de rocha (50 mm) e gesso acartonado (20 mm).	153
Tabela B.2 – Planilha orçamentária: revestimento da parede com EPS (20 mm) e gesso acartonado (20 mm).	154

Tabela B.3 – Planilha orçamentária: bloco celular de concreto autoclavado (75 mm) e reboco (25 mm).	155
Tabela B.4 – Planilha orçamentária: Lã de rocha (50 mm) no telhado.	156
Tabela B.5 – Planilha orçamentária: Laje pré-moldada com EPS.	157
Tabela B.6 – Insumos e composições unitárias.	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

EEP: Edificação de energia positiva.

EMUC: Empreendimento de múltiplas unidades consumidoras

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

CB3E: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações

CgTT: Carga térmica total

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPC-A: Índice de preços ao consumidor amplo

INI-C: Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência em Edificações Comerciais

INI-R: Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência em Edificações Residenciais

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LABEEE: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NZEB: Edificação de energia quase zero

PHFT: Percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa

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

SAA: Sistema de aquecimento de água

TMA: Taxa mínima de atratividade

TIR: Taxa interna de retorno

T_{Omáx}: Temperatura operativa máxima

T_{Omín}: Temperatura operativa mínima

UH: Unidade habitacional

VPL: Valor presente líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	19
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.2.1	Objetivo geral	21
1.2.2	Objetivos específicos.....	21
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	O CONCEITO DE EDIFICAÇÃO DE ENERGIA QUASE ZERO (NZEB).....	23
2.2	ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	25
2.2.1	Estratégias passivas de eficiência energética	26
2.2.1.1	Isolamento térmico	27
2.2.1.2	Massa térmica.....	29
2.2.1.3	Ventilação natural.....	30
2.2.1.4	Fechamentos transparentes.....	32
2.2.1.5	Absortância.....	33
2.2.1.6	Hermeticidade	33
2.2.2	Estratégias ativas de eficiência energética	34
2.3	REGULAÇÃO E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO NO BRASIL	35
2.4	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	37
2.5	SÍNTESE DA REVISÃO	38
3	MÉTODO.....	40
3.1	CONTEXTO BIOCLIMÁTICO	41
3.2	EDIFICAÇÃO ESTUDO DE CASO	42
3.3	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	42
3.3.1	Envoltória.....	42
3.3.2	Iluminação.....	46
3.3.3	Ventilação natural	46
3.3.4	Condicionamento artificial de ar	47
3.3.5	Equipamentos elétricos	47
3.3.6	Sistema de aquecimento de água.....	48

3.4	PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO	48
3.5	DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO	49
3.5.1	Procedimento simplificado	50
3.5.2	Simulação computacional	51
3.5.2.1	Percentual de horas ocupadas da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa	54
3.5.2.2	Temperaturas operativas anuais máxima e mínima da unidade habitacional	55
3.5.2.3	Carga térmica total da unidade habitacional	56
3.5.2.4	Níveis de desempenho térmico intermediário e superior	58
3.6	DEFINIÇÃO DA CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	62
3.6.1	Determinação da classe de eficiência energética da envoltória	66
3.6.1.1	Critério do Percentual de horas ocupadas da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa	67
3.6.1.2	Critério das temperaturas operativas anuais máxima e mínima	68
3.6.1.3	Critério da carga térmica total	68
3.6.2	Determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água.....	69
3.7	DIMENSIONAMENTO DA FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL	72
3.8	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	74
4	RESULTADOS.....	76
4.1	CONTEXTO CLIMÁTICO	76
4.2	PROJETO REPRESENTATIVO DE INTERESSE SOCIAL	77
4.3	DESEMPENHO TÉRMICO DO PROJETO REPRESENTATIVO	80
4.3.1.1	Percentual de horas na faixa de temperatura operativa	80
4.3.1.2	Temperaturas operativas.....	82
4.3.1.3	Carga térmica total	83
4.3.1.4	Nível de desempenho térmico	84
4.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO REPRESENTATIVO	87
4.4.1	Eficiência energética da envoltória	87
4.4.2	Eficiência energética do sistema de aquecimento de água.....	88
4.4.3	Eficiência energética geral.....	89
4.5	SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	93

4.5.1	Medidas de eficiência da envoltória.....	93
4.5.1.1	Determinação da envoltória de menor custo	97
4.5.2	Medidas de eficiência do sistema de aquecimento de água	98
4.5.2.1	Custo do sistema de aquecimento solar de água	101
4.6	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO DE ENERGIA QUASE ZERO	102
4.6.1	Eficiência energética da envoltória.....	102
4.6.2	Eficiência energética do sistema de aquecimento de água.....	103
4.6.3	Eficiência energética geral.....	104
4.6.3.1	Dimensionamento de fonte local de energia renovável.....	107
4.7	IDENTIFICAÇÃO DOS HÁBITOS DE USO E OCUPAÇÃO NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	108
4.7.1	Resumo da pesquisa	117
4.8	REAVALIAÇÃO DOS CONSUMOS UTILIZANDO OS PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DA PESQUISA	120
4.8.1	Consumo com aquecimento de água.....	120
4.8.2	Consumo com aquecimento do ambiente e ventilação.....	122
4.8.3	Consumo com equipamentos elétricos.....	123
4.8.4	Consumo total de energia elétrica.....	123
4.8.4.1	Dimensionamento de fonte local de energia renovável.....	125
4.9	COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS	126
4.10	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	131
4.10.1	Custo das medidas de eficiência energética	131
4.10.2	Economia de energia elétrica.....	132
4.10.3	Cálculo dos indicadores econômicos.....	133
5	CONCLUSÕES	135
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	138
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
	REFERÊNCIAS.....	139
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO: PESQUISA SOBRE HÁBITOS DE USO E OCUPAÇÃO EM HABITAÇÕES.....	148
	APÊNDICE B – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS	150

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

No ano de 2019 o setor residencial foi responsável por 29,6% do consumo de eletricidade no Brasil, ficando atrás somente do setor industrial, que consumiu 34,4% da eletricidade naquele ano (EPE, 2020). Entre os usos finais de energia elétrica nos domicílios, destaca-se o consumo por aparelhos de ar-condicionado. Estima-se que o consumo de energia elétrica por este tipo de aparelho no setor residencial tenha aumentado cerca de 237% nos últimos 12 anos, sendo que, no ano de 2017, representou 14% da participação no consumo final de eletricidade no setor residencial (EPE, 2018). Estudos indicam que a representatividade deste consumo tende a aumentar. Nos próximos sessenta anos, o aquecimento global causará aumento do desconforto térmico dos moradores dos domicílios brasileiros e um aumento significativo na demanda de energia de aquecimento e resfriamento (INVIDIATA; GHISI, 2016). Até o ano de 2100 a demanda de energia para resfriamento em edifícios residenciais deve aumentar em 72% no planeta, influenciada pela tendência ao aquecimento global e pelo aumento do acesso aos aparelhos de ar-condicionado nos países em desenvolvimento (CAO; DAI; LIU, 2016).

Outro fator que deve aumentar a representatividade do consumo de energia elétrica por parte do setor residencial é a perspectiva do aumento do número de moradias construídas, visto o déficit habitacional que existe no país, que na zona urbana, é de 5,9 milhões de moradias (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021a). Com o intuito de reduzir o déficit habitacional no Brasil, o governo Federal criou no ano de 2009 o Programa Minha Casa Minha Vida, que tem por finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais a famílias de baixa renda (BRASIL, 2009). Por meio deste Programa, que posteriormente foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela (BRASIL, 2021a), foram construídas 5,3 milhões de habitações desde a sua criação, número ainda insuficiente para suprir o déficit habitacional existente.

Triana et al. (2015) analisaram e definiram tipologias representativas de projetos de habitação social construídos por meio do Programa Minha Casa Minha Vida, concluindo que as técnicas construtivas utilizadas tendem a fracassar em proporcionar conforto térmico aos usuários. O mau desempenho térmico dessas edificações pode levar à necessidade de maior uso de ar-condicionado, e por consequência, aumento do consumo de energia em edificações residenciais. Um dos motivos para o mau desempenho, é o fato de os projetos serem pensados

em um modelo padronizado em todo o país, sem preocupação com as especificidades regionais das condições climáticas ou materiais de construção.

Em pesquisa realizada no âmbito do projeto Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável do Ministério do Desenvolvimento Regional (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020), verificou-se como principais barreiras para a implementação de estratégias de eficiência energética e conforto ambiental nas habitações de interesse social construídas no contexto do Programa Minha Casa Minha Vida:

- Percepção de altos custos relacionados à implementação de estratégias de eficiência energética;
- Conhecimento limitado sobre arquitetura bioclimática e conforto ambiental por parte dos projetistas e construtores;
- Falta de conhecimento aprofundado e prático de implementação de energias renováveis;
- Falta de incentivos para o desenvolvimento de projetos eficientes.

Os estudos de Triana, Lamberts e Sassi (2015) e Schaefer e Ghisi (2016) foram importantes para determinar modelos de referência de habitações de interesse social unifamiliares e multifamiliares. Triana, Lamberts e Sassi (2015) testaram o desempenho dos modelos representativos nas zonas bioclimáticas 3 e 8. Um desafio a esta área do conhecimento é a realização de estudos com escopos ainda mais abrangentes, como, por exemplo, a avaliação dos projetos representativos em outras zonas bioclimáticas. Nesse sentido, é possível utilizar simulações computacionais combinando-se os modelos representativos e variando-se os limites dos aspectos apresentados como impactantes à eficiência energética de habitações de interesse social brasileiras. A consolidação do conhecimento produzido pode resultar em informações objetivas quanto às características de projeto, e também quanto ao efeito do desempenho térmico a partir da combinação de diversas características. Ao se aplicar os mesmos estudos de caso em diferentes regiões climáticas, seria possível quantificar o impacto de cada parâmetro quando submetido a condições específicas. A partir disso, estudos sobre o custo da aplicação dessas medidas pode favorecer a escolha, por parte de projetistas e construtoras, em relação às adequações que proporcionam os melhores custos-benefícios (BAVARESCO et al., 2021).

A Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EUROPEAN PARLIAMENT, 2010) foi criada com o intuito de melhorar o desempenho energético das edificações daquele continente. Ela define os *Nearly Zero Energy Buildings* – NZEB como

edifícios com desempenho energético muito elevado, cujas necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas devem ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis. No Brasil a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – INI-R (INMETRO, 2021) apresenta o conceito de edificação de energia quase zero (NZEB). De acordo com esta Instrução, trata-se de uma edificação energeticamente eficiente, cuja geração de energia renovável produzida nos limites da edificação ou do lote em que a edificação está inserida supre 50% ou mais de sua demanda anual de energia. Apesar de os edifícios de energia quase zero já existirem na União Europeia há mais de dez anos, não é recomendável que o Brasil importe as mesmas estratégias NZEB utilizadas nos países daquele Bloco, mas sim crie suas próprias estratégias. Isso se justifica porque as condições climáticas, culturais e econômicas do Brasil diferem fortemente daqueles países (PACHECO; LAMBERTS, 2013). Dado este contexto, a pesquisa se justifica pela necessidade de projetar e implementar no Brasil edificações mais eficientes sob o ponto de vista energético, alinhadas com a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001) e adequadas aos padrões econômicos e sociais brasileiros.

Diversos estudos foram realizados acerca do desempenho térmico e eficiência energética de habitações de interesse social nos climas frios brasileiros (BAVARESCO et al., 2021). A maioria destes utiliza, no entanto, a referência climática de Curitiba, que pode não representar apropriadamente o clima da serra gaúcha. O uso de sistemas de geração distribuída de energia renovável com o propósito de promover a autonomia de edificações residenciais também foi abordado por diversos autores. Neste contexto, identifica-se uma lacuna de pesquisa ao combinar as temáticas de habitação de interesse social, eficiência energética e geração local de energia renovável, no contexto climático da serra gaúcha.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de habitações multifamiliares de interesse social e de energia quase zero no clima da serra gaúcha.

1.2.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos do trabalho:

- a) Selecionar um projeto representativo de habitação de interesse social;
- b) Avaliar o nível de desempenho térmico e a classe de eficiência energética deste projeto;
- c) Propor medidas de eficiência energética para que a edificação seja considerada de energia quase zero;
- d) Obter padrões de uso e ocupação de habitações de interesse social;
- e) Estimar o consumo de energia elétrica do projeto representativo considerando os padrões obtidos de uso e ocupação;
- f) Realizar a análise de viabilidade econômica das medidas de eficiência energética.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo, de natureza introdutória, são apresentados o problema, a justificativa e os objetivos da pesquisa.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica e discussão do estado da arte sobre as principais temáticas abordadas pela pesquisa: o conceito de edificação de energia quase zero (NZEB); as estratégias de projeto como instrumento para reduzir o consumo energético e melhorar o conforto térmico do usuário nas edificações; a regulação e os métodos de avaliação de desempenho térmico e energético em vigor no Brasil; a avaliação de viabilidade econômica das edificações energeticamente eficientes.

No terceiro capítulo é descrito o método utilizado para alcançar cada um dos objetivos específicos determinados, com a finalidade de definir as estratégias de projeto para a habitação de interesse social de energia quase zero, e a sua viabilidade econômica.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos por meio do método descrito. O quinto e último capítulo traz a conclusão do trabalho, as limitações identificadas, e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica aqui apresentada traz os principais conceitos relacionados ao tema da pesquisa, bem como, o estado da arte e as potenciais lacunas de pesquisa identificadas.

Neste contexto, este capítulo divide-se nos seguintes tópicos:

- O conceito edificação de energia quase zero (NZEB);
- As estratégias de projeto para reduzir o consumo energético e melhorar o conforto térmico do usuário nas edificações;
- Regulação e métodos de avaliação de desempenho térmico e energético no Brasil;
- Método de avaliação de viabilidade econômica.

2.1 O CONCEITO DE EDIFICAÇÃO DE ENERGIA QUASE ZERO (NZEB)

As edificações de energia quase zero (NZEB) já não são mais percebidas como um conceito futuro, mas sim como uma solução realista por diversos países, para a mitigação das emissões de CO₂ e redução do uso de energia em edificações. Enquanto nos Estados Unidos a Lei de Independência e Segurança de Energia (US GOVERNMENT, 2005) determina que todos os edifícios comerciais sejam de energia quase zero até o ano de 2050, na Europa a Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EUROPEAN PARLIAMENT, 2010) determina que a partir de 2020 todos os novos edifícios construídos sejam de energia quase zero. Neste contexto surge a necessidade de uma estrutura comum para a definição e metodologia de cálculo das edificações de energia quase zero. Os critérios mais aceitos entre as metodologias existentes são o uso de energia primária como métrica, o período de análise anual e o balanço realizado considerando a energia utilizada e a energia renovável gerada (MARSZAL et al., 2011). No Brasil o método de avaliação da eficiência energética definido pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – INI-R (INMETRO, 2021) se utiliza destes mesmos critérios. A INI-R substituirá o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012), que é o método em vigor para a classificação do nível de eficiência energética de habitações.

A implementação de uma edificação de energia quase zero depende de três princípios: economia passiva de energia, equipamentos eficientes (iluminação, condicionamento de ar, aquecimento de água, entre outros) e geração local de energia renovável (MARSZAL et al.,

edificação seja considerada de energia quase zero. A primeira, é a de que seja energeticamente eficiente, comprovada pela obtenção da classificação A de eficiência energética geral da edificação. Desta forma não basta utilizar um aparelho de ar-condicionado com Classe A de eficiência energética, é necessário que a edificação possua envoltória com alto nível de eficiência energética. A segunda condição é ter 50% ou mais de sua demanda energética anual, mensurada em energia primária, suprida por energia renovável gerada localmente.

Adicionalmente, existe os conceitos de Edificação de Energia Zero (ZEB) e Edificação de Energia Positiva (EEP). A ZEB, que provém do termo em inglês *zero energy building*, é uma edificação energeticamente autônoma ou autossuficiente, que não requer conexão à rede ou é conectada apenas como *backup* (MARSZAL et al., 2011). A EPP é uma edificação energeticamente eficiente cuja geração de energia renovável produzida nos limites da edificação ou do lote em que a edificação está inserida, é superior à sua demanda anual de energia (INMETRO, 2021).

2.2 ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

De acordo com Bavaresco et al. (2021), não se pode apontar uma solução geral para melhorar o desempenho energético das habitações de interesse social brasileiras, pois as escolhas devem ser condicionadas às realidades de cada local onde se pretende construir. Isso significa que os projetos de habitação interesse social precisam ser adaptados para cada zona bioclimática para otimizar o desempenho (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). Caso as edificações sejam construídas desconsiderando o clima do local da implantação, baixos níveis de desempenho termoenergético serão observados ao longo de sua vida útil (BAVARESCO et al., 2021).

As técnicas construtivas utilizadas nos projetos mais frequentes de habitação social no Brasil tendem a fracassar em proporcionar conforto aos usuários. Isso acontece porque os projetos são pensados em um modelo padronizado em todo o país, sem preocupação com as especificidades regionais das condições climáticas ou materiais de construção. O resultado são edifícios de baixa qualidade que não atendem às necessidades dos usuários de muitas maneiras, incluindo conforto térmico e desempenho energético. Isso leva à necessidade de maior uso de condicionamento de ar, e por consequência, aumento do consumo de energia (DALBEM et al., 2019; TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Pode-se promover a eficiência energética em edificações por meio da implementação de estratégias ativas ou passivas. Melhorias nos sistemas ar-condicionado e iluminação são categorizadas como estratégias ativas, enquanto as melhorias nos elementos da envoltória são classificadas como estratégias passivas (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). As estratégias passivas e ativas de eficiência energética serão discutidas nas seções seguintes.

2.2.1 Estratégias passivas de eficiência energética

A envoltória da edificação é o conjunto de elementos que separa os ambientes interno e externo. É responsável pelos fluxos de calor entre esses ambientes e, portanto, um fator determinante para o desempenho térmico da edificação (MANIOGLU; YILMAZ, 2006). No estudo de Becchio et al. (2015), que teve como objetivo desenvolver uma residência unifamiliar de energia quase zero no norte da Itália, as medidas de eficiência energética da envoltória foram estudadas na primeira etapa do procedimento. Estas medidas visaram minimizar a necessidade de aquecimento e resfriamento dos ambientes, antes de começar a projetar o sistema de climatização. De acordo com Sadineni (2011), paredes, portas, janelas e cobertura são os componentes mais importantes da envoltória.

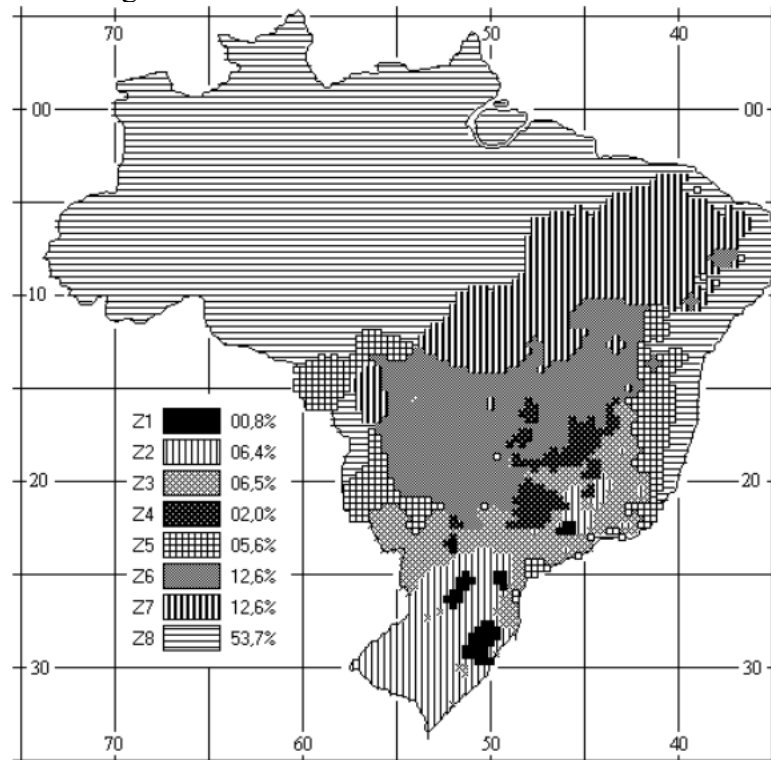
Diversos estudos foram desenvolvidos acerca do aumento do desempenho térmico e da eficiência energética de edificações, por meio de estratégias passivas aplicadas à envoltória. Tubelo et al. (2018) avaliaram melhorias na envoltória de uma residência unifamiliar nos climas de Porto Alegre, Curitiba e São Paulo apontando o aumento do conforto térmico em até 97%, em comparação com uma envoltória típica.

Estratégias passivas de eficiência energética são altamente sensíveis a fatores meteorológicos e, portanto, requerem uma ampla compreensão dos fatores climáticos pelo projetista (CAO; DAI; LIU, 2016; SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). As variáveis climáticas, no entanto, costumam ser desprezadas ao passo que se percebe o uso de projetos semelhantes em diferentes zonas bioclimáticas (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Em adição, Bavaresco et al. (2021) afirmam que, nas regiões brasileiras com estações climáticas bem definidas, existe preocupação quanto ao atendimento de requisitos durante uma estação e descumprimento durante outra. A Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas (Figura 2), sendo que para cada zona são recomendadas estratégias passivas específicas.

Tubelo et al. (2018) e Dalbem et al. (2019) destacaram importância de utilizar materiais com baixa transmitância térmica visando o aumento do desempenho das habitações na Zona Bioclimática ZB1. Por outro lado, mesmo nas regiões mais frias deve-se visar a elaboração de projetos que reduzam o consumo de energia para resfriamento, tendo em vista as mudanças climáticas futuras (INVIDIATA; GHISI, 2016).

Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



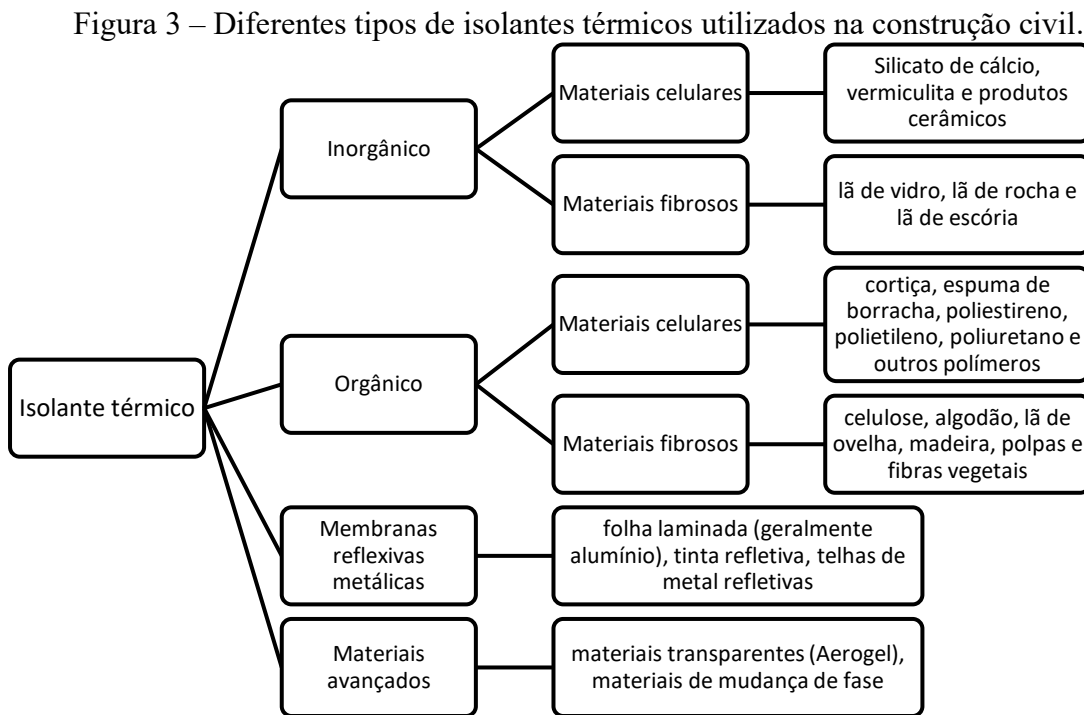
Fonte: ABNT (2005b).

2.2.1.1 Isolamento térmico

A aplicação de isolamento térmico e de massa térmica estão entre as estratégias mais comuns para aumento da eficiência energética da envoltória. O isolamento térmico é conferido por meio da aplicação de um material, ou combinação de materiais, que retardam a taxa de fluxo de calor por condução, convecção e radiação. Na Figura 3 são apresentados diferentes tipos de isolantes térmicos utilizados na construção civil.

O uso adequado de isolamento térmico em edificações reduz não apenas o consumo de energia, mas também o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar durante o projeto (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). Cao (2016) afirma que o isolamento térmico é uma abordagem simples e eficaz para economia de energia no aquecimento e resfriamento

de ambientes em climas frios. De forma semelhante, Bavaresco et al. (2021) apontaram que o uso de isolamento térmico nas paredes não é adequado para climas quentes, mas é vantajoso em climas frios, como os das Zonas Bioclimáticas 1 e 2. Pereira e Ghisi (2011) concluíram que, para uma residência unifamiliar naturalmente ventilada no clima de Florianópolis, na Zona Bioclimática 3, variar o isolamento da envoltória não apresentou variação significativa no número de horas de desconforto térmico.



Fonte: Adaptado de Sadineni, Madala e Boehm (2011).

De acordo com Tubelo et al. (2018), envoltórias altamente isoladas não são uma abordagem econômica, pois o impacto sobre os custos é alto. Soluções intermediárias reduzem o desconforto térmico com menor impacto nos custos de construção. Dalbem et al. (2019) concluíram que envoltórias com altos níveis de isolamento são economicamente viáveis para a Zona Bioclimática 2, mas inviáveis para as Zonas Bioclimáticas 1 e 3. Para isso os autores realizaram a análise de viabilidade econômica, utilizando como indicadores a energia economizada e o *payback* simples, com um período de análise de 50 anos.

O nível de isolamento térmico é medido pela transmitância do sistema, que é o inverso da resistência térmica (ABNT, 2004). A transmitância térmica é a propriedade mais importante para os fechamentos opacos, aqueles incapazes de transmitir radiação solar para os ambientes internos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005a)

determina métodos de cálculo da transmitância térmica, que é diretamente proporcional à condutividade térmica dos materiais. O método simplificado da Norma NBR 15575 (2021a) determina valores mínimos de transmitância térmica para paredes e coberturas, que variam em função da Zona Bioclimática em que a edificação estará inserida (Tabela 1).

Quando utilizadas de maneira combinada as estratégias de isolamento térmico e massa térmica, os materiais isolantes devem ser posicionados no lado externo da envoltória, mantendo os materiais com massa térmica voltados para o lado interno (CONGEDO et al., 2015).

Tabela 1 – Transmitância térmica de referência para paredes externas e cobertura.

Transmitância térmica de paredes e coberturas					
W/(m².K)					
Tipo de vedação	ZB 1 e 2	ZB 3 a 6		ZB 7 e 8	
Cobertura	U ≤ 2,3	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
		U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3.FT	U ≤ 1,5.FT
Parede externa	U ≤ 2,7	$\alpha \leq 0,6$		$\alpha > 0,6$	
		U ≤ 3,7		U ≤ 2,5	

Onde: ZB – Zona Bioclimática; U – transmitância; Ct – capacidade térmica; α – absorvância; FT – fator de correção da transmitância. Fonte: Adaptado de ABNT (2021b) e ABNT (2021c).

O estudo de Eli et al. (2021) avaliou o desempenho térmico de uma edificação com estratégias passivas e ativas de climatização, sob diferentes climas brasileiros. De acordo com os autores, envoltórias com isolamento térmico e sem materiais de alta capacidade térmica apresentam desempenho térmico favorável na maioria dos casos simulados, tanto com estratégias híbridas (ar-condicionado e ventilação natural combinados) quanto com ventilação natural. No entanto, o mesmo estudo apontou que, no caso de usuários que utilizam apenas ventilação natural, as envoltórias com alta capacidade térmica podem ser favoráveis, mesmo quando não há isolamento térmico.

2.2.1.2 Massa térmica

A massa térmica está relacionada aos componentes de uma edificação capazes de absorver calor, armazená-lo e liberá-lo posteriormente (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). A massa térmica associada à ventilação noturna é uma estratégia apropriada em climas onde existem grandes diferenças de temperatura entre o dia e a noite (CAO; DAI; LIU, 2016). Em um estudo relacionado a uma edificação unifamiliar no clima de Florianópolis, Sorgato (2016) concluiu que edificações com capacidade térmica média têm maior potencial em

proporcionar conforto térmico aos ocupantes, desde que utilizado um adequado controle de ventilação natural. A capacidade térmica é a propriedade dos materiais relacionada à estratégia da massa térmica. De acordo com Pereira e Ghisi (2011), a adoção de envoltórias com maior capacidade térmica é a melhor estratégia para reduzir o número de horas de desconforto térmico em habitações com ventilação natural em climas moderados como o de Florianópolis – SC (Zona Bioclimática 3). A Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) determina métodos de cálculo da capacidade térmica, que é diretamente proporcional ao calor específico e a densidade de massa dos materiais.

O método simplificado da Norma NBR 15575 (ABNT, 2020) determina valores mínimos de capacidade térmica para paredes em habitações situadas nas Zonas Bioclimáticas 1 a 7 (Tabela 2).

Tabela 2 – Capacidade térmica de referência para paredes externas.

Capacidade térmica de paredes KJ/(m².K)	
Zonas Bioclimáticas 1 a 7	Zona Bioclimática 8
Capacidade térmica ≥ 130	Sem requisito

Fonte: Adaptado de ABNT (2021b).

2.2.1.3 Ventilação natural

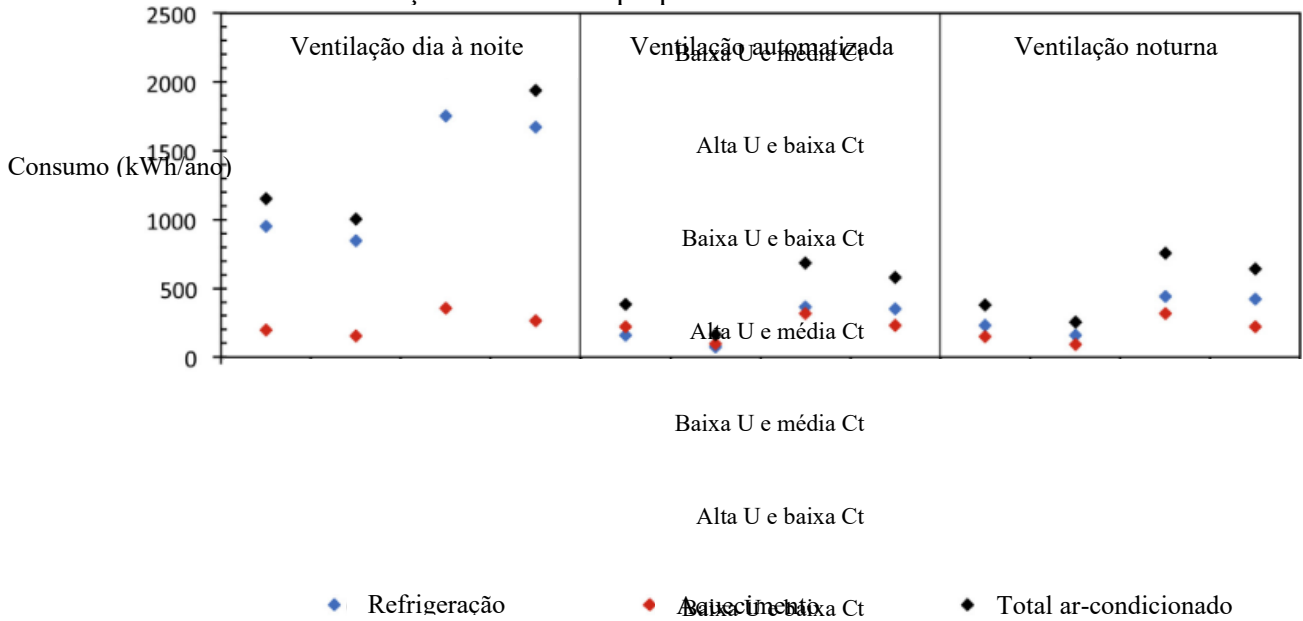
O uso de ventilação natural é outro importante fator para economia passiva de energia e para manutenção da qualidade interna do ar. No entanto, a eficácia desta estratégia é influenciada pela capacidade térmica da edificação e pelo comportamento dos usuários, ao abrir e fechar as janelas nos horários mais apropriados (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016). Os usuários de edifícios residenciais apresentam um comportamento mais diversificado quando comparados aos usuários de edifícios comerciais, em se tratando de horas de ocupação e a gama de atividades. A modelagem do comportamento dos ocupantes permite avaliar cenários precisos para a interação homem-construção, com base nos quais as decisões de projeto podem ser feitas, melhorando o conforto e desempenho energético aos usuários da edificação (BALVEDI; GHISI; LAMBERTS, 2018).

No estudo de Sorgato (2016), a combinação apropriada de propriedades térmicas da envoltória e de ventilação natural proporcionou a redução de até 66% no consumo de energia em relação ao caso base, em uma edificação unifamiliar sob o clima de Florianópolis (Figura 4). Para tanto, foram avaliadas três alternativas de envoltória: com alta transmitância e média

capacidade térmica; com baixa transmitância e média capacidade térmica; e com alta transmitância e baixa capacidade térmica. Foram realizadas simulações computacionais considerando três cenários de ventilação natural:

- Dia à noite: das 7:00 da manhã às 24:00, sempre que a temperatura externa fosse menor do que 21°C;
- Noturna: das 18:00 às 24:00, sempre que a temperatura externa fosse menor do que 21°C;
- Automatizada: permitia a ventilação sempre que a temperatura interna fosse maior do que 21°C e que a temperatura interna fosse maior do que a temperatura externa.

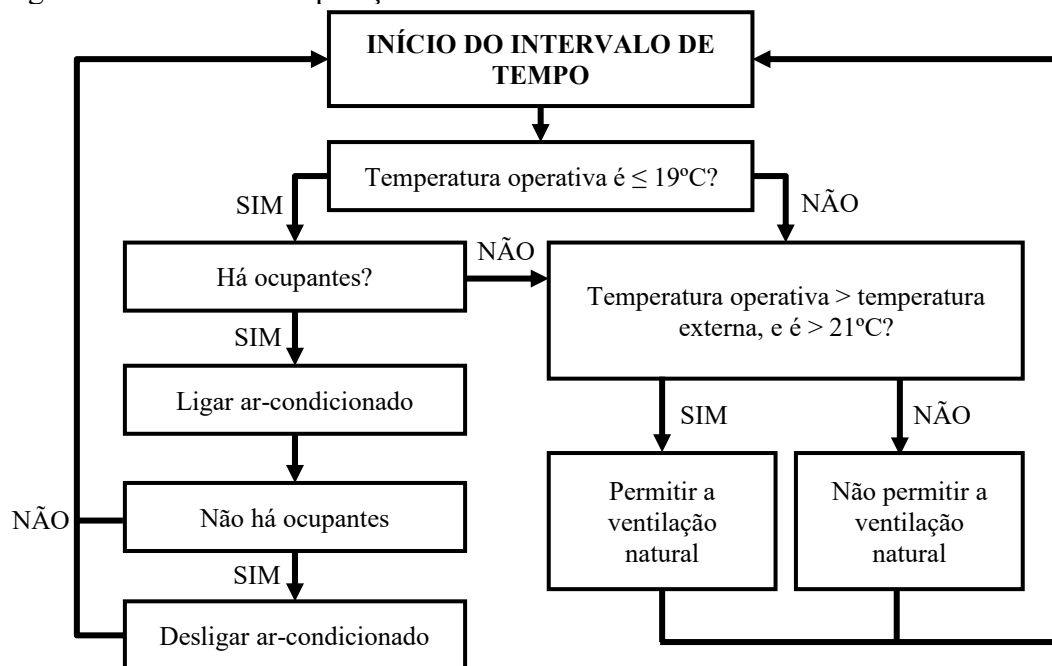
Figura 4 – Consumo energético anual com condicionamento de ar em diferentes cenários de ventilação natural e de propriedades térmicas da envoltória.



Onde: U – transmitância térmica; Ct – Capacidade térmica. Fonte: Adaptado de Sorgato (2016).

Na Figura 5 é apresentado o fluxograma do controle de operação do sistema de artificial de condicionamento de ar. O menor consumo energético foi observado no cenário com ventilação automatizada, baixa transmitância térmica e média capacidade térmica.

Figura 5 – Controle de operação do sistema de artificial de condicionamento de ar.



Fonte: Adaptado de Sorgato (2016).

2.2.1.4 Fechamentos transparentes

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nos fechamentos transparentes, como janelas e claraboias (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Estes elementos desempenham um papel vital no fornecimento de condições térmicas e níveis de iluminação ideais em uma edificação (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). Nos últimos anos houve avanços significativos nas tecnologias relacionadas a vidros, que incluem: controle solar, isolamento térmico, revestimentos de baixa emissividade, uso de vácuo, aerogéis e preenchimentos de cavidades com gases, além de melhorias nas esquadrias. Para aplicações de aquecimento solar passivo, são apropriadas janelas com baixa transmitância térmica e alta transmissividade solar (ROBINSON; HUTCHINS, 1994).

A quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela é determinada pelo fator solar, que pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Para um vidro simples com incidência direta da radiação solar normal à superfície, o fator solar é de aproximadamente 0,87. Isto significa que 87% da radiação solar incidente penetra no interior da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Ao passo que a entrada de luminosidade e calor pode ser importante para a regulação da temperatura em climas frios, em climas quentes a falta de controle sobre esta variável pode

causar sobreaquecimento. Portanto a elaboração de um projeto arquitetônico com elementos de sombreamento é uma estratégia adequada para várias zonas bioclimáticas brasileiras (BAVARESCO et al., 2021).

2.2.1.5 Absortância

Os elementos construtivos podem ter desempenhos diferentes em relação à radiação térmica incidente, transmitindo, refletindo ou mesmo absorvendo e reemitindo esta radiação para o interior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Neste contexto, a coloração da superfície externa dos elementos construtivos tem influência no desempenho térmico da edificação, pois cores escuras têm absortância mais alta que cores claras. Isso significa que um material escuro absorverá a maior parte da radiação incidente enquanto um material claro absorverá pouco. O método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2020) determina que a cobertura e paredes externas das habitações construídas nas Zonas Bioclimáticas 3 a 8 devem ter valores mais baixos de transmitância, à medida que a absorbância da superfície externa desses componentes seja mais alta (Tabela 1). No caso das paredes, são aceitas composições com transmitância de até $3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ caso a absortância da face externa seja menor do que 0,6, que é equivalente à pintura em cores claras (ex.: branca, amarela e verde clara). Caso a absortância seja maior do que 0,6, equivalente à pintura em cores escuras (ex.: verde escura, vermelha e preta), deve-se utilizar composições com transmitâncias menores do que $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

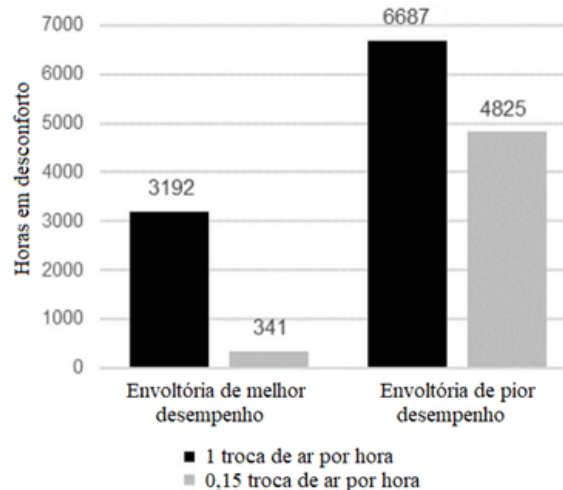
2.2.1.6 Hermeticidade

A infiltração é outro fator que influencia o desempenho térmico da envoltória. Consiste no movimento de ar que passa por rachaduras, frestas e outras aberturas da edificação. Este movimento é impulsionado pela diferença de pressão devido à diferença de temperatura interna e externa, ao movimento do vento e à operação do equipamento de ventilação mecânica (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011).

Tubelo et al. (2018) assumiram duas diferentes taxas de infiltração de ar no estudo que avaliou a otimização da envoltória de uma habitação social nas zonas de clima moderado do Brasil. A primeira taxa de infiltração considerada foi de uma troca de ar por hora, valor referencial a ser adotado em edificações brasileiras de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013a). Em um segundo cenário considerou-se 0,15 trocas de ar por hora, que corresponde ao

valor mínimo de infiltração utilizado para edificações com ventilação natural no Reino Unido. No cenário considerando o clima de Curitiba (Zona Bioclimática 1) a redução das horas de desconforto devido à utilização da menor taxa de infiltração de ar chegou a 89% (Figura 6), indicando que este é um importante parâmetro para climas frios.

Figura 6 – Variação das horas em desconforto em função da taxa de infiltração de ar.



Fonte: Adaptado de Tubelo et al. (2018).

2.2.2 Estratégias ativas de eficiência energética

Quanto às estratégias ativas de eficiência energética, Bavaresco et al. (2021) destacaram o apropriado dimensionamento da instalação elétrica e o uso de aquecimento solar de água. Morgan (2014) constatou grande variação de equipamentos nas unidades habitacionais avaliadas em pesquisa de campo realizada em Campos Borges – RS, e que a desconsideração de alguns equipamentos durante o projeto poderia sobrecarregar o sistema na fase de operação. A autora propôs como soluções para a redução do consumo energético em habitações de interesse social: adesão da Tarifa Social, utilização de lâmpadas mais eficientes, diminuição da carga elétrica, mudança de hábitos do usuário e substituição dos equipamentos existentes por outros mais eficientes. A Tarifa Social é um desconto na conta de luz, fornecido pelo Governo Federal, destinado às famílias de baixa renda. Os equipamentos econômicos a serem priorizados são aqueles que possuem o Selo Procel de Economia de Energia (BRASIL, 1993), que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia. Além do Selo Procel de Economia de Energia, que foi criado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, existe a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, que é produto do Programa Brasileiro

de Etiquetagem (BRASIL, 2021b). Esta Etiqueta classifica os produtos em faixas coloridas que variam da mais eficiente (A) à menos eficiente (de C até G, dependendo do produto). Isso se aplica a aparelhos domésticos como, por exemplo, os aparelhos de ar-condicionado, aquecedores de água elétricos e a gás, refrigeradores, entre outros.

Alvaristo et al. (2015) destacaram a necessidade de orientar os moradores quanto à instalação de novas cargas para que não haja sobrecarga e dissipação excessiva de energia em determinados circuitos, e consequente aumento da conta de energia elétrica. O uso de aquecimento solar de água nas edificações de interesse social foi alvo de diversos estudos, os quais apontaram, como fator determinante para o bom desempenho do sistema, o grau de engajamento e nível de compreensão do usuário (GIGLIO; LAMBERTS, 2016; MIYAZATO, 2012; VIER et al., 2015). Neste contexto destaca-se que a dimensão humana também deve ser considerada como um dos aspectos impactantes no consumo energético das habitações de interesse social, sendo necessário capacitar moradores quanto ao funcionamento de tecnologias instaladas em suas habitações, para que elas sejam usadas de maneira satisfatória (BAVARESCO et al., 2021).

Moraes (2018) realizou a análise de indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais, estudo que comparou os indicadores brasileiros com os principais indicadores internacionais. Estes indicadores são utilizados como valores referenciais que auxiliam o projetista em relação ao desempenho de projetos de iluminação. O autor afirmou que a maioria dos indicadores analisados se concentram no desempenho energético dos equipamentos instalados, desconsiderando os impactos no conforto visual e no consumo de energia, produzidos em função das diferentes configurações dos ambientes residenciais e nas atividades exercidas. De acordo com o autor, existe uma importante lacuna para o desenvolvimento de projetos de iluminação artificial.

2.3 REGULAÇÃO E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO NO BRASIL

O estabelecimento de padrões para a avaliação e classificação de edifícios, em termos de desempenho energético, é uma alternativa utilizada e reconhecida internacionalmente para reduzir o consumo de energia nas edificações (FOSSATI et al., 2016). Códigos de eficiência energética de edificações são mais amplamente adotados em regiões frias do que em regiões quentes, sendo que a maioria dos países industrializados têm códigos compulsórios. Mesmo

entre os países em desenvolvimento, estes códigos prevalecem na Europa Oriental e Leste Asiático, regiões de clima frio que exigem aquecimento das edificações. Nos centros urbanos dos países em desenvolvimento da América Latina e do Caribe os códigos são raros, e mesmo onde estão disponíveis, não costumam ser implementados. Edificações nestas regiões demandam principalmente por resfriamento, com exceção do sul da Argentina e Chile. Por esta razão, muitos países introduziram padrões de eficiência energética para os equipamentos utilizados para fins de resfriamento (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

As edificações habitacionais no Brasil tiveram seus requisitos mínimos de desempenho térmico estabelecidos em 2013 pela norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013a), a qual previa a possibilidade de avaliação por meio dos métodos simplificado e computacional. Limitações identificadas no método computacional, tais como a análise restrita a um dia típico de projeto, a taxa de renovação de ar do ambiente considerada constante e o desprezo da ocorrência de cargas térmicas internas (SORGATO et al., 2012), motivaram a revisão dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico dessa norma de modo a melhor refletir a realidade das habitações brasileiras (KRELLING et al., 2020). O comportamento termofísico de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares apresenta diferenças significativas, sendo que a aplicação do novo método em edificações unifamiliares foi demonstrada por Veiga et al. (2020). Em março de 2021 foi publicada a Emenda que alterou os métodos de avaliação de desempenho térmico da Norma NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Quanto à avaliação de eficiência energética, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012) foi instituído em 2012 com o propósito de especificar requisitos técnicos e métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, e dessa forma criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. O RTQ-R classifica o desempenho energético das edificações utilizando um indicador de consumo que, apesar de permitir a sua classificação de A a E, não fornece uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação. Esta limitação não permite que seja quantificada a economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas na mesma (LABEEE, 2021). Nesse contexto, a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – INI-R (INMETRO, 2021) substituirá o RTQ-R. O método de avaliação da INI-R baseia-se no consumo de energia primária e compara a edificação considerando suas características reais com a mesma edificação adotando-se características de referências, que equivalem à classe C de eficiência energética.

2.4 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Embora os custos de investimento de uma edificação de energia quase zero tendam a ser maiores do que para um edifício convencional, a análise econômica no ciclo de vida é favorável à edificação de energia quase zero, devido aos menores custos de operação (MARSZAL et al., 2011).

Diversos autores avaliaram a viabilidade econômica de edificações de energia quase zero. Becchio et al. (2015) afirmaram que nas regiões mais frias da Itália as soluções de energia quase zero não são consideradas economicamente viáveis, por terem investimento inicial 18% maior, e custo global 10% maior que uma edificação convencional. Os autores utilizaram na avaliação de viabilidade econômica o método de custo global, que considera os custos de implantação, operação e manutenção pelo período de vida útil de cinquenta anos. O mesmo método foi utilizado por Congedo et al. (2015) para o projeto de custo otimizado de edifícios comerciais de energia quase zero localizados em climas quentes da Europa. O período de avaliação, no entanto, foi de vinte anos, e os autores concluíram pela viabilidade econômica da solução de energia quase zero. Os autores percebem maior dificuldade em atingir o balanço quase zero nas regiões mais frias, enquanto edificações situadas em clima mais ameno, tem maior facilidade por requererem menos aquecimento.

Dalbem et al. (2019) realizaram a análise de viabilidade econômica da otimização da envoltória de uma habitação social para o sul do Brasil. Os indicadores utilizados foram a energia economizada e o *payback* simples, com um período de análise de 50 anos. Os autores concluíram que envoltórias com altos níveis de isolamento são economicamente viáveis para a Zona Bioclimática 2, mas inviáveis para as Zonas Bioclimáticas 1 e 3. O mesmo método foi utilizado por Tubelo et al. (2018) para a otimização da envoltória para habitações sociais nas zonas de clima moderado do Brasil. Em ambos os casos as medidas de eficiência energética foram orçadas por meio das Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (PINI, 2021). Neste último estudo os autores concluíram que a envoltória otimizada custa cerca de 50% a mais do que a envoltória típica, e que outras composições investigadas são mais econômicas com aumento significativo dos níveis de desempenho térmico.

2.5 SÍNTESE DA REVISÃO

A revisão bibliográfica abordou os principais aspectos relacionados ao tema desta dissertação, procurando apresentar o estado-da-arte das edificações de energia quase zero e identificar possíveis lacunas de pesquisa.

Verificou-se que existe uma grande quantidade de publicações internacionais a respeito de edificações de energia quase zero, mas que no Brasil, no entanto, a temática ainda é incipiente. O conceito e o método de avaliação de edificação de energia quase zero no Brasil foram formalizados somente em 2021 por meio da INI-C, que se aplica às edificações comerciais. Para as edificações residenciais, o método de avaliação é definido pela INI-R, que está em fase de desenvolvimento (PBE EDIFICA, 2021a).

Foram apresentadas as principais estratégias de eficiência energética em edificações de interesse social, as quais dividem-se em estratégias passivas e ativas. No contexto das estratégias passivas, foram apresentadas e discutidas as propriedades térmicas dos componentes da envoltória de uma edificação, tais como paredes, coberturas e janelas. Existem diversos estudos voltados à melhoria do desempenho térmico e energético de edificações de interesse social brasileiras. A maioria deles, no entanto, foram realizados em contextos climáticos que abrangem partes mais representativas do território brasileiro, como as Zonas Bioclimáticas 3 e 5. Os estudos desenvolvidos no âmbito da Zona Bioclimática 1 utilizam, em sua grande maioria, o arquivo climático da cidade de Curitiba – PR, que pode não representar apropriadamente o clima da serra gaúcha.

Com relação à regulação e métodos de avaliação de desempenho térmico e energético no Brasil, houve importante mudança recente na Norma NBR 15575, que define os métodos de avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais. A Emenda publicada em março de 2021 altera significativamente o método computacional de avaliação. Paralelamente, está em desenvolvimento a INI-R, que substituirá o RTQ-R para a avaliação de desempenho energético de edificações residenciais.

Quanto à avaliação de viabilidade econômica, verificou-se que o método mais frequente considera o custo das medidas de eficiência energética e a economia trazida pela redução do consumo de energia ao longo da vida útil da edificação.

A análise das pesquisas internacionais e nacionais sobre as temáticas apresentadas indica que trabalho proposto nesta dissertação é atual e inovador. Os trabalhos publicados até o momento fazem uso de métodos de avaliação já substituídos por outros mais recentes, se

inserir em contextos climáticos diferentes, ou deixam de abordar parte da temática, como a geração local de energia renovável. Portanto, a lacuna de pesquisa que este trabalho pretende explorar consiste na avaliação de viabilidade técnica e econômica de uma habitação de interesse social de energia quase zero no clima da serra gaúcha.

3 MÉTODO

O método deste trabalho consistiu em dez etapas. Inicialmente foi selecionado o projeto representativo de edificação de interesse social, que passou pela avaliação de desempenho térmico e de eficiência energética considerando o contexto climático local. A avaliação de desempenho térmico foi realizada por meio do método computacional da NBR 15575 (ABNT, 2021a), enquanto a avaliação de eficiência energética foi realizada de acordo com o método da INI-R (INMETRO, 2021a).

Na etapa seguinte foram selecionadas medidas de eficiência energética para que o projeto representativo alcançasse a condição de edificação com Classe A de eficiência energética geral. Os dois projetos (com e sem medidas de eficiência energética) tiveram seu desempenho comparado em termos de estimativa de consumo elétrico e de energia primária. Em seguida foi realizado o dimensionamento da fonte local de geração de energia renovável, para que o projeto Classe A fosse considerado uma edificação de energia quase zero.

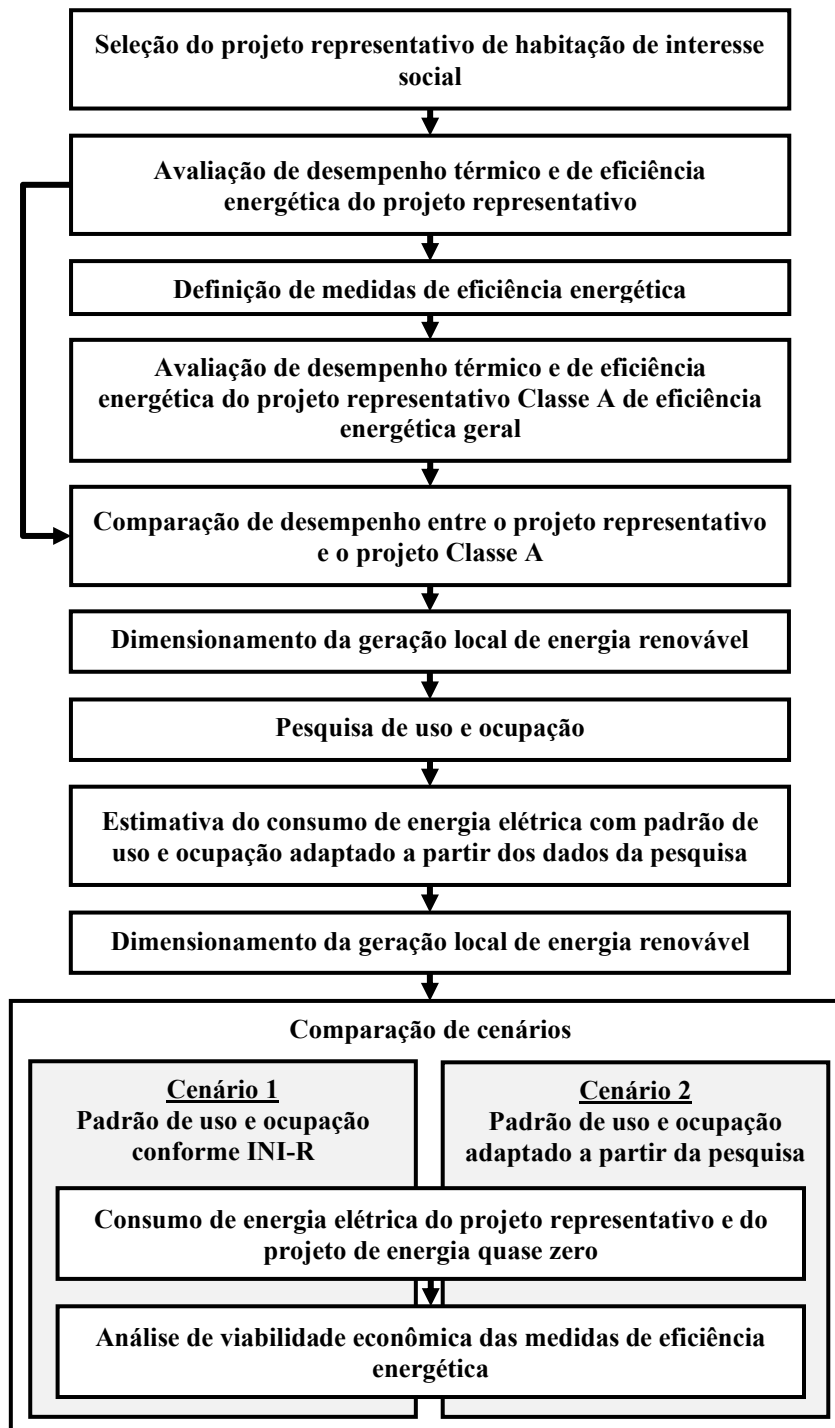
Posteriormente realizou-se uma pesquisa sobre o uso e ocupação de edificações de interesse social no Município de Caxias do Sul – RS. O padrão de uso e ocupação definido pela INI-R foi adaptado a partir dos resultados da pesquisa, com o qual foi refeita a estimativa de consumo elétrico, tanto para o projeto representativo e quanto para o projeto Classe A. Em seguida foi realizado um novo dimensionamento da fonte local de geração de energia renovável, considerando desta vez o consumo elétrico com o padrão de uso e ocupação adaptado.

A partir deste ponto foram estabelecidos dois cenários de desempenho do projeto representativo: um com o padrão de uso e ocupação definido pela INI-R e outro com o padrão de uso e ocupação adaptado a partir dos resultados da pesquisa. Nestes cenários foi realizada:

- a comparação do consumo elétrico do projeto representativo e do projeto de energia quase zero;
- a análise de viabilidade econômica.

Na Figura 7 é apresentado o fluxograma do método.

Figura 7 – Fluxograma do método aplicado.



3.1 CONTEXTO BIOCLIMÁTICO

Para a identificação do contexto climático foi analisado o zoneamento estabelecido pela Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), que divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas, e a classificação climática proposta por Roriz (2014), que divide o território

brasileiro em 24 grupos climáticos. Também foram consultados dados meteorológicos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Com base nas informações levantadas selecionou-se o arquivo climático que melhor representava o clima na região de estudo, junto à base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional da NBR 15575 (ABNT, 2021d).

O projeto representativo estaria localizado no município de Caxias do Sul, que está situado abaixo do trópico de Capricórnio, a uma Latitude $-29,1669^\circ$ e aproximadamente 782 m acima do nível do mar. Por tratar-se de uma região com clima subtropical, as estações são bem definidas no município. O mês mais quente é janeiro, com temperaturas médias máximas mensais de $26,85^\circ\text{C}$, enquanto o mês mais frio é julho, com temperaturas médias mínimas mensais de $8,73^\circ\text{C}$ (INMET, 2020).

3.2 EDIFICAÇÃO ESTUDO DE CASO

Para a definição da edificação estudo de caso buscou-se referências de projetos representativos de habitação de interesse social em estudos publicados previamente. A busca foi realizada em periódicos nacionais e internacionais, considerando: aderência entre o tema da publicação e o objeto deste estudo, fator de impacto do periódico e número de citações da publicação.

3.3 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A seleção das medidas de eficiência energética se baseou na revisão de literatura, com atenção especial aos estudos publicados sobre habitações de interesse social no mesmo contexto bioclimático do projeto representativo. As medidas de eficiência energética selecionadas tiveram como objetivo fazer com que o projeto representativo atingisse o nível superior de desempenho térmico, segundo a Norma NBR 15575 (ABNT, 2021a) e a Classe A de eficiência energética geral de acordo com a INI-R (INMETRO, 2021).

3.3.1 Envoltória

Para a envoltória foram analisadas soluções apontadas em estudos previamente publicados, com foco em habitações de interesse social em climas frios brasileiros, a exemplo de Tubelo et al. (2018), Silva (2021) e Dalbem et al. (2019). Para a seleção das soluções levou-se em consideração as características da envoltória do projeto representativo, e os resultados da

sua avaliação de desempenho térmico. Neste contexto, a seleção das medidas de eficiência energética visou a redução da transmitância térmica da envoltória, diretriz recomendada para os climas frios na NBR 15220 (ABNT, 2005a). Para a cobertura, foi avaliado o uso de lâ de rocha, folha de alumínio, laje pré-moldada de cerâmica e laje pré-moldada de poliestireno expandido (EPS) como medidas de eficiência energética (Figura 8). Para as paredes externas foi avaliado o uso de blocos de concreto celular autoclavado, EPS e lâ de rocha, sendo os dois últimos combinados com gesso acartonado (Figura 9). Estes elementos foram considerados em adição aos componentes projeto representativo original. As camadas de EPS e lâ de rocha foram consideradas para o lado de dentro da edificação, cobertas com gesso acartonado para acabamento. Somente no caso do uso de blocos de concreto celular autoclavado a camada adicional foi considerada para o lado externo, uma vez que esta disposição tende a apresentar melhores resultados (CONGEDO et al., 2015) e que este material pode ser submetido ao intemperismo. Neste cenário foi considerado ainda o recobrimento dos blocos com uma camada de reboco de 2,5 cm para acabamento. Para as janelas foi avaliado o uso de vidros duplos. Para a definição da espessura das camadas dos materiais propostos considerou-se as dimensões comerciais existentes no mercado. Foram mantidas as absorvâncias das superfícies externas conforme o projeto representativo original. Não foram considerados elementos fixos ou móveis de sombreamento das janelas, porque recomenda-se permitir a incidência direta de luz solar durante o período frio (ABNT, 2005b).

Inicialmente as medidas de eficiência energética da envoltória foram avaliadas isoladamente por meio de simulação computacional, considerando o impacto do seu uso no desempenho térmico da edificação. Na Seção 3.5.2 é apresentado o método computacional de avaliação da envoltória. As medidas que não trouxeram impactos significativos, ou seja, que resultaram no aumento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa inferior a 1%, foram descartadas. Posteriormente foi avaliado o impacto do uso combinado das medidas de eficiência restantes.

Foi prevista a avaliação de outras alternativas em função da predominância de horas acima ou abaixo da faixa de temperatura operativa (de 18°C a 26°C), caso o nível superior de desempenho térmico não fosse alcançado com as medidas de citadas. Entre estas alternativas estavam o uso de persianas nas janelas, assim como outros tipos de paredes e de cobertura. Na Tabela 3 são apresentadas as propriedades térmicas das medidas de eficiência energética propostas para a cobertura (Figura 8), enquanto na Tabela 4 são apresentadas as propriedades térmicas das medidas de eficiência energética propostas para as paredes externas (Figura 9).

Tabela 3 – Medidas de eficiência energética para coberturas e suas propriedades térmicas.

Elemento	Camadas	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.k)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Folha de alumínio	-	0,01	230	2700	880
Lã rocha (5 cm)	-	5,0	0,045	96	750
Laje pré-moldada de cerâmica (12 cm)	Cerâmica	1,20	1,05	2000	920
	Câmara de ar	4,6	Resistência = 0,081 m ² K/W		
	Cerâmica	1,20	1,05	2000	920
	Argamassa	1,00	1,15	2000	1000
Laje pré-moldada de EPS (12 cm)	Laje em concreto	4,00	1,75	2200	1000
	EPS e concreto	7,00	0,223	373	1000
	Argamassa	1,00	1,15	2000	1000

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b) e Ortiz, Bavaresco (2019).

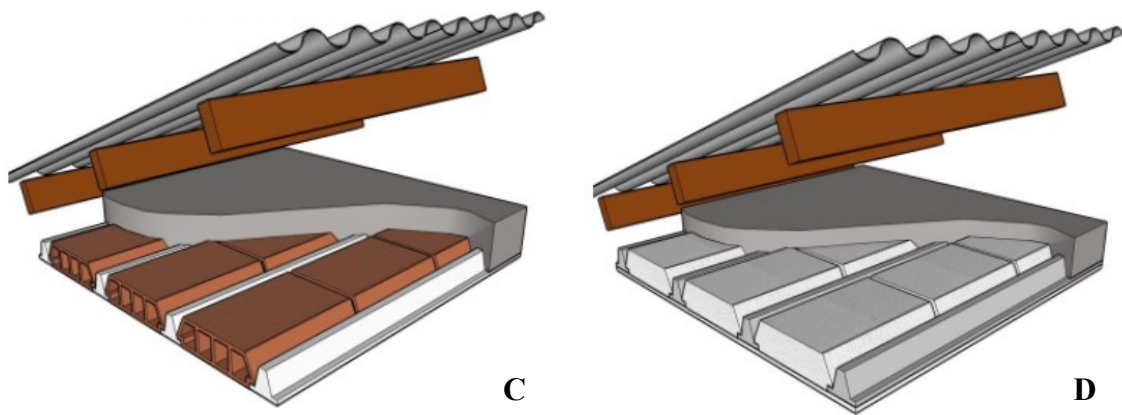
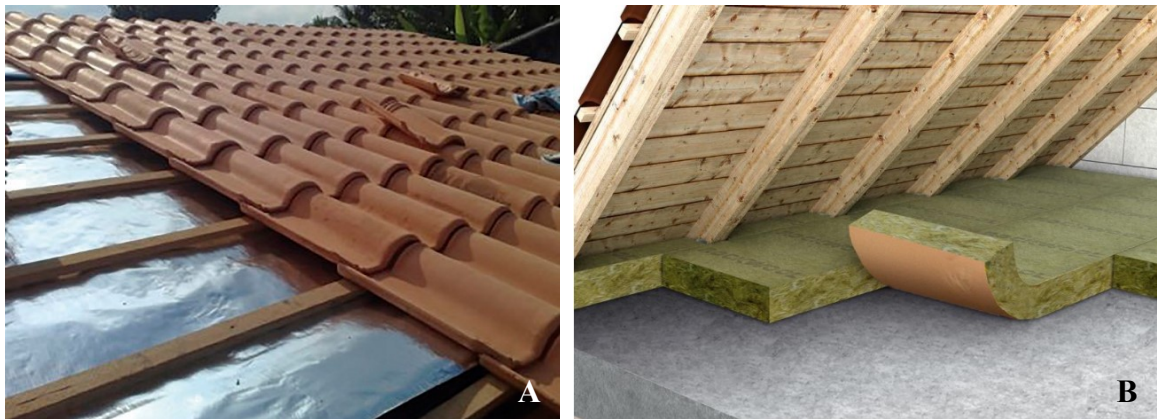
Tabela 4 – Medidas de eficiência energética para paredes externas e suas propriedades térmicas.

Elemento	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.k)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Bloco de concreto celular autoclavado (7,5 x 30 x 60 cm)	7,50	0,17	450	1000
EPS (2 cm)	2,00	0,04	15	1420
Lã rocha (5 cm)	5,0	0,045	96	750
gesso acartonado (2 cm)	2,00	0,35	900	840

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b).

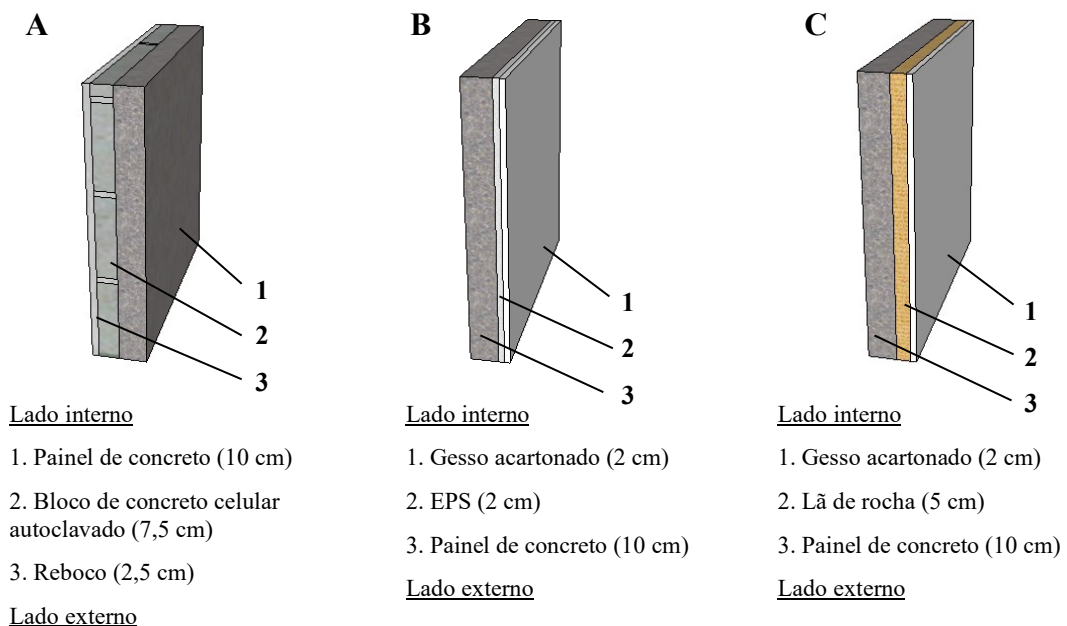
As camadas de EPS, lã de rocha e gesso acartonada foram avaliadas considerando a sua utilização no lado interno das paredes, uma vez que estes materiais não são resistentes ao intemperismo. Considerou-se o uso bloco de concreto autoclavado no lado externo da parede porque, de acordo com Congedo et al. (2015), obtém-se melhores resultados quando os materiais isolantes são posicionados no lado externo da envoltória.

Figura 8 – Representação das medidas de eficiência energética para a cobertura.



Obs.: A – exemplo de instalação de folha de alumínio; B – representação de instalação de lã de rocha; C – representação de cobertura com laje pré-moldada de peças cerâmicas; D – representação de cobertura com laje pré-moldada de EPS.

Figura 9 – Representação das medidas de eficiência energética para as paredes externas.



Obs.: A – Representação da parede externa com bloco de concreto celular autoclavado; B – Representação da parede externa com EPS e gesso acartonado; C – Representação da parede externa com lã de rocha e gesso acartonado.

3.3.2 Iluminação

O uso de aberturas pequenas é uma recomendação relacionada às estratégias passivas de eficiência energética para habitações de interesse social na Zona Bioclimática 1 (ABNT, 2005a), o que impede o amplo proveito da iluminação natural. Por outro lado a Norma NBR 15575 (ABNT, 2013a), que avalia o desempenho da iluminação artificial das habitações brasileiras, estabelece o nível mínimo de iluminamento dos diferentes ambientes das habitações. Existem alternativas para o melhor aproveitamento da iluminação natural e consequente redução da necessidade de iluminação artificial, sem prejudicar o desempenho térmico. Entre essas alternativas estão os vidros duplos, triplos, com câmaras a vácuo ou preenchidos com gases especiais, que possuem baixa transmitância térmica (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011). Tendo em vista, no entanto, que estas são alternativas de alto custo, e que a iluminação natural não é foco deste trabalho, será mantido o tamanho das janelas do projeto representativo, associado ao sistema de iluminação artificial.

Moraes (2018) afirmou que faltam indicadores que melhor expressem o desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais, considerando as particularidades do local, tipologias construtivas, tecnologias disponíveis e atividades exercidas nos ambientes. Por esse motivo se optou por utilizar a densidade de potência de iluminação de 5 W/m² para todos os ambientes da edificação. Este é o valor de referência definido pela Norma NBR 15575 (ABNT, 2021a). O período de uso seguiu os padrões de ocupação definidos na INI-R (seção 3.5.2).

3.3.3 Ventilação natural

A ventilação natural é uma estratégia passiva de eficiência energética apropriada para edificações com elevada massa térmica, inseridas em climas com grande amplitude de temperaturas (CAO; DAI; LIU, 2016; PEREIRA; GHISI, 2011; SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011; SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016), como é o caso do clima na região Sul. Neste contexto foi considerado o uso de ventilação natural. Na simulação computacional a abertura das janelas ocorre sempre que um ambiente de permanência prolongada (sala ou dormitório) estiver ocupado e a temperatura interna de bulbo seco for igual ou superior a 19°C. Adicionalmente, a temperatura de bulbo seco interna deve ser superior à temperatura de bulbo seco externa para que as janelas se abram. A abertura das janelas em função das três condições citadas foi controlada automaticamente nas simulações conduzidas por meio do programa

computacional Energy Plus. Outros padrões de abertura e fechamento de janelas foram avaliados em função dos resultados da pesquisa de uso e ocupação.

3.3.4 Condicionamento artificial de ar

Apesar do aumento da posse de equipamentos de condicionamento de ar nos domicílios brasileiros nos últimos anos (EPE, 2018), os aparelhos não são frequentes nas edificações multifamiliares de interesse social. Na maioria dos casos isso acontece porque elas não são construídas com a preparação necessária para receber a sua instalação. Em muitos casos os moradores são inclusive proibidos de instalá-los por força da convenção de condomínio. A Portaria 959/2021 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021b), que dispõe sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos habitacionais do Programa Casa Verde e Amarela, prevê como requisito obrigatório a preparação ponto instalação de aparelho de ar-condicionado apenas em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 7 e 8. Portanto, não é exigida a existência da preparação para ar-condicionado nas unidades construídas nas demais zonas bioclimáticas, fato que corrobora para a ausência deste aparelho nas habitações de interesse social. Por esse motivo, o consumo de energia com refrigeração foi considerado apenas no contexto dos métodos de avaliação da NBR 15575 e da INI-C.

Por outro lado, estudos conduzidos por diversos autores demonstraram a necessidade de aquecimento para habitações localizadas na Zona Bioclimática 1 (DALBEM et al., 2017, 2019; TUBELO et al., 2018). A NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) prevê que o condicionamento passivo é insuficiente durante o período mais frio do ano. Paralelamente sabe-se que equipamentos aquecedores, tais como estufas elétricas, são mais acessíveis e de fácil instalação do que aparelhos de ar-condicionado. Por esse motivo o consumo de energia com aquecimento foi considerado tanto no contexto dos métodos de avaliação da NBR 15575 e da INI-R, quanto para a estimativa de consumo elétrico para análise de viabilidade econômica.

3.3.5 Equipamentos elétricos

Apesar de ser possível identificar no mercado quais são os equipamentos mais eficientes, por meio do Selo Procel de Economia de Energia (BRASIL, 1993), a utilização destes não será considerada no cálculo do consumo elétrico com equipamentos. Este consumo foi calculado de acordo com o método previsto na INI-R, apresentado na seção 3.6.

O uso de ventiladores e aquecedores elétricos foi computado separadamente, em substituição ao consumo com ar-condicionado (refrigeração e aquecimento) em um dos cenários avaliados.

3.3.6 Sistema de aquecimento de água

Os sistemas de aquecimento solar de água são mais frequentes em habitações unifamiliares de interesse social (BAVARESCO et al., 2021; MIYAZATO, 2012; VIER et al., 2015). Paralelamente, a Portaria 959/2021 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021b) prevê como requisito obrigatório a Instalação de Sistema de Aquecimento de Água em empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela. Neste contexto, foi considerado o uso do sistema de aquecimento solar de água como medida de eficiência energética.

3.4 PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO

O comportamento dos ocupantes é um dos seis parâmetros que influenciam o consumo energético em edificações, de acordo com a Agência Internacional de Energia (YOSHINO; HONG; NORD, 2017). As simulações de desempenho energético são uma alternativa altamente eficiente para analisar e otimizar projetos de edificações, e é de fundamental importância que dados precisos sobre o comportamento dos ocupantes estejam disponíveis. Nesse contexto, melhorar a compreensão do comportamento dos ocupantes é fundamental para a avaliação de seu impacto no desempenho geral da edificação (BALVEDI; GHISI; LAMBERTS, 2018).

A Norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2020) define padrões de ocupação diários nos ambientes de permanência prolongada das edificações, bem como, a quantidade de ocupantes da habitação em função do número de dormitórios. Estes padrões são os mesmos utilizados pelo método da INI-C. Apesar da existência destes padrões, julgou-se relevante realizar uma pesquisa direcionada à identificação dos padrões de uso e ocupação da população na região alvo do estudo, com o intuito de comparar a sua aderência com os padrões normativos. A importância em realizar uma pesquisa direcionada é reforçada pela hipótese de mudança nos hábitos e estilo de vida da população em geral devido à pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2, que já é alvo de pesquisas conduzidas por algumas instituições (UFRGS, 2020).

Para o levantamento e definição dos padrões de uso e ocupação foi selecionado um conjunto habitacional no Município de Caxias do Sul-RS, construído no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (BRASIL, 2009). Preparou-se questionários eletrônicos por meio do Google Forms (GOOGLE LLC, 2020), os quais foram compartilhados com o auxílio dos líderes comunitários. Paralelamente foram distribuídos formulários impressos, com o intuito de obter a maior amostra possível. O tamanho desejado da amostra foi determinado em função do tamanho da população do conjunto habitacional selecionado, visando uma margem de erro de 5%, com nível de confiança de 95%.

O questionário incluiu tanto perguntas objetivas – relacionadas ao número de dormitórios, à quantidade de ocupantes das habitações, e aos horários de permanência na habitação – quanto perguntas subjetivas – relacionadas à percepção do usuário quanto ao conforto térmico. O questionário utilizado na pesquisa é apresentado no APÊNDICE 1, o qual foi elaborado utilizando como referência aquele aplicado por Balvedi (2019) para avaliar o comportamento de usuários de edificações residenciais multifamiliares e o seu efeito no comportamento térmico das habitações. Uma versão preliminar do questionário foi aplicada a um pequeno grupo de pessoas para a sua validação, e passou por ajustes ante a elaboração da versão final.

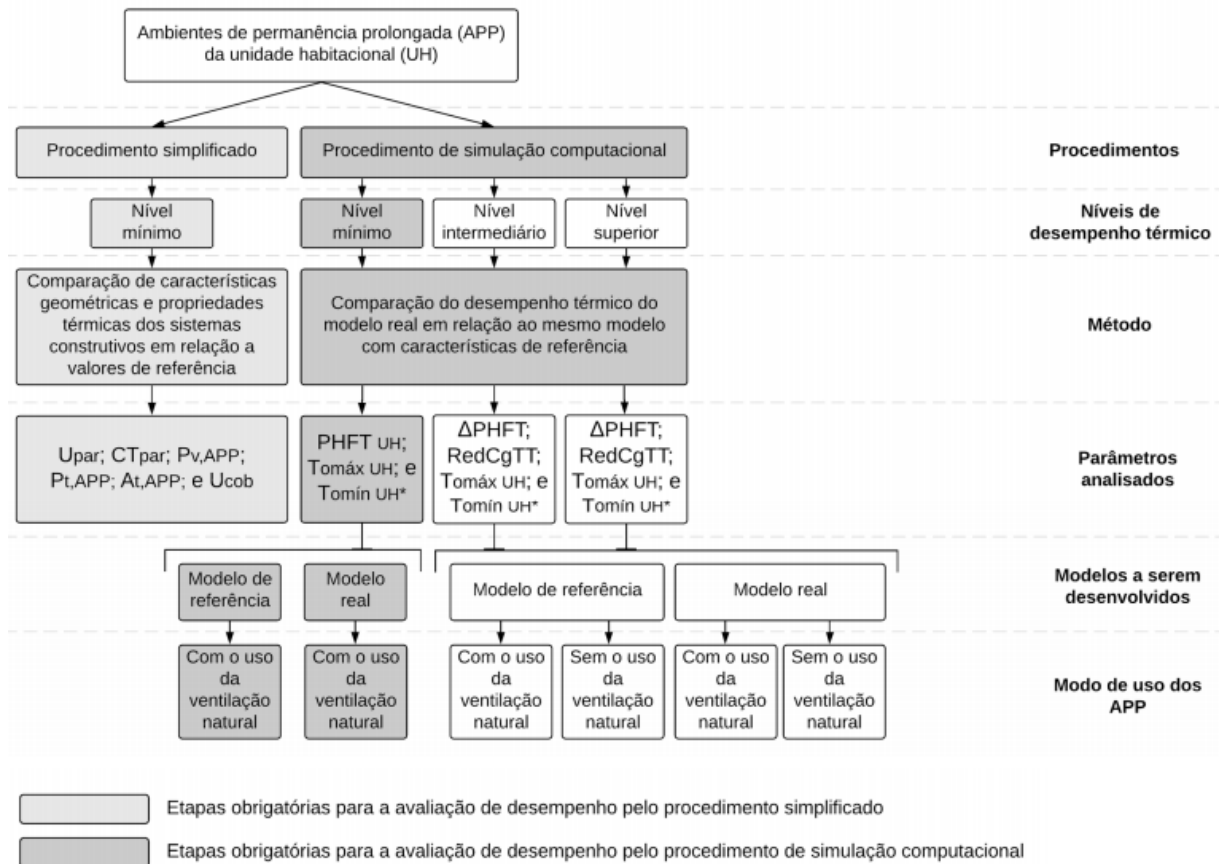
Para fins de aplicação do método de avaliação do desempenho térmico e classe de eficiência energética foram utilizados os padrões normativos de uso e ocupação. Para o dimensionamento da fonte de energia renovável e análise de viabilidade econômica foram considerados dois cenários: o primeiro cenário, utilizado os dados de consumo elétrico do projeto representativo com o padrão de uso e ocupação previsto na INI-R; o segundo cenário, utilizando os dados de consumo elétrico do projeto representativo com o padrão de uso e ocupação adaptado a partir da pesquisa.

3.5 DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO

A norma brasileira de desempenho de edificações residenciais, ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), entrou em vigor em 2013, com o objetivo de estabelecer os requisitos dos usuários para os ambientes habitacionais. O desempenho é considerado pela norma como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. Dessa forma, dentre os requisitos de habitabilidade, é estabelecido o desempenho térmico, que visa garantir ao usuário condições térmicas adequadas para o desenvolvimento das suas atividades na habitação. Em

março de 2021 foi publicada a Emenda 1 (ABNT, 2021a), que atualiza o método e determina que a avaliação do desempenho térmico pode ser realizada por meio de dois procedimentos, simplificado ou de simulação computacional (Figura 10). O método de avaliação da eficiência energética da envoltória da INI-R replica o método de avaliação de desempenho térmico da NBR 15575. Portanto, a determinação do nível desempenho térmico terá como finalidade a classificação de eficiência energética da envoltória.

Figura 10 – Procedimentos de avaliação de desempenho térmico.



*Necessário apenas para as zonas bioclimáticas 1, 2, 3 e 4

Fonte: ABNT (2021a).

3.5.1 Procedimento simplificado

O procedimento simplificado avalia o desempenho térmico da unidade habitacional por meio da comparação de características geométricas dos ambientes de permanência prolongada e de propriedades térmicas dos sistemas construtivos (sistemas de vedações verticais externas e coberturas) em relação aos valores de referência destes parâmetros.

No caso do não atendimento de algum dos critérios do procedimento simplificado, toda a avaliação da unidade habitacional deve ser realizada por meio do procedimento de simulação computacional. O procedimento simplificado permite a análise de desempenho térmico para a obtenção do nível mínimo, de caráter obrigatório. O atendimento aos níveis intermediário e superior deve ser avaliado por meio do procedimento de simulação computacional. Por este motivo o procedimento simplificado não foi aplicado no contexto desta pesquisa, uma vez que se busca atingir o nível superior de desempenho térmico.

3.5.2 Simulação computacional

O procedimento de simulação computacional representa a maneira mais abrangente e representativa de análise do desempenho térmico disponível no método proposto para a NBR 15575, permitindo avaliações para a obtenção dos níveis de desempenho mínimo, intermediário e superior (LABEEE, 2020). Este procedimento avalia o desempenho térmico anual da envoltória da edificação, em relação a esta envoltória com características de referência. Neste procedimento devem ser elaborados dois modelos:

- o modelo real, que conserva as características geométricas da unidade habitacional, as propriedades térmicas e composições dos elementos transparentes, paredes e cobertura;
- o modelo de referência, que representa a edificação avaliada, mas com características de referência, conforme apresentado na Tabela 5.

Quando avaliado o desempenho térmico para o atendimento do nível mínimo, os modelos real e de referência devem ser simulados considerando somente o uso da ventilação natural nos ambientes de permanência prolongada. Para a obtenção dos níveis intermediário e superior, os modelos real e de referência devem ser simulados em duas condições, com e sem o uso da ventilação natural (ABNT, 2021a).

A partir da simulação com o uso da ventilação natural, devem ser determinados:

- O percentual de horas ocupadas dos ambientes de permanência prolongada dentro de uma faixa de temperatura operativa, sendo que a faixa de temperatura operativa considerada para a Zona Bioclimática 1 é de 18°C a 26°C;
- As temperaturas operativas anuais máxima e mínima de cada ambiente de permanência prolongada, considerando apenas os períodos de ocupação dos mesmos.

Após a obtenção dos indicadores para cada ambiente de permanência prolongada, deve-se determinar o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, temperatura operativa máxima e temperatura operativa mínima da unidade habitacional (ABNT, 2021a). O método de cálculo destes parâmetros é apresentado nas seções 3.5.2.1 e 3.5.2.2.

A partir da simulação sem o uso da ventilação natural, devem ser determinados:

- O somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração;
- O somatório anual dos valores horários da carga térmica de aquecimento.

A partir dos valores de carga térmica de refrigeração e térmica de aquecimento para cada ambiente de permanência prolongada, deve-se determinar o somatório anual dos valores horários da carga térmica total da unidade habitacional (ABNT, 2021a). O método de cálculo destes parâmetros é apresentado na seção 3.5.2.3.

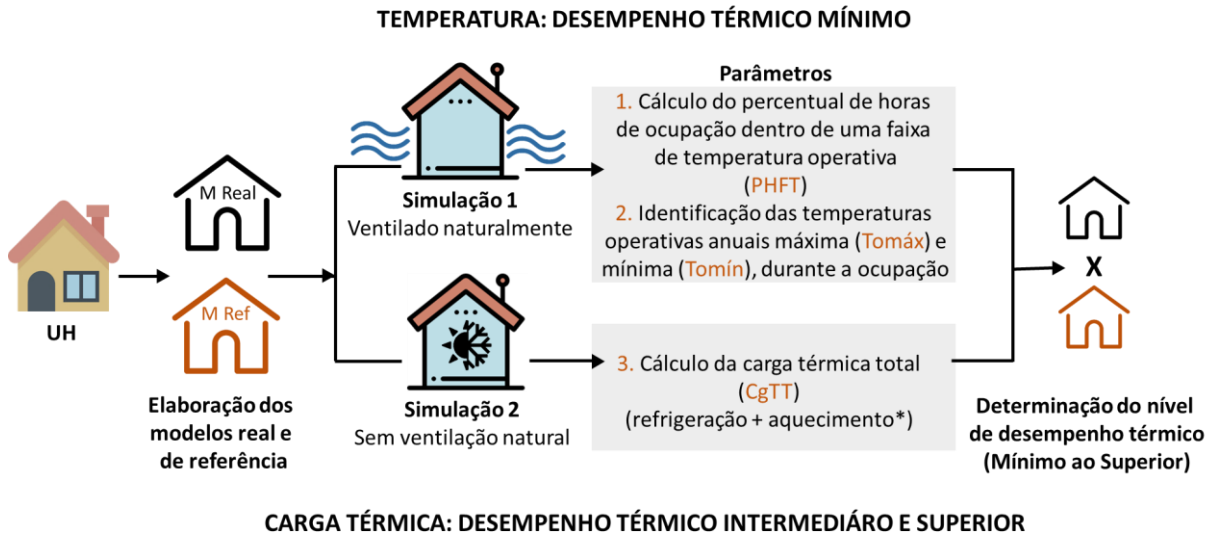
Os níveis de desempenho térmico da unidade habitacional (mínimo, intermediário e superior) são definidos a partir dos seguintes critérios:

- Mínimo, que avalia o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e temperaturas operativas anuais máxima e mínima da unidade habitacional do modelo real, em relação ao modelo de referência;
- Intermediário, que avalia o modelo real no atendimento dos critérios do nível mínimo, assim como quanto ao incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e à redução da carga térmica total do modelo real, em relação ao modelo de referência;
- Superior, que avalia o modelo real no atendimento dos critérios do nível mínimo, assim como quanto ao incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e à redução da carga térmica total do modelo real, em relação ao modelo de referência. Diferencia-se do nível intermediário na obtenção de reduções mais elevadas da carga térmica total (ABNT, 2021a).

O método de avaliação de desempenho térmico intermediário e superior é apresentado na seção 3.5.2.4. Os indicadores de desempenho térmico e modelos de simulação necessários para a avaliação do nível de desempenho por meio de simulação computacional são apresentados na Figura 11. Quando avaliadas unidades habitacionais de edificações multifamiliares, a exemplo de edifícios de apartamentos, devem ser considerados o pavimento

térreo, o pavimento tipo e o pavimento de cobertura, sendo que todas as unidades habitacionais destes pavimentos devem ser consideradas (ABNT, 2021a).

Figura 11 – Fluxograma do procedimento de simulação computacional.



Onde: PHFT – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; $Tomáx$ – temperatura operativa máxima; $Tomín$ – temperatura operativa mínima e CgTT – carga térmica total.

Fonte: LabEEE (2020).

Tabela 5 – Características dos modelos real e de referência.

Característica	Modelo real	Modelo de referência
Arquivo Climático		Condição real
Geometria		Condição real
Orientação solar		Condição real
Tamanho das aberturas	Condição real	Condição de referência
Proteções solares	Condição real	Condição de referência
Componentes construtivos da envoltória	Condição real	Condição de referência
Padrão de ocupação	Conforme especificação da NBR 15575	
Quantidade de ocupantes	Duas pessoas por dormitório	
Carga interna: pessoas	81 W/m ² por pessoa (dormitório) 108 W/m ² por pessoa (sala)	
Carga interna: iluminação	5 W/m ² para sala e dormitórios	
Carga interna: equipamentos	120 W para sala	
Ventilação natural: portas	Conforme especificação da NBR 15575	
Ventilação natural: janelas	Conforme especificação da NBR 15575	
Temperatura de <i>setpoint</i> (condição sem ventilação natural)	Temp. Mínima = 21°C Temp. Máxima = 23°C	

Fonte: Adaptado de ABNT (2021a).

O procedimento de simulação computacional foi realizado por meio do *software* Energy Plus versão 9.3. O arquivo climático utilizado nas simulações deve ser proveniente da

base-padrão, descrita na ABNT TR 15575-1 (ABNT, 2021d). Caso o município de implantação da edificação avaliada não possua arquivo climático, deve ser utilizado o arquivo climático de um município próximo com clima semelhante. A semelhança entre os climas deve considerar a comparação da distância euclidiana, ponderando latitude, longitude e altitude.

3.5.2.1 Percentual de horas ocupadas da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa

Este critério avalia o percentual de horas em que a unidade habitacional se encontra dentro de uma faixa de temperatura operativa. O percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa é resultado da avaliação individual de cada ambiente de permanência prolongada desta unidade habitacional, durante o seu respectivo período de ocupação, de acordo com a faixas de temperatura operativa, que na região Sul é de 18°C a 26°C (ABNT, 2021a). Os procedimentos de determinação do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa de cada ambiente de permanência prolongada e da unidade habitacional são descritos nas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$PHFT_{APP} = 100 \cdot \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \quad (1)$$

Onde:

$PHFT_{APP}$ é o percentual de horas de ocupação do ambiente de permanência prolongada dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

Nh_{FT} é o número de horas em que o ambiente de permanência prolongada se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa (entre 18°C e 26°C na região Sul), ao longo do ano;

Nh_{Ocup} é o número de horas em que o ambiente de permanência prolongada é ocupado ao longo do ano, equivalente a 2.920 h para salas e 3.650 h para dormitórios.

$$PHFT_{UH} = \frac{\sum_{i=1}^n PHFT_{APP,i}}{N} \quad (2)$$

Onde

$PHFT_{UH}$ é o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

$PHFT_{APP,i}$ é o percentual de horas de ocupação do ambiente de permanência prolongada i dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);

N é o número de ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

Para o atendimento ao critério de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa no nível mínimo, os resultados da simulação para o modelo real de simulação computacional devem apresentar, ao longo de um ano e durante os períodos de ocupação dos ambientes de permanência prolongada, percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real que seja superior a 90% do obtido para o modelo de referência. O atendimento ao critério de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, nos níveis intermediário e superior, é realizado por meio de um incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real em relação à unidade habitacional de referência, conforme apresentado na seção 3.5.2.4.

3.5.2.2 Temperaturas operativas anuais máxima e mínima da unidade habitacional

Este critério avalia as temperaturas operativas anuais máxima e mínima da unidade habitacional, que devem ser obtidas considerando-se os períodos de ocupação dos ambientes de permanência prolongada.

Deve ser determinada a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional, dentro dos períodos de ocupação, a partir da comparação da temperatura operativa máxima de cada ambiente de permanência prolongada desta unidade habitacional, adotando-se o maior valor entre os ambientes de permanência prolongada. O mesmo procedimento deve ser aplicado para a determinação da temperatura operativa anual mínima.

Para todos os níveis de desempenho a temperatura operativa anual máxima do modelo real deve ser menor ou igual à obtida para o modelo de referência, após somado um valor de tolerância, conforme Equação 3. Deve-se considerar o valor de tolerância igual a 2°C para as unidades habitacionais unifamiliares e para as unidades habitacionais em edificações multifamiliares localizadas no pavimento de cobertura. Para as unidades habitacionais em edificações multifamiliares localizadas nos pavimentos térreo ou tipo, deve-se adotar o valor de tolerância igual a 1°C.

$$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx \quad (3)$$

Onde:

$Tomáx_{UH,real}$ é a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo real (°C);

$Tomáx_{UH,ref}$ é a temperatura operativa anual máxima da unidade habitacional no modelo de referência (°C);

$\Delta Tomáx$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (°C).

A temperatura operativa mínima do modelo real deve ser igual ou superior à temperatura operativa mínima do modelo de referência, após reduzido um valor de tolerância. Deve-se adotar o valor de tolerância igual a 1°C para todas as unidades habitacionais avaliadas. O critério de temperatura operativa anual mínima é descrito por meio da Equação 4.

$$Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} - \Delta Tomín \quad (4)$$

Onde:

$Tomín_{UH,real}$ é a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo real (°C);

$Tomín_{UH,ref}$ é a temperatura operativa anual mínima da unidade habitacional no modelo de referência (°C);

$\Delta Tomín$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual mínima (°C).

3.5.2.3 Carga térmica total da unidade habitacional

Este critério avalia a carga térmica total da unidade habitacional no modelo de simulação sem o uso da ventilação natural, nos períodos em que os ambientes de permanência prolongada do modelo com o uso de ventilação natural estiverem ocupados e com temperaturas operativas entre 18°C e 26°C, intervalo aplicável na região Sul. A carga térmica total da unidade habitacional é resultado da avaliação individual das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento de cada ambiente de permanência prolongada da unidade habitacional. O procedimento de determinação das cargas térmicas de refrigeração, de aquecimento e da carga térmica total da unidade habitacional é realizado por meio das Equações 5 a 7.

$$CgTR_{UH} = \sum_{i=1}^n CgTR_{APP,i} \quad (5)$$

Onde:

$CgTR_{UH}$ é a carga térmica de refrigeração da unidade habitacional, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTR_{APP,i}$ é a carga térmica de refrigeração do ambiente de permanência prolongada i , expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

n é o número de ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

$$CgTA_{UH} = \sum_{i=1}^n CgTA_{APP,i} \quad (6)$$

Onde:

$CgTA_{UH}$ é a carga térmica de aquecimento da unidade habitacional, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTA_{APP,i}$ é a carga térmica de aquecimento do ambiente de permanência prolongada i , expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

n é o número de ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

$$CgTT_{UH} = CgTR_{UH} + CgTA_{UH} \quad (7)$$

Onde:

$CgTT_{UH}$ é a carga térmica total da unidade habitacional, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano).

$CgTR_{UH}$ é a carga térmica de refrigeração da unidade habitacional, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTA_{UH}$ é a carga térmica de aquecimento da unidade habitacional, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

O critério da carga térmica total é considerado nos níveis de desempenho intermediário e superior, não sendo obrigatório para a determinação no nível mínimo (Tabela 6).

Tabela 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à carga térmica total.

Nível de desempenho	Critério
Mínimo	Não considera
Intermediário	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mín}}$
Superior	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mín}}$

Onde: RedCgTT – redução da carga térmica total do modelo real em relação à referência; $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ – redução mínima da carga térmica total do modelo real em relação à referência.

3.5.2.4 Níveis de desempenho térmico intermediário e superior

A avaliação destes níveis baseia-se na capacidade de incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real e de redução da carga térmica total do modelo real em relação ao modelo de referência. O incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e a percentual de redução da carga térmica total são analisados em comparação com os valores mínimos estabelecidos, determinados como o incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e percentual mínimo de redução da carga térmica total, conforme Tabela 7. Assim como na análise de desempenho mínimo, o critério de temperaturas operativas anuais máxima e mínima também deve ser atendido para a obtenção dos níveis intermediário e superior.

Tabela 7 – Critérios para o atendimento dos níveis de desempenho térmico intermediário e superior.

Nível de desempenho	Critérios
Intermediário	$\Delta\text{PHFT} \geq \Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$, $\text{Tomáx}_{\text{UH,real}} \leq \text{Tomáx}_{\text{UH,ref}} + \Delta\text{Tomáx}$, $\text{Tomín}_{\text{UH,real}} \geq \text{Tomín}_{\text{UH,ref}} - \Delta\text{Tomín}$ e $\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mín}}$
Superior	$\Delta\text{PHFT} \geq \Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$, $\text{Tomáx}_{\text{UH,real}} \leq \text{Tomáx}_{\text{UH,ref}} + \Delta\text{Tomáx}$, $\text{Tomín}_{\text{UH,real}} \geq \text{Tomín}_{\text{UH,ref}} - \Delta\text{Tomín}$ e $\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mín}}$

Onde: ΔPHFT – incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ – incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; $\text{Tomáx}_{\text{UH,real}}$ – temperatura operativa máxima do modelo real; $\text{Tomín}_{\text{UH,real}}$ – temperatura operativa mínima do modelo real; $\text{Tomáx}_{\text{UH,ref}}$ – temperatura operativa máxima do modelo de referência; $\text{Tomín}_{\text{UH,ref}}$ – temperatura operativa mínima do modelo de referência; $\Delta\text{Tomáx}$ – tolerância para a temperatura operativa máxima; $\Delta\text{Tomín}$ – tolerância para a temperatura operativa mínima; RedCgTT – redução da carga térmica total; $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ – percentual mínimo de redução da carga térmica total.

Fonte: Adaptado de ABNT (2021a).

Os valores de incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e redução mínima da carga térmica total são apresentados na Tabela 8, para o nível intermediário, e na Tabela 9, para o nível superior. Estes parâmetros devem ser analisados a partir dos valores de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e da carga térmica total do modelo de referência.

A obtenção do nível intermediário também está condicionada a um critério de carga térmica, delimitado por um percentual mínimo de redução da carga térmica total. Para um modelo de referência com percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência inferior a 70%, o percentual mínimo de redução da carga térmica total é igual a zero, ou seja, a carga térmica total do modelo real deve ser menor ou igual à carga térmica total do modelo de referência. Se o modelo de referência possuir percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência igual ou superior a 70%, o modelo real deve obter redução da carga térmica total, de modo a atender ao percentual mínimo de redução da carga térmica total estabelecido na Tabela 8. A avaliação do nível de desempenho térmico superior é realizada com base no incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real e na redução da carga térmica total, que devem atender aos limites estabelecidos na Tabela 9. O nível superior também pode ser obtido se o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real do modelo real for maior ou igual a 95%, juntamente com o atendimento ao critério de temperaturas anuais máxima e mínima. Nas Tabelas 8 e 9 a carga térmica total deve ser analisada em relação à área de piso da unidade habitacional, que representa a soma das áreas de piso de todos os ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional, em metros quadrados.

Tabela 8 – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e redução mínima da carga térmica total para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário.

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		-	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
PHFT_{UH,ref} [%]	CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} [kWh / (ano.m ²)]	ΔPHFT_{min} [%]			
PHFT _{UH,ref} < 70%	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 12.			
PHFT _{UH,ref} ≥ 70%	Todos os valores	0	0	0	0
PHFT_{UH,ref} [%]	CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} [kWh / (ano.m ²)]	RedCgTT_{min} [%]			
PHFT _{UH,ref} < 70%	Todos os valores	0	0	0	0
PHFT _{UH,ref} ≥ 70%	CgTT _{UH,ref} / A _{p,UH} < 100	17	15	22	15
	CgTT _{UH,ref} / A _{p,UH} ≥ 100	27	20	25	20

Onde: ΔPHFT_{min} – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; PHFT_{UH,real} – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real; PHFT_{UH,ref} – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência; CgTT_{UH,ref} – carga térmica total do modelo de referência; A_{p,UH} – área de piso da unidade habitacional. Fonte: ABNT (2021a).

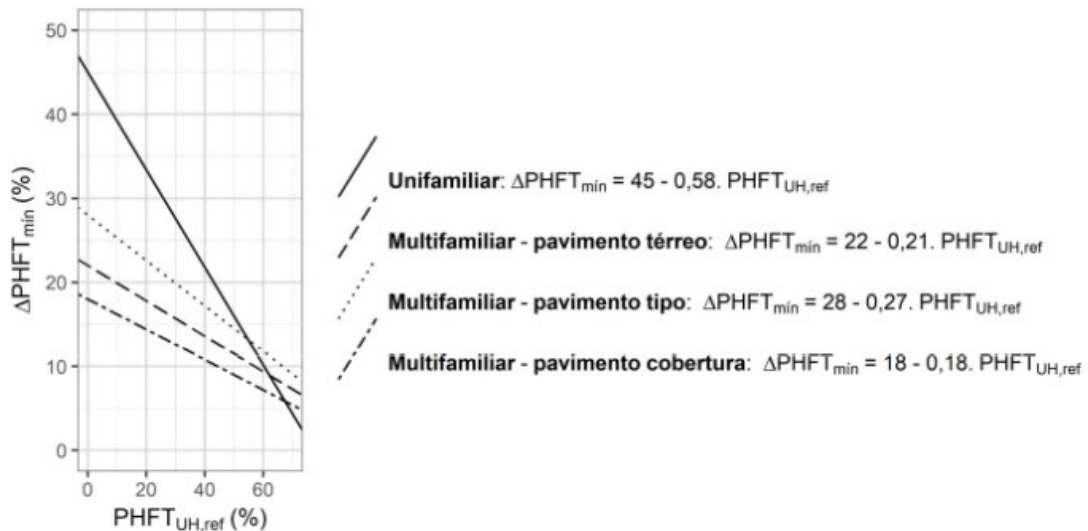
Tabela 9 – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e redução mínima da carga térmica total para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior.

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		-	Pavimento térreo	Pavimento térreo	Pavimento térreo
PHFT_{UH,ref} [%]	CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} [kWh / (ano.m ²)]	ΔPHFT_{min} [%]			
PHFT _{UH,ref} < 70%	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 12.			
PHFT _{UH,ref} ≥ 70%	Todos os valores	0	0	0	0
PHFT_{UH,ref} [%]	CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} [kWh / (ano.m ²)]	RedCgTT_{min} [%]			
Todos os valores	CgTT _{UH,ref} / A _{p,UH} < 100	35	30	45	30
	CgTT _{UH,ref} / A _{p,UH} ≥ 100	55	40	50	40

Onde: ΔPHFT_{min} – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; PHFT_{UH,real} – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real; PHFT_{UH,ref} – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência; CgTT_{UH,ref} – carga térmica total do modelo de referência; A_{p,UH} – área de piso da unidade habitacional. Fonte: ABNT (2021a).

Deve-se utilizar o ábaco ou as equações demonstrados na Figura 12 para a obtenção do incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa quando o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa for menor ou igual a 70%.

Figura 12 – Ábaco e equações para a obtenção do incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa quando o percentual do modelo de referência for inferior a 70%.



Fonte: ABNT (2021a).

Onde:

$\Delta PHFT_{\min}$ é o incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa em relação ao modelo de referência, expresso em porcentagem (%);

$PHFT_{UH,ref}$ é o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional no modelo de referência dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%).

O incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa do modelo real em relação ao modelo de referência é determinado por meio da Equação 8.

$$\Delta PHFT = PHFT_{UH,real} - PHFT_{UH,ref} \quad (8)$$

Onde:

$\Delta PHFT$ é o incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real em relação ao modelo de referência, expresso em percentagem (%);

$PHFT_{UH,real}$ é o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional no modelo real dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em percentagem (%);

$PHFT_{UH,ref}$ é o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional no modelo de referência dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em percentagem (%).

A redução da carga térmica total do modelo real em relação à carga térmica total do modelo de referência é dada por meio da Equação 9.

$$RedCgTT = \left[1 - \frac{(CgTT_{UH,real})}{(CgTT_{UH,ref})} \right] \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:

$RedCgTT$ é a redução da carga térmica total da unidade habitacional no modelo real em relação ao modelo de referência, expressa em percentagem (%);

$CgTT_{UH,real}$ é a carga térmica total da UH no modelo real, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano);

$CgTT_{UH,ref}$ é a carga térmica total da UH no modelo de referência, expressa em quilowatts-hora por ano (kWh/ano).

3.6 DEFINIÇÃO DA CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) determina os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética de edificações residenciais. Esta instrução encontrava-se em consulta pública no período de elaboração deste trabalho, tendo sido utilizado como referência o texto base publicado pelo PBE Edifica por meio da Consulta Pública Nº 18, de 12 de julho de 2021 (PBE EDIFICA, 2021a). A estrutura da INI-R permite que uma edificação receba classificação de eficiência geral ou dos sistemas individuais: envoltória e sistema de aquecimento de água. Esses dois sistemas individuais devem ser avaliados independentemente do método utilizado para a classificação geral (prescritivo, simplificado ou simulação).

O sistema de condicionamento de ar auxilia na determinação do consumo da envoltória, entretanto, não é classificado nesta INI-R. Há ainda o procedimento para determinação da classificação de eficiência energética das áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais, que não será considerado neste trabalho.

A classificação é realizada com base no percentual de redução do consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação no modelo real com a mesma edificação com características de referência (modelo de referência), equivalente à classificação C (INMETRO, 2021). O percentual de redução deve ser calculado conforme Equação 10.

$$RedC_{EP} = \left((C_{EP,ref} - C_{EP,real}) / C_{EP,ref} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

Onde:

$RedC_{EP}$ é o percentual de redução do consumo de energia primária da unidade habitacional no modelo real em relação à unidade habitacional no modelo de referência;

$C_{EP,ref}$ é o consumo anual de energia primária da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

$C_{EP,real}$ é o consumo anual de energia primária da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano).

O consumo de energia primária da unidade habitacional no modelo real e no modelo de referência, devem ser calculados conforme as Equações 11 e 12, respectivamente.

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot f_{CE}) + (C_{ET,real} \cdot f_{CT}) - (G_{EE} \cdot f_{CE}) \quad (11)$$

Onde:

$C_{EP,real}$ é o consumo anual de energia primária da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$ é o consumo total de energia térmica da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

f_{CE} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária, igual a 1,6;

f_{CT} é o fator de conversão de energia térmica em energia primária, igual a 1,1.

$$C_{EP,ref} = (C_{EE,ref} \cdot f_{cE}) + (C_{ET,ref} \cdot f_{cT}) \quad (12)$$

Onde:

$C_{EP,ref}$ é o consumo anual de energia primária da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

$C_{EE,ref}$ é o consumo total de energia elétrica da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

$C_{ET,ref}$ é o consumo total de energia térmica da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

f_{cE} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

f_{cT} é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

O consumo total de energia elétrica da unidade habitacional no modelo real (Equação 13) e no modelo de referência (Equação 14) é composto pela soma dos consumos para refrigeração, para aquecimento, para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica e consumo médio estimado de equipamentos (INMETRO, 2021).

$$C_{EE,real} = CR_{UH,real} + CA_{UH,real} + C_{AAE,real} + C_{EQ} \quad (13)$$

Onde:

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

$CR_{UH,real}$ é o consumo de energia elétrica para refrigeração da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

$CA_{UH,real}$ é o consumo de energia elétrica para aquecimento da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

$C_{AAE,real}$ é o consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica da unidade habitacional no modelo real (kWh/ano);

C_{EQ} é o consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos (kWh/ano).

$$C_{EE,ref} = CR_{UH,ref} + CA_{UH,ref} + C_{AAE,ref} + C_{EQ} \quad (14)$$

Onde:

$C_{EE,ref}$ é o consumo total de energia elétrica da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

$CR_{UH,ref}$ é o consumo de energia elétrica para refrigeração da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

$CA_{UH,ref}$ é o consumo de energia elétrica para aquecimento da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

$C_{AAE,ref}$ é o consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica da unidade habitacional no modelo de referência (kWh/ano);

C_{EQ} é o consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos (kWh/ano).

O consumo médio de equipamentos (C_{EQ}), deve ser estimado por meio da Equação 15.

$$C_{EQ} = (44,6 + 26,6 * N_{UH}) * 12 \quad (15)$$

Onde:

C_{EQ} é o consumo médio estimado de equipamentos, em kWh/ano;

N_{UH} é o número de habitantes da Unidade Habitacional.

O consumo total de energia térmica da unidade habitacional no modelo real, ou no modelo de referência é equivalente ao consumo do sistema de aquecimento de água em energia térmica, somado ao consumo para aquecimento do ambiente por fontes de energia térmica, quando existentes, conforme Equação 16 (INMETRO, 2021).

$$C_{ET,real\ ou\ ref} = C_{ATT,real\ ou\ ref} + CA_{T,UH,real\ ou\ ref} \quad (16)$$

Onde:

C_{ET} é o consumo total de energia térmica da unidade habitacional no modelo real ou no modelo de referência, em kWh/ano;

C_{AAT} é o consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia térmica (kWh/ano), da unidade habitacional no modelo real ou no modelo de referência, em kWh/ano.

$CA_{T,UH}$ é o consumo de energia térmica para aquecimento da unidade habitacional (kWh/ano);

A estimativa do consumo de energia pode ser realizada por meio dos métodos simplificado e de simulação, onde são avaliados dois sistemas: o aquecimento de água e a envoltória. A avaliação da envoltória considera a carga térmica de aquecimento, quando houver, e a de refrigeração dos ambientes de permanência prolongada, bem como considera o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e as temperaturas operativas anuais máxima e mínima. Os sistemas individuais são classificados da classe A (mais eficiente) à classe E (menos eficiente), conforme escala apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Intervalos das classificações de eficiência energética da unidade habitacional.

SAA	Zona Bioclimática	Redução do Consumo de Energia Primária (%)				
		Classificação A	Classificação B	Classificação C	Classificação D	Classificação E
Com acumulação	ZB1 a ZB3	$\text{RedC}_{EP} \geq 20\%$	$20 > \text{RedC}_{EP} \geq 10$	$10 > \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$0 > \text{RedC}_{EP} \geq -10$	$\text{RedC}_{EP} < -10$
	ZB4 a ZB6	$\text{RedC}_{EP} \geq 24\%$	$24 > \text{RedC}_{EP} \geq 12$	$12 > \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$0 > \text{RedC}_{EP} \geq -12$	$\text{RedC}_{EP} < -12$
	ZB7 e ZB8	$\text{RedC}_{EP} \geq 30\%$	$30 > \text{RedC}_{EP} \geq 15$	$15 > \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$0 > \text{RedC}_{EP} \geq -15$	$\text{RedC}_{EP} < -15$
Sem acumulação	ZB1 a ZB3	$\text{RedC}_{EP} \geq 12\%$	$12 > \text{RedC}_{EP} \geq 6$	$6 > \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$0 > \text{RedC}_{EP} \geq -6$	$\text{RedC}_{EP} < -6$
	ZB4 a ZB6	$\text{RedC}_{EP} \geq 20\%$	$20 > \text{RedC}_{EP} \geq 10$	$10 > \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$0 > \text{RedC}_{EP} \geq -10$	$\text{RedC}_{EP} < -10$
	ZB7 e ZB8	$\text{RedC}_{EP} \geq 28\%$	$28 > \text{RedC}_{EP} \geq 14$	$14 > \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$0 > \text{RedC}_{EP} \geq -14$	$\text{RedC}_{EP} < -14$

Onde: SAA – Sistema de aquecimento de água. Fonte: INMETRO (2021a)

O consumo de energia primária da edificação resulta da soma das energias elétrica e térmica, que devem ser devidamente transformadas a partir de seus fatores de conversão, descontando-se a parcela de energia primária referente à geração local de energia renovável, quando existente (INMETRO, 2021). O método simplificado não será aplicado neste estudo, que tem como foco o método computacional. Independentemente do método utilizado, são avaliados dois sistemas individuais: a envoltória e o aquecimento de água.

3.6.1 Determinação da classe de eficiência energética da envoltória

A classificação da envoltória segue o procedimento de simulação computacional de avaliação do desempenho térmico da NBR 15575 descrito na seção 3.5.2, estabelecendo a relação de equivalência apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 – Relação de equivalência entre os níveis de desempenho térmico e as classes de eficiência energética da envoltória.

Classe de eficiência energética da envoltória	Nível de desempenho térmico
Classe A	Superior
Classe B	Intermediário
Classe C	Mínimo
Classe D	Mínimo
Classe E	-

Fonte: adaptado de INMETRO (2021a).

Assim como no procedimento computacional da NBR 15575, a determinação da classe de eficiência energética é realizada em função do atendimento dos critérios do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, temperaturas operativas anuais máxima e mínima e carga térmica total da unidade habitacional. Os ajustes a seguir apresentados são considerados para a equivalência às classes de eficiência.

3.6.1.1 Critério do Percentual de horas ocupadas da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa

Para o atendimento ao critério de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa nas classes C e D, o modelo real de simulação computacional deve apresentar, ao longo de um ano e durante os períodos de ocupação dos ambientes de permanência prolongada, percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real que seja superior a 90% do obtido para o modelo de referência, conforme Tabela 12. O atendimento ao critério de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa na classe B e na classe A é realizado por meio de um incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real em relação ao modelo de referência, conforme apresentado na Tabela 12. O valor referente ao incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, que representa o incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real para o atendimento às classes de eficiência energética, é fornecido na Tabela 8 (classe B) e na Tabela 9 (classe A) da seção 3.5.2.

Tabela 12 – Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto ao percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa.

Classe de eficiência energética	Critério
Classe D	$PHFT_{UH,real} > 0,9.PHFT_{UH,ref}$
Classe C	$PHFT_{UH,real} > 0,9.PHFT_{UH,ref}$
Classe B	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{minB}$
Classe A	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{minA}$

$\Delta PHFT$ – Incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; $PHFT_{UH,real}$ – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real; $PHFT_{UH,ref}$ – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência; $\Delta PHFT_{minB}$ – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa para Classe B de eficiência energética; $\Delta PHFT_{minA}$ – Incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa para Classe A de eficiência energética.

Fonte: INMETRO (2021a)

3.6.1.2 Critério das temperaturas operativas anuais máxima e mínima

Para as classes de eficiência energética D, C, B e A, a temperatura operativa anual máxima do modelo real deve ser menor ou igual à obtida para o modelo de referência, após somado um valor de tolerância, conforme Equação 3 da seção 3.5.2.

A temperatura operativa anual mínima do modelo real deverá ser igual ou superior à temperatura operativa anual mínima do modelo de referência, após reduzido um valor de tolerância, conforme Equação 4 da seção 3.5.2.

3.6.1.3 Critério da carga térmica total

O critério de carga térmica total é considerado conforme Tabela 13. Para o atendimento deste critério na classe D, o modelo real deve possuir carga térmica total superior à obtida para o modelo de referência em proporção limitada aos valores da Tabela 14. O atendimento à classe C está condicionado à obtenção de carga térmica total do modelo real inferior ou igual à carga térmica total do modelo de referência, ou seja, a redução de carga térmica total deve ser maior ou igual a zero e inferior aos limites estabelecidos para a classe D. O atendimento às classes B e A requer a obtenção de redução percentual mínima da carga térmica total do modelo real em relação à carga térmica total do modelo de referência, conforme Tabelas 8 e 9 da seção 3.5.2, respectivamente.

Tabela 13 – Critério de classificação de eficiência energética da envoltória quanto a carga térmica total.

Classe de eficiência energética	Critério
Classe D	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mínD}}$ (Tabela 14)
Classe C	$\text{RedCgTT} \geq 0\%$ e $\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mínD}}$
Classe B	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mínB}}$ (Tabela 8)
Classe A	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTT}_{\text{mínA}}$ (Tabela 9)

Onde: RedCgTT – percentual de redução da carga térmica total; $\text{RedCgTT}_{\text{mínD}}$ – percentual mínimo de redução da carga térmica total para classe de eficiência D; $\text{RedCgTT}_{\text{mínB}}$ – percentual mínimo de redução da carga térmica total para classe de eficiência B; $\text{RedCgTT}_{\text{mínA}}$ – percentual mínimo de redução da carga térmica total para classe de eficiência A. Fonte: adaptado de INMETRO (2021a).

Tabela 14 – $\text{RedCgTT}_{\text{mínD}}$ para o atendimento à classe D de eficiência energética.

Critério	Tipologia			
	Unifamiliar	Multifamiliar		
		-	Pavimento térreo	Pavimento tipo
$\text{CgTT}_{\text{UH,ref}} / A_{\text{p,UH}}$ [kWh / (ano.m ²)]		$\text{RedCgTT}_{\text{mínD}}$ [%]		
$\text{CgTT}_{\text{UH,ref}} / A_{\text{p,UH}} < 100$	-17	-15	-22	-15
$\text{CgTT}_{\text{UH,ref}} / A_{\text{p,UH}} \geq 100$	-27	-20	-25	-20

Onde: $\text{RedCgTT}_{\text{mínD}}$ – percentual mínimo de redução da carga térmica total para classe de eficiência D; $\text{CgTT}_{\text{UH,ref}}$ – carga térmica total do modelo de referência; $A_{\text{p,UH}}$ – área de piso da unidade habitacional. Fonte: adaptado de INMETRO (2021a).

3.6.2 Determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água

A classificação de eficiência energética do sistema de aquecimento de água baseia-se no percentual de redução de consumo de energia primária necessário para atender a demanda de água quente da edificação. O limite inferior do percentual de redução para cada intervalo de classificação varia de acordo o tipo de sistema empregado (com ou sem acumulação) conforme Tabela 15. Caso o valor de redução for negativo, o sistema de aquecimento de água recebe a classificação E.

Tabela 15 – Limites inferiores de percentual de redução do consumo de energia primária necessário para atender a demanda de água quente da edificação, para cada classificação de acordo com o sistema empregado.

Sistema de aquecimento de água	Redução do Consumo de Energia Primária (%)			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Com acumulação	$RedC_{AA} > 30$	$30 \geq RedC_{AA} > 20$	$20 \geq RedC_{AA} > 10$	$RedC_{AA} \leq 10$
Sem acumulação	$RedC_{AA} > 21$	$21 \geq RedC_{AA} > 14$	$14 \geq RedC_{AA} > 7$	$RedC_{AA} \leq 7$

Onde: $RedC_{AA}$ é o percentual de redução do consumo de energia primária para a demanda de água quente da edificação real em relação à edificação na condição de referência. Fonte: INMETRO (2021a).

O percentual de redução do consumo de energia primária necessário para atender à demanda de água quente é calculado de acordo com as Equações 17 a 22.

$$RedC_{AA} = \left(\frac{C_{AA,ref} - C_{AA,real}}{C_{AA,ref}} \right) \cdot 100 \quad (17)$$

Onde:

$RedC_{AA}$ é o percentual de redução do consumo de energia primária para a demanda de água quente da edificação real em relação à edificação na condição de referência (%);

$C_{AA,ref}$ é o consumo de energia primária para a demanda de água quente da condição de referência (kWh/ano);

$C_{AA,real}$ é o consumo de energia primária para a demanda de água quente da edificação real (kWh/ano).

$$C_{AA,real\ ou\ ref} = (C_{AAE,real\ ou\ ref} \cdot f_{cE}) + (C_{AAT,real\ ou\ ref} \cdot f_{cT}) \quad (18)$$

Onde:

C_{AA} é o consumo total de energia primária para aquecimento de água da edificação em sua condição real e em sua condição de referência (kWh/ano);

C_{AAE} é o consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica em sua condição real e condição de referência (kWh/ano);

f_{cE} é o fator de conversão de energia elétrica para energia primária;

C_{AAT} é o consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia térmica da edificação real e condição de referência (kWh/ano);

f_{CT} é o fator de conversão de energia térmica para energia primária.

$$C_{AA,real} = N_{ano} \cdot \frac{E_{AAE} - E_{AA,rec,sol} + E_{per,e}}{r_{aq,e}} \quad (19)$$

$$C_{AA,ref} = N_{ano} \cdot \frac{E_{AAE} + E_{per,e}}{r_{aq,e}} \quad (20)$$

Onde:

E_{AAE} é o consumo de energia elétrica para aquecimento de água da edificação real e sua condição de referência em kWh/ano;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano;

E_{AAE} é a energia elétrica requerida para o atendimento da demanda de água quente (kWh/dia);

$E_{AA,rec,sol}$ é a energia para aquecimento de água proveniente de sistemas que recuperam calor ou energia solar térmica, quando existentes (kWh/dia);

$E_{per,e}$ é a energia consumida para suprir as perdas térmicas atribuídas à fonte elétrica (kWh/dia);

$r_{aq,e}$ é o coeficiente de rendimento do equipamento para o aquecedor de água de fonte elétrica, que no caso do chuveiro elétrico, é de 95%.

$$E_{AAE} = \frac{\rho \cdot C_p \cdot V_{dia,E} \cdot (\theta_{A,uso} - \theta_{A,0})}{3600} \quad (21)$$

Onde:

E_{AAE} é a energia elétrica requerida para o atendimento da demanda diária de água quente (kWh/dia);

ρ é a massa específica da água, equivalente a 1 kg/L;

C_p é o calor específico da água, equivalente a 4.180 kJ/g.°C;

$V_{dia,E}$ é o volume diário de consumo de água quente em sistemas elétricos (m³/dia);

$\theta_{A,uso,armaz}$ é a temperatura de uso da água, que é de 40°C para sistemas sem armazenamento de água quente na região sul.

$\theta_{A,0}$ é a temperatura da água fria, que é 17,2°C, a média anual da temperatura ambiente da cidade onde está localizada a edificação.

$$V_{dia,e} = \frac{\sum V_{dia,f} \cdot f}{1000} \quad (22)$$

Onde:

$V_{\text{dia,e}}$ é o volume diário de consumo de água quente (m^3/dia) da unidade habitacional para sistemas elétricos;

$V_{\text{dia,f}}$ é o volume diário de consumo de água quente por pessoa em sistemas elétricos, calculado considerando 50 litros/pessoa/dia para o volume diário de consumo (L);

f é o número de pessoas da unidade habitacional, calculado considerando 2 pessoas por dormitório.

3.7 DIMENSIONAMENTO DA FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL

Para o suprimento local de energia elétrica por fonte renovável foi considerado o uso de um sistema fotovoltaico, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (ANEEL, 2012a, 2015). No contexto das edificações multifamiliares este tipo de sistema enquadra-se como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (EMUC). De acordo com a Resolução Normativa Nº 687/2015 (ANEEL, 2015) o EMUC é caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitui uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituem uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio com microgeração ou minigeração distribuída.

A tecnologia baseada no aproveitamento solar fotovoltaico se apresenta com maior potencial de penetração no horizonte decenal, em razão da sua modularidade, perspectiva de custo decrescente e difusão da tecnologia entre a sociedade (EPE, 2020). Em adição, a Portaria 959/2021 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021b) prevê como requisito obrigatório a instalação de sistema fotovoltaico em empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela.

O dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica foi realizado por meio do Simulador Solar, algoritmo disponibilizado pelo Instituto Ideal que foi criado em parceria com a Cooperação Alemã Para o Desenvolvimento Sustentável, no âmbito do Programa América do Sol (INSTITUTO IDEAL, 2021).

O objetivo deste simulador é, de acordo com o autor, indicar ao usuário a potência necessária para atender a demanda energética de uma edificação residencial, comercial ou industrial. O simulador prevê o abastecimento da demanda elétrica anual informada pelo

usuário, descontando o custo de disponibilidade, que varia de acordo com o tipo de conexão (monofásica, bifásica ou trifásica). A geração fotovoltaica estimada se refere aos dados para o primeiro ano de operação do sistema fotovoltaico. Com relação aos módulos fotovoltaicos, a simulação considera o uso da tecnologia de silício policristalino, a instalação voltada para o Norte e com uma inclinação ótima, correspondente à latitude da localização escolhida.

Os dados mensais de consumo da rede elétrica ao longo de um ano são fornecidos no início da simulação, que é feita considerando o Sistema de Compensação de Energia criado pela Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012). O simulador considera um balanço anual sem acúmulo de créditos para o ano seguinte. Portanto, caso haja geração de energia além da demanda no mês, o excedente é convertido em créditos, que são usados para abater da sua fatura de eletricidade nos meses subsequentes.

Para o dimensionamento por meio do simulador é necessário informar o consumo elétrico anual. Uma vez que a edificação a ser abastecida é hipotética, os dados relativos ao consumo elétrico serão estimados por meio do método da INI-R. O custo mensal da conta de energia elétrica foi estimado com base nas tarifas vigentes da Rio Grande Energia, empresa distribuidora no Município de Caxias do Sul pertencente à Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL).

Destacam-se como limitações do simulador:

- não são consideradas as condições da vizinhança do local informado, que podem levar a uma redução da produção elétrica devido aos sombreamentos dos módulos;
- limita-se a geradores de até 5 MWp de potência, limite estabelecido pela Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012) para que possam ser conectados à rede de distribuição e participar do sistema de compensação de energia;
- atende apenas os consumidores do Grupo B (Baixa Tensão);
- não considera a perda de rendimento do sistema ao longo da operação.

O dimensionado do sistema fotovoltaico por meio do simulador teve como objetivo determinar a potência pico necessária para suprir 50% do consumo elétrico anual da edificação estudo de caso. Esta informação foi utilizada para o orçamento e análise de viabilidade econômica das medidas de eficiência energética. Adicionalmente verificou-se a área necessária para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

3.8 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As medidas de eficiência energética da envoltória tiveram seus custos diretos calculados considerando as composições unitárias, custo de insumos e serviços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa Econômica Federal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021a). Aos custos diretos foi acrescido o valor referente a Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), que representa o lucro e as despesas decorrentes da atividade empresarial que incidem de forma percentual sobre os custos da obra. O BDI inclui em sua composição: lucro, administração central, equipamentos auxiliares e/ou complementares, despesas financeiras, risco do negócio, contingências, impostos, seguros e garantias (CBIC, 2019). De acordo com o Tribunal de Contas da União (2014) o valor médio do BDI para obras do tipo construção de edifícios é de 22,12%. Para fins de orçamento do sistema fotovoltaico foi utilizado um valor de referência por Watt pico (Wp) instalado, em concordância com os valores praticados no mercado (KRUMMENAUER, 2021).

As economias financeiras devido à adoção das medidas de eficiência energética foram estimadas comparando o consumo elétrico da edificação convencional (projeto representativo) com o consumo da edificação com Classe A de eficiência. Os dados relativos ao consumo de energia elétrica nos dois cenários foram obtidos por meio do método da INI-R (seção 3.6). Foi considerada no cálculo financeiro estrutura tarifária de energia elétrica no Município de Caxias do Sul.

A análise de viabilidade econômica das medidas de eficiência energética foi realizada por meio de três índices: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* Corrigido. O VPL (Equação 23) foi obtido pela soma de todos os valores de fluxo de um fluxo caixa, trazidos para a data presente e descontada pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Foi considerada como TMA o valor médio da Selic nos último 36 meses (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). A TIR é a taxa de desconto que torna nulo o valor presente líquido de um fluxo de caixa. Se a TIR superar a TMA, o investimento é classificado como economicamente atraente, caso contrário, há recomendação técnica de rejeição (PUCCINI, 2011). O *Payback* Corrigido mede o tempo necessário para recuperar o capital investido no projeto, ou seja, em que momento o VPL do projeto será maior que zero, descontando os valores pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Os valores futuros do fluxo de caixa, bem como a

tarifa de energia elétrica, foram reajustados tendo como base o valor médio do IPC-A nos últimos vinte anos (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). O período de análise foi de cinquenta anos, equivalente ao período de vida útil da edificação (ABNT, 2003).

$$VPL = \left[\sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1 + TMA)^k} \right] - PV \quad (23)$$

Onde:

VPL é o valor presente líquido (R\$);

PMT_k é o fluxo de caixa no período k ($1 \leq k \leq n$);

n é o período de análise, em anos;

TMA é a taxa mínima de atratividade (%);

PV é o investimento inicial na origem ($t = 0$).

4 RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados referem-se aos obtidos nas etapas descritas no método do trabalho.

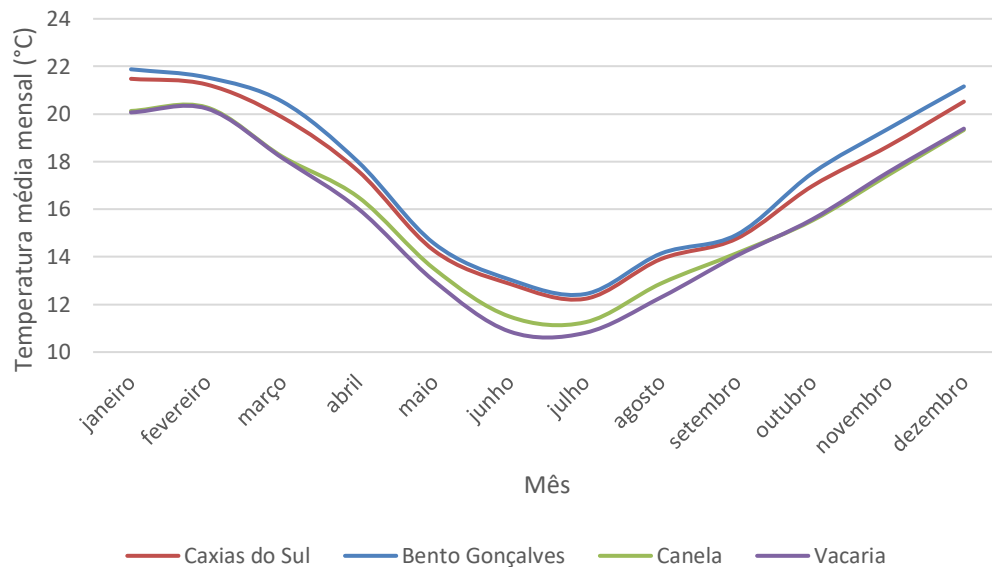
4.1 CONTEXTO CLIMÁTICO

O município de Caxias do Sul está inserido na Zona Bioclimática 1 de acordo com o zoneamento estabelecido pela Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), que divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas. Este é o zoneamento reconhecido pela Norma NBR 15575 (ABNT, 2021a) e pela INI-R (INMETRO, 2021). Na classificação climática proposta por Roriz (2014), que divide o território brasileiro em 24 grupos climáticos, município de Caxias do Sul está inserido no Grupo Climático 5. No entanto, esta classificação não é utilizada para aplicação do método de avaliação de eficiência energética de habitações residenciais, e por isso foi desconsiderada.

De acordo com os dados obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (2020), o mês mais quente no município é janeiro, com temperaturas médias máximas de 26,85°C, enquanto o mês mais frio é julho, com temperaturas médias mínimas de 8,73°C (Figura 13). A temperatura máxima registrada (horária, bulbo seco) foi de 35°C, e a mínima, -1,6°C. Os dados apresentados consideram a série histórica entre os anos de 1990 e 2020, sendo que a estação meteorológica onde foram coletados está a 750 m de altitude, localizada na latitude -29,196111° e longitude -51,186388° (INMET, 2020).

Caxias do Sul não possui um arquivo climático na base-padrão da Norma NBR 15575 (ABNT, 2021a). Os três municípios mais próximos que possuem arquivo climático na base-padrão da Norma são Bento Gonçalves, Canela e Vacaria, sendo que, a partir da comparação das temperaturas médias mensais verificou-se que o clima mais parecido é o de Bento Gonçalves (Figura 13). Para comparar a semelhança entre os climas também foi considerada a distância euclidiana, ponderando latitude, longitude e altitude (Tabela 16). Portanto, nas simulações computacionais desta pesquisa foi utilizado o arquivo climático Bento Gonçalves INMET 869790 (CLIMATE.ONEBUILDING, 2021) com dados básicos registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020) entre os anos de 2001 e 2010.

Figura 13 – Temperaturas médias mensais em Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Canela e Vacaria.



Fonte: INMET (2020).

Tabela 16 – Latitude, longitude e altitude de Caxias do Sul e Bento Gonçalves.

Parâmetro	Caxias do Sul	Bento Gonçalves	Canela	Vacaria
Distância euclidiana de Caxias do Sul (centro urbano)	-	33 km	42 km	77 km
Altitude (m)	782	629	831	970
Latitude (°)	-29,1669	-29,1674	-29,3688	-28,5136
Longitude (°)	-51,1789	-51,5156	-50,8272	-50,8827

Fonte: IBGE (2011).

4.2 PROJETO REPRESENTATIVO DE INTERESSE SOCIAL

A tipologia de habitação social mais frequente no Rio Grande do Sul é apartamento, seguida de casa (MINISTÉRIO..., 2021c). De acordo com os dados disponibilizados no site da Caixa Econômica Federal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021b), desde o ano de 2009 foram construídas no município de Caxias do Sul 1.760 unidades habitacionais enquadradas na Faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida. Esta é a categoria de menor custo, destinado às famílias de baixa renda. A totalidade dessas unidades habitacionais é da tipologia apartamento, sendo que na Figura 14 é apresentada a imagem aérea do Loteamento Campos da Serra no ano de 2012. A quantidade de blocos neste local foi ampliada em relação ao apresentado na figura, chegando a 1.340 unidades habitacionais de interesse social da Faixa 1.

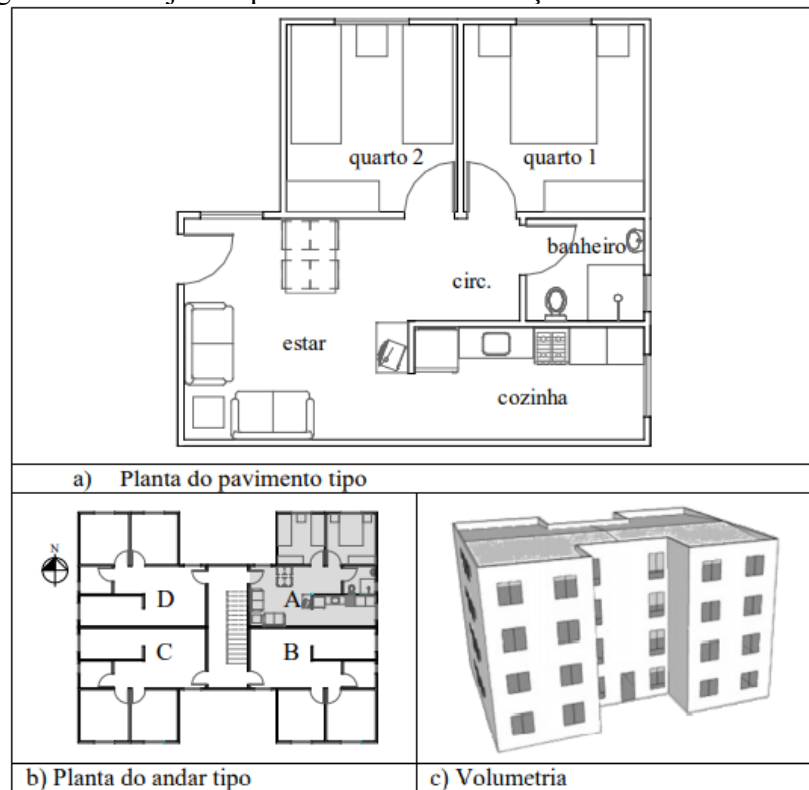
Figura 14 – Habitações multifamiliares de interesse social em Caxias do Sul.



Fonte: Prefeitura de Caxias do Sul (2012).

Considerando a predominância da tipologia apartamento no Município, optou-se por utilizar um projeto representativo do tipo multifamiliar. Triana et al. (2015) buscaram caracterizar projetos representativos de habitação de interesse social no Brasil, construídos por meio do Programa Minha Casa Minha Vida. Para a Faixa 1 do programa, verificou-se que a tipologia multifamiliar mais frequente é de edifícios de planta com formato “H”, com 4 a 5 pavimentos, cujo projeto representativo obtido a partir de quatro amostras é apresentado na Figura 15. Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais com 43 m² de área privativa cada. Na Tabela 17 são apresentadas as principais características deste projeto representativo.

Figura 15 – Projeto representativo de habitação multifamiliar adotado.



Fonte: Triana, Lamberts, Sassi (2015).

Tabela 17 – Principais características do projeto representativo de habitação multifamiliar proposto por Triana et al. (2015).

Elemento	Descrição
Paredes	painel de concreto 10 cm; $U=4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $Ct=240 \text{ kJ/m}^2\text{K}$; $\alpha=0,58$
Cobertura	telhado em fibrocimento, quatro águas com inclinação média de $4,33^\circ$, estrutura metálica, ático com laje em concreto 10 cm; $U=2,06 \text{ W/m}^2\text{K}$; $Ct=233 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, $\alpha=0,7$
Janela (dormitórios)	$1,44 \text{ m}^2$, duas folhas de correr ($FV=0,45$; $FI=0,8$), sem venezianas, vidros transparentes 4 mm, esquadrias em ferro ou alumínio
Janela (sala)	$1,60 \text{ m}^2$, duas folhas de correr com janela fixa embaixo ($FV=0,375$; $FI=0,8$), sem venezianas, vidros transparentes 4 mm, esquadrias em ferro ou alumínio
Janela (cozinha)	$1,20 \text{ m}^2$, duas folhas de correr ($FV=0,45$; $FI=0,80$), sem venezianas, vidros transparentes 4 mm, esquadrias em ferro ou alumínio
Janela (banheiro)	$0,36 \text{ m}^2$, janela basculante, peitoril 1,50 m, sem venezianas, vidros transparentes 4 mm, esquadrias em ferro ou alumínio
Portas internas	$0,80 \times 2,10 \text{ m}$ em madeira
Pé-direito	2,50 m
Piso	cerâmico
Sistema de aquecimento de água	Aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico)

Onde: U – transmitância térmica; Ct – capacidade térmica; α – absorvância; FV – fator de ventilação; FI – fator de iluminação. Fonte: Adaptado de Triana, Lamberts, Sassi (2015).

4.3 DESEMPENHO TÉRMICO DO PROJETO REPRESENTATIVO

Por meio do método de simulação computacional da NBR 15575 (ABNT, 2021a) determinou-se o nível de desempenho térmico do projeto representativo. Os indicadores utilizados foram o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, temperaturas operativas anuais máxima e mínima e carga térmica total. Na Figura 16 é apresentado o modelo computacional utilizado na avaliação de desempenho térmico, elaborado de acordo com o método descrito na seção 3.5.2. Na elaboração deste modelo foi considerada a influência do entorno, bem como a refletância do solo e de edificações vizinhas, de forma semelhante ao conjunto habitacional existente apresentado na Figura 14.

Figura 16 – Modelo computacional utilizado na avaliação de desempenho térmico.



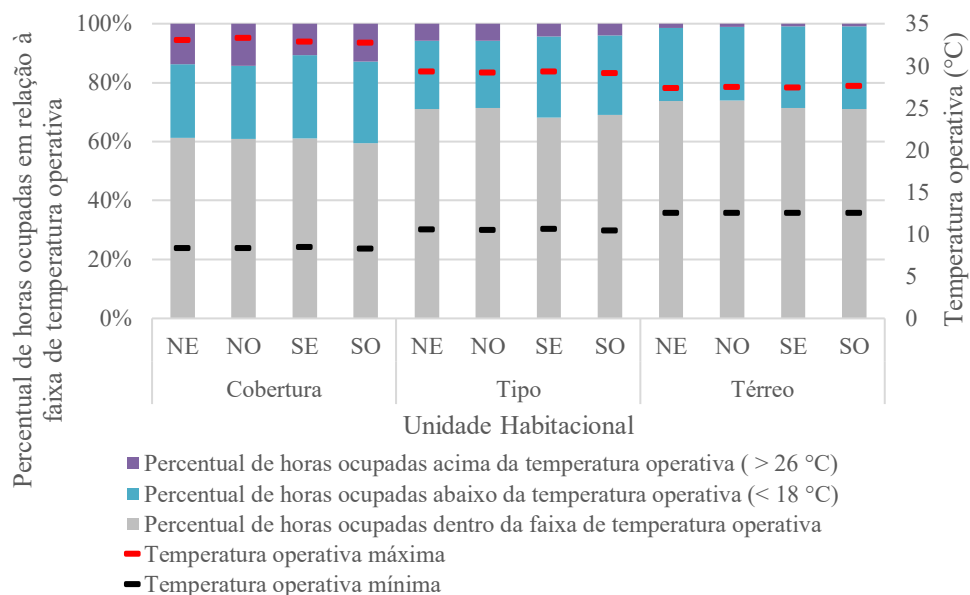
4.3.1.1 Percentual de horas na faixa de temperatura operativa

Quanto aos resultados para a edificação real, o percentual médio de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa foi de 67,7% para as doze unidades habitacionais. As unidades habitacionais do pavimento térreo tiveram o melhor desempenho, com média de 72,6% de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, seguido das unidades do pavimento tipo, com 69,9% de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa em média. O pior desempenho foi das unidades do pavimento cobertura, com 60,7% de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa em média.

Esses resultados estão relacionados com a parcela da envoltória que cada unidade tem em contato com o ambiente externo. No pavimento tipo, o teto e o piso são considerados adiabáticos na simulação, pois na condição real, estes elementos trocariam calor com outras unidades, e não com o ambiente externo. No pavimento cobertura, o piso é considerado adiabático enquanto o teto está em contato com o ambiente externo, recebendo incidência solar direta em toda cobertura, o que explicaria o alto percentual de horas acima da faixa de temperatura operativa. Destaca-se que por ter absorvância maior, a superfície da cobertura ($\alpha=0,7$) aquece mais do que a superfície das paredes ($\alpha=0,58$) durante o dia. No pavimento térreo, por sua vez, o teto é considerado adiabático e o piso troca calor com o solo. Presume-se que o solo atue como um termorregulador, por possuir uma menor amplitude térmica quando comparado ao ar do ambiente externo, e dessa forma contribui para a manutenção da temperatura interna das unidades do pavimento térreo.

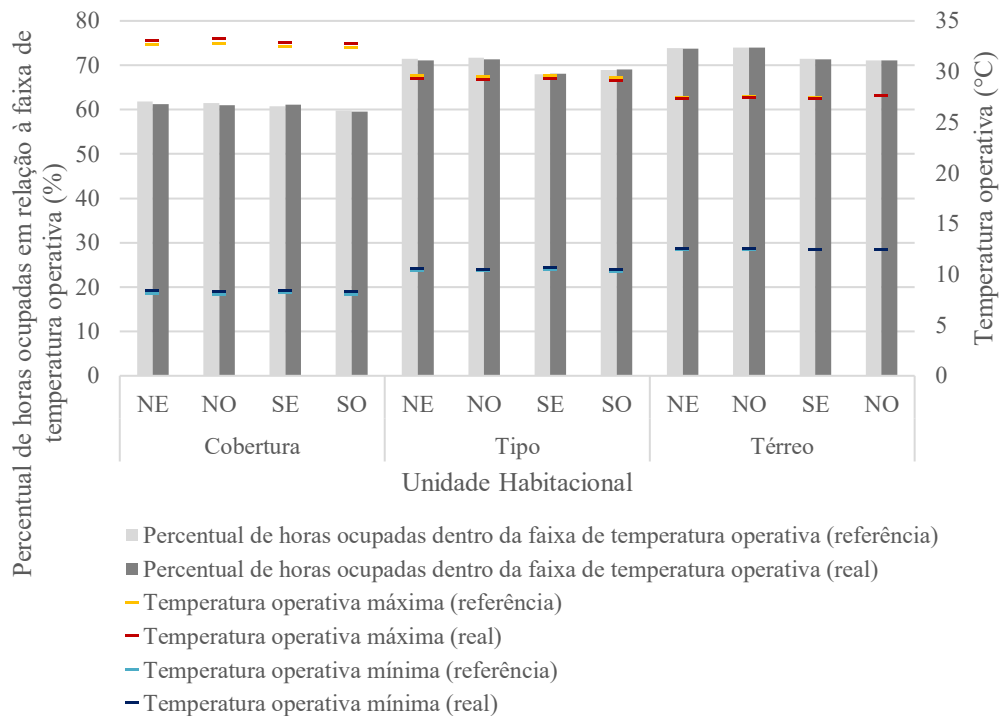
Na Figura 17 são apresentados os valores de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa para as 12 unidades avaliadas. Nesta mesma figura também foram indicados o percentual de horas abaixo e acima da faixa de temperatura operativa ($<18^{\circ}\text{C}$ e $>26^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Apesar de não serem critérios de avaliação da Norma, estes parâmetros indicam se o desconforto térmico preponderante na habitação é devido ao frio ou ao calor. Os resultados são identificados em função do pavimento e orientação da unidade habitacional: nordeste (NE), noroeste (NO), sudeste (SE) e sudoeste (SO).

Figura 17 – Resultados para a edificação real na condição de uso com ventilação natural.



Na Figura 18 é apresentada a comparação do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, temperaturas operativas anuais máxima e mínima para a edificação de referência e real, na condição de uso com ventilação natural. A partir desta comparação é determinado o nível de desempenho térmico da edificação avaliada, conforme apresentado na seção 4.3.1.4.

Figura 18 – Comparação de resultados entre a edificação de referência e real na condição de uso com ventilação natural.



4.3.1.2 Temperaturas operativas

Quanto às temperaturas operativas da edificação real, verificou-se que a média das máximas entre as 12 unidades é de 29,9°C, enquanto a média das mínimas é de 10,5°C (Figura 17). As unidades habitacionais do pavimento térreo tiveram as menores temperaturas máximas (27,5°C) e maiores temperaturas mínimas (12,5°C), considerando a média no pavimento, enquanto as unidades do pavimento tipo tiveram máxima de 33,0°C e mínima de 10,5°C, em média. O pior desempenho foi das unidades do pavimento cobertura, com máxima de 29,2°C e mínima de 8,4°C, em média.

O mau desempenho das unidades da cobertura deve-se ao fato de que neste pavimento, o teto está exposto ao ambiente externo. A incidência de radiação solar direta provoca aumento excessivo da temperatura interna nos períodos mais quentes, enquanto nos períodos mais frios,

há maior perda de calor devido à parcela de envoltória exposta ao ambiente externo. O solo possui maior inércia térmica quando comparado ao ar do ambiente externo, o que garante às unidades do pavimento térreo menores amplitudes térmicas internas em relação às unidades dos demais pavimentos.

O melhor desempenho foi observado nas unidades NE e SE do pavimento térreo, com máxima de 27,4°C e mínima de 12,5°C. O pior desempenho foi da unidade NO do pavimento cobertura, com máxima de 33,3°C e mínima de 8,3°C. A diferença de máxima e mínima entre as unidades de um mesmo pavimento não foi significativa, não chegando a 1°C em todos os casos.

4.3.1.3 Carga térmica total

Na edificação real as maiores cargas térmicas foram observadas nas unidades da cobertura, com média de 2.582 kWh/ano. Nas unidades do pavimento tipo a média da carga térmica total foi de 1.166 kWh/ano, enquanto no pavimento térreo a média foi de 876 kWh/ano. Entre todas as unidades da edificação, aquela que demandou a maior carga térmica foi a unidade NO da cobertura (2.596 kWh/ano), enquanto a unidade que menos demandou carga térmica foi a unidade NO do pavimento térreo (820 kWh/ano), uma redução equivalente a 68%. Nas unidades dos pavimentos tipo e térreo as cargas térmicas de aquecimento foram preponderantes, enquanto no pavimento cobertura, as cargas térmicas de resfriamento foram mais representativas.

Os resultados de carga térmica total são inversamente proporcionais aos resultados de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa para cada unidade analisada. Quanto maior o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, menor é a demanda por aquecimento e resfriamento para que a temperatura interna esteja dentro da temperatura de *setpoint* determinada.

As cargas térmicas de aquecimento e resfriamento da edificação real são apresentadas na Figura 19, enquanto a comparação entre as cargas térmicas totais da edificação real e de referência é apresentada na Figura 20. A partir desta comparação é determinado o nível de desempenho térmico da edificação avaliada, conforme apresentado na seção 4.3.1.4.

Figura 19 – Cargas térmicas de aquecimento e resfriamento no modelo real, na condição de uso sem ventilação natural.

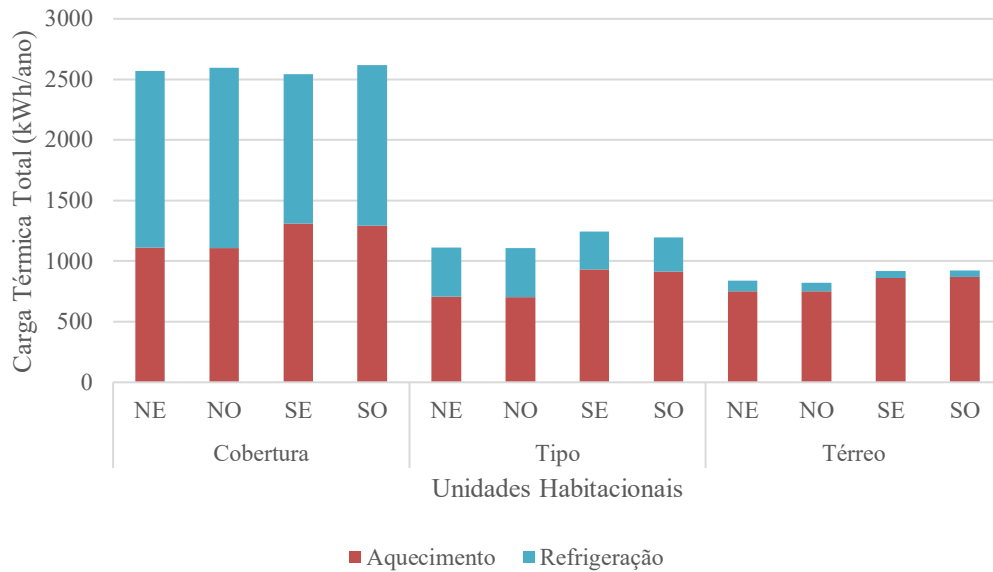
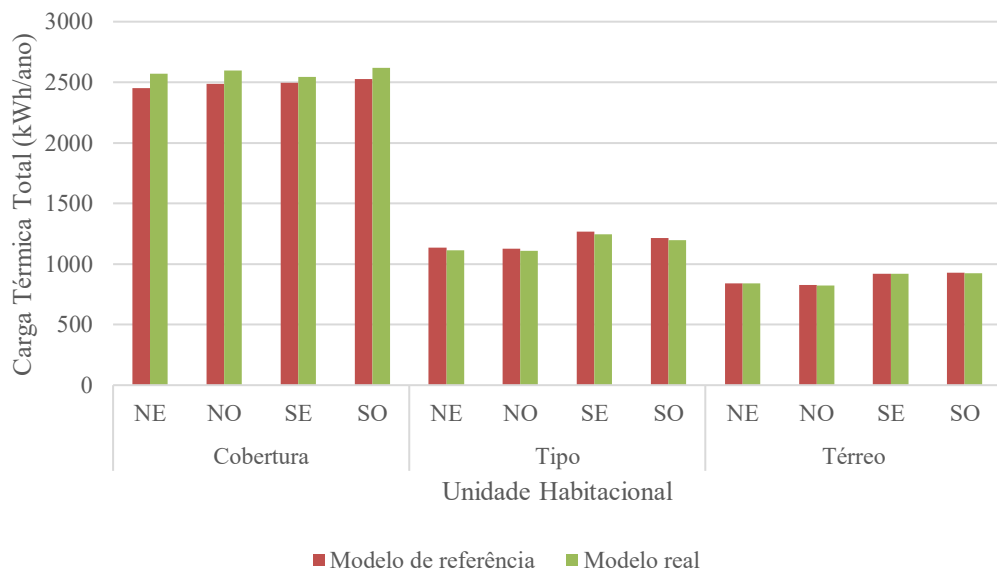


Figura 20 – Comparação entre as cargas térmicas totais nos modelos de referência e real.



4.3.1.4 Nível de desempenho térmico

As unidades habitacionais foram avaliadas individualmente, por meio da comparação dos critérios de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa, temperaturas operativas anuais máxima e mínima e redução de carga térmica total da edificação real em relação à edificação de referência. Todas as unidades atenderam aos critérios para o nível mínimo de desempenho térmico. Nenhuma delas, no entanto, demonstrou

simultaneamente capacidade de incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e de redução da carga térmica total para obtenção do nível intermediário ou superior de desempenho. Na Tabela 18 são apresentados os valores de incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e a redução de carga térmica total, quando comparadas as edificações de referência e real.

Tabela 18 – Incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e a redução de carga térmica total.

Pavimento	Unidade	ΔPHFT (%)	RedCgTT (%)
Cobertura	NE	-0,6	-4,8
	NO	-0,5	-4,4
	SE	0,4	-1,9
	SO	-0,3	-3,6
Tipo	NE	-0,3	1,7
	NO	-0,3	1,6
	SE	0,2	1,9
	SO	0,1	1,3
Térreo	NE	-0,1	-0,2
	NO	0,1	0,9
	SE	0,0	0,1
	SO	0,0	0,4

Δ PHFT – Incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; RedCgTT – redução da carga térmica total;

Na Tabela 19 é apresentada a classificação de cada uma das unidades habitacionais avaliadas quanto ao nível de desempenho térmico da envoltória. Entre os fatores que ocasionam o baixo desempenho térmico e energético da edificação está a composição da envoltória, cujos materiais constituintes são selecionados visando exclusivamente a redução de custo, em detrimento das suas propriedades térmicas (DALBEM et al., 2019; TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Tabela 19 – Verificação dos critérios para determinação do nível de desempenho térmico da envoltória.

Pavimento	Unidade	Critérios de verificação			Nível de desempenho térmico
		PHFT	Tomáx e Tomín	RedCgTT	
Cobertura	NE	M	S	M	M
	NO	M	S	M	M
	SE	M	S	M	M
	SO	M	S	M	M
Tipo	NE	M	S	M	M
	NO	M	S	M	M
	SE	M	S	S	M
	SO	M	S	S	M
Térreo	NE	M	S	M	M
	NO	S	S	M	M
	SE	M	S	M	M
	SO	S	S	M	M

Onde: PHFT – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; Tomáx – temperatura operativa máxima; Tomín – temperatura operativa mínima; RedCgTT – redução da carga térmica total; M – desempenho mínimo; I – desempenho intermediário; S – desempenho superior.

Na Tabela 20 são apresentados requisitos para classificação de cada uma das unidades do projeto representativo como nível superior de desempenho, os quais são definidos com base nos indicadores de desempenho da edificação de referência. De acordo com método de avaliação da NBR 15575, descritos na seção 3, os requisitos são distintos para unidades habitacionais cujo percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa é maior ou menor do que 70%, no modelo de referência. Na edificação avaliada seis unidades habitacionais tiveram o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa do modelo de referência maior do que 70%, e outras seis menor do que 70%.

Tabela 20 – Critérios para classificação do projeto representativo como nível superior de desempenho térmico.

Pavimento	Unidade	$\Delta\text{PHFT}_{\text{min}}$ (%)	$\text{TO}_{\text{máx}}$ (°C)	$\text{TO}_{\text{mín}}$ (°C)	$\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ (%)
Cobertura	NE	6,9	34,7	7,1	30
	NO	6,9	34,8	7,0	30
	SE	7,1	34,4	7,2	30
	SO	7,2	34,3	7,0	30
Tipo	NE	0,0	30,6	9,4	45
	NO	0,0	30,5	9,3	45
	SE	9,6	30,6	9,5	45
	SO	9,4	30,4	9,3	45
Térreo	NE	0,0	28,5	11,5	30
	NO	0,0	28,5	11,5	30
	SE	0,0	28,5	11,4	30
	SO	0,0	28,6	11,4	30

Onde: $\Delta\text{PHFT}_{\text{min}}$ – incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; $\text{TO}_{\text{máx}}$ – temperatura operativa máxima; $\text{TO}_{\text{mín}}$ – temperatura operativa mínima; $\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ – redução mínima da carga térmica total.

4.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PROJETO REPRESENTATIVO

4.4.1 Eficiência energética da envoltória

A determinação da eficiência energética da envoltória das unidades habitacionais do projeto representativo foi realizada considerando as equivalências estabelecidas pela INI-R, entre as classes de eficiência energética da envoltória e os níveis de desempenho térmico da NBR 15575. Neste contexto, as quatro unidades habitacionais do pavimento cobertura e a unidade NE do pavimento térreo receberam a classe D de eficiência energética, devido ao critério da redução da carga térmica total (Tabela 18). Nestas unidades a carga térmica total do modelo real foi maior do que a carga térmica total do modelo de referência. Todas as demais unidades receberam a Classe C de eficiência, por não demonstrarem simultaneamente capacidade de incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa e de redução da carga térmica total para obtenção da classe B de eficiência energética da envoltória. Na Tabela 21 é apresentada a verificação dos critérios para determinação da classe de eficiência energética da envoltória.

Tabela 21 – Verificação dos critérios para determinação da classe de eficiência energética da envoltória.

Pavimento	Unidade	Critérios de verificação			Classe de eficiência energética
		PHFT	Tomáx e Tomín	RedCgTT	
Cobertura	NE	C	A	D	D
	NO	C	A	D	D
	SE	C	A	D	D
	SO	C	A	D	D
Tipo	NE	C	A	C	C
	NO	C	A	C	C
	SE	C	A	A	C
	SO	C	A	A	C
Térreo	NE	C	A	D	D
	NO	A	A	C	C
	SE	C	A	C	C
	SO	A	A	C	C

Onde: PHFT – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; Tomáx – temperatura operativa máxima; Tomín – temperatura operativa mínima; RedCgTT – redução da carga térmica total; A – Classe A de eficiência energética; B – Classe B de eficiência energética; C – Classe C de eficiência energética; D – Classe D de eficiência energética; E – Classe E de eficiência energética.

4.4.2 Eficiência energética do sistema de aquecimento de água

No projeto representativo foi utilizado sistema de aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico), conforme descrito por (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). O sistema de aquecimento de água foi avaliado conforme o método descrito no Anexo B.III da INI-R (INMETRO, 2021), sendo que ele recebeu Classe C de eficiência energética, por não apresentar redução no consumo de energia em relação ao sistema de referência. Considerou-se que todas as unidades habitacionais têm o mesmo consumo de água quente. Na Tabela 22 são apresentados os parâmetros utilizados para a avaliação. Utilizou-se 40°C como valor da temperatura de uso da água quente, conforme determinado pela INI-R para edificações na região sul. Para a temperatura da água fria, utilizou-se a média anual da temperatura ambiente da cidade onde estaria localizada a edificação (17,2°C), conforme tabela disponível na INI-R (INMETRO, 2021a). Considerou-se ainda o volume diário de consumo de 50 litros por pessoa por dia, e duas pessoas por dormitório da unidade habitacional, conforme determinado no Anexo B.III da INI-R.

Tabela 22 – Parâmetros utilizados na determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água.

Parâmetro	Unidade	SSA de referência	SSA do projeto representativo
Número de ocupantes da unidade habitacional	un	4	4
Volume diário de consumo de água quente ($V_{\text{dia,E}}$)	m ³ /dia	0,2	0,2
Massa específica da água (ρ)	kg/L	1	1
Calor específico da água (C_p)	kJ/g°C	4180	4180
Temperatura de uso da água ($\theta_{A,\text{uso}}$)	°C	40	40
Temperatura da água fria ($\theta_{A,0}$)	°C	17,2	17,2
Energia elétrica requerida para o atendimento da demanda diária de água quente (E_{AAE})	kWh/dia	5,3	5,3
Número de dias no ano que a edificação está em uso (N_{ano})	un	365	365
Coeficiente de rendimento do equipamento para o aquecedor de água de fonte elétrica ($r_{\text{aq,e}}$)		0,95	0,95
Consumo de energia elétrica para aquecimento de água (C_{AAE})	kWh/ano	2034,3	2034,3
Redução do consumo de energia	%		0
Eficiência energética do SAA	-		Classe C

Onde: SSA – Sistema de aquecimento de água. Fonte: INMETRO (2021a, 2021b).

4.4.3 Eficiência energética geral

A classe de eficiência energética geral é calculada considerando os consumos de energia com aquecimento, refrigeração, sistema de aquecimento de água e equipamentos, conforme Equação 13. As unidades do projeto representativo foram avaliadas separadamente, utilizando os valores de carga térmica de refrigeração e aquecimento provenientes do procedimento de simulação computacional na NBR 15575 apresentados na seção 4.3.1.3. O consumo de energia para refrigeração e aquecimento foram calculados de acordo com o método descrito no Anexo B.II da INI-R (INMETRO, 2021), que leva em consideração o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar. Apesar de o projeto representativo não possuir sistema de condicionamento de ar utilizou-se, para fins de aplicação do método de avaliação, o coeficiente de eficiência energética de um aparelho Classe A listado nas tabelas de consumo e eficiência energética do INMETRO (INMETRO, 2021b). Este aparelho tem coeficiente de eficiência energética de 5,3 W/W de refrigeração. No modelo de referência, que representa uma edificação com Classe C de eficiência energética, utilizou-se um aparelho com coeficiente de eficiência energética Classe C, de 3 W/W para refrigeração. Para ambos os casos utilizou-se o coeficiente de eficiência energética para aquecimento de 3 W/W, conforme determinado na INI-R.

Considerou-se que o consumo de energia com sistema de aquecimento de água é igual para todas as unidades, e calculado conforme apresentado na seção 4.4.2. O consumo de energia com equipamentos foi calculado utilizando a Equação 15, e é igual para todas as unidades por ser baseado no número de ocupantes. Na Tabela 23 é apresentado o consumo de energia e classe de eficiência energética geral de cada uma das unidades do projeto representativo. Todas as unidades receberam Classe C de eficiência energética geral, por apresentar percentual redução do consumo de energia primária menor do que 6% em relação ao modelo de referência. A classificação foi realizada em função dos intervalos de redução de consumo de energia primária definidos na Tabela 10, para sistemas de aquecimento de água sem acumulação.

Considerando o consumo somado de todas as unidades, o percentual de redução do consumo estimado de energia primária foi de 1,6%, comparando o projeto representativo com o modelo de referência. O consumo de energia referente às áreas de uso comum foi desprezado nesta análise visto que o projeto representativo só possui áreas de uso comum para circulação.

O projeto representativo apresentou consumo total de energia elétrica de 68.056,3 kWh/ano. Isso significa que cada unidade habitacional consome, em média 354,5 kWh/mês, o que representa 126% a mais do que a média nacional em 2019, de 157 kWh/mês (EPE, 2020b). Em comparação com a média de consumo no Estado do Rio Grande do Sul, de 214,9 kWh/mês (ELETROBRÁS, 2021), o projeto representativo foi 65% maior.

Considerando os consumos totais apresentados na Tabela 23, verifica-se que o sistema de aquecimento de água é responsável pela maior parte da energia consumida no projeto representativo (48%), seguido dos equipamentos elétricos (42%). O consumo de energia com condicionamento de ar representa apenas 10% do total, sendo a maior parte destinada ao aquecimento (8%). Em comparação com usos finais médios observados no setor residencial brasileiro em 2019 (Figura 22), o aquecimento de água representa a parcela mais significativa no projeto representativo. Este uso final corresponde a 16% do consumo elétrico total na média nacional, e 48% no objeto de estudo. Pode-se atribuir essa diferença significativa a dois principais motivos: o uso de sistemas de aquecimento solar e a expansão da rede de gás natural ocasionaram a redução da utilização da energia elétrica para aquecimento de água no contexto nacional (EPE, 2020b); a baixa temperatura da água fria no município em questão (17,2°C) contribui para o aumento do consumo do sistema de aquecimento de água, uma vez que esta é uma das variáveis utilizadas para a sua estimativa. Adicionalmente deve-se destacar que em somente 37,5% dos domicílios brasileiros o chuveiro possui aquecimento elétrico

(ELETROBRÁS, 2021), o que contribui para a redução da média nacional de consumo de energia elétrica para aquecimento de água.

Figura 21 – Usos finais de energia elétrica no projeto representativo.

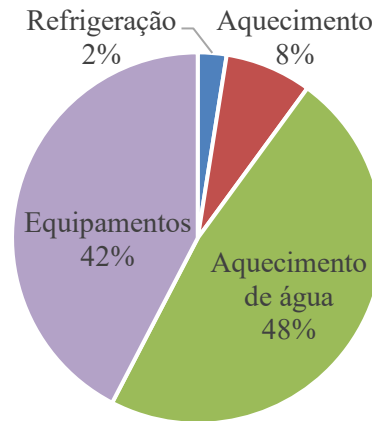
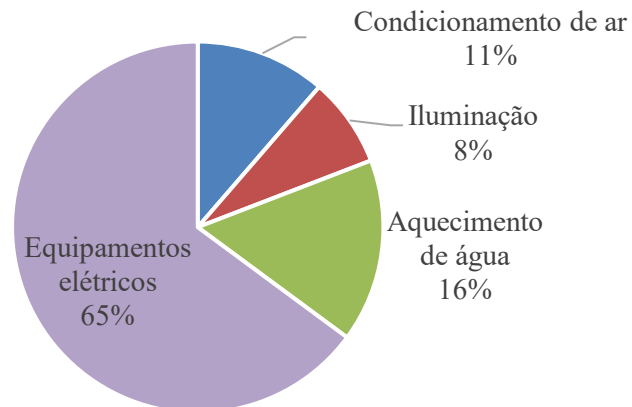


Figura 22 – Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro em 2019.



Fonte: Adaptado de EPE (2020b).

Um fator que tende a majorar a estimativa do consumo de energia elétrica no método da INI-R é o cálculo das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento, que considera o sistema de condicionamento de ar ligado 100% do tempo em que a edificação está ocupada. Nesse sentido a ventilação natural é desprezada na condição de uso da habitação. Deve-se ressaltar que no estado do Rio Grande do Sul somente 24% dos domicílios possuíam aparelho de ar-condicionado no ano de 2019, sendo que nas classes sociais C-1 e C-2 essa proporção reduz para 15,4% e 10,5%, respectivamente (ELETROBRÁS, 2021).

Tabela 23 – Consumo de energia e classe de eficiência energética geral do projeto representativo.

Pavimento	Unidade	Modelo de referência							Projeto representativo							RedC _{EP} (%)	Eficiência Energética geral
		Cg _{TR} kWh/ano	C _R kWh/ano	Cg _{TA} kWh/ano	C _A kWh/ano	C _{AAE} kWh/ano	C _{Eq} kWh/ano	C _{EP} kWh/ano	Cg _{TR} kWh/ano	C _R kWh/ano	Cg _{TA} kWh/ano	C _A kWh/ano	C _{AAE} kWh/ano	C _{Eq} kWh/ano	C _{EP} kWh/ano		
Cobertura	NE	1.228,0	409,3	1222,8	407,6	2.034,3	1.812	7.461	1345,2	252,1	1197,7	399,2	2.034,3	1.812	7.196	3,6%	Classe C
	NO	1.267,9	422,6	1218,3	406,1	2.034,3	1.812	7.480	1373,1	257,3	1193,2	397,7	2.034,3	1.812	7.202	3,7%	Classe C
	SE	1.062,9	354,3	1432,7	477,6	2.034,3	1.812	7.485	1153,0	216,1	1401,8	467,3	2.034,3	1.812	7.247	3,2%	Classe C
	SO	1.109,8	369,9	1416,8	472,3	2.034,3	1.812	7.501	1223,2	229,2	1383,9	461,3	2.034,3	1.812	7.258	3,2%	Classe C
Tipo	NE	436,3	145,4	696,9	232,3	2.034,3	1.812	6.758	418,3	78,4	705,8	235,3	2.034,3	1.812	6.655	1,5%	Classe C
	NO	433,1	144,4	694,1	231,4	2.034,3	1.812	6.755	414,8	77,7	702,9	234,3	2.034,3	1.812	6.653	1,5%	Classe C
	SE	346,5	115,5	920,0	306,7	2.034,3	1.812	6.829	322,9	60,5	930,4	310,1	2.034,3	1.812	6.747	1,2%	Classe C
	SO	305,6	101,9	907,2	302,4	2.034,3	1.812	6.800	288,5	54,1	916,1	305,4	2.034,3	1.812	6.729	1,1%	Classe C
Térreo	NE	92,5	30,8	746,9	249,0	2.034,3	1.812	6.601	99,8	18,7	740,1	246,7	2.034,3	1.812	6.578	0,3%	Classe C
	NO	79,9	26,6	748,2	249,4	2.034,3	1.812	6.595	78,0	14,6	741,9	247,3	2.034,3	1.812	6.573	0,3%	Classe C
	SE	65,1	21,7	854,9	285,0	2.034,3	1.812	6.644	65,2	12,2	853,6	284,5	2.034,3	1.812	6.628	0,2%	Classe C
	SO	65,6	21,9	862,1	287,4	2.034,3	1.812	6.648	67,3	12,6	862,6	287,5	2.034,3	1.812	6.634	0,2%	Classe C
Total¹		8.014	2.671	14.939	4.980	32.548	28.992	110.706	8.294	1.554	14.885	4.962	32.548	28.992	108.890	1,6%	-

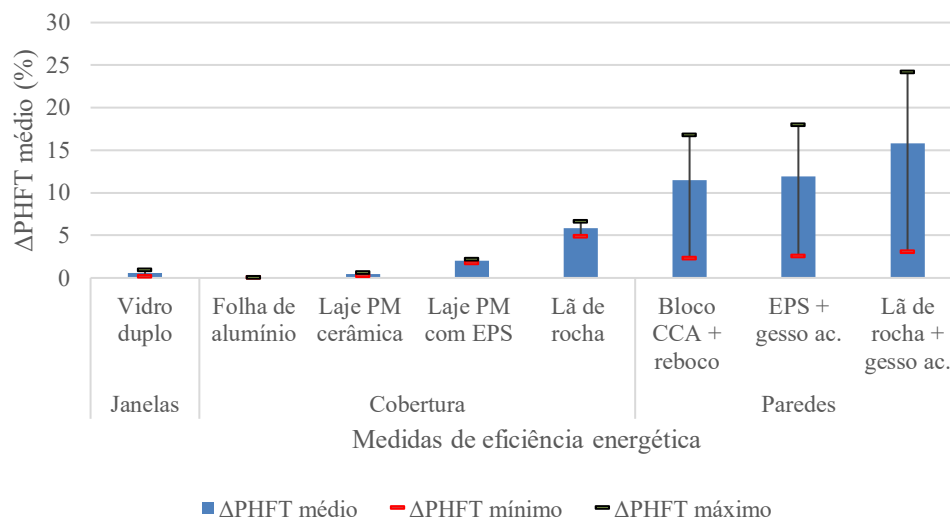
Onde: Cg_{TR} – carga térmica de refrigeração; C_R – consumo com refrigeração; Cg_{TA} – carga térmica de aquecimento; C_A – consumo com aquecimento; C_{AAE} – consumo do sistema de aquecimento de água; C_{Eq} – consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos, C_{EP} – consumo anual de energia primária; RedC_{EP} – percentual de redução do consumo estimado de energia primária. Obs. 1: Para o cálculo do consumo total os valores relacionados às unidades do pavimento tipo foram multiplicados por dois, visto que a edificação possui quatro pavimentos, sendo dois pavimentos tipo.

4.5 SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.5.1 Medidas de eficiência da envoltória

Para a seleção das medidas de eficiência energética da envoltória foram realizadas simulações de acordo com o procedimento computacional da NBR 15575 (ABNT, 2021a), visto que o nível superior de desempenho térmico é equivalente à Classe A de eficiência energética da envoltória. As medidas foram avaliadas individualmente, a fim de verificar qual era a sua contribuição para o aumento do desempenho térmico do projeto representativo. O incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa devido à utilização das medidas, é apresentado na Figura 23. Estes resultados representam o incremento mínimo, médio e máximo entre as dezesseis unidades avaliadas, sendo que no caso das medidas de eficiência energética utilizadas na cobertura, o incremento médio foi calculado considerando somente os resultados para as quatro unidades de cobertura.

Figura 23 – Incremento mínimo, médio e máximo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa devido à utilização das medidas de eficiência energética.



Onde: ΔPHFT – incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa em relação ao projeto representativo; laje PM – laje pré-moldada; bloco CCA – bloco de concreto celular autoclavado; gesso ac. – gesso acartonado.

As seguintes medidas de eficiência energética foram descartadas por apresentarem incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa insignificante (menor do que 1%): vidros duplos nas janelas, folha de alumínio e laje pré-moldada com peças cerâmicas na cobertura. Após o descarte das medidas consideradas não significativas para o aumento de desempenho do projeto representativo, foi realizada a

avaliação da combinação das medidas remanescentes. Destaca-se que nenhuma medida de eficiência energética foi capaz de proporcionar ao projeto representativo o nível de desempenho térmico superior, quando utilizada individualmente. A descrição das combinações avaliadas é apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 – Combinações de medidas de eficiência energética avaliadas.

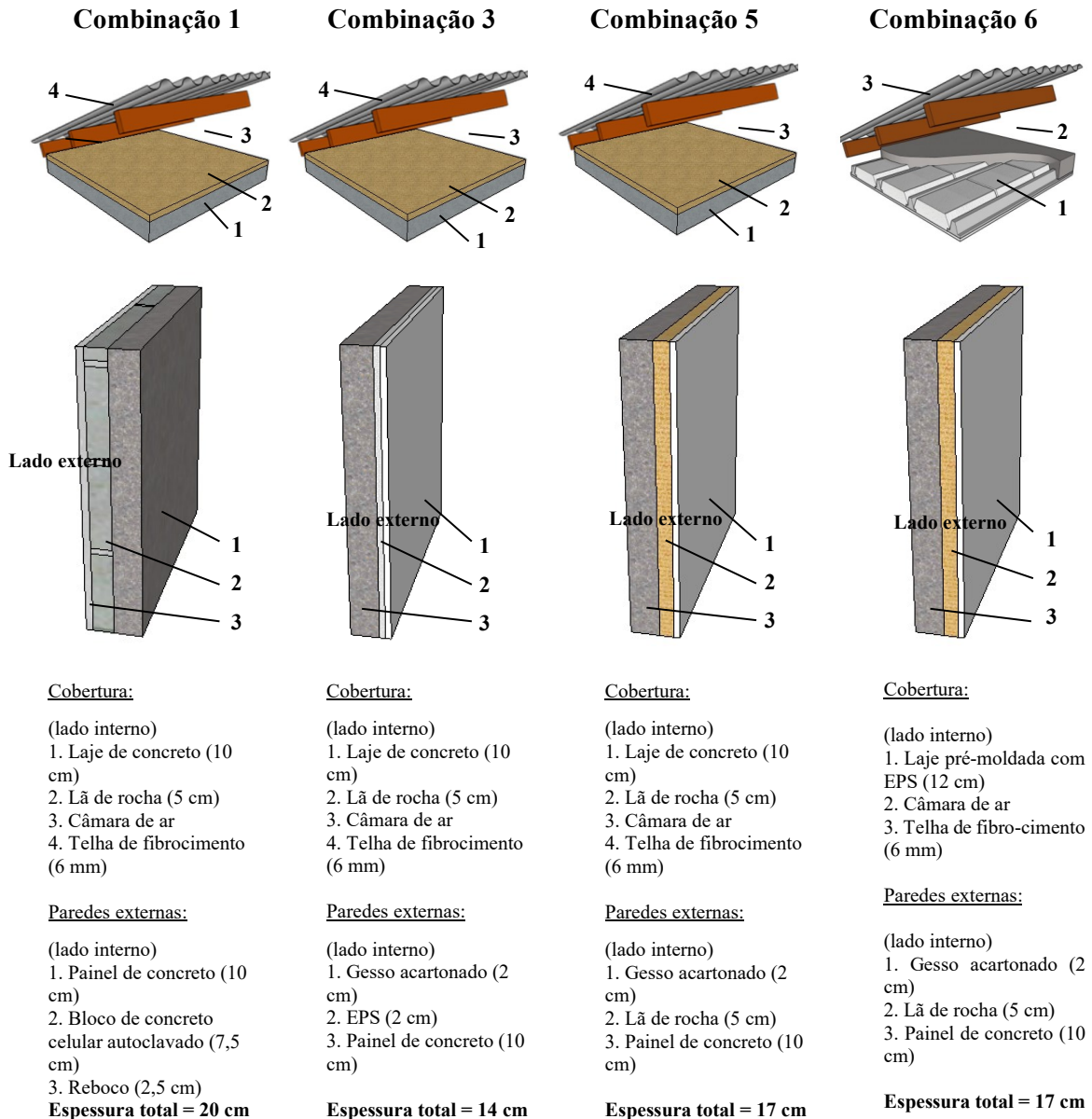
Identificação da combinação	Medidas de eficiência energética utilizadas	
	Paredes externas	Cobertura
Combinação 1	Bloco de concreto celular autoclavado (7,5 cm) e reboco (2,5 cm)	Lã de rocha (5 cm)
Combinação 2		Laje pré-moldada com EPS (12 cm)
Combinação 3	EPS (2 cm) e gesso acartonado (2 cm)	Lã de rocha (5 cm)
Combinação 4		Laje pré-moldada com EPS (12 cm)
Combinação 5	Lã de rocha (5 cm) e gesso acartonado (2 cm)	Lã de rocha (5 cm)
Combinação 6		Laje pré-moldada com EPS (12 cm)

A fim de verificar se as combinações de medidas de eficiência energética da envoltória permitiriam que todas as unidades do projeto representativo alcançassem o nível de desempenho térmico superior (e consequentemente a Classe A de eficiência da envoltória) os resultados do incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura foram comparados ao respectivo incremento mínimo necessário na Tabela 25. Somente as combinações 1, 3, 5 e 6 (Figura 24) proporcionaram desempenho térmico superior a todas as unidades do projeto representativo. A combinação 5 foi aquela que resultou no maior incremento médio de percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa (20,8%).

Na Figura 25 é apresentado o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa para cada uma das unidades avaliadas, comparando o desempenho do projeto representativo com e sem as combinações de medidas de eficiência energética. Estas combinações também atenderam aos critérios da temperatura operativa máxima, temperatura operativa mínima e carga térmica total (Figura 26) para o nível superior de desempenho térmico. A alternativa que proporcionou as menores temperaturas máximas, em média, foi a combinação 1 (28,4°C). Por outro lado, a combinação 5 foi aquela em que se verificaram as maiores temperaturas mínimas (15,5°C) e as menores cargas térmicas totais (469,9 kWh/ano) em média. A combinação 3 foi aquela que resultou no menor aumento da espessura das paredes

(+4 cm), enquanto a combinação 1 resultou no maior aumento (+10 cm). A avaliação deste fator é significativa, pois as unidades possuem uma área relativamente pequena (43 m²) e este aumento de espessura resulta em uma perda de espaço significativa.

Figura 24 – Representação combinações de medidas de eficiência energética aplicadas à envoltória.



De acordo com a INI-R pode-se atribuir a Classe A de eficiência energética para a envoltória, sem a necessidade do uso de sistemas de climatização de ar, caso o percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa seja superior a 95%. Somente as unidades habitacionais do pavimento térreo alcançaram este desempenho, nas combinações 5 e 6 (Figura 25). Portanto, com nenhuma das combinações foi possível atingir a Classe A de

eficiência energética da envoltória em todas as unidades habitacionais, sem considerar o uso de sistemas de climatização de ar.

Tabela 25 – Incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa mediante a utilização das diferentes combinações de medidas de eficiência energética da envoltória.

Pavimento	Unidade	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ (%)	ΔPHFT com o uso das combinações de medidas de eficiência energética da envoltória					
			1	2	3	4	5	6
Cobertura	NE	6,9	13,8	6,2	13,9	6,2	18,5	7,8
	NO	6,9	14,3	6,1	14,5	6,1	18,4	7,8
	SE	7,1	12,6	6,7	12,9	7,4	17,9	9,3
	SO	7,2	12,1	5,3	13,0	6,1	17,1	7,8
Tipo	NE	0,0	16,4	16,4	16,1	16,0	20,3	20,3
	NO	0,0	16,2	16,2	15,6	15,7	19,3	19,3
	SE	9,6	14,1	14,1	14,8	14,8	21,7	21,8
	SO	9,4	13,8	13,8	14,4	14,4	21,2	21,2
Térreo	NE	0,0	16,7	16,7	17,4	17,4	22,3	22,3
	NO	0,0	16,5	16,5	17,4	17,4	22,1	22,1
	SE	0,0	16,6	16,6	18,0	18,0	24,1	24,0
	NO	0,0	16,4	16,5	18,0	17,9	24,2	24,2
ΔPHFT médio			15,2	12,8	15,7	13,3	20,8	17,5

Onde: ΔPHFT – incremento do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa em relação ao modelo de referência; $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ – incremento mínimo do percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa para que a unidade avaliada atinja o nível de desempenho superior. Obs.: estão destacadas em laranja as unidades que não alcançaram o $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$.

Figura 25 – Percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa com as combinações de medidas de eficiência energética.

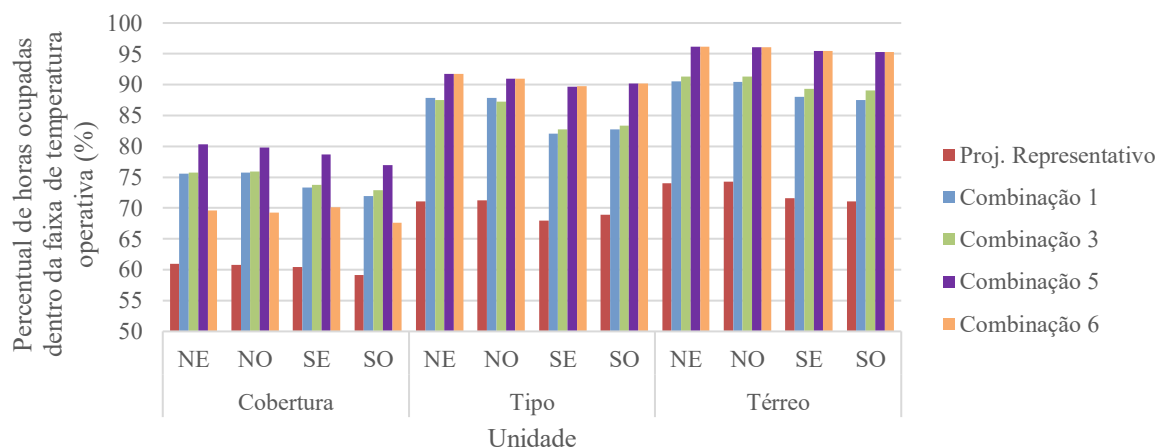
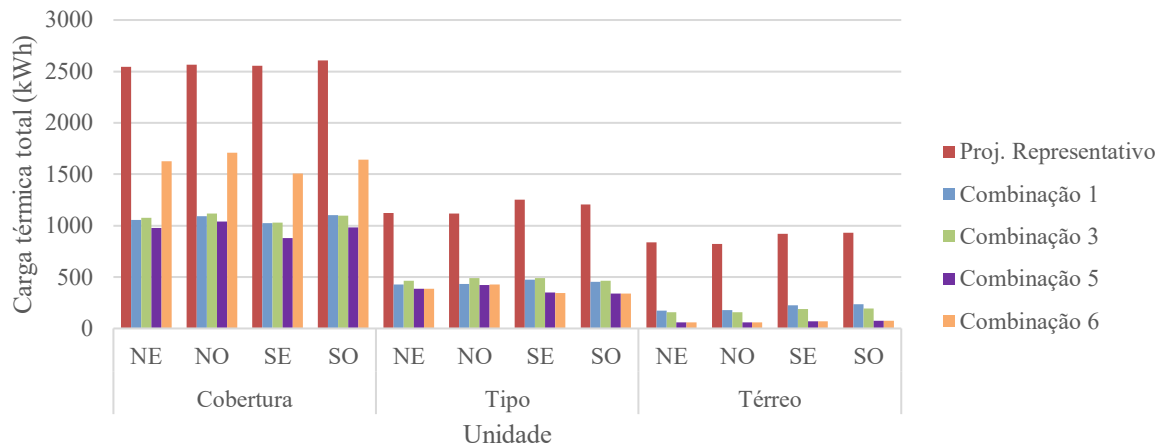


Figura 26 – Carga térmica total com as combinações de medidas de eficiência energética.



4.5.1.1 Determinação da envoltória de menor custo

A aplicação das medidas de eficiência de eficiência da envoltória no projeto representativo foi orçada com base nas composições unitárias, custo de insumos e serviços do SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021a), referente ao mês de julho de 2021 para o Estado do Rio Grande do Sul. O custo relacionado a cada uma das combinações é apresentado na Tabela 26, enquanto as planilhas orçamentárias elaboradas são apresentadas no APÊNDICE 2.

De acordo com o Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul (SINDUSCON-RS), o Custo Unitário Básico (CUB) para a construção de prédio popular com padrão de acabamento baixo em julho de 2021 foi de R\$ 1.821,10 por metro quadrado (SINDICATO..., 2021). Considerando que o projeto representativo tem 763 m² de área construída, o custo direto de construção seria, de acordo com este método de cálculo, de R\$ 1.389.572,14. Este valor, acrescido de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) chegaria a R\$ 1.696.945,50.

A combinação de medidas de eficiência de menor custo foi a Combinação 3, que agrega camadas de EPS e gesso acartonado às paredes externas e lâ de rocha na cobertura. A utilização desta combinação resultaria em um custo adicional de R\$ 77.997,36, que representaria um incremento de 4,6% no valor total da obra. Esta alternativa, além de ser a mais econômica, foi a que resultou no menor aumento na espessura das paredes externas, de 10 cm para 14 cm. Esta é uma característica relevante visto que o aumento das paredes causa perda da área interna privativa, que neste caso é de 43 m². As combinações 5 e 6 apresentaram maior

aumento de desempenho da envoltória (Tabela 25), porém não foram incluídas na análise de viabilidade econômica por apresentarem também custos adicionais maiores (Tabela 26).

Tabela 26 – Custo relacionado às combinações de medidas de eficiência utilizadas.

Combi- nação	MEE utilizadas		Custos diretos	Benefícios e Despesas Indiretas (BDI)	Custo adicional das MEE	Incremento sobre o custo total da edificação
	Paredes externas (628,9 m ²)	Cobertura (190,8 m ²)				
Comb. 1	Bloco CCA (7,5 cm) e reboco (2,5 cm)	Lã de rocha (5 cm)	R\$ 80.645	R\$ 17.839	R\$ 98.484	5,8%
Comb. 3	EPS (2 cm) e gesso acartonado (2 cm)	Lã de rocha (5 cm)	R\$ 63.869	R\$ 14.128	R\$ 77.997	4,6%
Comb. 5	Lã de rocha (5 cm) e gesso acartonado (2 cm)	Lã de rocha (5 cm)	R\$ 69.739	R\$ 15.426	R\$ 85.165	5,0%
Comb. 6	Lã de rocha (5 cm) e gesso acartonado (2 cm)	Laje pré- moldada com EPS (12 cm)	R\$ 88.427	R\$ 19.560	R\$ 107.987	6,4%

Onde: MEE – medidas de eficiência energética; CCA – Concreto celular autoclavado; EPS – poliestireno expandido (isopor).

4.5.2 Medidas de eficiência do sistema de aquecimento de água

A incorporação de um sistema de aquecimento de água por fonte solar térmica se fez necessária devido à grande representatividade do consumo de energia elétrica para o aquecimento de água no projeto representativo, equivalente a 48% de toda a energia elétrica consumida em um ano. Sem uma medida de eficiência energética que reduzisse o consumo de energia elétrica para o aquecimento de água, não seria possível atingir a Classe A de eficiência energética geral para a edificação objeto de estudo.

Adicionalmente, este tipo de sistema é obrigatório em empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021b).

Para tanto, selecionou-se um sistema Classe A de eficiência energética listado nas tabelas de consumo e eficiência energética do INMETRO (INMETRO, 2021b). Considerou-se o uso de quatro painéis coletores de 4,65 m² cada, com a possibilidade ampliação deste número em função do resultado da parcela de energia proveniente do sistema.

O cálculo da energia para o aquecimento de água proveniente do sistema de energia solar térmica foi realizado de acordo com o Anexo B.III da INI-R (INMETRO, 2021), sendo que os parâmetros de cálculo são apresentados nas Tabelas 28 e 29. Os dados relativos à irradiação solar incidente sobre os coletores foram obtidos junto ao Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição (LABREN, 2017). As temperaturas médias mensais do local de instalação do coletor foram obtidas junto à planilha disponível na INI-R (INMETRO, 2021a).

Tabela 27 – Parâmetros utilizados para o cálculo da energia proveniente do sistema de aquecimento de água solar.

Energia solar mensal absorvida pelos coletores		
Parâmetro	Unidade	Valor
Número de coletores	un.	4
Superfície de absorção do coletor	m ²	4,65
Fator de eficiência óptica do coletor	-	0,505
Modificador do ângulo de incidência	-	0,96
Fator de correção do conjunto coletor/trocador	-	0,95
Fator adimensional	-	0,46
Energia solar não aproveitada pelos coletores		
Parâmetro	Unidade	Valor
Coefficiente global de perdas do coletor	-	0,277
Fator de correção do conjunto coletor/trocador	-	0,95
Fator de correção	-	0,000263
Volume de acumulação solar	L	1.000
Fator de correção para armazenamento	-	1,087
Temperatura mínima admissível da água quente	°C	40

Fonte: INMETRO (2021a, 2021b).

Uma vez determinada a parcela de energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico, calculou-se o consumo de energia associado às perdas térmicas do sistema, acordo com o Anexo B.III da INI-R (INMETRO, 2021). Para a perda térmica do reservatório de água quente foi considerada a perda térmica específica descrita nas tabelas de consumo e eficiência energética do INMETRO (INMETRO, 2021b). Considerou-se o volume de acumulação de mil litros dividido em dois reservatórios de quinhentos litros cada. O fator de perdas térmicas por metro de tubulação foi obtido na Tabela B.III.2 da INI-R (INMETRO, 2021), considerando tubulação não isolada em pavimentos com menos de 200 m² de área.

As perdas seriam diferentes para cada unidade da edificação em função da variação do comprimento da tubulação, devido à posição das unidades em relação aos reservatórios. Para

fins de simplificação, as perdas foram calculadas utilizando o comprimento médio de tubulação entre as unidades habitacionais e os reservatórios de água quente. Utilizou-se 40°C como valor da temperatura de uso da água quente, conforme determinado pela INI-R para edificações na região sul. Para a temperatura da água fria, utilizou-se a média anual da temperatura ambiente da cidade onde está localizada a edificação (17,2°C), conforme tabela disponível na INI-R. Os parâmetros de cálculo utilizados são apresentados na Tabela 29.

Tabela 28 – Fração solar mensal e parcela de energia proveniente do sistema de aquecimento solar de água.

Mês	H _{dia} (Wh/m ² .dia)	Ni	Ei _{mês} (kWh/m ² .mês)	E _{SAmês} (kWh/mês)	K ₂	T _{AF} (°C)	T _{AMB} (°C)	ΔT (h)	EP _{mês} (kWh/mês)	D ₁	D ₂	f	E _{AA,sol} (kWh/mês)
Jan	5.379	31	166,7	1.428,4	1,17	21,3	21,3	744	362,8	8,7	2,2	4,44	728,1
Fev	5.401	28	151,2	1.295,5	1,16	21,2	21,2	672	326,9	8,7	2,2	4,50	666,4
Mar	4.994	31	154,8	1.326,2	1,14	20,6	20,6	744	358,1	8,1	2,2	3,53	579,0
Abr	4.633	30	139,0	1.190,6	1,03	17,3	17,3	720	327,2	7,5	2,1	2,88	456,9
Mai	3.745	31	116,1	994,5	0,96	14,8	14,8	744	322,7	6,1	2,0	1,90	312,2
Jun	3.347	30	100,4	8.60,2	0,87	11,8	11,8	720	294,8	5,4	1,9	1,69	268,0
Jul	3.735	31	115,8	991,9	0,96	14,9	14,9	744	323,8	6,0	2,0	1,89	311,0
Ago	4.317	31	133,8	1.146,4	0,95	14,6	14,6	744	322,0	7,0	2,0	2,44	400,5
Set	4.037	30	121,1	1.037,5	0,92	13,3	13,3	720	303,8	6,5	1,9	2,14	340,2
Out	4.669	31	144,7	1.239,9	1,02	16,8	16,8	744	335,0	7,6	2,0	2,94	481,8
Nov	5.478	30	164,3	1.407,8	1,09	19,2	19,2	720	338,6	8,9	2,1	4,71	748,6
Dez	5.500	31	170,5	1.460,6	1,13	20,3	20,3	744	356,7	8,9	2,2	4,77	783,5
E_{AA,sol} (kWh/dia)												16,6	

Onde: H_{dia} – irradiação solar incidente no plano inclinado; Ni – número de dias do mês; Ei_{mês} – irradiância solar mensal incidente sobre as superfícies dos coletores; E_{SAmês} – energia solar mensal absorvida pelos coletores do mês; K₂ – fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas no mês; T_{AF} – temperatura média mensal de água fria no mês; T_{AMB} – a temperatura média mensal do local de instalação do coletor no mês; ΔT – período de tempo considerado no mês; EP_{mês} – energia solar mensal não aproveitada pelos coletores no mês; D₁ – parâmetro adimensional 1; D₂ – parâmetro adimensional 2; f – fração solar mensal; E_{AA,sol} – parcela de energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico. Fonte: LABREN (2017), INMETRO (2021a).

Tabela 29 – Parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia associado às perdas térmicas do sistema de aquecimento de água solar.

Parâmetro	Unidade	Valor
Perda térmica dos reservatórios de água quente	kWh/dia	3,9
Fator de perdas térmicas por metro de tubulação	W/m.K	1,0
Fator de horas de perdas na tubulação de distribuição de água quente	h/dia	9,0
Comprimento médio da tubulação	m	4,1
Temperatura de uso da água	°C	40,0
Temperatura da água fria	°C	17,2
Perda térmica na tubulação do sistema de distribuição de água quente	kWh/dia	0,84
Perda térmica total do sistema de aquecimento de água	kWh/dia	4,8

Fonte: INMETRO (2021a, 2021b).

O consumo de energia elétrica para aquecimento de água foi recalculado considerando a contribuição de energia proveniente do sistema de aquecimento solar. Os valores relativos à parcela de energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico (16,6 kWh/dia) e perda térmica total do sistema de aquecimento de água (4,8 kWh/dia) foram divididos pelo número de unidades da edificação (16), para fins de cálculo da eficiência do sistema. O sistema de aquecimento de água proposto resultou na redução do consumo de energia de 14%, em relação ao sistema do projeto representativo (Tabela 30).

Tabela 30 – Consumo de energia elétrica para aquecimento de água considerando a contribuição de energia proveniente do aquecimento solar de água.

Parâmetro	Unidade	SSA do projeto representativo	SSA proposto
Energia elétrica requerida para o atendimento da demanda diária de água quente (E_{AAE})	kWh/dia por UH	5,29	5,29
Parcela de energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico ($E_{AA,sol}$)	kWh/dia por UH	-	-1,04
Perda térmica total do sistema de aquecimento de água	kWh/dia por UH	-	0,30
Consumo de energia elétrica para aquecimento de água (C_{AAE})	kWh/ano por UH	2.034,3	1.749,4

Onde: SSA – Sistema de aquecimento de água; UH – unidade habitacional. Fonte: INMETRO (2021a, 2021b).

4.5.2.1 Custo do sistema de aquecimento solar de água

O orçamento do sistema de aquecimento solar de água foi realizado considerando os valores de mercado para os coletores solares e reservatórios. A instalação do sistema e da tubulação dedicada teve seu custo estimado por meio das composições unitárias, custo de insumos e serviços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa Econômica Federal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021a). Na Tabela 31 é apresentado o custo estimado do sistema de aquecimento solar de água.

Tabela 31 – Custo estimado do sistema de aquecimento solar de água.

Item	Quantidade	Unidade	Valor unitário	Valor total
Coletor solar (4,65 m ²)	4	Un.	R\$ 4.340,00	R\$ 17.360,00
Reservatório (500 L)	2	Un.	R\$ 2.900,00	R\$ 5.800,00
Mão-de-obra instalação	1	Un.	R\$ 492,32	R\$ 492,32
Tubulação de água quente (com mão-de-obra)	66,4	m	R\$ 78,32	R\$ 5.200,56
			Valor total	R\$ 28.852,88

4.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO DE ENERGIA QUASE ZERO

A edificação de energia quase zero é, no contexto deste trabalho, o projeto representativo com a adição das medidas de eficiência energética descritas na seção 4.5. No caso das medidas de eficiência da envoltória, considerou-se a combinação de menor custo, entre aquelas que proporcionaram desempenho térmico superior a todas as unidades habitacionais da edificação. No caso do sistema de aquecimento de água, considerou-se o uso do aquecimento solar descrito na seção 4.5.2, como sistema complementar ao aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico). Na Tabela 32 é apresentada a compilação das medidas de eficiência energética utilizadas em cada sistema individual. Adicionalmente está previsto o sistema de geração de energia fotovoltaico, que será dimensionado em função do consumo de energia primária.

Tabela 32 – Medidas de eficiência energética da edificação com Classe A de eficiência energética geral.

Sistema individual	Medida utilizada	Custo adicional
Envoltória (cobertura)	Revestimento interno com lã de rocha (5 cm)	
Envoltória (paredes externas)	Revestimento interno com EPS (2 cm) e gesso acartonado (2 cm)	R\$ 77.997,36
Sistema de aquecimento de água	Aquecimento solar de água (4 coletores de 4,65 m ² cada)	R\$ 28.852,88
Custo total		R\$ 106.850,24

4.6.1 Eficiência energética da envoltória

Dada a equivalência entre os níveis de desempenho térmico da NBR 15575 e as classes de eficiência energética da envoltória na INI-R, tem-se que a edificação de energia quase zero objeto deste trabalho tem Classe A de eficiência energética do sistema individual envoltória. Na Tabela 33 é apresentada a verificação dos critérios para Classe A de eficiência energética

da envoltória, para cada uma das unidades avaliadas. Os critérios foram definidos em função do desempenho térmico do modelo de referência, conforme método descrito na seção 3.5 e os resultados apresentados na seção 4.3.

Tabela 33 – Verificação dos critérios para Classe A de eficiência energética da envoltória.

Pavimento	UH	PHFT (%)		TO _{máx} (°C)		TO _{mín} (°C)		CgTT (kWh/ano)		Classe de eficiência energética da envoltória
		PHFT	PHFT	TO	TO	TO	TO	CgTT	CgTT	
		mínA	UH	máxA	máxUH	mínA	mínUH	máxA	UH	
Cobertura	NE	68,7	75,7	34,7	30,4	7,1	13,1	1.715,6	1.075,6	Classe A
	NO	68,4	75,9	34,8	30,5	7,0	13,1	1.740,3	1.118,1	Classe A
	SE	67,8	73,7	34,4	30,3	7,2	13,1	1.746,9	1.028,1	Classe A
	SO	67,1	72,9	34,3	30,3	7,0	12,9	1.768,6	1.097,5	Classe A
Tipo	NE	71,4	87,5	30,6	28,8	9,4	14,7	623,2	466,4	Classe A
	NO	71,7	87,3	30,5	28,7	9,3	14,6	619,9	487,2	Classe A
	SE	77,6	82,7	30,6	28,7	9,5	14,5	696,6	487,9	Classe A
	SO	78,3	83,4	30,4	28,5	9,3	14,3	667,0	462,2	Classe A
Térreo	NE	73,9	91,3	28,5	26,6	11,5	15,6	587,6	156,8	Classe A
	NO	73,9	91,3	28,5	26,6	11,5	15,5	579,7	155,6	Classe A
	SE	71,4	89,3	28,5	26,6	11,4	15,5	644,0	190,5	Classe A
	SO	71,1	89,1	28,6	26,8	11,4	15,5	649,4	195,3	Classe A

Onde: PHFT – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa; PHFT_{mínA} – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa mínimo para Classe A de eficiência energética; PHFT_{UH} – percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional avaliada; TO_{máx} – temperatura operativa máxima; TO_{máxA} – temperatura operativa máxima para Classe A de eficiência energética; TO_{máxUH} – da unidade habitacional avaliada; TO_{mín} – temperatura operativa mínima; TO_{mínA} – temperatura operativa mínima para Classe A de eficiência energética; TO_{mínUH} – temperatura operativa mínima da unidade habitacional avaliada; CgTT – carga térmica total; CgTT_{máxA} – carga térmica total para Classe A de eficiência energética; CgTT_{UH} – carga térmica total da unidade habitacional avaliada.

4.6.2 Eficiência energética do sistema de aquecimento de água

Com base nos dados apresentados na seção 4.5.2 verificou-se que o sistema de aquecimento de água proposto, com uso de aquecimento solar de água, resultou na redução do consumo de energia de 14% em relação ao sistema de referência. Esta redução equivale à Classe B de eficiência do sistema individual, de acordo com os intervalos apresentados na Tabela 15. A classificação dos sistemas individuais como Classe A de eficiência energética não é uma condição de elegibilidade para a obtenção da Classe A de eficiência energética geral da edificação.

Tabela 34 – Parâmetros utilizados na determinação da classe de eficiência energética do sistema de aquecimento de água com aquecimento solar.

Parâmetro	Unidade	SSA de referência	SSA proposto
Consumo de energia elétrica para aquecimento de água (C_{AAE})	kWh/ano	2.034,3	1.749,4
Redução do consumo de energia	%	14	
Eficiência energética do SAA	-	Classe B	

Onde: SSA – Sistema de aquecimento de água.

4.6.3 Eficiência energética geral

Para o cálculo da classe de eficiência energética geral do projeto representativo com medidas de eficiência energética foram consideradas as mesmas premissas apresentadas na seção 4.4.3. As unidades do projeto representativo foram avaliadas separadamente, utilizando os valores de carga térmica de refrigeração e aquecimento provenientes do procedimento de simulação computacional na NBR 15575 apresentados na seção 4.6.1. Na Tabela 36 é apresentado o consumo de energia e classe de eficiência energética geral de cada uma das unidades do projeto representativo. Todas as unidades receberam Classe A de eficiência energética geral, por apresentar percentual redução do consumo de energia primária maior do que 12%. A classificação foi realizada em função dos intervalos de redução de consumo de energia primária definidos na Tabela 10, para sistemas de aquecimento de água sem acumulação. Apesar de o aquecedor solar de água possuir reservatório de acumulação, os intervalos de classificação são selecionados em função do sistema de aquecimento de água do modelo de referência, que neste caso é chuveiro elétrico (sem acumulação).

Considerando o consumo somado de todas as unidades, o percentual de redução do consumo estimado de energia primária foi de 14,6%, na comparação entre o projeto representativo com medidas de eficiência e o modelo de referência.

Na comparação entre o projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética (Tabela 35), tem-se que a redução do consumo de energia primária total é de 8.947,6 kWh/ano (13,1%). Quando analisados os usos finais separadamente, a maior redução foi no consumo com condicionamento de ar para aquecimento (78,2%), seguido do condicionamento de ar para refrigeração (32,7%). Estes dois consumos, no entanto, têm pouca representatividade no consumo geral (Figura 27). Em números absolutos a maior redução de consumo foi com o sistema de aquecimento de água, com 4.558,0 kWh/ano.

Tabela 35 – Comparação de desempenho entre o projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.

Uso final de energia elétrica	Projeto representativo (kWh/ano)	Projeto representativo com MEE (kWh/ano)	Diferença	
			(kWh/ano)	(%)
Condicionamento de ar – refrigeração (kWh/ano)	1.554,3	1.046,7	-507,6	-32,7%
Condicionamento de ar – aquecimento (kWh/ano)	4.961,8	1.079,9	-3.881,9	-78,2%
Sistema de aquecimento de água (kWh/ano)	32.548,3	27.990,2	-4.558,0	-14,0%
Equipamentos (kWh/ano)	28.992,0	28.992,0	0,0	0,0%
Total (kWh/ano)	68.056,3	59.108,8	-8.947,6	-13,1%

Onde: MEE – medidas de eficiência energética.

Figura 27 – Usos finais de energia elétrica no projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.

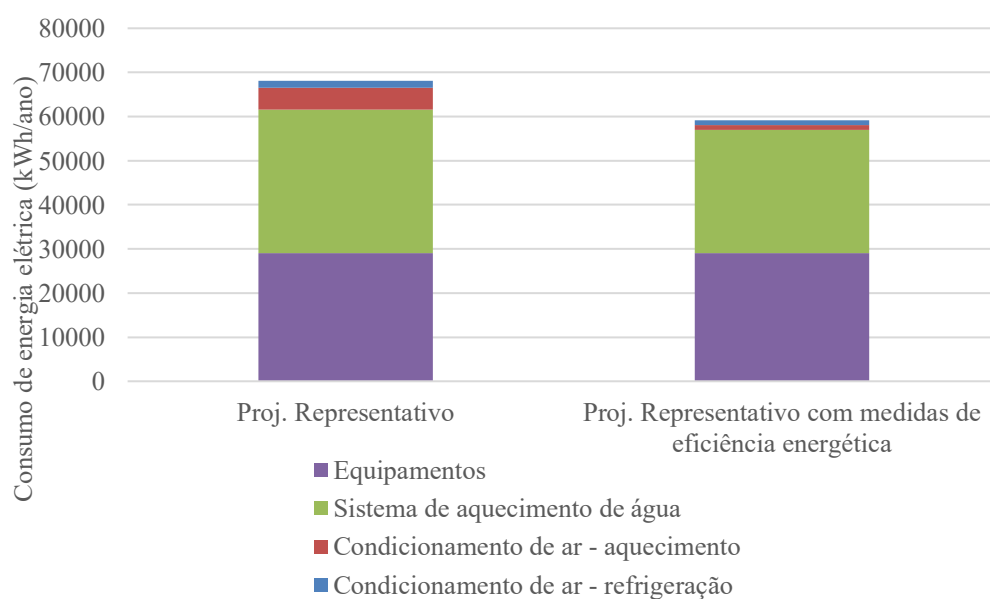


Tabela 36 – Consumo de energia e classe de eficiência energética geral do projeto representativo com medidas de eficiência energética.

Pavimento	Unidade	Modelo de referência							Projeto representativo							RedC _{EP} (%)	Eficiência Energética geral
		Cg _{TR} kWh/ano	C _R kWh/ano	Cg _{TA} kWh/ano	C _A kWh/ano	C _{AAE} kWh/ano	C _{Eq} kWh/ano	C _{EP} kWh/ano	Cg _{TR} kWh/ano	C _R kWh/ano	Cg _{TA} kWh/ano	C _A kWh/ano	C _{AAE} kWh/ano	C _{Eq} kWh/ano	C _{EP} kWh/ano		
Cobertura	NE	1.228,0	409,3	1222,8	407,6	2.034,3	1.812	7.461	798,1	149,6	277,5	92,5	1.749,4	1.812	6.085,5	18.4%	Classe A
	NO	1.267,9	422,6	1218,3	406,1	2.034,3	1.812	7.480	846,9	158,7	271,3	90,4	1.749,4	1.812	6.096,8	18.5%	Classe A
	SE	1.062,9	354,3	1432,7	477,6	2.034,3	1.812	7.485	610,4	114,4	417,7	139,2	1.749,4	1.812	6.104,0	18.5%	Classe A
	SO	1.109,8	369,9	1416,8	472,3	2.034,3	1.812	7.501	704,9	132,1	392,7	130,9	1.749,4	1.812	6.119,0	18.4%	Classe A
Tipo	NE	436,3	145,4	696,9	232,3	2.034,3	1.812	6.758	362,0	67,8	104,4	34,8	1.749,4	1.812	5.862,4	13.3%	Classe A
	NO	433,1	144,4	694,1	231,4	2.034,3	1.812	6.755	379,8	71,2	107,4	35,8	1.749,4	1.812	5.869,4	13.1%	Classe A
	SE	346,5	115,5	920,0	306,7	2.034,3	1.812	6.829	283,5	53,1	204,4	68,1	1.749,4	1.812	5.892,2	13.7%	Classe A
	SO	305,6	101,9	907,2	302,4	2.034,3	1.812	6.800	260,0	48,7	202,2	67,4	1.749,4	1.812	5.884,0	13.5%	Classe A
Térreo	NE	92,5	30,8	746,9	249,0	2.034,3	1.812	6.601	15,6	2,9	141,2	47,1	1.749,4	1.812	5.778,2	12.5%	Classe A
	NO	79,9	26,6	748,2	249,4	2.034,3	1.812	6.595	12,6	2,4	143,0	47,7	1.749,4	1.812	5.778,3	12.4%	Classe A
	SE	65,1	21,7	854,9	285,0	2.034,3	1.812	6.644	13,7	2,6	176,8	58,9	1.749,4	1.812	5.796,6	12.8%	Classe A
	SO	65,6	21,9	862,1	287,4	2.034,3	1.812	6.648	12,6	2,4	182,7	60,9	1.749,4	1.812	5.799,4	12.8%	Classe A
Total¹		8.014	2.671	14.939	4.980	32.548	28.992	110.706	5.585	1.047	3.240	1.080	27.990	28.992	94.574	14,6%	

Onde: Cg_{TR} – carga térmica de refrigeração; C_R – consumo com refrigeração; Cg_{TA} – carga térmica de aquecimento; C_A – consumo com aquecimento; C_{AAE} – consumo do sistema de aquecimento de água; C_{Eq} – consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos, C_{EP} – consumo anual de energia primária; RedC_{EP} – percentual de redução do consumo estimado de energia primária. Obs. 1: Para o cálculo do consumo total os valores relacionados às unidades do pavimento tipo foram multiplicados por dois, visto que a edificação possui quatro pavimentos, sendo dois pavimentos tipo.

4.6.3.1 Dimensionamento de fonte local de energia renovável

De acordo com a INI-R, para que uma edificação com Classe A de eficiência energética geral seja considerada de energia quase zero, é necessário que pelo menos 50% da sua demanda anual de energia seja suprida por uma fonte local de energia renovável.

A demanda de geração local de energia renovável é determinada por meio da Equação 11, levando em consideração o fator de conversão de energia elétrica para energia primária de 1,6 (PBE EDIFICA, 2021b). Considerando que o projeto representativo com medidas de eficiência energética teria consumo total de energia primária de 94.574 kWh/ano, seria necessário que a fonte local de energia renovável tivesse uma geração anual de no mínimo 29.554,4 kWh/ano.

Seria necessário um sistema fotovoltaico de 23,1 kWp para garantir a geração mínima indicada, conforme dados obtidos por meio do Simulador Solar (INSTITUTO IDEAL, 2021). Na Tabela 37 são apresentados os dados relativos ao sistema de geração local de energia renovável proposto.

A instalação dos módulos fotovoltaicos requer uma área de 159 a 196 m² (Tabela 37). Considerando que o projeto representativo tem 190 m² de área de cobertura, e que neste local ainda deve ser previsto espaço para os aquecedores solares (18,6 m²), reservatório de água e áreas de circulação para manutenção, presume-se que a cobertura provavelmente não comportaria todos os módulos fotovoltaicos do sistema. Portanto, os módulos poderiam ser utilizados como cobertura da área de estacionamento, que costuma ser ao ar livre neste tipo de edificação.

Para efeito de comparação, caso a edificação não contasse com um sistema de aquecimento de água por fonte solar, o consumo total de energia primária da edificação seria de 101.867 kWh/ano, e a geração local de energia elétrica mínima seria de 31.833 kWh/ano. Para tanto, seria necessário um sistema fotovoltaico de 24,7 kWp de potência (Tabela 37), 7% maior do que aquele dimensionado para o cenário com sistema de aquecimento solar de água. No entanto, não foi realizada a análise de viabilidade econômica deste cenário, que estaria em desacordo com as premissas da INI-R e com os requisitos da Portaria 959/2021 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021b).

Tabela 37 – Características e produtividade do sistema de geração local de energia renovável proposto.

Parâmetro	Características do sistema fotovoltaico	
	Com sistema solar de aquecimento de água	Sem sistema solar de aquecimento de água
Potência estimada do sistema fotovoltaico	23,1 kWp	24,7 kWp
Custo estimado do sistema fotovoltaico	R\$ 92.400,00	R\$,00
Área ocupada	De 159 a 196 m ²	De 171 a 210 m ²
Inclinação aproximada dos módulos	30°	30°
Produção anual	1.291 kWh/kWp	1.291 kWh/kWp
Geração fotovoltaica anual	29.830 kWh	31.900 kWh

Fonte: Instituto Ideal (2021).

4.7 IDENTIFICAÇÃO DOS HÁBITOS DE USO E OCUPAÇÃO NAS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

O questionário utilizado para levantamento dos hábitos de uso e ocupação no conjunto habitacional Campos da Serra em Caxias do Sul – RS (APÊNDICE 1) foi distribuído aos moradores, em vias impressas, entre 19 de julho e 11 de agosto de 2021. Paralelamente foram encaminhados formulários eletrônicos para alguns líderes comunitários, para que estes compartilhassem com os moradores via aplicativos de mensagem.

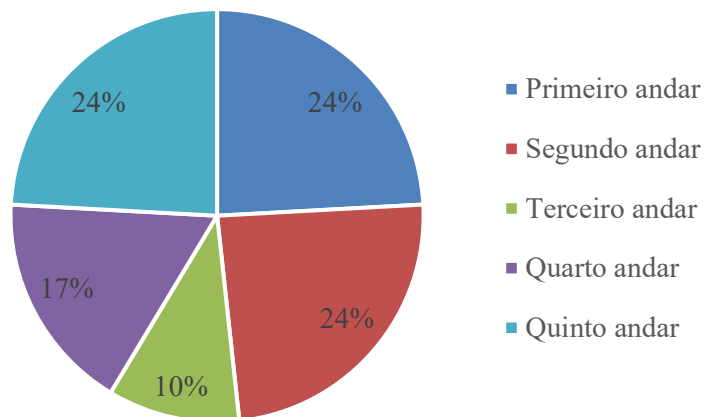
Foram obtidas 29 respostas por meio dos formulários impressos. Não houve adesão dos moradores ao formulário eletrônico. Esta amostra representa 2,2% das unidades existentes no conjunto habitacional, e a sua margem de erro é de 18%, com nível de confiança de 95%. Apesar de a amostra ser menor do que a necessária para atingir a margem de erro esperada, de 5%, não foi possível obter mais respostas devido à falta de interesse dos moradores em responder a pesquisa. Adicionalmente destaca-se o fato de que a pesquisa ocorreu durante o período de pandemia, no qual é recomendado o distanciamento social.

A pergunta 1 “Qual é o seu nome?” era opcional e tinha como objetivo a identificação do morador que respondeu o questionário, não sendo relevantes as respostas para a pesquisa. A pergunta 2 “Onde você mora?” tinha como intuito garantir que todos os entrevistados eram moradores do conjunto habitacional objeto da pesquisa, e 100% responderam Residencial Campos da Serra.

A pergunta 3 “Seu apartamento fica em qual andar?” tinha como objetivo estabelecer correlação entre a percepção de conforto térmico dos entrevistados e o pavimento em que eles vivem. A mesma proporção de entrevistados (24%) afirmou viver no primeiro, segundo e quinto pavimentos (Figura 28). Dezesete por cento dos entrevistados afirmaram viver no quarto andar,

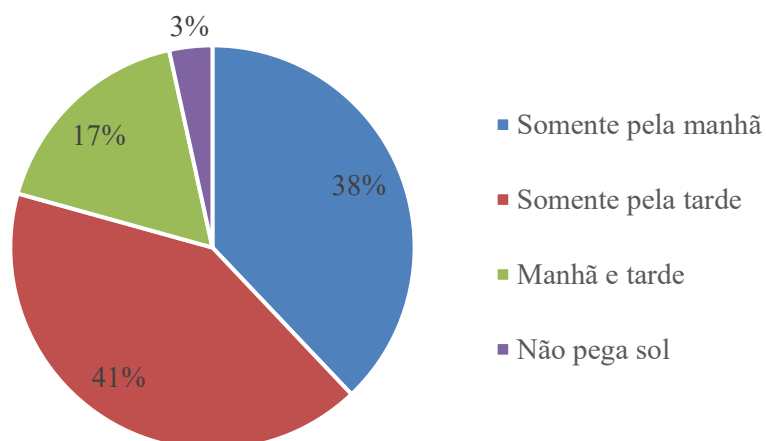
e somente 10% no terceiro andar. Não foi possível estabelecer uma correlação clara entre a percepção de conforto térmico e o pavimento em que os entrevistados vivem.

Figura 28 – Respostas para a pergunta 3 do questionário: “Seu apartamento fica em qual andar?”.



A pergunta 4 “Em qual parte do dia seu apartamento pega sol?” tinha o intuito de estabelecer correlação entre a percepção de conforto térmico dos entrevistados e a orientação solar da unidade habitacional em que eles vivem (Figura 29).

Figura 29 – Respostas para a pergunta 4 do questionário: “Em qual parte do dia seu apartamento pega sol?”.

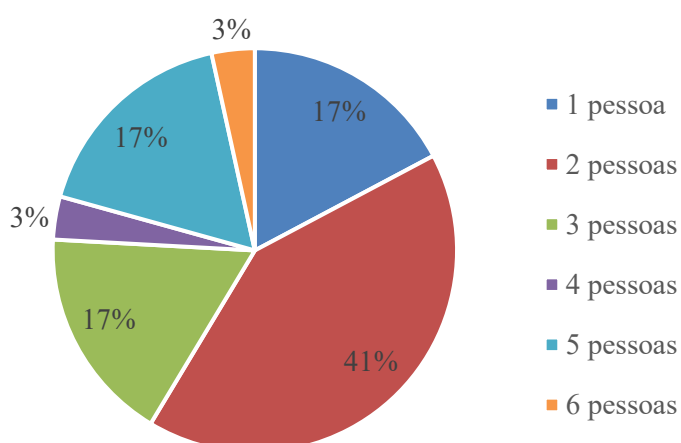


A maioria dos entrevistados (41%) afirmou que há a incidência de sol no apartamento somente à tarde (orientação oeste). Trinta e oito por cento afirmaram que há a incidência de sol

somente pela manhã (orientação leste) e 17% afirmaram que há a incidência de sol pela manhã e à tarde (orientação norte). Somente 3% afirmaram que não há a incidência de sol (orientação sul). Não foi possível estabelecer uma correlação clara entre a percepção de conforto térmico e a orientação solar da unidade habitacional em que os entrevistados vivem.

A pergunta 5 “Quantas pessoas vivem no seu apartamento?” foi realizada para verificar a quantidade média de moradores das unidades habitacionais (Figura 30). A INI-R utiliza como parâmetro de carga térmica interna duas pessoas por dormitório, que no caso do objeto de estudo, totalizaria quatro pessoas por unidade habitacional. A maioria dos entrevistados (41%) afirmou que duas pessoas vivem no seu apartamento e apenas 20% dos entrevistados afirmaram que mais do que quatro pessoas vivem no apartamento. Em média 2,7 pessoas vivem nas unidades habitacionais dos entrevistados, quantidade inferior àquela utilizada como parâmetro pela INI-R.

Figura 30 – Respostas para a pergunta 5 do questionário: “Quantas pessoas vivem no seu apartamento?”.



A pergunta 6 solicitava que os entrevistados indicassem os horários em que normalmente há pessoas nos dormitórios, enquanto a pergunta 7 solicitava que os entrevistados indicassem os horários em que normalmente há pessoas na sala. Estas perguntas tiveram como objetivo comparar o padrão de ocupação do objeto de estudo (Figura 31) com o padrão estabelecido pela INI-R (Figura 32). A INI-R determina que os dormitórios estão 100% ocupados entre as 22:00 e as 7:59 horas, e que estão desocupados entre as 8:00 e as 21:59. A sala, por sua vez, está desocupada entre as 22:00 e as 13:59 horas, ocupada por 50% dos moradores entre as 14:00 e as 17:59, e 100% ocupada entre as 18:00 e as 21:59 horas. De acordo

com o padrão estabelecido pela INI-R, portanto, a habitação está desocupada entre as 8:00 e as 13:59. O padrão obtido pela pesquisa é significativamente diferente, com frequente ocupação da sala nos horários diurnos. De acordo com os resultados apresentados na Figura 31, no objeto de estudo há ocupação dos ambientes por mais de 50% dos entrevistados em todos os horários do dia.

Figura 31 – Respostas para as perguntas 6 e 7 do questionário: “Assinale na tabela abaixo os horários em normalmente que há pessoas nos quartos” e “Assinale na tabela abaixo os horários em normalmente que há pessoas na sala”.

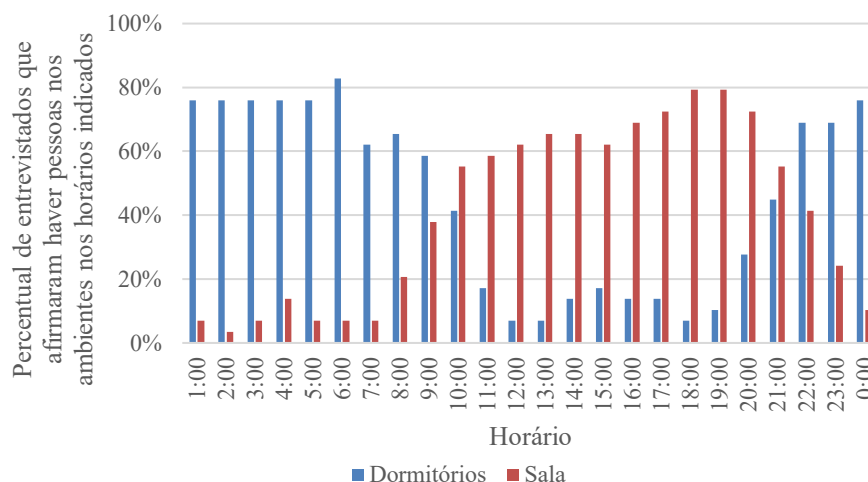
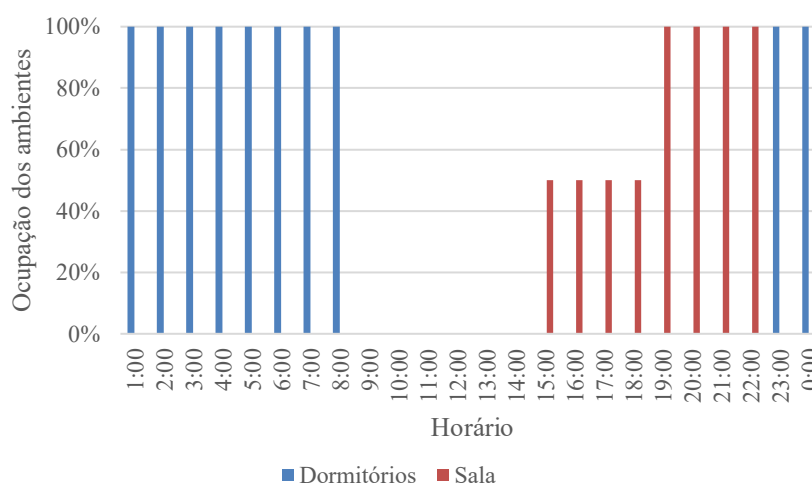


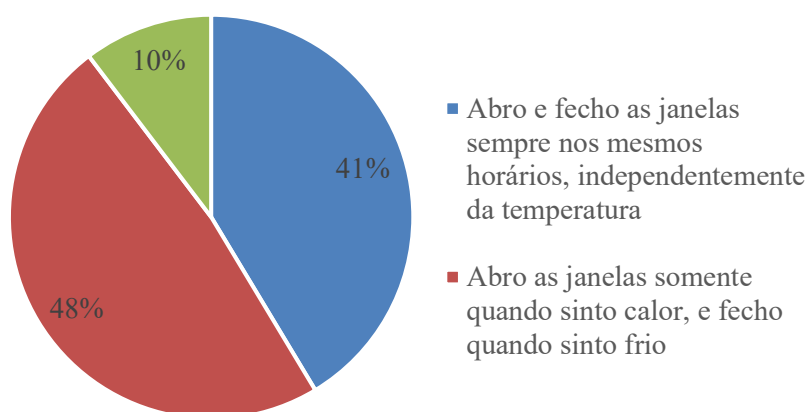
Figura 32 – Padrão de ocupação estabelecido pela INI-R.



A pergunta 8 “Quando você abre as janelas do seu apartamento?” foi realizada com o objetivo de verificar se existe um padrão de abertura e fechamento das janelas. A maioria dos entrevistados (48%) afirmou abrir as janelas quando sente calor, e fechar as janelas quando

sente frio (Figura 33). Quarenta e um por cento dos entrevistados afirmaram abrir e fechar sempre nos mesmos horários, independentemente da temperatura, e os outros 10% afirmaram operar a janela de outras maneiras. A INI-R define um padrão de abertura e fechamento das janelas para ventilação natural em função da diferença de temperatura interna e externa, padrão semelhante ao informado pela maioria dos entrevistados.

Figura 33 – Respostas para a pergunta 8 do questionário: “Quando você abre as janelas do seu apartamento?”.



A pergunta 9 “No inverno você sente frio no seu apartamento?” faz parte do conjunto de perguntas que visam compreender a percepção dos ocupantes quanto ao conforto térmico no objeto de estudo (Figura 34). A maioria dos entrevistados (45%) afirmaram sentir frio poucas vezes, enquanto 28% afirmaram sentir frio frequentemente, e 21% afirmaram sentir frio sempre, no inverno. Apenas 7% afirmaram nunca sentir frio. Por outro lado, quando perguntados se utilizavam aquecedor ou estufa no inverno, 31% afirmaram usar bastante (Figura 35). Na mesma pergunta (Figura 35), 24% afirmaram usar pouco, e 45% afirmaram não utilizar, por não ter ou não achar necessário. Apesar de na pergunta 9 mais da metade (52%) dos entrevistados terem afirmado nunca sentir frio, ou ainda sentir frio poucas vezes, 55% responderam na pergunta 10 que utilizam aquecedor, o que dá a entender que o desconforto térmico devido ao frio é percebido por mais da metade dos ocupantes.

Figura 34 – Respostas para a pergunta 9 do questionário: “No inverno você sente frio no seu apartamento?”.

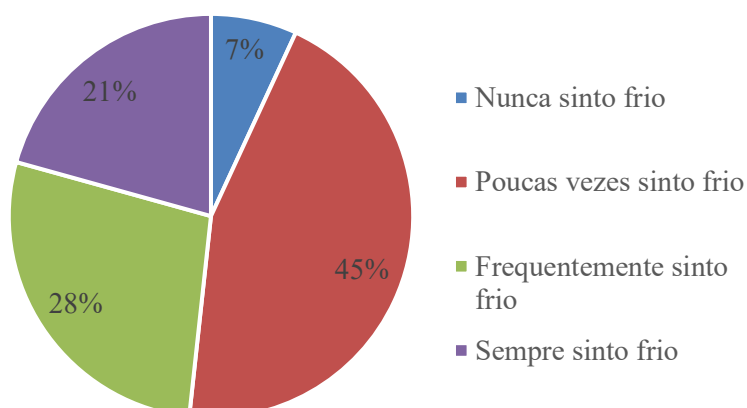
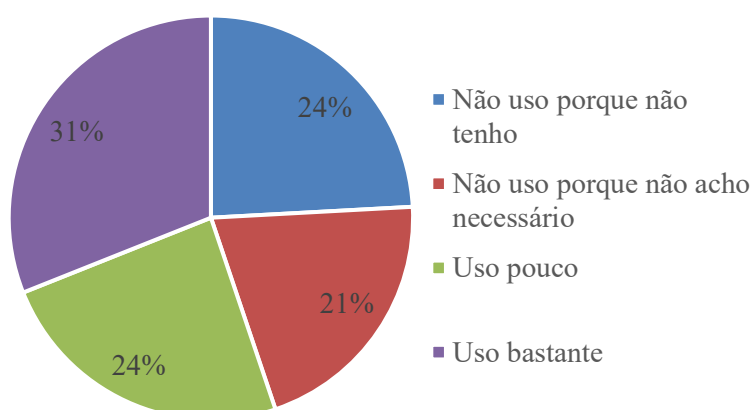


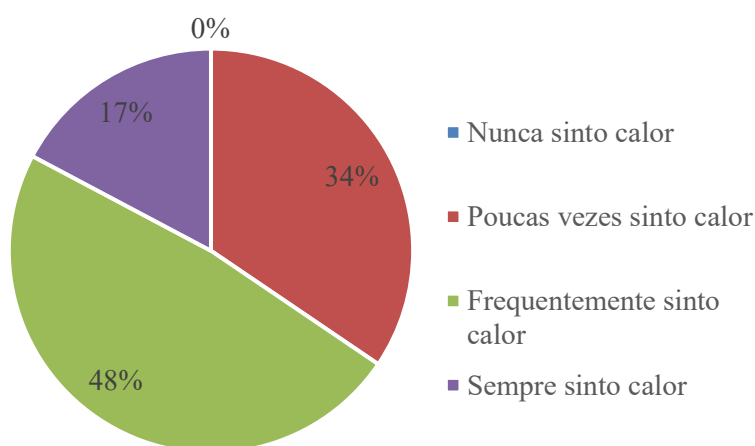
Figura 35 – Respostas para a pergunta 10 do questionário: “Você usa algum tipo de aquecedor ou estufa no inverno?”.



Assim como as duas perguntas anteriores, a pergunta 11 “No verão você sente calor no seu apartamento?” faz parte do conjunto de perguntas que visam compreender a percepção dos ocupantes quanto ao conforto térmico no objeto de estudo (Figura 36). Dezesete por cento dos entrevistados responderam sentir calor sempre e 48% responderam sentir calor frequentemente no verão. Os que responderam sentir calor poucas vezes foram 34%, e nenhum dos entrevistados respondeu sentir calor nunca. As respostas a esta pergunta indicam que a percepção de desconforto devido ao calor é maior do que a percepção de calor devido ao frio, apesar de os resultados das simulações (seção 4.3.1.1) indicarem um maior percentual de horas ocupadas abaixo da faixa de temperatura operativa, para o objeto de estudo. Estes resultados

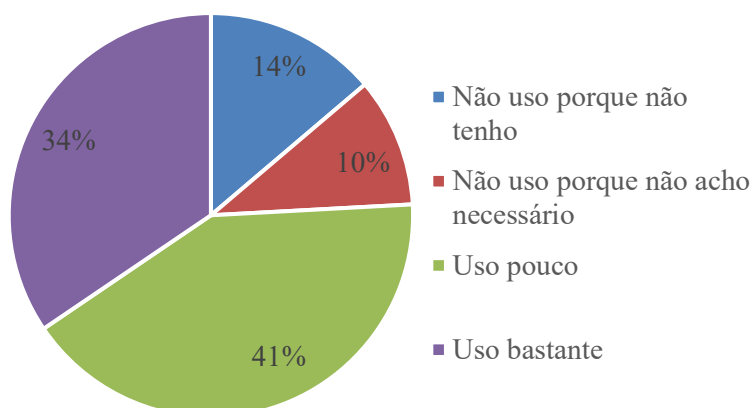
podem estar relacionados ao hábito dos ocupantes de usar mais agasalhos no inverno, e por isso não perceber o frio no inverno da mesma maneira como percebem o calor no verão. Outra hipótese é que os moradores não percebam o frio de maneira tão intensa por estarem habituados às condições climáticas locais. A INI-R define que 18°C é o limite inferior da faixa de temperatura operativa para a região. No entanto, os moradores da região podem ser capazes de tolerar temperaturas operativas inferiores a esta, e por isso a percepção de desconforto devido ao frio pode ser menor.

Figura 36 – Respostas para a pergunta 11 do questionário: “No verão você sente calor no seu apartamento?”.



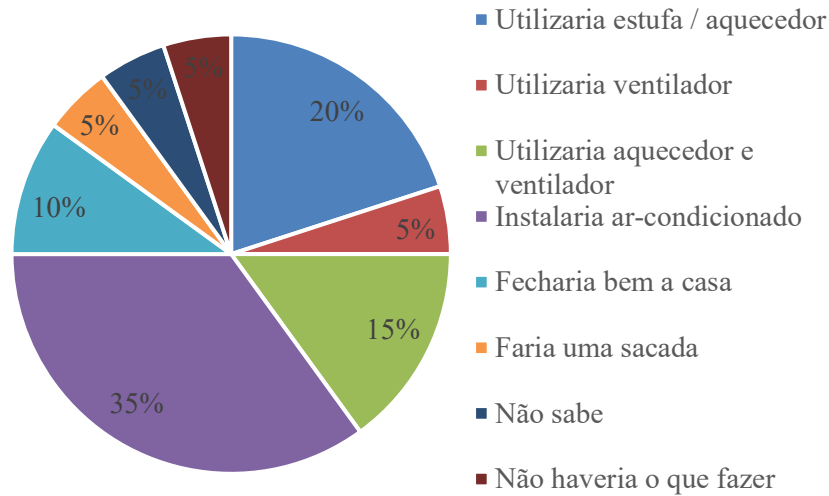
Ainda no contexto de investigar a percepção de desconforto térmico por parte dos ocupantes, foi realizada a pergunta 12 “Você usa ventilador no verão?”. A maioria dos entrevistados (41%) afirmou usar pouco, enquanto 34% afirmaram usar bastante. Ou seja, 75% dos ocupantes usam ventilador no verão, o que corrobora a percepção de desconforto térmico devido ao calor evidenciada na pergunta anterior. Apenas 10% dos entrevistados não acha necessário o uso de ventilador, e 14% não usam porque não possuem o aparelho. De acordo com a Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial de 2019 (ELETROBRÁS, 2021), o ventilador ou circulador de ar está presente em 54% dos domicílios do Estado do Rio Grande do Sul

Figura 37 – Respostas para a pergunta 12 do questionário: “Você usa ventilador no verão?”.



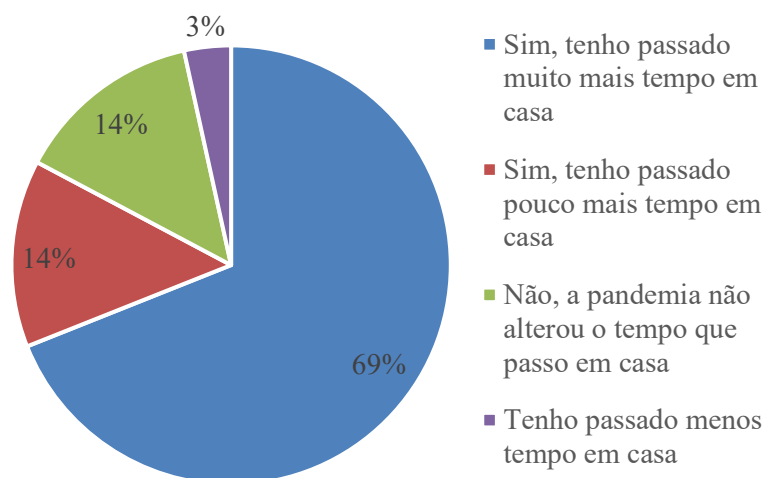
A fim de investigar a compreensão dos ocupantes quanto a soluções para melhorar o conforto térmico em suas habitações, foi realizada a pergunta 13 “O que você faria no seu apartamento para sentir menos frio no inverno e menos calor no verão?” (Figura 38). A maioria dos entrevistados (35%) respondeu que instalaria um aparelho de ar-condicionado. A segunda resposta mais frequente citou o uso de aquecedor / estufa (20% dos entrevistados), seguida do uso de aquecedor e ventilador (15%). Dez por cento dos entrevistados responderam que “fechariam bem a casa”. Outras respostas foram: uso de ventilador (5%), “faria uma sacada” (5%), “não há o que fazer” (5%) e “não sei” (5%). Ao todo, 75% dos entrevistados apontaram medidas ativas para melhorar o conforto térmico, enquanto 15% apontaram medidas passivas. Essa proporção demonstra a falta de conhecimento por parte dos ocupantes sobre formas de melhorar o conforto térmico sem o uso de energia elétrica.

Figura 38 – Respostas para a pergunta 13 do questionário: “O que você faria no seu apartamento para sentir menos frio no inverno e menos calor no verão?”.



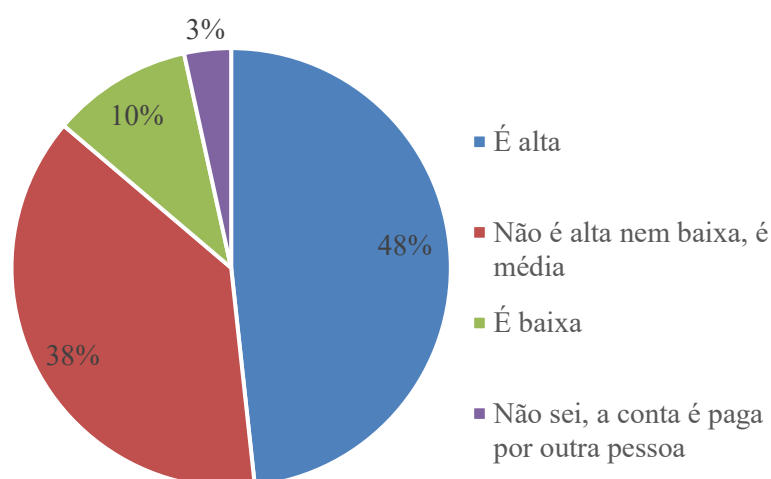
A pergunta 14 “Desde o início da pandemia de Covid-19 você tem passado mais tempo dentro de casa?” foi realizada com o objetivo de avaliar o impacto da pandemia sobre a rotina dos ocupantes, e o seu tempo de permanência nas unidades habitacionais (Figura 39). A maioria dos entrevistados (69%) respondeu que tem passado muito mais tempo em casa, enquanto 14% afirmaram que tem passado pouco mais tempo em casa. Ou seja, 83% dos entrevistados passaram a estar mais tempo em casa desde o início da pandemia. Quatorze por cento dos entrevistados afirmaram que a pandemia não alterou o tempo que passam em casa, e somente 3% afirmaram que passaram a estar menos tempo em casa. As respostas a esta pergunta corroboram com o padrão de ocupação obtido por meio das perguntas 6 e 7, e apresentado na Figura 31.

Figura 39 – Respostas para a pergunta 14 do questionário: “Desde o início da pandemia de Covid-19 você tem passado mais tempo dentro de casa?”.



Por fim, a pergunta 15 “A despesa com a conta de energia elétrica no seu orçamento é muito alta?” buscava verificar a representatividade da conta de energia elétrica no orçamento dos entrevistados (Figura 40). A maioria (48%) considera alta, enquanto 38% consideram “média”. Somente 10% consideram baixa e 3% não sabem.

Figura 40 – Respostas para a pergunta 15 do questionário: “A despesa com a conta de energia elétrica no seu orçamento é muito alta?”.



4.7.1 Resumo da pesquisa

Considerado os resultados apresentados na seção anterior pode-se destacar as seguintes considerações:

- A quantidade média de ocupantes das unidades habitacionais do objeto de estudo (2,7 pessoas) é menor do que a quantidade determinada pela INI-R para uma unidade com o mesmo número de dormitórios (4 pessoas);
- O padrão de ocupação do objeto de estudo é significativamente diferente daquele determinado pela INI-R, sendo que as principais diferenças ocorrem no período diurno. Enquanto na INI-R a habitação é considerada desocupada entre as 9:00 horas e as 14:00 horas, mais da metade dos entrevistados declarou haver presença de pessoas em casa neste mesmo período do dia;
- A grande maioria (83%) dos entrevistados declararam passar mais tempo em casa desde o início da pandemia, informação que vem ao encontro do padrão de ocupação com presença de pessoas durante o período diurno;
- A maioria dos entrevistados afirmou operar as janelas em função da sua percepção de conforto térmico, padrão semelhante àquele determinado pela INI-R na condição de uso com ventilação natural;
- Os entrevistados parecem perceber o desconforto devido ao calor com maior frequência do que o desconforto devido ao frio, apesar de as simulações realizadas indicarem uma predominância de horas abaixo da faixa de temperatura operativa ($< 18^{\circ}\text{C}$), em relação às horas acima da temperatura operativa ($> 26^{\circ}\text{C}$);
- Aquecedores elétricos e ventiladores são amplamente utilizados pelos entrevistados como medida de regulação da temperatura interna e compensação do desconforto térmico;
- Os entrevistados possuem conhecimento limitado sobre alternativas passivas de conforto térmico, priorizando o uso de equipamentos elétricos (aquecedor e ventilador). Uma parcela significativa desejaria possuir aparelho de ar-condicionado;
- Não foi possível observar uma correlação direta entre pavimento, posição solar das unidades habitacionais e percepção de conforto térmico;
- Quase a metade dos entrevistados (48%) considera alta a sua conta de energia elétrica, o que indica que se trata de uma despesa significativa em seus orçamentos.

Dados os resultados da pesquisa junto aos moradores do objeto de estudo, o padrão de uso e ocupação da INI-R foi adaptado conforme indicado na Tabela 38. Este padrão adaptado foi utilizado para fins de estimativa de consumo de energia elétrica, dimensionamento da fonte de energia renovável e análise de viabilidade econômica do projeto representativo de energia quase zero.

As alterações em relação ao padrão de uso e ocupação da INI-R foram:

- Existência de três moradores por unidade habitacional ao invés de quatro, com presença de ocupantes em todos os horários do dia.
- As unidades habitacionais não contariam com aparelho de ar-condicionado. Ao invés, seriam utilizados aquecedores elétricos, ventiladores elétricos e ventilação natural de forma combinada.
- O uso de aquecedores elétricos foi considerado sempre que o ambiente de permanência prolongada estivesse ocupado, e com a temperatura operativa menor do que 18°C. Na INI-R o *setpoint* de aquecimento é 21°C.
- Os ventiladores foram considerados acionados sempre que o ambiente de permanência prolongada estivesse ocupado, e a temperatura operativa fosse maior do que 26°C. Na INI-R o *setpoint* de refrigeração é 23°C.
- A ventilação natural ocorreria sempre que a temperatura operativa fosse maior do que 19°C, e que a temperatura interna fosse maior do que a temperatura externa. Na INI-R a condição de uso com ventilação natural não é utilizada para fins de estimativa do consumo de energia elétrica. É utilizada somente para definição de parte dos parâmetros de classificação de eficiência energética da envoltória.

O uso combinado da ventilação natural com outras formas de condicionamento de ar, em modelos computacionais de avaliação de desempenho térmico e eficiência energética de habitações, foi explorado em estudos como o de Eli et al. (2021) e de Sorgato, Melo e Lamberts (2016), como forma de melhor representar a interação dos ocupantes com a habitação, e de obter melhores resultados em termos de consumo de energia elétrica.

Tabela 38 – Mudança dos padrões de uso e ocupação a serem utilizados em relação ao padrão da INI-R.

Parâmetro	Padrão INI-R	Padrão a ser utilizado
Número de ocupantes por unidade habitacional	4 pessoas	3 pessoas
Horário de ocupação (dormitórios)	22:00 – 7:59 (100% ocupado)	22:00 – 7:59 (100% ocupado)
Horário de ocupação (sala)	14:00 – 17:59 (50% ocupado) 18:00 – 21:59 (100% ocupado)	8:00 – 17:59 (50% ocupado) 18:00 – 21:59 (100% ocupado)
Condição de uso	Sem ventilação natural, com <i>setpoint</i> de aquecimento de 21°C e <i>setpoint</i> de refrigeração de 23°C.	Híbrido: com ventilação natural quando a temperatura operativa interna fosse maior que 19°C; com ventilação natural e o uso de ventilador quando a temperatura operativa interna fosse maior que 26°C; sem ventilação natural e com o uso de aquecedor elétrico quando a temperatura operativa interna fosse menor que 18°C.

4.8 REAVALIAÇÃO DOS CONSUMOS UTILIZANDO OS PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DA PESQUISA

A INI-R determina padrões de uso e ocupação para que seja possível a aplicação dos métodos de avaliação em edificações residenciais de diferentes tipologias, pertencentes a diversas classes sociais e em variados climas do território nacional. Considerando que foram identificadas diferenças importantes nos padrões de uso e ocupação da edificação em que a pesquisa foi aplicada, o consumo elétrico do projeto representativo foi reavaliado utilizando as premissas apresentadas na Tabela 38.

4.8.1 Consumo com aquecimento de água

Considerando que as unidades habitacionais avaliadas teriam três ocupantes ao invés de quatro, o consumo elétrico com aquecimento de água foi alterado, pois ele é calculado em função do volume de água quente consumida diariamente. Na Tabela 39 são apresentados os parâmetros utilizados para calcular o consumo de energia para aquecimento de água no projeto representativo, com e sem medidas de eficiência energética. O método de cálculo segue método descrito no Anexo B.III da INI-R (INMETRO, 2021), com alteração do número de ocupantes da unidade habitacional. No projeto representativo Classe A de eficiência energética geral manteve-se o sistema de aquecimento solar de água dimensionado de acordo com os critérios apresentados na seção 4.5.2. A parcela de energia proveniente do sistema (Tabela 40) e a perda

térmica total do sistema (Tabela 41) foram recalculadas em função da alteração do volume de água quente consumida neste cenário. Estes valores foram divididos por dezesseis, equivalente ao pelo número de unidades habitacionais atendidas pelo aquecimento solar de água.

Tabela 39 – Parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia para aquecimento de água no projeto representativo, com padrão de uso e ocupação adaptado.

Parâmetro	Unidade	SSA do projeto representativo	SSA do projeto representativo Classe A
Número de ocupantes da unidade habitacional	un	3	3
Volume diário de consumo de água quente ($V_{\text{dia,E}}$)	m ³ /dia	0,15	0,15
Massa específica da água (ρ)	kg/L	1	1
Calor específico da água (C_p)	kJ/g°C	4180	4180
Temperatura de uso da água ($\theta_{A,\text{uso}}$)	°C	40	40
Temperatura da água fria ($\theta_{A,0}$)	°C	17,2	17,2
Energia elétrica requerida para o atendimento da demanda diária de água quente (E_{AAE})	kWh/dia	3,97	3,97
Número de dias no ano que a edificação está em uso (N_{ano})	un	365	365
Coefficiente de rendimento do equipamento para o aquecedor de água de fonte elétrica ($r_{\text{aq,e}}$)	-	0,95	0,95
Parcela de energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico por UH ($E_{\text{AA,sol}}$)	kWh/dia	-	-1,96
Perda térmica total do sistema de aquecimento de água por UH	kWh/dia	-	0,29
Consumo de energia elétrica para aquecimento de água por UH (C_{AAE})	kWh/ano	1.525,7	883,4

Onde: SSA – sistema de aquecimento de água; UH – unidade habitacional.

Tabela 40 – Fração solar mensal e parcela de energia proveniente do sistema de aquecimento solar de água.

Mês	H_{dia} (Wh/m ² .dia)	Ni	$E_{\text{imês}}$ (kWh/m ² .mês)	$E_{\text{SAMês}}$ (kWh/mês)	K_2	T_{AF} (°C)	T_{AMB} (°C)	ΔT (h)	$EP_{\text{mês}}$ (kWh/mês)	D_1	D_2	f	$E_{\text{AA,sol}}$ (kWh/mês)
Jan	5.379	31	166,7	1.428,4	1,17	21,3	21,3	744	362,8	11,6	2,9	12,4	1.522,5
Fev	5.401	28	151,2	1.295,5	1,16	21,2	21,2	672	326,9	11,7	2,9	12,6	1.396,6
Mar	4.994	31	154,8	1.326,2	1,14	20,6	20,6	744	358,1	10,8	2,9	9,4	1.152,2
Abr	4.633	30	139,0	1.190,6	1,03	17,3	17,3	720	327,2	10,0	2,7	7,1	847,1
Mai	3.745	31	116,1	994,5	0,96	14,8	14,8	744	322,7	8,1	2,6	3,5	431,0
Jun	3.347	30	100,4	8.60,2	0,87	11,8	11,8	720	294,8	7,2	2,5	2,6	309,8
Jul	3.735	31	115,8	991,9	0,96	14,9	14,9	744	323,8	8,1	2,6	3,5	427,6
Ago	4.317	31	133,8	1.146,4	0,95	14,6	14,6	744	322,0	9,3	2,6	5,5	682,2
Set	4.037	30	121,1	1.037,5	0,92	13,3	13,3	720	303,8	8,7	2,6	4,4	527,3
Out	4.669	31	144,7	1.239,9	1,02	16,8	16,8	744	335,0	10,1	2,7	7,3	900,4
Nov	5.478	30	164,3	1.407,8	1,09	19,2	19,2	720	338,6	11,8	2,8	13,3	1.579,3
Dez	5.500	31	170,5	1.460,6	1,13	20,3	20,3	744	356,7	11,9	2,9	13,5	1.656,5
$E_{\text{AA,sol}}$ (kWh/dia)												31,32	

Onde: H_{dia} – irradiação solar incidente no plano inclinado; Ni – número de dias do mês; $E_{\text{imês}}$ – irradiância solar mensal incidente sobre as superfícies dos coletores; $E_{\text{SAMês}}$ – energia solar mensal absorvida pelos coletores do mês; K_2 – fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas no mês; T_{AF} – temperatura média mensal de água fria no mês; T_{AMB} – a temperatura média mensal do local de instalação do coletor no mês; ΔT – período de tempo considerado no mês; $EP_{\text{mês}}$ – energia solar mensal não aproveitada pelos coletores no mês; D_1 – parâmetro adimensional 1; D_2 – parâmetro adimensional 2; f – fração solar mensal; $E_{\text{AA,sol}}$ – parcela de energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de aquecimento solar térmico. Fonte: LABREN (2017), INMETRO (2021a).

Tabela 41 – Parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia associado às perdas térmicas do sistema de aquecimento de água solar.

Parâmetro	Unidade	Valor
Perda térmica dos reservatórios de água quente	kWh/dia	3,9
Fator de perdas térmicas por metro de tubulação	W/m.K	1,0
Fator de horas de perdas na tubulação de distribuição de água quente	h/dia	9,0
Comprimento médio da tubulação	m	4,1
Temperatura de uso da água	°C	40,0
Temperatura da água fria	°C	17,2
Perda térmica na tubulação do sistema de distribuição de água quente	kWh/dia	0,63
Perda térmica total do sistema de aquecimento de água	kWh/dia	4,6

Fonte: INMETRO (2021a, 2021b).

4.8.2 Consumo com aquecimento do ambiente e ventilação

Dada a premissa de que o projeto representativo não teria aparelhos de ar-condicionado, substituiu-se a parcela de energia consumida com refrigeração por energia consumida com o uso de ventiladores. Considerou-se um ventilador por ambiente de permanência prolongada (sala e dormitórios), ligado sempre que o ambiente estivesse ocupado e que a temperatura operativa fosse maior do que 26°C. Foi considerado o uso de um modelo

de ventilador listado nas tabelas de consumo e eficiência energética do INMETRO (INMETRO, 2021b), cuja eficiência é Classe A e o consumo é de 50 Wh. Para o cálculo da energia consumida pelos ventiladores, multiplicou-se o número de horas ocupadas acima da faixa de temperatura operativa no ano, pela potência do aparelho em Watts.

Com relação ao consumo elétrico com aquecimento, considerou-se o uso de aquecedores elétricos (estufa). O cálculo foi realizado com base na carga térmica de aquecimento, de acordo com o método computacional da NBR 15575 descrito na seção 3.5.2. Utilizou-se, no entanto, o *setpoint* de aquecimento de 18°C ao invés de 21°C (ELI et al., 2021), permitindo a ventilação natural quando a temperatura operativa interna fosse maior do que 19°C. Para determinar o consumo elétrico dividiu-se a carga térmica anual de aquecimento dos ambientes de permanência prolongada pelo coeficiente de eficiência energética para aquecimento de 3 W/W, conforme determinado na INI-R. Na Tabela 42 é apresentado o consumo elétrico com aquecimento e ventilação do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.

4.8.3 Consumo com equipamentos elétricos

O consumo com equipamentos elétricos foi calculado de acordo com a Equação 15, considerando três ocupantes por unidade habitacional ao invés de quatro. Na Tabela 42 é apresentado o consumo elétrico com equipamentos elétricos no projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética. O valor é igual para ambos os casos, uma vez que o número de ocupantes por unidade habitacional é a única variável da equação. O consumo elétrico com ventiladores e aquecedores elétricos foi calculado separadamente, dado que estes aparelhos entram em substituição ao consumo com ar-condicionado.

4.8.4 Consumo total de energia elétrica

O consumo total de energia elétrica foi calculado somando as parcelas relativas ao uso de ventiladores (em substituição à parcela de refrigeração com ar-condicionado), ao uso de aquecedores elétricos (em substituição à parcela de aquecimento com ar-condicionado), ao uso de equipamentos elétricos e ao aquecimento de água. O consumo anual de energia primária foi calculado utilizando o fator de conversão de energia elétrica para energia primária de 1,6 (PBE EDIFICA, 2021b). Na Tabela 42 é apresentado o consumo total de energia primária no projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.

Tabela 42 – Consumo de energia do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética.

Pavimento	Unidade	Projeto representativo							Projeto representativo Classe A							RedC _{EP} (%)
		H _{Vent} h/ano	C _V kWh/ano	C _{gTA} kWh/ano	C _A kWh/ano	C _{AAE} kWh/ano	C _{Eq} kWh/ano	C _{EP} kWh/ano	H _{Vent} h/ano	C _V kWh/ano	C _{gTA} kWh/ano	C _A kWh/ano	C _{AAE} kWh/ano	C _{Eq} kWh/ano	C _{EP} kWh/ano	
Cobertura	NE	1.448,0	72,4	913,6	304,5	1.525,7	1.492,8	5.432,7	1.117,0	55,9	133,8	44,6	883,4	1.492,8	3.962,7	27,1%
	NO	1.472,0	73,6	903,9	301,3	1.525,7	1.492,8	5.429,5	1.133,0	56,7	135,5	45,2	883,4	1.492,8	3.964,8	27,0%
	SE	1.193,0	59,7	1016,5	338,8	1.525,7	1.492,8	5.467,2	790,0	39,5	196,6	65,5	883,4	1.492,8	3.970,0	27,4%
	SO	1.359,0	68,0	1067,5	355,8	1.525,7	1.492,8	5.507,7	1.023,0	51,2	200,5	66,8	883,4	1.492,8	3.990,7	27,5%
Tipo	NE	658,0	32,9	390,4	130,1	1.525,7	1.492,8	5.090,5	612,0	30,6	42,0	14,0	883,4	1.492,8	3.873,3	23,9%
	NO	512,0	25,6	387,8	129,3	1.525,7	1.492,8	5.077,4	437,0	21,9	46,3	15,4	883,4	1.492,8	3.861,5	23,9%
	SE	523,0	26,2	551,5	183,8	1.525,7	1.492,8	5.165,6	477,0	23,9	75,7	25,2	883,4	1.492,8	3.880,5	24,9%
	SO	472,0	23,6	544,1	181,4	1.525,7	1.492,8	5.157,6	458,0	22,9	77,4	25,8	883,4	1.492,8	3.879,8	24,8%
Térreo	NE	166,0	8,3	372,7	124,2	1.525,7	1.492,8	5.041,7	30,0	1,5	42,6	14,2	883,4	1.492,8	3.827,0	24,1%
	NO	133,0	6,7	371,9	124,0	1.525,7	1.492,8	5.038,6	27,0	1,4	44,5	14,8	883,4	1.492,8	3.827,8	24,0%
	SE	114,0	5,7	408,6	136,2	1.525,7	1.492,8	5.056,7	27,0	1,4	48,3	16,1	883,4	1.492,8	3.829,8	24,3%
	SO	112,0	5,6	440,9	147,0	1.525,7	1.492,8	5.073,7	24,0	1,2	54,1	18,0	883,4	1.492,8	3.832,7	24,5%
Total¹		10.327,0	516,4	9.243,3	3.081,1	24.411,2	23.884,8	83.029,5	8.139,0	407,0	1.338,6	446,2	14.134,3	23.884,8	62.195,7	25,1%

Onde: H_{Vent} – horas de uso de ventilador; C_V – consumo com ventiladores; C_{gTA} – carga térmica de aquecimento; C_A – consumo com aquecimento; C_{AAE} – consumo do sistema de aquecimento de água; C_{Eq} – consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos, C_{EP} – consumo anual de energia primária; RedC_{EP} – percentual de redução do consumo estimado de energia primária. Obs. 1: Para o cálculo do consumo total os valores relacionados às unidades do pavimento tipo foram multiplicados por dois, visto que a edificação possui quatro pavimentos, sendo dois pavimentos tipo.

O projeto representativo Classe A de eficiência energética geral teve consumo anual de energia primária de 23.884,8 kWh, 24,1% inferior ao projeto representativo sem medidas de eficiência energética, considerando o somatório de todas as unidades habitacionais.

4.8.4.1 Dimensionamento de fonte local de energia renovável

Para que seja considerada uma edificação de energia quase zero, pelo menos 50% da sua demanda anual de energia deve ser suprida por uma fonte local de energia renovável. A geração local de energia renovável é calculada por meio da Equação 11, levando em consideração o fator de conversão de energia elétrica para energia primária, de 1,6 (PBE EDIFICA, 2021b). Dado que neste cenário o projeto representativo Classe A de eficiência energética geral teria consumo total de energia primária de 62.195,7 kWh/ano, seria necessário que a fonte local de energia renovável tivesse geração anual de no mínimo 19.436,1 kWh/ano.

Seria necessário um sistema fotovoltaico de 15,3 kWp para garantir a geração mínima indicada, conforme dados obtidos por meio do Simulador Solar (INSTITUTO IDEAL, 2021) para o Município em questão. Esse sistema respeita o requisito da Portaria 959/2021 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2021b), que determina que os sistemas fotovoltaicos instalados nos empreendimentos habitacionais integrantes do Programa Casa Verde e Amarela devem possuir capacidade de geração de energia elétrica mínima correspondente a 1.200 kWh/ano por unidade habitacional. Na Tabela 43 são apresentados os dados relativos ao sistema de geração local de energia renovável proposto.

Para a instalação dos módulos fotovoltaicos seria necessária uma área de 105 a 130 m² (Tabela 43). O projeto representativo tem 190 m² de área de cobertura, onde ainda deve ser previsto espaço para os aquecedores solares (18,6 m²), reservatório de água e áreas de circulação para manutenção. Provavelmente a cobertura comportaria todos os módulos fotovoltaicos do sistema, não sendo necessário utilizar os módulos como cobertura da área de estacionamento.

Tabela 43 – Características e rendimento do sistema de geração local de energia renovável proposto.

Parâmetro	Valor
Potência estimada do sistema fotovoltaico	15,3 kWp
Custo estimado do sistema fotovoltaico	R\$ 61.200,00
Área ocupada	De 105 a 130 m ²
Inclinação aproximada dos módulos	30°
Rendimento anual	1.291 kWh/kWp
Geração fotovoltaica anual	19.760 kWh

Fonte: Instituto Ideal (2021).

4.9 COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS

O segundo cenário, no qual os padrões de uso e ocupação foram adaptados a partir da pesquisa realizada (Tabela 38), apresentou menores consumos de energia elétrica em relação ao primeiro cenário, que considera os padrões de uso e ocupação da INI-R. O projeto representativo teve consumo total de energia elétrica 23,7% menor (51.893,4 kWh/ano), enquanto o projeto representativo Classe A de eficiência energética geral teve consumo total de energia elétrica 34,2% menor (38.872,3 kWh/ano), na comparação entre cenários (Tabela 44). Considerando os consumos médios por unidade habitacional, no cenário de uso e ocupação conforme a INI-R o projeto representativo teve consumo de 345,5 kWh/mês, enquanto o projeto representativo Classe A de eficiência energética teve consumo de 307,9 kWh/mês. No cenário de uso e ocupação adaptado o projeto representativo teve consumo de 270,3 kWh/mês, enquanto o projeto representativo Classe A de eficiência energética teve consumo de 202,5 kWh/mês.

Ao analisar os usos finais separadamente, pode-se afirmar:

- Quanto ao consumo com equipamentos elétricos: o uso das medidas de eficiência energética propostas não afetou o consumo com equipamentos elétricos no método de cálculo da INI-R. Isso se deve ao fato de que a única variável da equação utilizada para o cálculo (Equação 15) é o número de ocupantes da unidade habitacional. Por esta razão o consumo com equipamentos elétricos é 17,6% menor no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado (Tabela 44), onde considerou-se 3 pessoas por unidade habitacional ao invés de 4. Neste cenário considera-se ainda que há presença de pessoas na unidade habitacional em 100% dos horários do dia, diferentemente do cenário com padrões de uso e ocupação da INI-R, onde

considera-se a habitação desocupada entre 8:00 e 13:59 (Figura 32). Estima-se que o consumo de energia por equipamentos poderia ser maior no cenário adaptado, devido ao maior tempo de interação dos ocupantes com os equipamentos elétricos. No entanto o método de avaliação não permite a aplicação desta variável. O consumo com equipamentos elétricos representou de 43% a 62% do consumo total nos cenários avaliados (Figura 41).

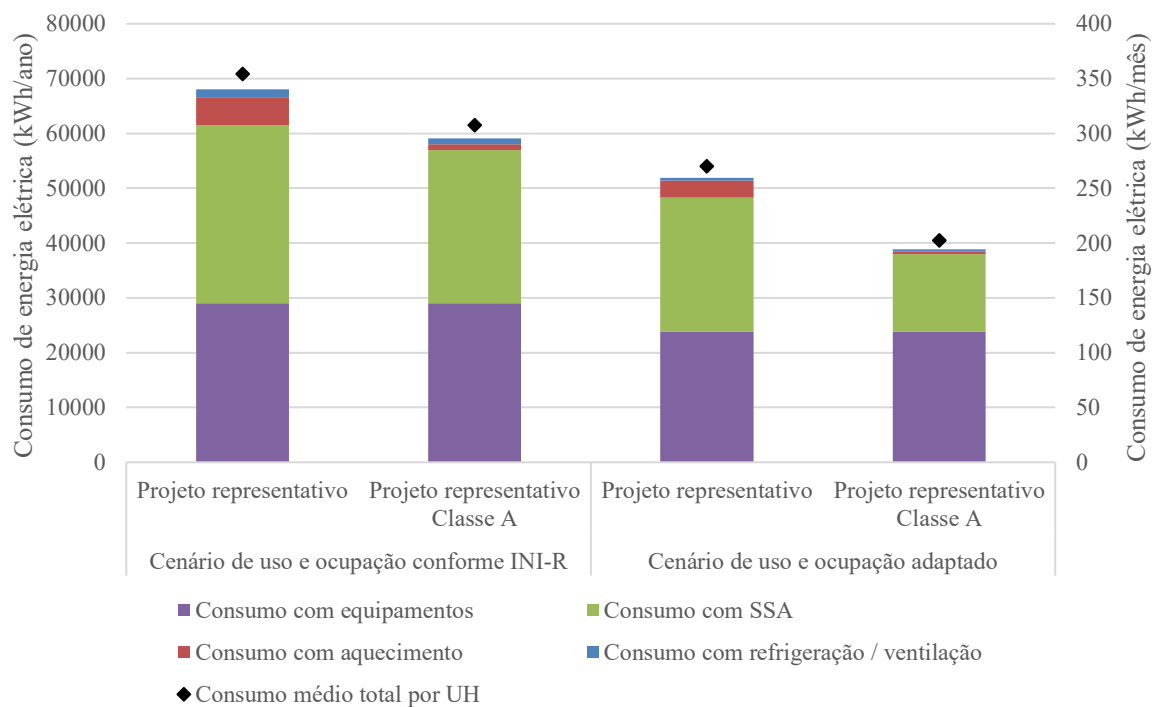
- Quanto ao consumo com sistema de aquecimento de água: assim como o consumo com equipamentos elétricos, o consumo de energia elétrica pelo sistema de aquecimento de água é diretamente influenciado pelo número de ocupantes da unidade habitacional. Por este motivo, no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado, o consumo por este uso final foi 25% menor no projeto representativo, na comparação entre cenários (Tabela 44). O projeto representativo Classe A teve consumo 49,5% menor na comparação entre cenários. Isso se deve ao fato de que o aquecimento solar de água tem uma contribuição proporcionalmente maior, pois foi mantido o mesmo dimensionamento em ambos os cenários. O sistema de aquecimento de água representou de 36% a 48% do consumo total nos cenários avaliados (Figura 41). A temperatura da água fria no município em questão (17,2°C) é um fator que contribui para o alto consumo do sistema de aquecimento de água, uma vez que esta é uma das variáveis utilizadas para o cálculo.
- Quanto ao consumo com refrigeração / ventilação: no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado considerou-se que as unidades habitacionais não dispõem de aparelhos de ar-condicionado para refrigeração, e que ao invés, são utilizados ventiladores para compensar o desconforto térmico devido ao calor. O consumo com ventiladores foi 66,8% menor do que o consumo com refrigeração por ar-condicionado no projeto representativo, e 61,1% menor no projeto representativo Classe A de eficiência energética, na comparação entre cenários (Tabela 44). Isso se deve ao fato de que ventiladores são aparelhos de baixo consumo elétrico (50 Wh), quando comparados aos aparelhos de ar-condicionado. O maior tempo de ocupação da unidade habitacional no cenário de uso e ocupação adaptado não afetou de forma significativa o consumo. O consumo elétrico com refrigeração representou 2% do consumo total, no cenário de uso e ocupação conforme a INI-R. O consumo com ventilação por

ventiladores, por sua vez, representou 1% do consumo total no cenário de uso e ocupação adaptado (Figura 41).

- Quanto ao consumo com aquecimento: no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado considerou-se que as unidades habitacionais não dispõem de aparelhos de ar-condicionado para aquecimento, e que ao invés, são utilizados aquecedores elétricos para compensar o desconforto térmico devido ao frio. O consumo com aquecimento foi 37,9% menor no projeto representativo, e 58,7% menor no projeto representativo Classe A de eficiência energética, na comparação entre cenários (Tabela 44). Uma vez que se considerou o mesmo coeficiente de eficiência energética para os aquecedores (3 W/W), a diferença de consumo entre os cenários é atribuída aos *setpoints* de aquecimento utilizados. No cenário com padrões de uso e ocupação da INI-R foi utilizado o *setpoint* de aquecimento de 21°C, enquanto no cenário com padrões de uso e ocupação adaptados foi utilizado o *setpoint* de aquecimento de 18°C. No segundo caso reduziu-se o *setpoint* de aquecimento em função do uso combinado de ventilação natural, onde abrem-se as janelas para ventilação natural quando a temperatura operativa interna é maior do que 19°C. O consumo elétrico com aquecimento representou de 1% a 7% do consumo total nos cenários avaliados (Figura 41).

Quanto à geração local de energia renovável, o sistema fotovoltaico dimensionado de acordo com o consumo do cenário de uso e ocupação da INI-R teria potência de 23,1 kWp. O sistema fotovoltaico dimensionado de acordo com o consumo do cenário de uso e ocupação adaptado, por sua vez, teria potência 33,8% menor, de 15,3 kWp (Tabela 44). Em ambos os cenários o sistema fotovoltaico seria capaz de suprir 50% da demanda energética anual do projeto Classe A, mensurada em energia primária, atendendo à condição da INI-R para edificações de energia quase zero.

Figura 41 – Comparação entre os consumos do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética, nos diferentes cenários de uso e ocupação.



Onde: SSA – sistema de aquecimento de água; UH – unidade habitacional.

Tabela 44 – Comparação entre os consumos do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética, nos diferentes cenários de uso e ocupação.

Parâmetro	Cenário de uso e ocupação conforme INI-R		Cenário de uso e ocupação adaptado		Diferença entre cenários	
	Projeto representativo	Projeto representativo Classe A	Projeto representativo	Projeto representativo Classe A	Projeto representativo	Projeto representativo Classe A
Consumo com refrigeração / ventilação (kWh/ano)	1.554,3	1.046,7	516,4	407,0	-66,8%	-61,1%
Consumo com aquecimento (kWh/ano)	4.961,8	1.079,9	3.081,1	446,2	-37,9%	-58,7%
Consumo com SSA (kWh/ano)	32.548,3	27.990,2	24.411,2	14.134,3	-25,0%	-49,5%
Consumo com equipamentos (kWh/ano)	28.992,0	28.992,0	23.884,8	23.884,8	-17,6%	-17,6%
Consumo total de energia elétrica (kWh/ano)	68.056,3	59.108,8	51.893,4	38.872,3	-23,7%	-34,2%
Consumo médio de energia elétrica por UH (kWh/mês)	354,5	307,9	270,3	202,4	-23,7%	-34,2%
Consumo total de energia primária (kWh/ano)	108.890,0	94.574,0	83.029,5	62.195,7	-23,7%	-34,2%
Potência do sistema fotovoltaico (kWp)	-	23,1	-	15,3	-	-33,8%

Onde: MEE – medidas de eficiência energética; SSA – sistema de aquecimento de água; UH – unidade habitacional.

4.10 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

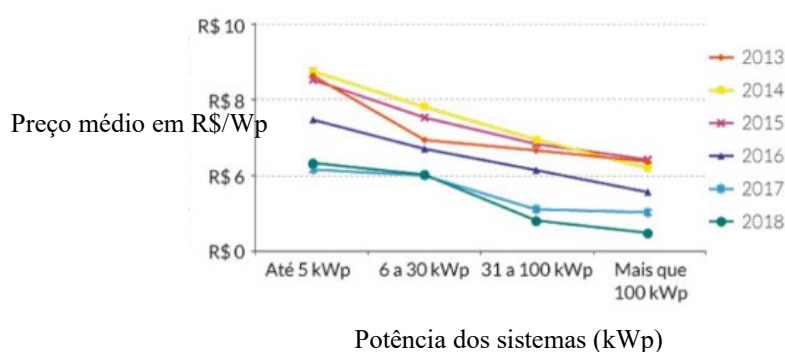
A avaliação de viabilidade econômica considerou o custo das medidas de eficiência energética utilizadas e a economia de energia elétrica ao longo da vida útil da edificação, na comparação entre o projeto representativo original e o projeto representativo Classe A de eficiência energética geral.

4.10.1 Custo das medidas de eficiência energética

O custo das medidas de eficiência energética para que o projeto representativo fosse Classe A foi apresentado na Tabela 32, e é o mesmo em ambos os cenários: com padrão de uso e ocupação conforme a INI-R e com padrão de uso e ocupação adaptado. Para que o projeto representativo seja de energia quase zero deve-se considerar ainda a fonte local de energia renovável, que no contexto deste trabalho seria proveniente de um sistema fotovoltaico.

De acordo com os dados publicados pelo Instituto Ideal (2019) o preço médio cobrado por instaladores de sistemas fotovoltaicos na região sul do Brasil foi de R\$ 5,95 por Watt pico (Wp) no ano de 2018. No entanto, sabe-se que o custo médio deste tipo de sistema vem caindo nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 42.

Figura 42 – Preços de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência, entre os anos de 2013 e 2018.



Fonte: Adaptado de Instituto Ideal (2019).

A fim de evitar distorções de preço devido às faixas de potência, optou-se por utilizar um valor de referência obtido a partir do mercado local, de R\$ 4,2 por Wp instalado. Este é preço médio praticado por empresas do ramo na serra gaúcha no ano de 2021 (KRUMMENAUER, 2021). Dado o valor de referência, calculou-se o custo dos sistemas fotovoltaicos dimensionados em cada um dos cenários analisados.

Na Tabela 45 é apresentado o custo das medidas de eficiência energética da edificação de energia quase zero, que foi de R\$ 199.250,24 no cenário de uso e ocupação conforme INI-R e de R\$ 168.050,24 no cenário de uso e ocupação adaptado. Estes valores representam, respectivamente, 11,7% e 9,9% de incremento em relação ao custo do projeto representativo. O valor das medidas de eficiência energética no cenário de uso e ocupação conforme INI-R é maior devido ao sistema fotovoltaico de maior potência, necessário para atender a 50% da demanda de energia, que é superior neste cenário.

Tabela 45 – Custo das medidas de eficiência energética da edificação de energia quase zero.

Medidas de eficiência energética	Custo adicional	
	Cenário de uso e ocupação conforme INI-R	Cenário de uso e ocupação adaptado
MEEs da envoltória	R\$ 77.997,36	R\$ 77.997,36
MEE do sistema de aquecimento de água	R\$ 28.852,88	R\$ 28.852,88
Sistema fotovoltaico	R\$ 92.400,00	R\$ 61.200,00
Custo total	R\$ 199.250,24	R\$ 168.050,24
Incremento em relação ao custo do projeto representativo	11,7%	9,9%

Onde: MEE – medida de eficiência energética

4.10.2 Economia de energia elétrica

A estrutura tarifária da companhia distribuidora de luz da serra gaúcha cobra 0,90 R\$/kWh de consumidores de baixa renda na bandeira amarela (Tabela 46), considerando as tarifas de energia elétrica, distribuição e impostos. Optou-se por considerar a bandeira amarela para a análise econômica porque esta representa um cenário intermediário entre a bandeira verde e vermelha, visto poderia ocorrer oscilação entre estas três bandeiras ao longo do período de análise.

Tabela 46 – Custo da energia elétrica na serra gaúcha para consumidores de baixa.

Componente do custo da energia	Bandeira tarifária		
	Verde	Amarela	Vermelha
Tarifa de energia – TE (R\$/kWh)	0,28	0,30	0,38
Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD (R\$/kWh)	0,28	0,28	0,28
PIS		0,86%	
Impostos COFINS		3,97%	
ICMS		30%	
Custo total com impostos (R\$/kWh)	0,87	0,90	1,02

Fonte: CPFL (2021)

A economia de energia elétrica devido à utilização das medidas de eficiência energética foi calculada comparando o consumo do projeto representativo com o consumo do projeto representativo de energia quase zero, já descontada a geração local de energia renovável (Tabela 47). No cenário de uso e ocupação conforme a INI-R a diferença de consumo foi de 38.777,6 kWh/ano, enquanto no cenário de uso e ocupação adaptado a diferença de consumo foi de 32.781,2 kWh/ano. Dado o custo da energia elétrica, de R\$ 0,90 por kWh, tem-se a economia financeira anual de R\$ 34.948,01 e R\$ 29.543,79, respectivamente. Nesta análise não foi considerada a perda de rendimento do sistema fotovoltaico.

Tabela 47 – Consumo de energia elétrica e economia financeira nos cenários avaliados.

Consumo e geração de energia		Economia de energia	
		Cenário de uso e ocupação conforme INI-R	Cenário de uso e ocupação adaptado
Projeto representativo	Consumo de EE (kWh/ano)	68.056,3	51.893,4
Projeto representativo de energia quase zero	Consumo de EE (kWh/ano)	59.108,8	38.872,3
	Geração local de ER (kWh/ano)	-29.830,0	-19.760,0
	Saldo de EE (kWh/ano)	29.278,8	19.112,3
Diferença de consumo de EE (kWh/ano)		38.777,6	32.781,2
Economia financeira		R\$ 34.948,01	R\$ 29.543,79

Onde: EE – energia elétrica; ER – energia renovável.

4.10.3 Cálculo dos indicadores econômicos

Para o cálculo dos indicadores econômicos foi elaborado um fluxo de caixa onde o custo das medidas de eficiência energética é o investimento inicial, no ano zero de análise. A economia financeira anual, decorrente da diferença de consumo de energia elétrica entre o projeto representativo e o projeto representativo de energia quase zero, são as receitas futuras. Os valores futuros do fluxo de caixa foram reajustados considerando que a tarifa de energia elétrica acompanharia o IPC-A médio dos últimos vinte anos, de 6,17% ao ano (IBGE, 2021). Considerou-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) equivalente ao valor médio da Selic nos último 36 meses, de 4,23% ao ano (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). No cálculo do *payback* descontado os valores futuros do fluxo de caixa foram trazidos a valor presente considerando o valor médio da Selic nos último 36 meses. O período de análise foi de cinquenta anos, equivalente ao período de vida útil da edificação (ABNT, 2003). Nesta análise não foram

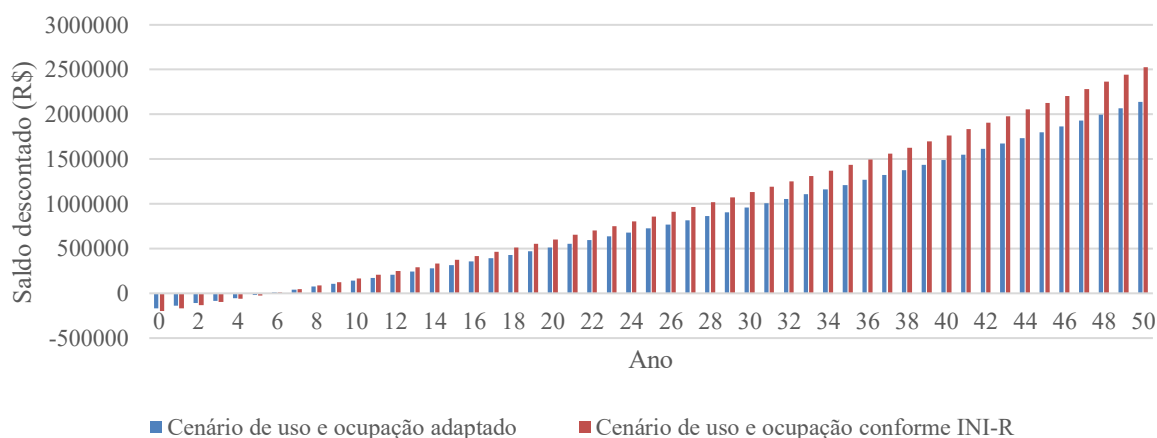
consideradas despesas de manutenção das medidas de eficiência energética, tampouco a perda de rendimento do sistema fotovoltaico.

No cenário de uso e ocupação conforme INI-R o Valor Presente Líquido foi de R\$ 2,5 milhões ao final do período de análise, enquanto no cenário de uso e ocupação adaptado o Valor Presente Líquido foi de R\$ 2,1 milhões (Tabela 48). A Taxa Interna de Retorno foi de 18,7% ao ano cenário de uso e ocupação conforme INI-R, e de 23,7% ao ano no cenário de uso e ocupação adaptado. Por fim, o *payback* descontado foi de aproximadamente 5,7 anos nos dois cenários. Na Figura 43 são apresentados os fluxos de caixa descontados desta análise. Em ambos os cenários o investimento é considerado economicamente viável, dado que o Valor Presente Líquido é positivo e a Taxa Interna de Retorno é maior do que a Taxa Mínima de Atratividade estipulada.

Tabela 48 – Indicadores econômicos do projeto representativo de energia quase zero.

Indicadores econômicos	Economia de energia	
	Cenário de uso e ocupação conforme INI-R	Cenário de uso e ocupação adaptado
Investimento inicial	R\$ 199.250,24	R\$ 168.050,24
Receitas recorrentes anuais	R\$ 34.948,01	R\$ 29.543,79
Valor presente líquido (VPL)	R\$ 2.526.506,69	R\$ 2.136.206,47
Taxa Interna de Retorno (TIR)	18,7% ao ano	23,7% ao ano
<i>Payback</i> descontado (anos)	5,69	5,67

Figura 43 – Fluxo de caixa descontado do projeto representativo de energia quase zero.



5 CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a analisar a viabilidade técnica e econômica de habitações multifamiliares de interesse social de energia quase zero no clima da serra gaúcha. Para isso foram alcançados seis objetivos específicos, os quais são a seguir discutidos.

O projeto representativo de habitação de interesse social selecionado foi da tipologia multifamiliar, que é mais frequente entre as habitações de interesse social na região de estudo. O projeto representativo selecionado, proveniente de estudos previamente publicados, tem dezesseis unidades habitacionais de quarenta e três metros quadrados cada, distribuídas em quatro pavimentos. As unidades habitacionais deste projeto representativo apresentaram nível mínimo de desempenho térmico, quando avaliadas sob o método computacional da NBR 15575 (ABNT, 2021a). Cinco das unidades habitacionais receberam Classe D de eficiência energética geral, e outras onze receberam Classe C, quando avaliadas sob o método da INI-R (INMETRO, 2021a). A estimativa de consumo elétrico por unidade foi de, em média, 354,5 kWh/mês, o que representa 126% a mais do que a média nacional em 2019, de 157 kWh/mês (EPE, 2020b) e 65% a mais do que a média no Estado do Rio Grande do Sul, de 214,9 kWh/mês (ELETROBRÁS, 2021). O sistema de aquecimento de água foi o uso final preponderante de energia elétrica (48%), seguido dos equipamentos elétricos (42%). O consumo de energia com condicionamento de ar representou 10% do total, sendo a maior parte destinada ao aquecimento dos ambientes (8%). O consumo superior à média nacional e estadual foi atribuído à demanda de eletricidade para aquecimento da água fria, cuja temperatura média é de 17,2°C, e ao método de cálculo da INI-R, que considera o uso de ar-condicionado durante todo o tempo de ocupação da unidade habitacional, desprezando a ventilação natural.

Propuseram-se medidas de eficiência energética para a envoltória e para o sistema de aquecimento de água, a fim de que todas as unidades habitacionais fossem Classe A de eficiência energética geral. Para que a envoltória alcançasse a Classe A de eficiência como sistema individual, apontou-se como alternativa de menor custo o uso de uma camada de EPS e de gesso acartonado no lado interno das paredes externas, e lã de rocha na cobertura. Esta combinação foi orçada em R\$ 77.997 valor que representa um incremento de 4,6% ao valor total da edificação. Para o sistema de aquecimento de água propôs-se a adição de um aquecedor solar de água, cujo valor foi estimado em R\$ 28.852,88. Com a adição destas medidas o projeto representativo recebeu a Classe A de eficiência energética geral, com redução do consumo de energia primária de 14,6% em relação ao modelo de referência.

Uma vez classificado como Classe A de eficiência energética geral, foi realizado o dimensionamento de um sistema de geração de energia fotovoltaica com 23,1 kWp de potência, suficiente para suprir 50% da demanda anual de energia primária. Desta forma, o projeto representativo poderia ser considerado uma edificação de energia quase zero, nos termos da INI-R. O sistema fotovoltaico teve seu custo estimado em R\$ 92.400.

Outro objetivo específico alcançado foi a obtenção de padrões de uso e ocupação de habitações de interesse social na região de estudo. Foram aplicados formulários a moradores de um conjunto habitacional de interesse social do Município de Caxias do Sul, sendo que entre os principais resultados identificou-se que: a média de moradores por unidade habitacional é menor do que o padrão definido pela INI-R; os moradores passam mais tempo em casa do que o padrão definido pela INI-R; as unidades habitacionais não dispõem de aparelhos de ar-condicionado, e os moradores tentam compensar os períodos em desconforto térmico com o uso combinado de aquecedores elétricos, ventiladores elétricos e ventilação natural.

Considerando os resultados da pesquisa, o padrão de uso e ocupação da INI-R foi adaptado, e a estimativa de consumo elétrico foi refeita. Neste cenário, o consumo elétrico obtido foi 23,7% menor para o projeto representativo e 34,2% menor para o projeto Classe A, em comparação com a estimativa realizada considerando o padrão de uso e ocupação da INI-R. Entre os motivos para a redução do consumo apontou-se que: no método da INI-R o cálculo do consumo por equipamentos elétricos e pelo sistema de aquecimento de água é influenciado pelo número de ocupantes da habitação, onde considerou-se três ao invés de quatro; o consumo elétrico do aparelho de ar-condicionado foi substituído pelo consumo dos ventiladores e aquecedores elétricos, que combinados ao uso da ventilação natural, resultaram em menor demanda por energia elétrica. Por consequência, no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado, o sistema fotovoltaico dimensionado para atender 50% da demanda anual de energia foi 33,8% menor.

As medidas de eficiência energética necessárias para que o projeto representativo fosse considerado de energia quase zero foram estimadas em R\$ 199.250,24 no primeiro cenário (com padrão de uso e ocupação conforme a INI-R), e de R\$ 168.050,24 no segundo cenário (com padrão de uso e ocupação adaptado). A diferença de valores se deu exclusivamente em função do porte do sistema fotovoltaico, que é menor no segundo cenário. A economia anual de energia elétrica, comparando o projeto representativo com o projeto de energia quase zero foi de 38.777,6 kWh/ano no primeiro cenário e de 32.781,2 kWh/ano no segundo cenário. Considerando a estrutura tarifária da distribuidora de energia, a economia anual seria de R\$

34.948,01 no cenário com padrão de uso e ocupação da INI-R e de R\$ 29.543,79 no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado.

Concluiu-se que o projeto representativo de energia quase zero é economicamente viável nos dois cenários avaliados, visto que em ambos o Valor Presente Líquido é positivo e a Taxa Interna de Retorno é maior do que a Taxa Mínima de Atratividade estipulada. Apurou-se ainda que o *payback* descontado foi de aproximadamente 5,7 anos nos dois cenários.

Apesar de o tamanho da amostra da pesquisa com os questionários não ter sido o ideal, considera-se que o padrão de uso e ocupação adaptado representou melhor a realidade do projeto representativo neste trabalho. Pode-se afirmar que o padrão de uso e ocupação da INI-R é generalista, uma vez é aplicável a qualquer edificação residencial, indiferente da sua tipologia, localização ou classe social. Portanto, acredita-se que os resultados do cenário com padrão de uso e ocupação adaptado seriam os mais realistas neste estudo de caso. Caso fossem utilizados os resultados do cenário com padrão de uso e ocupação da INI-R, o sistema de geração de energia fotovoltaica seria superdimensionado, o que não representa efetivamente um prejuízo, mas sim uma geração de energia local maior do que 50% da demanda anual de energia.

Quanto ao método de avaliação de eficiência energética da INI-R constatou-se que, apesar do avanço em relação ao método antecessor (RTQ-R), ainda existem limitações que podem afetar negativamente os resultados. Essas limitações estão vinculadas principalmente aos padrões de uso e ocupação definidos, que tendem a sintetizar os padrões de interação altamente diversificados, entre os ocupantes e a edificação. Como resultado, a estimativa de consumo elétrico poderia ser muito diferente do consumo real. Neste trabalho verificou-se que a variável que exerce maior influência sobre a estimativa de consumo elétrico é o número de ocupantes da unidade habitacional.

Ainda que economicamente viável neste trabalho, a edificação de energia quase zero esbarra nas condições mercadológicas e na falta de políticas públicas para que se torne uma realidade. Os agentes construtores das habitações de interesse social, que normalmente são empresas privadas, teriam de arcar com o sobrecusto das medidas de eficiência energética, sem usufruir dos benefícios decorrentes, que ocorrem ao longo da sua vida útil. Neste estudo de caso as medidas de eficiência energética resultaram em um incremento de aproximadamente 10% sobre o valor total da edificação. Mesmo que este sobrecusto não seja tão significativo, poderia inviabilizar a aquisição da habitação por parte da população de baixa renda, que é o público-alvo deste tipo de edificação. Em adição, o sobrecusto poderia extrapolar o teto do valor dos

imóveis que podem ser financiados pelo Programa Casa Verde e Amarela, e assim inviabilizar a sua realização sob o ponto de vista do construtor. Neste contexto, seriam necessárias políticas públicas que incentivassem e subsidiassem as edificações habitacionais de energia quase zero.

Paralelamente deve-se observar os benefícios ambientais e sociais das edificações habitacionais de energia quase zero, dentre os quais destacam-se: a redução da pressão sobre o sistema elétrico nacional, a redução das emissões de carbono decorrentes de toda a cadeia produtiva elétrica e o aumento da qualidade de vida dos moradores, que teriam maior conforto térmico. Os moradores dessas habitações também teriam um menor custo mensal com a conta de energia, devido ao menor consumo elétrico.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho limitou-se a avaliar um projeto representativo de edificação residencial multifamiliar no clima da serra gaúcha. Portanto, os resultados aqui apresentados não podem ser atribuídos a outras tipologias de edificação, localizadas em climas diferentes. Adicionalmente destaca-se que o tamanho da amostra obtida na pesquisa de uso e ocupação é menor do que o ideal, e assim sendo, maior é probabilidade de que os seus resultados sejam imprecisos. Os resultados de desempenho térmico e consumo elétrico foram obtidos a partir de simulações computacionais. Uma vez que o trabalho não envolveu medições experimentais, não se pode comprovar a acurácia deles.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros relacionados ao tema aqui abordado:

- A avaliação de outras tipologias de edificação.
- A realização de testes experimentais que corroborem com os resultados obtidos por meio das simulações computacionais.
- A ampliação da pesquisa sobre padrões de uso e ocupação, obtendo uma amostra maior e mais representativa.
- A análise de outras medidas de eficiência energética passivas, tais como: outras combinações de envoltória, uso de proteções solares, variação das cores externas, entre outras.
- A avaliação de outras fontes de geração local de energia renovável.
- A projeção de cenários futuros considerando as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa no 482, de 17 de abril de 2012.** Brasília, Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa no 687, de 24 de novembro de 2015.** Brasília, Diário Oficial da União, 2015. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
- ALVARISTO, C.; RODRIGUES, M. F.; BRIDI, M. E.; VIER, L. **Estudo da Eficiência Energética do Sistema Elétrico de Habitações de Interesse Social na Cidade de Santa Rosa.** Passo Fundo, IMED, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3. Norma de desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Norma de desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1. Edificações habitacionais - Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1. Emenda 1. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2021a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4. Emenda 1. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE.** Rio de Janeiro, 2021b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5. Emenda 1. Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2021c.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT TR 15575-1-1. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1-1: Base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional.** Rio de Janeiro, 2021d.
- BALVEDI, B. F. **Desenvolvimento de método estocástico de ocupação para estudo do desempenho térmico e energético de edificações residenciais multifamiliares de Florianópolis – SC.** Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- BALVEDI, B. F.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. A review of occupant behaviour in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 495–505, 2018.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do Cidadão. Correção de valores.** Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- BAVARESCO, M. V.; CUCHIVAGUE, H. Y. O.; SCHINAZI, A.; GHISI, E. Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 263–292, jan. 2021.
- BECCHIO, C.; DABBENEA, P.; FABRIZIO, E.; MONETTIA, V.; FILIPPINA M. Cost optimality assessment of a single family house: Building and technical systems solutions for the nZEB target. **Energy and Buildings**, v. 90, p. 173–187, 2015.
- BRASIL. **Decreto de 8 de dezembro de 1993. Dispõe sobre a criação do Selo Verde de eficiência energética.** Brasília, Diário Oficial da União, 1993. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior a 2000/1993/dnn1931.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1993/dnn1931.htm)>
- BRASIL. **Lei Nº 10.295. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- BRASIL. **Lei Nº 11.977. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11977.htm>. Acesso em: 2 dez. 2020.
- BRASIL. **Lei Nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021. Institui o Programa Casa Verde e Amarela.** Brasília, Diário Oficial da União, 2021a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Lei/L14118.htm>

- BRASIL. **Programa Brasileiro de Etiquetagem.** Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>>. Acesso em: 10 ago. 2021b.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Downloads. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.** Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660>. Acesso em: 18 ago. 2021a.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Projetos aprovados no PMCMV Faixa 1.** Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx>>.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Bonificação e despesas indiretas nas obras industriais.** Brasília, Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2019. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/05/CBIC_Guia_BDI_CAPA.pdf>
- CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.
- CLIMATE.ONEBUILDING. **BRA_RS_Bento.Goncalves.869790_INMET.zip.** Disponível em: <http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html>. Acesso em: 17 fev. 2021.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Taxas e Tarifas.** Disponível em: <<https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#!/taxas-tarifas>>. Acesso em: 19 set. 2021.
- CONGEDO, P. M.; BAGLIVO, C.; D'AGOSTINO, D.; ZACÀ, I. Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates. **Energy**, v. 91, n. 244, p. 967–982, 2015.
- DA SILVA, A. C. S. B. **Diálogos Sobre Eficiência Energética. Zonas Bioclimáticas 01 e 02: suas peculiaridades em um país predominantemente tropical e seus impactos na aplicação e regulamentação em projetos de HIS.** Brasília, Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.
- DALBEM, R.; VICENTE, R.; CUNHA, E. G.; OLIVEIRA, R. **Análise de sensibilidade para elevar o nível de eficiência energética de uma habitação de interesse social na**

Zona Bioclimática 1. Anais do XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Balneário Camboriú 2017.

DALBEM, R.; VICENTE, R.; CUNHA, E. G.; OLIVEIRA, R., FIGUEIREDO, A.; SILVA, A. C. S. B. Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept. **Energy**, v. 167, p. 1278–1296, 2019.

ELETROBRÁS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial - 2019.** Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>>. Acesso em: 21 set. 2021.

ELI, L. G.; KRELLING, A.F. ; OLINGER , M.S., MELO, A.P., LAMBERTS, R. Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context. **Energy and Buildings**, v. 244, p. 111047, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética.** Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT_030_2018_18Dez2018.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 26 jan. 2021a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da eficiência energética. Brasil 2020. Relatório de Indicadores.** Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas consolidado_08_03_2021.pdf>

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuário_2020_sp.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Energy performance of buildings directive.** Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/;ELX_SESSIONID=FZMjThLLzfxmmMCQGp2Y1s2d3TjwD8Q>

S3pqdkhXZbwqGwlgY9KN!2064651424?uri=CELEX:32010L0031>. Acesso em: 22 out. 2020.

FOSSATI, M.; SCALCO, V. A.; LINCZUK, V. C. C.; LAMBERTS R. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216–1231, 2016.

GIGLIO, T.; LAMBERTS, R. Savings related to solar water heating system: A case study of low-income families in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 434–442, 2016.

GOOGLE LLC. **Formulários Google: crie e analise pesquisas gratuitamente**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>>. Acesso em: 5 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Organização do Território**. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/localidades/>. Acesso em: 11 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA. Tabela completa de séries históricas**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?t=series-historicas&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=inflacao#plano-real-mes>. Acesso em: 6 abr. 2021.

INSTITUTO IDEAL. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída FV – Edição 2019**. Disponível em: <https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/o_mercado_brasileiro_de_gera_o_distribu_da_fv_-_e>. Acesso em: 5 abr. 2021.

INSTITUTO IDEAL. **Simulador Solar**. Disponível em: <<https://www.americadosol.org/simulador/>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-historicos>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 27 jan. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO.

Proposta de alteração da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, aprovada pela Portaria número 18, de 16 de janeiro de 2012. Brasília, 2021a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002807.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2021

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO.

Informação ao Consumidor. Tabelas de consumo/eficiência energética. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 12 set. 2021b.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, n. 2016, p. 20–32, 2016.

KRELLING, A. F. ELI, L. G.; OLINGER, M.S., MELO, A.P., LAMBERTS, R. **Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de residências: NBR 15575 1.** Porto Alegre: XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2020.

KRUMMENAUER, L. **Preço médio de sistemas fotovoltaicos.** Informação verbal. Caxias do Sul, 2021.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **NBR 15575-2020 - Desempenho térmico | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.** Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/node/948>>. Acesso em: 19 dez. 2020.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Novo método de avaliação energética de edificações com base em energia primária.** Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/novo-metodo-avaliacao-cb3e>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

LABORATÓRIO DE MODELAGEM E ESTUDOS DE RECURSOS RENOVÁVEIS DE ENERGIA. **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição.** Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 13 set. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LIU, F.; MEYER, A. S.; HOGAN, J. F. Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries: Global Experiences and Lessons from Early Adopters. **World Bank Working Paper**, Washington, D.C., 2010.

- MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 266–272, 2006.
- MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURRELLE, J.S.; MUSALL, E.; VOSS, K.; SARTORI, I.; NAPOLITANO, A. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 971–979, 2011.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável - EEDUS — Português (Brasil)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/eedus>>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Notícias**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias>>. Acesso em: 5 mar. 2021a.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Portaria nº 959, de 18 de Maio de 2021. Dispõe sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela**. Brasil, 2021b. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-959-de-18-de-maio-de-2021-320687425>>
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Programa Minha Casa Minha Vida – Contratações Brasil (2009 – 2019)**. Disponível em: <http://sishab.cidades.gov.br/novo_executivo/filtro.>. Acesso em: 11 mar. 2021c.
- MIYAZATO, T. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2012.
- MORAES, J. S. DE; MUROS ALCOJOR, A.; SALAZAR BITTENCOURT, L. Análise De Indicadores De Desempenho Da Iluminação Artificial Em Ambientes Residenciais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 1, p. 35–46, 2018.
- MORGAN, A. **Análise do consumo energético de habitações de interesse social (HIS) visando a economia de energia nas edificações**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
- ORTIZ, H.; BAVARESCO, M. **Metodologia para Elaboração do “Mapa de Tipologias e Sistemas Construtivos”**. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/biblioteca_snh/P2_GIZ-EEDUS_Metodologia-Mapa-Tipologias_Relatorio-Final_V0.pdf>

- PACHECO, M.; LAMBERTS, R. Assessment of technical and economical viability for large-scale conversion of single family residential buildings into zero energy buildings in brazil: Climatic and cultural considerations. **Energy Policy**, v. 63, n. 2013, p. 716–725, 2013.
- 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: 1 set. 2021a.
- PBE EDIFICA. **Fatores de energia primária**. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/node/134>>. Acesso em: 22 mar. 2021b.
- PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3391–3399, 2011.
- PINI. **Tabela de Composições e Preços para Orçamentos**. Disponível em: <<https://tcpoweb.pini.com.br/home/home.aspx>>.
- PREFEITURA DE CAXIAS DO SUL. **Notícias**. Disponível em: <<https://caxias.rs.gov.br/noticias/>>.
- PUCCINI, E. C. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- ROBINSON, P. D.; HUTCHINS, M. G. Advanced glazing technology for low energy buildings in the UK. **Renewable Energy**, v. 5, n. 1–4, p. 298–309, 1994.
- RORIZ, R. **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0**. São Carlos, ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Edificações, 2014.
- SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3617–3631, 2011.
- SARTORI, I.; MARSZAL, A. J.; VOSS, K.; PLESS, S. **Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings**. EuroSun Conference, Graz, Austria, 2010.
- SCHAEFER, A.; GHISI, E. Method for obtaining reference buildings. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 660–672, 2016.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Custo Unitário Básico**. Disponível em: <<https://sinduscon-rs.com.br/cub-rs/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

- SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R.; MARINOSKI, D. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública.** Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/node/397>>. Acesso em: 2 mar. 2020.
- SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1–13, 2016.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.
- TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Orientações para elaboração de planilhas orçamentárias de obras públicas.** Brasília, Tribunal de Contas da União, 2014.
- TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; SOARES, J. C. G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil ’ s moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, n. February, p. 213–227, 2018.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Pesquisa relaciona estilo de vida e saúde mental durante a quarentena – Coronavírus.** Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/coronavirus/base/pesquisa-relaciona-estilo-de-vida-e-saude-mental-durante-a-quarentena/>>. Acesso em: 5 dez. 2020.
- US GOVERNMENT. **Energy Independence and Security Act of 2007.** Washington, D.C., 2007. Disponível em: <<https://www.congress.gov/110/plaws/publ140/PLAW-110publ140.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2020.
- VEIGA, R. K. S.; KRELLING, A. F. ELI, L. G.; OLINGER, M.S., MELO, A.P., LAMBERTS, R. **Proposta para as escalas dos níveis de desempenho térmico de residências: NBR 15575 1.** Porto Alegre: XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2020.
- VIER, L. C.; SILVA, J. M.; STEFFENS, A.; ROSSI, T. C.; BRIDI, M. E.; **Aquecimento Solar em Habitações de Interesse Social: Um Estudo de Caso em Santa Rosa – RS.** Passo Fundo, Seminário Nacional De Construções Sustentáveis, 2015.
- YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings— Analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124–136, 1 out. 2017.

**APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO: PESQUISA SOBRE HÁBITOS DE USO E
OCUPAÇÃO EM HABITAÇÕES**

Pesquisa sobre hábitos de uso e ocupação - Residencial Campos da Serra

Pesquisa para coleta de dados quanto aos hábitos de uso e ocupação em habitações, para fins de simulação de eficiência energética. Tem como objetivo desenvolver edificações mais eficientes em economizar energia elétrica e proporcionar conforto térmico aos seus usuários. Dissertação de mestrado junto ao Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina.

A sua participação é muito importante!

1. Qual é o seu nome? [não precisa responder esta pergunta se não quiser]

Resposta: _____

2. Seu apartamento fica em qual andar? [marque somente uma alternativa]

1º andar 2º andar 3º andar 4º andar 5º andar

3. Em qual parte do dia seu apartamento pega sol? [marque somente uma alternativa]

Somente pela manhã Somente pela tarde Manhã e tarde Não pega sol

4. Quantas pessoas (adultos ou crianças) vivem no seu apartamento? [marque somente uma alternativa]

1 2 3 4 5 6 ou mais

5. Em quais horários em normalmente que há pessoas NOS QUARTOS? [Exemplo.: das 22:00 às 6:00 e das 12:30 às 13:30.]

Das ____:____ às ____:____ e das ____:____ às ____:____.

6. Em quais horários em normalmente que há pessoas NA SALA? [Exemplo: das 11:30 às 12:30 e das 18:00 às 22:00.]

Das ____:____ às ____:____ e das ____:____ às ____:____.

7. Quando você abre as janelas do seu apartamento? [marque somente uma alternativa]

Abro e fecho as janelas sempre nos mesmos horários, independentemente da temperatura.

Abro as janelas somente quando sinto calor, e fecho quando sinto frio.

Outro (descreva): _____

8. No INVERNO você sente FRIO no seu apartamento? (quando não há aquecedor ligado) [somente uma alternativa]

Nunca sinto frio.

Poucas vezes sinto frio.

Frequentemente sinto frio.

Sempre sinto frio.

9. Você usa algum tipo de aquecedor ou estufa no INVERNO? [marque somente uma alternativa]

Não uso porque não tenho.

Não uso porque não acho necessário.

Uso pouco (somente às vezes)

Uso bastante (todos os dias ou quase todos os dias)

10. No VERÃO você sente CALOR no seu apartamento? (quando não há ventiladores ligados) [somente uma alternativa]

Nunca sinto calor.

Poucas vezes sinto calor.

Frequentemente sinto calor.

Sempre sinto calor.

11. Você usa ventilador no VERÃO? [marque somente uma alternativa]

Não uso porque não tenho.

Não uso porque não acho necessário.

Uso pouco (somente às vezes)

Uso bastante (todos os dias ou quase todos os dias)

12. O que você faria no seu apartamento para sentir menos frio no inverno e menos calor no verão? [descreva]

Resposta: _____

13. Desde o início da pandemia de Covid-19 você tem passado mais tempo dentro de casa? [somente uma alternativa]

Sim, tenho passado MUITO mais tempo em casa.

Sim, tenho passado POUCO mais tempo em casa.

Não, a pandemia não alterou o tempo que passo em casa.

Tenho passado MENOS tempo em casa.

14. A despesa com a conta de energia elétrica no seu orçamento é muito alta? [marque somente uma alternativa]

É alta

Não é alta nem baixa, é média

É baixa

Não sei, a conta é paga por outra pessoa

APÊNDICE 2 – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS

Tabela B.1 – Planilha orçamentária: revestimento da parede com lã de rocha (50 mm) e gesso acartonado (20 mm).

01.PARE.DRWL.030/01	96372	INSTALAÇÃO DE ISOLAMENTO COM LÃ DE ROCHA EM PAREDES DRYWALL. AF_06/2017	M²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m²)	Custo
INSUMO	42481	FELTRO EM LA DE ROCHA, EM ROLO, DENSIDADE = 32 KG/M³, E=*50* MM	M²	1,00	R\$ 20,83	R\$ 20,83	R\$ 22,33	628,88	R\$ 14.042,19
COMPOSICAO	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,07	R\$ 18,06	R\$ 1,23			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,02	R\$ 15,75	R\$ 0,27			
01.PARE.DRWL.028/01	96371	PAREDE COM PLACAS DE GESSO ACARTONADO (DRYWALL), PARA USO INTERNO, COM UMA FACE SIMPLES E ESTRUTURA METÁLICA COM GUIAS SIMPLES, COM VÃOS. AF 06/2017 P	M²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m²)	Custo
INSUMO	37586	PINO DE ACO COM ARRUELA CONICA, DIAMETRO ARRUELA = *23* MM E COMP HASTE = *27* MM (ACAO INDIRETA)	CENTO	0,03	R\$ 44,85	R\$ 1,30	R\$ 81,48	628,88	R\$ 51.239,57
INSUMO	39413	CHAPA DE GESSO ACARTONADO, STANDARD (ST), COR BRANCA, E = 12,5 MM, 1200 X 2400 MM	M²	1,05	R\$ 16,68	R\$ 17,56			
INSUMO	39419	PERFIL GUIA, FORMATO U, EM ACO ZINCADO, PARA ESTRUTURA PAREDE DRYWALL	M	0,91	R\$ 11,50	R\$ 10,46			
INSUMO	39422	PERFIL MONTANTE, FORMATO C, EM ACO ZINCADO, PARA ESTRUTURA PAREDE DRYWALL	M	2,90	R\$ 13,05	R\$ 37,84			
INSUMO	39431	FITA DE PAPEL MICROPERFURADO, 50 X 150 MM	M	1,25	R\$ 0,19	R\$ 0,24			
INSUMO	39432	FITA DE PAPEL REFORCADA COM LAMINA DE METAL	M	0,79	R\$ 2,47	R\$ 1,96			
INSUMO	39434	MASSA DE REJUNTE EM PO PARA DRYWALL, A BASE DE GESSO, SECAGEM RAPIDA	KG	0,52	R\$ 3,32	R\$ 1,71			
INSUMO	39435	PARAFUSO DRY WALL, EM ACO FOSFATIZADO, CABECA TROMBETA E PONTA AGULHA (TA)	UN	10,00	R\$ 0,06	R\$ 0,60			
INSUMO	39443	PARAFUSO DRY WALL, EM ACO ZINCADO, CABECA LENTILHA E PONTA BROCA (LB)	UN	0,91	R\$ 0,16	R\$ 0,15			
COMPOSICAO	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,44	R\$ 18,06	R\$ 7,93			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,11	R\$ 15,75	R\$ 1,73			

TOTAL R\$ 65.281,76

Tabela B.2 – Planilha orçamentária: revestimento da parede com EPS (20 mm) e gesso acartonado (20 mm).

01.PARE.DRWL.030/01		INSTALAÇÃO DE ISOLAMENTO COM EPS EM PAREDES DRYWALL.	M ²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m ²)	Custo
INSUMO		EPS 20 MM	M ²	1,00	R\$ 11,50	R\$ 11,50	R\$ 13,00	628,88	R\$ 8.172,64
COMPOSICAO	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,07	R\$ 18,06	R\$ 1,23			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,02	R\$ 15,75	R\$ 0,27			
01.PARE.DRWL.028/01	96371	PAREDE COM PLACAS DE GESSO ACARTONADO (DRYWALL), PARA USO INTERNO, COM UMA FACE SIMPLES E ESTRUTURA METÁLICA COM GUIAS SIMPLES, COM VÃOS. AF 06/2017 P	M ²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m ²)	Custo
INSUMO	37586	PINO DE ACO COM ARRUELA CONICA, DIAMETRO ARRUELA = *23* MM E COMP HASTE	CENTO	0,03	R\$ 44,85	R\$ 1,30	R\$ 81,48	628,88	R\$ 51.239,57
INSUMO	39413	CHAPA DE GESSO ACARTONADO, STANDARD (ST), COR BRANCA, E = 12,5 MM, 1200 X 2400 MM	M ²	1,05	R\$ 16,68	R\$ 17,56			
INSUMO	39419	PERFIL GUIA, FORMATO U, EM ACO ZINCADO, PARA ESTRUTURA PAREDE DRYWALL, E = 0,5	M	0,91	R\$ 11,50	R\$ 10,46			
INSUMO	39422	PERFIL MONTANTE, FORMATO C, EM ACO ZINCADO, PARA ESTRUTURA PAREDE	M	2,90	R\$ 13,05	R\$ 37,84			
INSUMO	39431	FITA DE PAPEL MICROPERFURADO, 50 X 150 MM, PARA TRATAMENTO DE JUNTAS DE CHAPA	M	1,25	R\$ 0,19	R\$ 0,24			
INSUMO	39432	FITA DE PAPEL REFORCADA COM LAMINA DE METAL PARA REFORCO DE CANTOS	M	0,79	R\$ 2,47	R\$ 1,96			
INSUMO	39434	MASSA DE REJUNTE EM PO PARA DRYWALL, A BASE DE GESSO, SECAGEM RAPIDA	KG	0,52	R\$ 3,32	R\$ 1,71			
INSUMO	39435	PARAFUSO DRY WALL, EM ACO FOSFATIZADO, CABECA TROMBETA E PONTA AGULHA (TA)	UN	10,00	R\$ 0,06	R\$ 0,60			
INSUMO	39443	PARAFUSO DRY WALL, EM ACO ZINCADO, CABECA LENTILHA E PONTA BROCA (LB)	UN	0,91	R\$ 0,16	R\$ 0,15			
COMPOSICAO	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,44	R\$ 18,06	R\$ 7,93			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,11	R\$ 15,75	R\$ 1,73			

TOTAL R\$ 59.412,21

Tabela B.3 – Planilha orçamentária: bloco celular de concreto autoclavado (75 mm) e reboco (25 mm).

NÃO AFERIDA	73863/1	ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO CELULAR 7.5X30X60CM, ESPESSURA 7.5 CM, ASSENTADOS COM ARGAMASSA TRACO 1:2:9 (CIMENTO, CAL E AREIA) PREPARO MANUAL	M²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m²)	Custo
INSUMO	367	AREIA GROSSA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M³	0,01	R\$ 63,00	R\$ 0,46	R\$ 76,16	628,88	R\$ 47.896,71
INSUMO	674	BLOCO VEDACAO CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO 7.5 X 30 X 60 CM (E X A X C)	M²	1,03	R\$ 64,50	R\$ 66,44			
INSUMO	1107	CAL VIRGEM COMUM PARA ARGAMASSAS (NBR 6453)	KG	0,97	R\$ 0,58	R\$ 0,56			
INSUMO	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	0,97	R\$ 0,67	R\$ 0,65			
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,30	R\$ 18,97	R\$ 5,69			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,15	R\$ 15,75	R\$ 2,36			
01.REVE.EMBO.001/01	87775	EMBOÇO OU MASSA ÚNICA EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L, APLICADA MANUALMENTE EM PANOS DE FACHADA COM PRESENÇA DE VÃOS, ESPESSURA DE 25 MM. AF 06/2014	M²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m²)	Custo
INSUMO	37411	TELA DE ACO SOLDADA GALVANIZADA/ZINCADA PARA ALVENARIA, FIO D = *1,24 MM, MALHA 25 X 25 MM	M²	0,14	R\$ 34,20	R\$ 4,75	R\$ 44,99	628,88	R\$ 28.291,22
COMPOSICAO	87292	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF 06/2014	M³	0,03	R\$ 419,21	R\$ 13,16			
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,78	R\$ 18,97	R\$ 14,79			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,78	R\$ 15,75	R\$ 12,28			

TOTAL R\$ 76.187,93

Tabela B.4 – Planilha orçamentária: Lã de rocha (50 mm) no telhado.

01.COBE.TELH.037/01	94225	ISOLAMENTO TERMOACÚSTICO COM LÃ MINERAL NA SUBCOBERTURA, INCLUSO TRANSPORTE VERTICAL. AF_07/2019	M²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m²)	Custo
INSUMO	42481	FELTRO EM LA DE ROCHA, EM ROLO, DENSIDADE = 32 KG/M³, E=*50* MM	M²	1,03	R\$ 20,83	R\$ 21,46	R\$ 23,37	190,76	R\$ 4.457,22
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,07	R\$ 15,75	R\$ 1,02			
COMPOSICAO	88323	TELHADISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,04	R\$ 19,25	R\$ 0,69			
COMPOSICAO	93281	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF 03/2016	CHP	0,00	R\$ 20,26	R\$ 0,08			
COMPOSICAO	93282	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF 03/2016	CHI	0,01	R\$ 19,25	R\$ 0,11			
							TOTAL	R\$ 4.457,22	

Tabela B.5 – Planilha orçamentária: Laje pré-moldada com EPS.

NÃO AFERIDA	74202/1	LAJE PRE-MOLDADA P/FORRO, SOBRECARGA 100KG/M², VAOS ATE 3,50M/E=8CM, C/LAJOTAS E CAP.C/CONC FCK=20MPA, 3CM, INTER-EIXO 38CM, C/ESCORAMENTO (REAPR.3X) E FERRAGEM NEGATIVA	M²	Quant.	Custo unitário	Subtotal	Custo unitário	Quant. (m²)	Custo
INSUMO	39	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	0,47	R\$ 10,49	R\$ 4,94	R\$ 121,33	190,76	23.144,85
INSUMO	3736	LAJE PRE-MOLDADA (LAJOTAS de EPS + VIGOTAS) PARA FORRO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 100 KG/M², VAO ATE 4,00 M (SEM COLOCACAO)	M²	1,00	R\$ 81,00	R\$ 81,00			
INSUMO	4491	PONTALETE DE MADEIRA NAO APARELHADA *7,5 X 7,5* CM (3 X 3 ") PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0,29	R\$ 5,05	R\$ 1,46			
INSUMO	5061	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 18 X 27 (2 1/2 X 10)	KG	0,03	R\$ 21,33	R\$ 0,64			
INSUMO	6189	TABUA DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 30* CM, CEDRINHO OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0,17	R\$ 16,39	R\$ 2,79			
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	R\$ 15,76	R\$ 2,52			
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	R\$ 18,87	R\$ 3,02			
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,35	R\$ 18,97	R\$ 6,64			
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,36	R\$ 15,75	R\$ 5,67			
COMPOSICAO	92874	LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS. AF_12/2015	M³	0,03	R\$ 26,49	R\$ 0,87			
COMPOSICAO	94970	CONCRETO FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 600 L. AF_07/2016	M³	0,03	R\$ 356,88	R\$ 11,78			

TOTAL R\$ 23.144,85

Tabela B.6 – Insumos e composições unitárias.

01.SEDI.LARGA.014/01	87292	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_06/2014	M³		TOTAL	419,21
INSUMO	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M³	1,29	R\$ 66,00	R\$ 85,14
INSUMO	1106	CAL HIDRATADA CH-I PARA ARGAMASSAS	KG	193,70	R\$ 0,68	R\$ 131,72
INSUMO	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	185,63	R\$ 0,67	R\$ 124,37
COMPOSICAO	88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	4,75	R\$ 15,75	R\$ 74,80
COMPOSICAO	88830	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_10/2014	CHP	1,11	R\$ 1,76	R\$ 1,95
COMPOSICAO	88831	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_10/2014	CHI	3,64	R\$ 0,34	R\$ 1,23
03.CHOR.CHPD.049/01	88830	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_10/2014	CHP		TOTAL	1,76
COMPOSICAO	88826	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - DEPRECIÇÃO. AF_10/2014	H	1,00	R\$ 0,28	R\$ 0,28
COMPOSICAO	88827	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - JUROS. AF_10/2014	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
COMPOSICAO	88828	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - MANUTENÇÃO. AF_10/2014	H	1,00	R\$ 0,26	R\$ 0,26
COMPOSICAO	88829	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_10/2014	H	1,00	R\$ 1,16	R\$ 1,16
03.CHOR.CHID.047/01	88831	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_10/2014	CHI		TOTAL	0,34
COMPOSICAO	88826	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - DEPRECIÇÃO. AF_10/2014	H	1,00	R\$ 0,28	R\$ 0,28
COMPOSICAO	88827	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - JUROS. AF_10/2014	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
03.CHOR.CAUX.132/01	88826	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - DEPRECIÇÃO. AF_10/2014	H		TOTAL	R\$ 0,28
INSUMO	10535	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO 220/380 V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADOR	UN	0,00	R\$ 4.321,46	R\$ 0,28

03.CHOR.CAUX.133/01	88827	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - JUROS. AF_10/2014	H		TOTAL	R\$ 0,06
INSUMO	10535	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380 V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADOR	UN	0,00	R\$ 4.321,46	R\$ 0,06
03.CHOR.CAUX.134/01	88828	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - MANUTENÇÃO. AF_10/2014	H		TOTAL	R\$ 0,26
INSUMO	10535	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380 V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADOR	UN	0,00	R\$ 4.321,46	R\$ 0,26
03.CHOR.CAUX.135/01	88829	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_10/2014	H		TOTAL	R\$ 1,16
INSUMO	2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KW/H	1,25	R\$ 0,93	R\$ 1,16
03.SEDI.ECOM.069/01	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		TOTAL	18,97
INSUMO	4750	PEDREIRO	H	1,00	R\$ 14,63	R\$ 14,63
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43465	FERRAMENTAS - FAMILIA PEDREIRO - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,58	R\$ 0,58
INSUMO	43489	EPI - FAMILIA PEDREIRO - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,95	R\$ 0,95
COMPOSICAO	95371	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA PEDREIRO (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
03.SEDI.ECOM.076/01	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		TOTAL	15,75
INSUMO	6111	SERVENTE DE OBRAS	H	1,00	R\$ 11,52	R\$ 11,52
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43467	FERRAMENTAS - FAMILIA SERVENTE - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,41	R\$ 0,41

INSUMO	43491	EPI - FAMILIA SERVENTE - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,01	R\$ 1,01
COMPOSICAO	95378	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA SERVENTE (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
03.SEDLECOM.189/01	95371	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA PEDREIRO (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H		TOTAL	0,25
INSUMO	4750	PEDREIRO	H	0,02	R\$ 14,63	R\$ 0,25
03.SEDLECOM.196/01	95378	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA SERVENTE (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H		TOTAL	0,20
INSUMO	6111	SERVENTE DE OBRAS	H	0,02	R\$ 11,52	R\$ 0,20
03.SEDLECOM.082/01	88323	TELHADISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		TOTAL	19,25
INSUMO	12869	TELHADOR	H	1,00	R\$ 15,01	R\$ 15,01
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43459	FERRAMENTAS - FAMILIA CARPINTEIRO DE FORMAS - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,38	R\$ 0,38
INSUMO	43483	EPI - FAMILIA CARPINTEIRO DE FORMAS - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,05	R\$ 1,05
COMPOSICAO	95385	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA TELHADISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
03.CHOR.CHPD.105/01	93281	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP		Total	R\$ 20,26
COMPOSICAO	88295	OPERADOR DE GUINCHO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,00	R\$ 18,87	R\$ 18,87
COMPOSICAO	93277	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - DEPRECIÇÃO. AF_03/2016	H	1,00	R\$ 0,31	R\$ 0,31
COMPOSICAO	93278	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - JUROS. AF_03/2016	H	1,00	R\$ 0,07	R\$ 0,07
COMPOSICAO	93279	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - MANUTENÇÃO. AF_03/2016	H	1,00	R\$ 0,29	R\$ 0,29
COMPOSICAO	93280	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_03/2016	H	1,00	R\$ 0,73	R\$ 0,73

03.CHOR.CHID.105/01	93282	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI		Total	R\$ 19,25
COMPOSICAO	88295	OPERADOR DE GUINCHO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,00	R\$ 18,87	R\$ 18,87
COMPOSICAO	93277	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - DEPRECIÇÃO. AF_03/2016	H	1,00	R\$ 0,31	R\$ 0,31
COMPOSICAO	93278	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - JUROS. AF_03/2016	H	1,00	R\$ 0,07	R\$ 0,07
03.SEDLECOM.056/01	88295	OPERADOR DE GUINCHO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		Total	R\$ 18,87
INSUMO	4253	OPERADOR DE GUINCHO	H	1,00	R\$ 15,42	R\$ 15,42
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43464	FERRAMENTAS - FAMILIA OPERADOR ESCAVADEIRA - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
INSUMO	43488	EPI - FAMILIA OPERADOR ESCAVADEIRA - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,63	R\$ 0,63
COMPOSICAO	95358	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA OPERADOR DE GUINCHO (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
03.CHOR.CAUX.428/01	93277	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - DEPRECIÇÃO. AF_03/2016	H		Total	R\$ 0,31
INSUMO	36487	GUINCHO ELETRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFASICO DE 1,25 CV	UN	0,00	R\$ 4.844,79	R\$ 0,31
03.CHOR.CAUX.429/01	93278	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - JUROS. AF_03/2016	H		Total	R\$ 0,07
INSUMO	36487	GUINCHO ELETRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFASICO DE 1,25 CV	UN	0,00	R\$ 4.844,79	R\$ 0,07
03.CHOR.CAUX.430/01	93279	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - MANUTENÇÃO. AF_03/2016	H		Total	R\$ 0,29
INSUMO	36487	GUINCHO ELETRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFASICO DE 1,25 CV	UN	0,00	R\$ 4.844,79	R\$ 0,29

03.CHOR.CAUX.431/01	93280	GUINCHO ELÉTRICO DE COLUNA, CAPACIDADE 400 KG, COM MOTO FREIO, MOTOR TRIFÁSICO DE 1,25 CV - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_03/2016	H		Total	R\$ 0,73
INSUMO	2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KW/H	0,78	R\$ 0,93	R\$ 0,73
03.SEDLECOM.027/01	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		Total	R\$ 18,87
INSUMO	1213	CARPINTEIRO DE FORMAS	H	1,00	R\$ 14,63	R\$ 14,63
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43459	FERRAMENTAS - FAMILIA CARPINTEIRO DE FORMAS - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,38	R\$ 0,38
INSUMO	43483	EPI - FAMILIA CARPINTEIRO DE FORMAS - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,05	R\$ 1,05
COMPOSICAO	95330	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA CARPINTEIRO DE FÔRMAS (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
03.SEDLECOM.004/01	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		Total	R\$ 15,76
INSUMO	6117	CARPINTEIRO AUXILIAR	H	1,00	R\$ 11,52	R\$ 11,52
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43459	FERRAMENTAS - FAMILIA CARPINTEIRO DE FORMAS - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,38	R\$ 0,38
INSUMO	43483	EPI - FAMILIA CARPINTEIRO DE FORMAS - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,05	R\$ 1,05
COMPOSICAO	95309	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA AJUDANTE DE CARPINTEIRO (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
01.FUES.CCTG.003/02	92874	LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS. AF_12/2015	M³		Total	R\$ 26,49
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,20	R\$ 18,87	R\$ 3,75

COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,20	R\$ 18,97	R\$ 3,77
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,19	R\$ 15,75	R\$ 18,77
COMPOSICAO	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,07	R\$ 1,92	R\$ 0,13
COMPOSICAO	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,13	R\$ 0,46	R\$ 0,06
03.CHOR.CHPD.066/01	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP		Total	R\$ 1,92
COMPOSICAO	90582	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - DEPRECIÇÃO. AF_06/2015	H	1,00	R\$ 0,38	R\$ 0,38
COMPOSICAO	90583	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - JUROS. AF_06/2015	H	1,00	R\$ 0,09	R\$ 0,09
COMPOSICAO	90584	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - MANUTENÇÃO. AF_06/2015	H	1,00	R\$ 0,30	R\$ 0,30
COMPOSICAO	90585	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_06/2015	H	1,00	R\$ 1,16	R\$ 1,16
03.CHOR.CHID.064/01	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI		Total	R\$ 0,46
COMPOSICAO	90582	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - DEPRECIÇÃO. AF_06/2015	H	1,00	R\$ 0,38	R\$ 0,38
COMPOSICAO	90583	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - JUROS. AF_06/2015	H	1,00	R\$ 0,09	R\$ 0,09
03.CHOR.CAUX.239/01	90582	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - DEPRECIÇÃO. AF_06/2015	H		Total	R\$ 0,38
INSUMO	13896	VIBRADOR DE IMERSAO, DIAMETRO DA PONTEIRA DE *45* MM, COM MOTOR ELETRICO TRIFASICO DE 2 HP (2 CV)	UN	0,00	R\$ 2.960,38	R\$ 0,38
03.CHOR.CAUX.240/01	90583	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - JUROS. AF_06/2015	H		Total	R\$ 0,09
INSUMO	13896	VIBRADOR DE IMERSAO, DIAMETRO DA PONTEIRA DE *45* MM, COM MOTOR ELETRICO TRIFASICO DE 2 HP (2 CV)	UN	0,00	R\$ 2.960,38	R\$ 0,09

03.CHOR.CAUX.241/01	90584	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - MANUTENÇÃO. AF_06/2015	H		Total	R\$ 0,30
INSUMO	13896	VIBRADOR DE IMERSAO, DIAMETRO DA PONTEIRA DE *45* MM, COM MOTOR ELETRICO TRIFASICO DE 2 HP (2 CV)	UN	0,00	R\$ 2.960,38	R\$ 0,30
03.CHOR.CAUX.242/01	90585	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_06/2015	H		Total	R\$ 1,16
INSUMO	2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KW/H	1,25	R\$ 0,93	R\$ 1,16
01.FUES.CONC.009/01	94970	CONCRETO FCK = 20MPA, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 600 L. AF_07/2016	M³		Total	R\$ 356,88
INSUMO	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M³	0,76	R\$ 66,00	R\$ 50,23
INSUMO	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	325,16	R\$ 0,67	R\$ 217,86
INSUMO	4721	PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M³	0,59	R\$ 55,30	R\$ 32,68
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,03	R\$ 15,75	R\$ 31,97
COMPOSICAO	88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,28	R\$ 15,75	R\$ 20,16
COMPOSICAO	89225	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_11/2014	CHP	0,66	R\$ 4,76	R\$ 3,14
COMPOSICAO	89226	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_11/2014	CHI	0,62	R\$ 1,38	R\$ 0,85
03.CHOR.CHPD.056/01	89225	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_11/2014	CHP		Total	R\$ 4,76
COMPOSICAO	89221	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - DEPRECIÇÃO. AF_11/2014	H	1,00	R\$ 1,13	R\$ 1,13
COMPOSICAO	89222	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - JUROS. AF_11/2014	H	1,00	R\$ 0,25	R\$ 0,25
COMPOSICAO	89223	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - MANUTENÇÃO. AF_11/2014	H	1,00	R\$ 1,05	R\$ 1,05
COMPOSICAO	89224	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_11/2014	H	1,00	R\$ 2,33	R\$ 2,33
03.CHOR.CHID.055/01	89226	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_11/2014	CHI		Total	R\$ 1,38

COMPOSICAO	89221	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - DEPRECIAÇÃO. AF_11/2014	H	1,00	R\$ 1,13	R\$ 1,13
COMPOSICAO	89222	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - JUROS. AF_11/2014	H	1,00	R\$ 0,25	R\$ 0,25
03.CHOR.CAUX.188/01	89221	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - DEPRECIAÇÃO. AF_11/2014	H		Total	R\$ 1,13
INSUMO	36397	BETONEIRA, CAPACIDADE NOMINAL 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380V, POTENCIA 4CV, EXCLUSO CARREGADOR	UN	0,00	R\$ 17.578,82	R\$ 1,13
03.CHOR.CAUX.189/01	89222	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - JUROS. AF_11/2014	H		Total	R\$ 0,25
INSUMO	36397	BETONEIRA, CAPACIDADE NOMINAL 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380V, POTENCIA 4CV, EXCLUSO CARREGADOR	UN	0,00	R\$ 17.578,82	R\$ 0,25
03.CHOR.CAUX.190/01	89223	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - MANUTENÇÃO. AF_11/2014	H		Total	R\$ 1,05
INSUMO	36397	BETONEIRA, CAPACIDADE NOMINAL 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380V, POTENCIA 4CV, EXCLUSO CARREGADOR	UN	0,00	R\$ 17.578,82	R\$ 1,05
03.CHOR.CAUX.191/01	89224	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 4 CV, SEM CARREGADOR - MATERIAIS NA OPERAÇÃO. AF_11/2014	H		Total	R\$ 2,33
INSUMO	2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KW/H	2,50	R\$ 0,93	R\$ 2,33
03.SEDLECOM.041/01	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H		Total	R\$ 18,06
INSUMO	25957	MONTADOR DE ESTRUTURAS METALICAS	H	1,00	R\$ 14,61	R\$ 14,61
INSUMO	37370	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,04	R\$ 1,04
INSUMO	37371	TRANSPORTE - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,15
INSUMO	37372	EXAMES - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,55	R\$ 0,55
INSUMO	37373	SEGURO - HORISTA (COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,06	R\$ 0,06
INSUMO	43464	FERRAMENTAS - FAMILIA OPERADOR ESCAVADEIRA - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01
INSUMO	43488	EPI - FAMILIA OPERADOR ESCAVADEIRA - HORISTA (ENCARGOS COMPLEMENTARES - COLETADO CAIXA)	H	1,00	R\$ 0,63	R\$ 0,63
COMPOSICAO	95344	CURSO DE CAPACITAÇÃO PARA MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA (ENCARGOS COMPLEMENTARES) - HORISTA	H	1,00	R\$ 0,01	R\$ 0,01