

Fernando Pacheco

**ANÁLISE DA OBTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE
ENERGIA ZERO NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis

2018



Fernando Pacheco

**ANÁLISE DA OBTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE ENERGIA
ZERO NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Michele Fossati, Dr.^a

Florianópolis

2018

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

Pacheco, Fernando

Análise da obtenção de edificações residenciais de energia zero na região da Grande Florianópolis / Fernando Pacheco ; orientadora, Michele Fossati, 2018.

107 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência Energética em Edificações. 3. Edifícios de Energia Zero. I. Fossati, Michele. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Fernando Pacheco

**ANÁLISE DA OBTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE ENERGIA
ZERO NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Florianópolis, 20 de novembro de 2018.

Prof.^a Luciana Rohde, Dr.^a
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:


Prof.^a Michele Fossati, Dr.^a

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D
Universidade Federal de Santa Catarina

María Andrea Triana Montes, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marlise de Pinho Pacheco e Vali Pacheco por toda a dedicação, suporte incondicional e todos os valores ensinados ao longo da minha vida.

À minha irmã Camila Pacheco, que com toda sua jovialidade, inteligência e curiosidade, me motiva cada vez mais a ser um melhor exemplo de pessoa.

À minha companheira Rachel Sarreta pela convivência, amizade, compreensão e carinho, de forma a tornar a trajetória mais suave e doce.

À professora Michele Fossati por todo o suporte e prontidão oferecidos, pela paciência e incentivos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas que contribuíram de alguma forma durante minha vida acadêmica, tornando mais leve o peso carregado ao longo destes anos.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de fazer parte desta instituição, que possibilitou a entrada num mundo de diversidade e conhecimento, conectando-me a pessoas incríveis.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise acerca da obtenção de edifícios de energia zero (EEZ) em duas residências construídas sob o programa do governo federal brasileiro “Minha Casa Minha Vida” na cidade de Tijucas/SC, localizada na região da Grande Florianópolis. Como estimativa para consumo energético foram utilizados os métodos prescritivo e simplificado presentes na nova proposta para avaliação da eficiência energética das edificações, a Instrução Normativa Inmetro para Edificações Residenciais (INI-R). Foram propostas medidas de eficiência energética com o objetivo de diminuir o consumo energético encontrado e obter uma melhora na classificação. As medidas consistiram na alteração das absorvâncias térmicas das paredes externas e cobertura, aplicação de venezianas nas janelas dos ambientes de permanência prolongada, bem como a instalação de sistemas para aquecimento de água por energia solar com complementação por chuveiro elétrico. Não foi possível a classificação pelo método prescritivo, por conta do não cumprimento dos requisitos necessários. No método simplificado, a implantação das medidas possibilitou uma redução considerável no consumo energético e a obtenção de classe A para as duas edificações. Com o consumo reduzido e obtenção de classe A, procedeu-se para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, de maneira a suprir integralmente a demanda energética anual encontrada após a aplicação das medidas propostas. A fim de validar os resultados, comparou-se o consumo energético obtido através do método simplificado para a situação real com o consumo retirado das faturas de energia elétrica das duas edificações. Os consumos energéticos mostraram-se semelhantes ao serem ponderados pelo número de usuários.

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações. Edifícios de Energia Zero. Novo Regulamento Brasileiro de Etiquetagem Residencial.

ABSTRACT

This work presents an analysis about obtaining zero energy buildings (EEZ) in two residences built under the Brazilian federal government program "*Minha Casa Minha Vida*" in the city of *Tijucas / SC*, located in the region of *Grande Florianópolis*. As an estimate for energy consumption, the prescriptive and simplified methods were used. These methods are presented in the new proposal to evaluate the energy efficiency of buildings, the *Inmetro* Normative Instruction for Residential Buildings (INI-R). Energy efficiency measures were proposed in order to reduce the energy consumption and to obtain an improvement in the classification. The measures consisted of the alteration of the thermal absorption of the external walls and roof, the application of shutters in the windows of the rooms of prolonged permanence, as well as the installation of systems for water heating by solar energy with supplementation by electric shower. It was not possible to classify by the prescriptive method, due to non-compliance with the necessary requirements. In the simplified method, the implementation of the measures allowed a considerable reduction in energy consumption and the achievement of class A for both buildings. With the reduced energy consumption and obtaining class A, the design of the photovoltaic systems proceeded, in order to fully meet the annual energy demand found after the application of the proposed measures. In order to validate the results, the energy consumption obtained through the simplified method for the real situation was compared with the consumption taken from the electricity bills of the two buildings. The energy consumptions were similar when they were weighted by the number of users.

Keywords: Energy Efficiency in Buildings. Zero Energy Buildings. New Brazilian Residential Labeling Regulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo final de energia por fonte no ano de 2017.....	19
Figura 2 - Consumo residencial de energia.	20
Figura 3 - Proposta de Nova ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edificações Residenciais para os métodos simplificado e de simulação.	31
Figura 4 – Página 2 para a nova ENCE proposta para os métodos simplificado e de simulação.	31
Figura 5 – Página 3 para a nova ENCE proposta para os métodos simplificado e de simulação.	32
Figura 6 – Proposta de nova ENCE para o método prescritivo.	33
Figura 7 – Proposta de nova ENCE para o método prescritivo (2ª página). .	33
Figura 8 – Variação da irradiação solar para diferentes posições e localidades.	38
Figura 9 – Unidade Habitacional 01.....	41
Figura 10 – Planta baixa da Unidade Habitacional 01.	42
Figura 11 – Unidade Habitacional 02.....	44
Figura 12 – Planta baixa da Unidade Habitacional 02.	45
Figura 13 – Valores de carga térmica da UH01.....	61
Figura 14 – Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH01.	62
Figura 15 – Consumos energéticos anuais para a UH01.	63
Figura 16 – Valores de carga térmica da UH01.....	66
Figura 17– Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH01.	66
Figura 18 – Consumos energéticos anuais para a UH01.	69
Figura 19 – Consumos de energia elétrica da UH01.....	71
Figura 20 – Consumos de energia primária da UH01.....	72
Figura 21 – Comparação dos consumos reais com os consumos encontrados na INI-R para a UH01 com características reais.	74
Figura 22 – Valores de carga térmica da UH02.....	76
Figura 23 – Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH02.	77

Figura 24 – Consumos energéticos anuais para a UH02.	78
Figura 25 – Valores de carga térmica da UH02.....	81
Figura 26 – Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH02.	81
Figura 27 – Consumos energéticos anuais para a UH02.	83
Figura 28 – Consumos de energia elétrica da UH02.	85
Figura 29 – Consumos de energia primária da UH02.....	85
Figura 30 – Comparação dos consumos reais com os consumos encontrados na INI-R para a UH02 com características reais.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de oferta e consumo energético entre os anos de 2016 e 2017 (valores em Mtep – mega tonelada de petróleo).....	18
Tabela 2 - Posse média de equipamentos selecionados (2013 – 2050).	20
Tabela 3 – Limites de aplicação do método prescritivo.	26
Tabela 4 – Limites de aplicação do método simplificado.....	28
Tabela 5 - Hierarquia das opções de fontes de energia renovável para uso de EEZ.	35
Tabela 6 – Características térmicas dos componentes construtivos da UH 01.	43
Tabela 7 – Dimensões das janelas dos ambientes de longa permanência. .	43
Tabela 8 - Características térmicas dos componentes construtivos da UH 02.	46
Tabela 9 - Dimensões das janelas dos ambientes de longa permanência. ..	47
Tabela 10 - Dados de entrada da UH01.	48
Tabela 11 - Dados de entrada da UH02.	49
Tabela 12 – Escala de classificação da eficiência energética da envoltória da UH.	51
Tabela 13 – Fatores de conversão para energia primária.	53
Tabela 14 – Escala de classificação da eficiência energética de UHs nos Grupos Climáticos 1 a 24.	54
Tabela 15 – Médias mensais de irradiação solar para o município de Tijucas – SC, para uma inclinação de 27° N, em (kWh/m².dia).	56
Tabela 16 – Fatores de perdas para sistemas fotovoltaicos.....	57
Tabela 17 – Requisitos do método prescritivo para a UH01.....	60
Tabela 18 – Requisitos do método prescritivo para a UH01.....	65
Tabela 19 – Dados do coletor solar escolhido.....	67
Tabela 20 – Dados do reservatório solar escolhido.....	68
Tabela 21 – Informações do módulo considerado.....	70
Tabela 22 – Consumos mensais da UH01 retirados da fatura de energia elétrica.....	73
Tabela 23 – Requisitos do método prescritivo para a UH02.....	75
Tabela 24 – Requisitos do método prescritivo da UH02.....	80

Tabela 25 – Consumos mensais da UH02 retirados da fatura de energia elétrica.....	86
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Associação Brasileira de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
BEN	Balanco Energético Nacional
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
DOE	<i>Department of Energy</i>
EEZ	Edifício de energia zero
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INI-R	Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PGE	
PHOC _T	Percentual de Horas Ocupadas com Conforto Total
PNE	Plano Nacional de Energia
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade de Eficiência Energética de Edificações
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
UH	Unidade Habitacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CONSUMO ENERGÉTICO.....	18
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
2.3	INI-R – INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.....	25
2.3.1	Método Prescritivo	26
2.3.2	Método Simplificado	27
2.3.3	Método de Simulação	28
2.3.4	Geração Local de Energia Renovável	29
2.3.5	Uso Racional de Água	29
2.3.6	Emissões de dióxido de carbono	29
2.3.7	Classe de eficiência energética	29
2.3.8	Nova proposta para Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	30
2.4	EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO	34
2.4.1	Definição	34
2.4.2	Cenário Mundial e Nacional	36
2.5	SÍNTESE SOBRE O CAPÍTULO	39
3	MÉTODO	40
3.1	ESCOLHA DAS UNIDADES E LEVANTAMENTO EM CAMPO	40
3.1.1	Unidade Habitacional 01	41
3.1.2	Unidade Habitacional 02	44

3.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO	47
3.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO	47
3.3.1	Envoltória	47
3.3.2	Aquecimento de água	51
3.4	CONSUMOS ENERGÉTICOS DA UH POR TIPO DE ENERGIA.....	52
3.4.1	Consumo total de energia elétrica.....	52
3.4.1.1	Consumo médio de equipamentos	52
3.4.2	Consumo total de energia térmica	53
3.4.3	Conversão para energia primária	53
3.5	CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA UH	53
3.6	EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO	54
3.7	ANÁLISE DAS MEDIDAS A SEREM IMPLANTADAS	55
3.8	REAPLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO	56
3.9	REAPLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO	56
3.10	GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA RENOVÁVEL E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS.....	56
3.11	COMPARAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
4	RESULTADOS	59
4.1	UH01.....	59
4.1.1	Aplicação do Método Prescritivo	59
4.1.2	Aplicação do Método Simplificado.....	61
4.1.2.1	Envoltória	61
4.1.2.2	Aquecimento de Água.....	62
4.1.2.3	Equipamentos elétricos	62
4.1.2.4	Consumo total	63
4.1.2.5	Classe de Eficiência Energética.....	63
4.1.3	Emissões de CO₂.....	64
4.1.4	Reaplicação do Método Prescritivo	64

4.1.5	Reaplicação do Método Simplificado	66
4.1.5.1	Envoltória	66
4.1.5.2	Aquecimento de Água.....	67
4.1.5.3	Equipamentos elétricos	68
4.1.5.4	Consumo total	69
4.1.5.5	Classe de Eficiência Energética.....	69
4.1.6	Geração Local de Energia Renovável	70
4.1.7	Emissões de CO₂	71
4.1.8	Comparação dos Resultados	71
4.2	UH 02.....	74
4.2.1	Aplicação do Método Prescritivo	74
4.2.2	Aplicação do Método Simplificado	76
4.2.2.1	Envoltória	76
4.2.2.2	Aquecimento de Água.....	77
4.2.2.3	Equipamentos elétricos	77
4.2.2.4	Consumo total	77
4.2.2.5	Classe de Eficiência Energética.....	78
4.2.3	Emissões de CO₂	78
4.2.4	Reaplicação do Método Prescritivo	78
4.2.5	Reaplicação do Método Simplificado	81
4.2.5.1	Envoltória	81
4.2.5.2	Aquecimento de água	82
4.2.5.3	Equipamentos elétricos	82
4.2.5.4	Consumo total	82
4.2.5.5	Classe de Eficiência Energética.....	83
4.2.6	Geração Local de Energia Renovável	83
4.2.7	Emissões de CO₂	84

4.2.8	Comparação dos Resultados.....	85
5	CONCLUSÃO	88
5.1	ANÁLISE DA INI-R.....	91
5.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	92
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	92
	REFERÊNCIAS	94
	ANEXO A – Formulários utilizados nas medições em campo	98
	ANEXO B – Planilha Excel com dados das classificações.....	102

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a eficiência energética das edificações, já consolidada em vários lugares do mundo como União Europeia, Estados Unidos e Austrália, vem crescendo no Brasil nos últimos tempos. O assunto é incentivado por medidas governamentais tais como a Lei nº 10.295 de 2001, a qual dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a), o RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INMETRO, 2009), o RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2010a), a NBR 15575 - Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT, 2008) e o Selo Procel Edificações para edificações comerciais, de serviço e públicas, estabelecido em 2014 (INMETRO, 2018a). Neste contexto, apesar do aumento com a preocupação acerca da eficiência energética das edificações no País, certos assuntos ainda não são muito incentivados, como é o caso de Edifícios de Energia Zero (EEZ).

Conceitualmente, EEZ trata-se de uma edificação com necessidades de energia reduzidas através de ganhos em eficiência de tal maneira que o equilíbrio energético pode ser fornecido por tecnologias renováveis (TORCELLINI ET AL., 2006). Segundo Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013), a prioridade na prática de políticas de EEZ no Brasil deve ser direcionada ao setor de edificações residenciais, pois este setor tem uma maior propensão a se tornarem EEZ em ampla escala, além de ser o setor que mais sofre com a variação dos preços de energia, que decorre da volubilidade da matriz energética.

Qualquer edifício pode vir a tornar-se um EEZ, independente de sua eficiência. Para que isto ocorra, é necessário dispor de um sistema de geração de energia com uma capacidade suficiente (TORCELLINI ET AL., 2006). Por conta disso, é necessário que se projete a edificação buscando, primeiramente, alta eficiência energética, para então, considerar a integração de sistemas de geração local de energia por fontes renováveis.

O foco deste trabalho é avaliar o desempenho energético de duas unidades habitacionais na região da Grande Florianópolis frente à possibilidade de obtenção balanço energético zero. Para tanto, será utilizada como estimativa de consumo a

nova proposta para a avaliação de eficiência energética das edificações, a qual encontra-se em desenvolvimento (CB3E, 2018a). A Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética nas Edificações Residenciais (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.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar a possibilidade de obtenção de balanço energético zero em duas edificações residenciais na região da Grande Florianópolis, através de medidas de eficiência energética em edificações e aplicação de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia renovável local, de maneira a se tornarem EEZ.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar o consumo energético, em energia primária, e a classificação de duas edificações residenciais existentes por meio dos métodos prescritivo e simplificado da INI-R;
- Aplicar medidas de eficiência energética para melhoria da classificação, caso necessário;
- Após a aplicação das medidas de eficiência energética, determinar o consumo energético, em energia primária, e a classe de eficiência energética destas edificações por meio da reaplicação dos métodos prescritivo e simplificado da INI-R;
- Analisar a introdução de sistemas fotovoltaicos, dimensionados com a intenção de suprir 100% da demanda de energia elétrica, depois da introdução de medidas de eficiência energética;

- Comparação dos consumos obtidos através dos métodos prescritivo (caso possível a classificação) e simplificado da INI-R com os consumos obtidos nas faturas de energia elétrica;
- Avaliar o potencial das habitações para serem classificadas como EEZ.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo trata da introdução ao assunto que será tratado, assim como os objetivos. O segundo capítulo trata de uma revisão bibliográfica que traz dados de consumo energético no mundo e no Brasil, além de tratar das principais leis, regulamentos e medidas governamentais tomadas com o intuito de aumentar a eficiência energética num geral. Também traz uma descrição da nova proposta de avaliação da eficiência energética das edificações, a INI-R, e seus métodos de avaliação: prescritivo, simplificado e de simulação. Por fim, introduz-se o conceito de EEZs, seu contexto mundial e a realidade brasileira em relação ao assunto. O terceiro capítulo deste trabalho descreve o método utilizado, o qual traz os procedimentos adotados, bem como os parâmetros de entrada utilizados na classificação das edificações analisadas e dos sistemas dimensionados. O quarto capítulo expõe os resultados obtidos: consumo em termos de energia elétrica e energia primária, dimensionamento de sistema para aquecimento de água, dimensionamento de sistema fotovoltaico, análise dos resultados e comparação com a fatura de energia elétrica das edificações reais. No quinto e último capítulo estão apresentadas as conclusões, uma breve análise da INI-R, limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSUMO ENERGÉTICO

No Balanço Energético Mundial de 2017 (*World Energy Balances 2017*), elaborado pela Agência Internacional de Energia (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2018*), é possível observar que no ano de 2015 (ano base para a pesquisa) a matriz energética mundial era composta por 13,4% de fontes renováveis e 86,6% de fontes não renováveis. Dentre as fontes energéticas, são renováveis as seguintes: biocombustíveis e resíduos (9,6%), geração hidráulica (2,4%) e outras fontes como eólica, solar térmica, solar fotovoltaica e geotérmica, as quais representaram menos de 2% (1,4%). Apesar disso, apresentam uma rápida evolução, com aumentos percentuais de 16,8%, 6,8%, 29,7% e 4,1%, respectivamente, de 2014 para 2015. Já a fração de energia produzida por fontes não renováveis (86,6%), divide-se entre combustíveis fósseis (81,7%) e nuclear (4,9%).

Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018 (BRASIL, 2018) – ano base 2017 - o Brasil está entre os países nos quais a matriz energética tem maior participação de fontes renováveis. No ano de 2017, dos 293,5 Mtep (Mega tonelada equivalente de petróleo) produzidos, a energia gerada a partir de fontes renováveis representou 43,2% do total, sendo que as maiores ofertas foram de biomassa da cana (17,4%), hidráulica (11,9%), lenha e carvão vegetal (8,0%) e lixo e outras renováveis (5,8%). De 2016 para 2017, houve um aumento na oferta interna de energia (1,8%) bem como no consumo final (1,7%). Já as perdas aumentaram em 0,4% em 2017 em relação à 2016. A Tabela 1 mostra os valores de oferta interna de energia, consumo final e as perdas referente aos anos de 2016 e 2017.

Tabela 1 - Valores de oferta e consumo energético entre os anos de 2016 e 2017 (valores em Mtep – mega tonelada de petróleo).

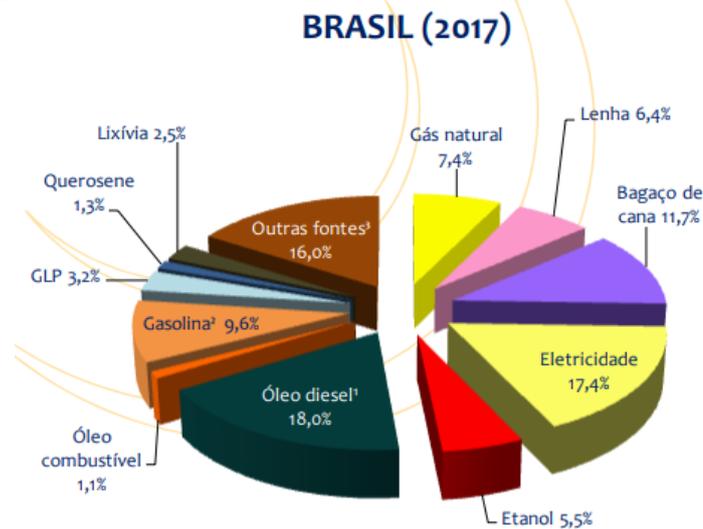
Ano	2016	2017
Oferta interna de energia	288,3	293,5
Consumo final	255,5	260,0
Perdas ¹	32,8	33,5
Perdas ¹ (%)	11,4%	11,4%

¹ inclui perdas na transformação.

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional 2018 (BRASIL, 2018).

É possível observar na Figura 1 quais foram os consumos finais de toda a energia produzida em 2017, descontando-se as perdas:

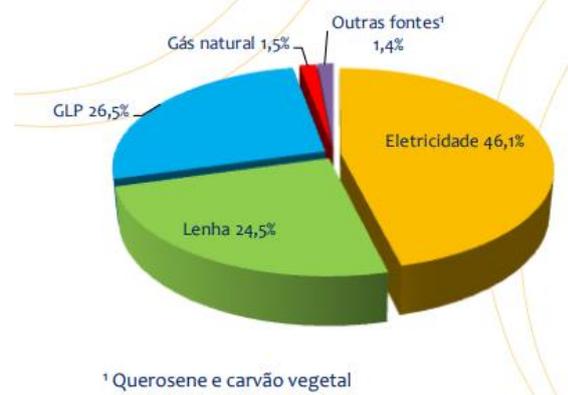
Figura 1 – Consumo final de energia por fonte no ano de 2017.



Fonte: Balanço Energético Nacional 2018 (BRASIL, 2018).

No setor residencial observa-se um consumo de 9,6% do total de energia consumida em 2017, com um aumento de 0,5% em relação ao ano de 2016. Houve uma variação positiva no consumo residencial de energia das seguintes fontes: gás natural (6,3%), eletricidade (0,8%), lenha (0,8%) e GLP (0,5%). Ainda de acordo com o BEN (BRASIL, 2018), existe uma heterogeneidade no perfil dos consumidores, pois o consumo de fontes mais modernas como GLP e eletricidade aumentou nas famílias de renda mais elevada, porém, nas famílias de baixa renda, principalmente em área rural, ainda há a forte dependência de biomassa tradicional, como se pode observar na Figura 2. O consumo energético nas residências em 2017 apresentou 63% de renováveis, a maioria proveniente de hidrelétricas (BRASIL, 2018).

Figura 2 - Consumo residencial de energia.



Fonte: Balanço Energético Nacional 2018 (BRASIL, 2018).

Além do aumento do consumo energético residencial a curto prazo, existe uma tendência para o aumento do consumo energético para os próximos anos. No estudo Demanda de Energia 2050, integrante do Plano Nacional de Energia – 2050 (BRASIL, 2015), são apresentados dados do ano de 2013, onde a posse média de equipamentos condicionadores de ar no setor residencial era de 0,23 e estimou que este valor aumentará para 1,37 em 2050. A Tabela 2 mostra a evolução dos indicadores de posse para equipamentos selecionados no período de 2013 a 2050.

Tabela 2 - Posse média de equipamentos selecionados (2013 – 2050).

Equipamento	2013	2050
Ar condicionado	0,23	1,37
Geladeira	1,03	1,03
Lâmpada	8,25	10,43
Chuveiro	0,70	0,20
Televisão	1,61	1,85
Máquina de lavar	0,68	0,82
Freezer	0,18	0,12

Fonte: Adaptado de Estudo Demanda de Energia 2050 (BRASIL, 2015).

Além dos condicionadores de ar, os quais são grandes consumidores de energia nas edificações residenciais, há também o aumento na posse de aparelhos de televisão, máquinas de lavar e outros equipamentos eletroeletrônicos, os quais hoje representem 24,5% da eletricidade consumida, sendo estimado que respondam por 50% em 2050. Na Tabela 2 ainda é possível observar uma perda na participação de chuveiros elétricos para aquecimento de água, sendo estes substituídos principalmente por aquecedores a gás natural, seguindo uma premissa de aumento na disponibilidade de gás natural no país observada para o estudo. O aumento da

disponibilidade de gás natural também causará uma ampliação na malha de distribuição de gás natural nas metrópoles, diminuindo consideravelmente também o consumo de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Vale destacar que também de acordo com o estudo, a perda de participação da eletricidade para outras fontes para aquecimento de água, também ocorrerá pela maior penetração da energia solar para este fim. Espera-se também um aumento da intensidade do uso de equipamentos, tanto pelo aumento na disponibilidade de renda quanto pelo aumento no uso de tecnologias com a finalidade de entretenimento, de interconectividade de pessoas e equipamentos e por novos hábitos que têm uma tendência a aumentar nos próximos anos, como o teletrabalho.

Com a projeção do aumento de consumo energético por parte das residências, torna-se essencial pensar em medidas de eficiência energética, pois mesmo a maior parte da energia ser proveniente de fontes renováveis, como a hidrelétrica, aumentar a produção é também aumentar os impactos ambientais negativos relacionados à geração e uso de energia. De acordo com Menkes (2004), os impactos ambientais referentes à geração de energia elétrica através de fontes hídricas ocorrem nas fases de implantação, operação e transmissão. As barragens e os reservatórios formados resultam em perdas de recursos de flora e fauna, interferindo no equilíbrio dos ecossistemas locais, gerando danos ambientais físicos e biológicos, que acabam por afetar as atividades econômicas locais bem como os níveis de saúde das populações. Em muitos casos também há a remoção das populações, acarretando em danos socioculturais e econômicos às comunidades locais.

Com a melhoria da eficiência energética, há uma redução na necessidade de aumento de capacidade geradora além de novos investimentos, fazendo com que mais recursos sejam liberados para investimento em medidas de proteção ambiental, de segurança e melhoria nas geradoras já existentes, em tecnologias limpas, entre outras. A busca pela melhoria da eficiência energética e transição para o uso de recursos primários renováveis é destacada em toda e qualquer avaliação sobre desenvolvimento sustentável (MENKES, 2004).

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Souza, Guerra e Kruger (2011) a primeira crise do petróleo, na década de 70, motivou o surgimento da preocupação acerca da eficiência energética no cenário mundial. Nos países industrializados, essa preocupação se traduziu no investimento em projetos de eficiência energética e fontes renováveis de energia, objetivando a diminuição da dependência em relação ao petróleo e seus derivados. Nos Estados Unidos, um exemplo desta preocupação foi a publicação, no ano de 1975, da primeira versão da norma americana, *ASHRAE Standard 90.1*, da *ASHRAE* (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) a qual estabelece requisitos mínimos relacionados à eficiência energética para edificações, com exceção às residências unifamiliares e multifamiliares de até quatro andares, modulares e móveis (*ASHRAE*, 2016). A norma é revisada e publicada até os dias atuais.

A eficiência energética também se tornou uma preocupação aqui no Brasil, resultando na criação de programas de incentivo, destacando a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) no ano de 1984, que tem por objetivo principal informar aos consumidores sobre a eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia, estimulando assim uma escolha mais consciente (*INMETRO*, 2018a).

Em dezembro de 1985, por meio de uma Portaria Interministerial entre os ministérios de Minas e Energia e da Indústria e do Comércio, foi promulgada a Portaria Interministerial N.º 1877, que instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel (*BRASIL*, 1985) cujo objetivo é promover ações que visam a conservação da energia elétrica, evitando assim o gasto com custos setoriais.

Durante o ano de 2001, houve um colapso no sistema elétrico do país devido aos poucos investimentos em ampliação do parque gerador nos anos anteriores e da insuficiência das chuvas registradas no ano 2000. As principais regiões atingidas foram: Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, as quais se viram obrigadas a racionar energia elétrica durante maio a novembro de 2001 (*MENDES ET AL*, 2005). Neste sentido, o uso racional da energia no Brasil tornou-se uma preocupação por parte do governo, o que motivou a publicação da Lei nº 10.295 (*BRASIL*, 2001a), em outubro de 2001, a qual “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” e determina o estabelecimento por parte do Poder Executivo de mecanismos

que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País, além de níveis de eficiência energética para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País. Dois meses depois, em dezembro de 2001, foi publicado o Decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001b), que regulamentou a Lei nº 10.295 e instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), o qual é responsável por instituir níveis mínimos de eficiência energética a serem atingidos pelos equipamentos e edificações do país, além de competências como a elaboração de planos de trabalho, cronogramas, metas, entre outros. No âmbito do Decreto nº 4.059, criou-se o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT-Edificações), com o objetivo de regulamentar e elaborar procedimentos de avaliação da eficiência energética das edificações brasileiras, promovendo o uso racional da energia elétrica.

Foi publicada em 2005 a primeira norma brasileira a trazer requisitos de desempenho para as edificações, a NBR 15220, intitulada Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), que trata do desempenho térmico de edificações e é destinada a edificações residenciais unifamiliares de interesse social, sem caráter obrigatório. A NBR 15220, a qual é composta por 5 partes, apresenta métodos para determinação e medição de características térmicas de materiais construtivos, que serviram de referência em normas e regulamentos posteriores. Além disso, foram instituídas oito zonas bioclimáticas ao longo do território brasileiro, sendo as regiões agrupadas por semelhança em suas características climáticas. Cada uma dessas zonas bioclimáticas apresenta diferentes importâncias em suas diretrizes construtivas e estratégias, a depender das características climáticas da região, destinadas a eficiência energética nas habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005).

Em 2008, três anos após o lançamento da NBR 15220, visando aumentar o número de edificações abrangidas por normativas que têm por objetivo final a melhoria do desempenho de edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas lançou a NBR 15575 (ABNT, 2008), intitulada Edifícios Habitacionais de Até Cinco Pavimentos – Desempenho. Esta norma, entretanto, não foi incorporada pelo setor da construção civil. Republicada no ano de 2013, a NBR 15575 passou a ter caráter obrigatório para os requisitos de desempenho em pelo menos nível mínimo, além de não mais possuir restrições em relação ao número de pavimentos, mudando seu título para: Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013). O

desempenho dos sistemas avaliados é classificado em três níveis: mínimo, intermediário e superior. A NBR 15575 é dividida em 6 partes (ABNT, 2013): requisitos gerais; requisitos para os sistemas estruturais; para os sistemas de pisos; para os sistemas de vedações verticais internas e externas; para os sistemas de coberturas e para os sistemas hidrossanitários.

Representando um passo importante na busca pela eficiência energética, a regulamentação brasileira de eficiência energética de edificações foi lançada no ano de 2009. O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, RTQ-C, teve sua primeira versão publicada oficialmente em 2009 pela Portaria Inmetro 163, de 08 junho 2009 (INMETRO, 2009), sendo revisado e republicado no ano de 2010, regido pela Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010 (INMETRO, 2010b). Foi seguido pelo RTQ-R, lançado em 2010 pela Portaria Inmetro nº 499, de 25 de novembro de 2010 (INMETRO, 2010a), revisado e republicado através da Portaria Inmetro nº 18, de 16 de janeiro de 2012 (INMETRO, 2012), sendo este regulamento destinado às edificações residenciais. Nestes documentos são especificados requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios quanto à eficiência energética. Os requisitos referentes ao desempenho dos sistemas das edificações são classificados em níveis de eficiência energética que variam de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). De acordo com a pontuação final, dada pela ponderação dos requisitos, obtém-se uma classificação geral com o nível de eficiência também variando de “A” a “E”, a qual é apresentada na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), juntamente com suas classificações parciais.

O RTQ-C (INMETRO, 2010b) é direcionado aos edifícios comerciais, de serviço ou públicos. A classificação da eficiência energética do edifício é dividida em três requisitos com diferentes pesos: envoltória (30%), sistema de iluminação (30%), sistema de condicionamento de ar (40%) bem como possíveis bonificações. Já o RTQ-R (INMETRO, 2012) destina-se a unidades habitacionais autônomas (UHs) e edificações unifamiliares, tipologias foco deste trabalho, além de edificações multifamiliares e áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínio de edificações residenciais. Os requisitos para a classificação da eficiência energética das UHs são: desempenho térmico da envoltória, eficiência do(s) sistema(s) de aquecimento de água e eventuais bonificações. A ponderação dos pesos dos sistemas é feita de acordo com a região geográfica na qual a edificação está inserida.

Para as áreas comuns são avaliados os requisitos relativos à eficiência do sistema de iluminação artificial, do(s) sistema(s) de aquecimento de água, dos elevadores, das bombas centrífugas, dos equipamentos e de eventuais bonificações.

2.3 INI-R – INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

O atual método de avaliação do nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R) vêm sendo revisado desde o ano de 2014 pelo Procel Edifica juntamente ao CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações), no âmbito do convênio ECV DTP 001-2012, firmado entre a Eletrobras, a Universidade Federal de Santa Catarina e a FEESC (CB3E, 2018b).

Na nova proposta para a avaliação da eficiência energética das edificações residenciais, o RTQ-R passa a ser chamado de Instrução Normativa Inmetro para a classe de eficiência energética de edificações residenciais (INI-R). Na INI-R, que se encontra em desenvolvimento, o consumo de energia elétrica e energia térmica da edificação são levados em consideração, assim como o potencial de geração de energia local renovável. Os consumos energéticos são convertidos em energia primária, fornecendo assim um parâmetro de comparação entre edificações e a possibilidade de somar-se diferentes tipos de energia. Para a atribuição da classe de eficiência energética, proposta para ser de A a D, a edificação real é comparada a uma edificação de referência com características equivalentes à classe C de eficiência energética. A avaliação do consumo energético possui três métodos distintos: método prescritivo, método simplificado e método de simulação, descritos na INI-R. Nos métodos simplificado e de simulação é possível determinar, além do consumo, o percentual de horas da edificação ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente.

Independente do método de avaliação, também se encontra disposto critérios para a avaliação do potencial de geração local de energia renovável, do uso racional da água em edificações e das emissões de dióxido de carbono. O desempenho dos últimos dois itens tem caráter informativo, não influenciando na classificação de eficiência energética das edificações. Os métodos para avaliação do consumo

energético abordados neste trabalho foram o método prescritivo e o método simplificado supracitados.

2.3.1 Método Prescritivo

O método prescritivo, possui cinco requisitos relacionados à envoltória e ao aquecimento de água a serem cumpridos de maneira obrigatória a se obter a etiqueta de eficiência energética. Neste método, apenas a classificação em classe A de eficiência energética é possível. Como limite para a aplicação do método deve-se levar em consideração os itens descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites de aplicação do método prescritivo.

Parâmetro	Limite de aplicação
Tipologia	Edificação residencial unifamiliar
Área útil da UH	$\leq 60 \text{ m}^2$
Área útil do APP	$\leq 16 \text{ m}^2$
Nº de dormitórios	Máximo 3 dormitórios
Pê direito	≤ 3 metros

Fonte: INI-R (CB3E, 2018a).

Os dois primeiros dos cinco requisitos referem-se às características térmicas das paredes externas e coberturas externas, estabelecendo valores limite para estas características. Para a obtenção do requisito de número 3, as aberturas externas dos ambientes de permanência prolongada devem atender a percentuais mínimos de abertura para ventilação, os quais dependem do grupo climático¹. O requisito 4 é cumprido quando as aberturas externas dos ambientes de permanência prolongada possuírem dispositivos de proteção solar. O quinto e último requisito obrigatório do método prescritivo trata do aquecimento de água. Para o cumprimento deste requisito, as unidades habitacionais com sistema de aquecimento de água sem reservatório devem possuir aquecedor de água a gás com condensador e eficiência mínima do aparelho de 0,90. Para as unidades habitacionais que possuírem reservatório de água quente, o requisito apresenta quatro alternativas, sendo necessário o atendimento de

¹ A INI-R adota a classificação de climas proposta por Roriz (2014), esta classificação divide o território brasileiro em 24 grupo climáticos (GC) e substitui a classificação de Zonas Bioclimáticas proposta na NBR 15220-3. A lista com todas as 5.564 cidades do território brasileiro e seus grupos climáticos pode ser encontrada em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Cidades%20e%20GCL.csv>.

uma delas. Estas alternativas, bem como todos os parâmetros para o cumprimento dos requisitos encontram-se dispostos na INI-R.

O consumo de energia primária é estimado em relação à envoltória, aquecimento de água e equipamentos. O critério para avaliação do potencial de geração local de energia por fontes renováveis tem caráter facultativo. A energia gerada por estas fontes locais e renováveis é subtraída do consumo estimado de energia elétrica.

2.3.2 Método Simplificado

No método simplificado, a eficiência energética das unidades habitacionais é avaliada através do consumo dos equipamentos elétricos, sistemas aquecimento de água e da envoltória, sendo o último, avaliado através da análise de simulações paramétricas de um número limitado de casos através de metamodelagem em redes neurais artificiais. A avaliação da envoltória é feita para cada ambiente de permanência prolongada (APP) em função das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento, obtidas através de uma interface digital, disponível no site do CB3E (CB3E, 2018d). A interface também apresenta o percentual de horas ocupadas em conforto térmico para quando a edificação é ventilada naturalmente. Os consumos energéticos resultantes são discriminados por categoria energética: elétrica ou térmica. Para o consumo de energia elétrica, leva-se em consideração os consumos energéticos para aquecimento e para resfriamento, obtidos em função das cargas térmicas, considerando-se um sistema operando com condicionadores de ar do tipo *split* com coeficiente de performance (COP) igual a 3,24, sob intervalos de tempo pré-definidos. Também é considerada a energia gasta no aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica, além do consumo médio estimado de equipamentos. Para energia térmica leva-se em conta os consumos de gás natural (GN), gás liquefeito de petróleo (GLP) ou outras fontes térmicas para aquecimento de água, quando existentes. Através da aplicação dos devidos fatores de conversão, os consumos energéticos encontrados são convertidos em energia primária. O método simplificado também leva em conta a geração local de energia renovável, descontando-se o total gerado localmente do consumo de energia elétrica da unidade habitacional. A classificação da edificação residencial é obtida através do percentual

de redução do consumo de energia primária da edificação analisada em relação ao consumo da edificação de referência. Assim como o método anteriormente citado, este método também possui limites de aplicação, os quais estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Limites de aplicação do método simplificado.

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Absortância solar da cobertura	0,30	0,80
Absortância solar das paredes externas	0,30	0,80
Altura do pavimento em relação ao solo	0	50 m
Área de fachada	0	150 m ²
Área do ambiente	5 m ²	300 m ²
Capacidade térmica da cobertura	20 kJ/(m ² K)	250 kJ/m ² K
Capacidade térmica das paredes externas	30 kJ/(m ² K)	290 kJ/m ² K
Capacidade térmica do piso	50 kJ/(m ² K)	200 kJ/m ² K
Fachadas expostas a ambientes externos	1	2 (dormitório) e 3 (sala)
Fator de abertura para ventilação	0,50	1,00
Fator solar do vidro	0,22	0,87
Pé-direito	2,50 m	5,00 m
Proporção de área de fachada em relação à área de piso (por orientação de fachada e por ambiente)	0	1,50
Fator de vidro na fachada	0,10	0,90
Sombreamento das aberturas	Sem veneziana	Com veneziana
Tamanho da projeção horizontal da sacada ou marquise	0	2 m
Transmitância térmica da cobertura	0,50 W/m ² K	3,50 W/m ² K
Transmitância térmica das paredes externas	0,50 W/m ² K	3,65 W/m ² K
Transmitância térmica do piso	2,00 W/m ² K	3,00 W/m ² K
Transmitância térmica do vidro	2,8 W/m ² K	5,7 W/m ² K

Fonte: INI-R (CB3E, 2018a).

2.3.3 Método de Simulação

O método de simulação é recomendado para as unidades habitacionais que não atendam aos limites de aplicação do método simplificado. Este método aplica-se somente à envoltória da edificação. Além do consumo energético, apresenta também o percentual de horas ocupadas em conforto térmico quando ventilada naturalmente. Os procedimentos para simulação, bem como as características necessárias aos softwares de simulação encontram-se dispostos na INI-R. A conversão em energia primária se dá de maneira igual à descrita no método anterior.

2.3.4 Geração Local de Energia Renovável

A geração de energia local por meio de fontes de energia renováveis deve ser realizada pelas seguintes fontes: solar, hídrica, biomassa, eólica ou cogeração qualificada. Neste trabalho será considerada a aplicação de sistemas de geração de energia renovável de fonte solar. Os sistemas de geração de energia devem estar instalados na edificação analisada ou em seu lote. A energia obtida através destes sistemas é subtraída do consumo de energia elétrica encontrada nos métodos de avaliação supracitados. O indicador do potencial de geração de energia elétrica pelo uso de energia renovável, o qual é expresso na ENCE, é representado pelo percentual de energia consumida pela unidade habitacional que é atendido pela geração local.

2.3.5 Uso Racional de Água

Na parte da INI-R que trata de sistemas de uso racional de água, a avaliação é feita através do percentual de economia de água potável da edificação analisada em relação a um padrão de consumo de referência. Esta avaliação é de caráter informativo e não será abordada neste trabalho.

2.3.6 Emissões de dióxido de carbono

As emissões de dióxido de carbono são estimadas através de fatores de conversão aplicados aos consumos de energia elétrica e energia térmica da edificação. No caso da energia térmica, o fator muda de acordo com combustível utilizado. Esses valores podem ser encontrados na INI-R.

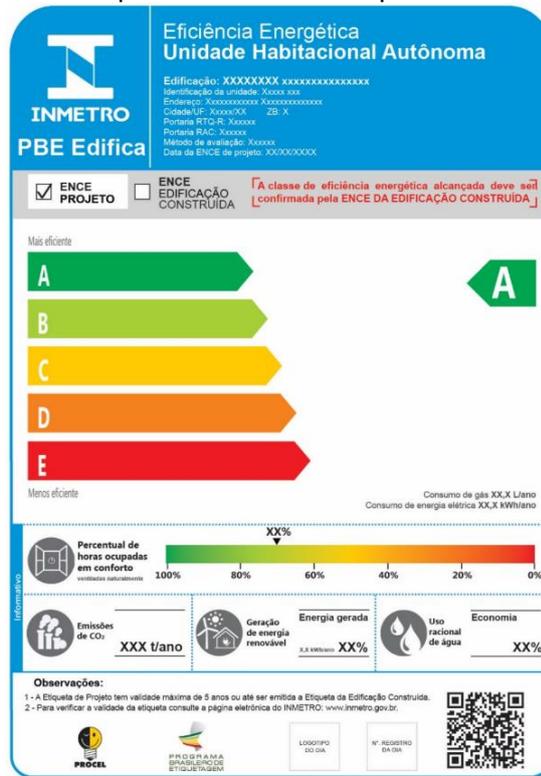
2.3.7 Classe de eficiência energética

A classe de eficiência energética das edificações residenciais é determinada pelo percentual de redução do consumo de energia primária da edificação real quando comparada com o consumo da edificação na condição de referência. Na INI-R encontram-se dispostos os limites dos percentuais de redução de consumo entre as classes, a depender do grupo climático e do número de dormitórios da edificação.

2.3.8 Nova proposta para Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

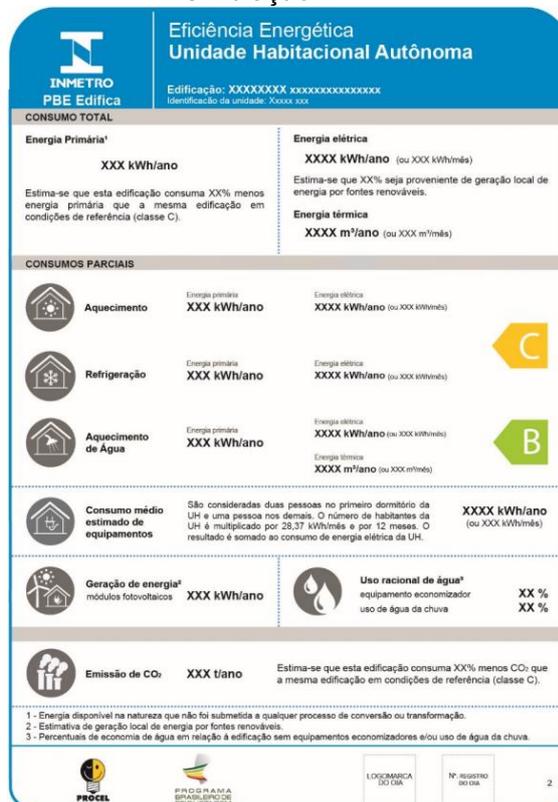
A nova etiqueta proposta para os métodos simplificado e de simulação é diferente da etiqueta proposta para o método prescritivo. A ENCE para os métodos simplificado e de simulação possui três páginas, sendo a primeira página a principal, mostrada na Figura 3. Na primeira página encontra-se a classificação final da edificação com base no consumo de energia primária. Nesta página também são informados o consumo de energia elétrica e gás, cujas definições e unidades são mais conhecidas dos usuários, de modo a melhorar o entendimento do leitor. A parte inferior da primeira página da ENCE para os métodos simplificado e de simulação é de cunho informativo e contém, além da quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO₂), os percentuais de horas ocupadas em conforto, de energia gerada por fontes locais renováveis e de água economizada pelo uso racional. As duas páginas seguintes desta etiqueta contam com informações complementares, como se pode observar nas Figuras 4 e 5. Estas duas páginas contêm informações detalhadas para o usuário que quiser saber mais sobre a avaliação realizada e pode ser acessada por meio do QR Code disponível na primeira página da ENCE. Na segunda página (Figura 4) é possível encontrar informações detalhadas acerca do consumo da edificação e dos itens informativos: Consumos totais e parciais, porcentagem de energia elétrica proveniente de geração local renovável e as emissões de CO₂. Na terceira página (Figura 5) são informadas as condições de avaliação utilizadas: método de avaliação, condições de conforto do método de avaliação utilizado, condições de acionamento de condicionamento de ar, condições de avaliação do aquecimento de água e emissão de CO₂.

Figura 3 - Proposta de Nova ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edificações Residenciais para os métodos simplificado e de simulação.



Fonte: CB3E, 2018c.

Figura 4 – Página 2 para a nova ENCE proposta para os métodos simplificado e de simulação.



Fonte: CB3E, 2018c.

2.4 EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO

2.4.1 Definição

De acordo com Torcellini et al. (2006), Edifícios de Energia Zero (EEZ) (do inglês, *zero energy building – ZEB*) são aqueles em que a energia gerada localmente por fontes renováveis é suficiente para suprir seu consumo energético anual. Esta definição vai de encontro à definição do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), o qual define um EEZ como sendo um edifício que produz energia renovável suficiente para atender às suas necessidades anuais de consumo energético, reduzindo desta forma o uso de energias não renováveis no setor da construção (DOE, 2015).

Torcellini et al. (2006) também destacam que para um edifício se tornar EEZ sem estar conectado a uma rede de distribuição de energia elétrica (*off-grid*) é relativamente complicado dada a necessidade de a energia gerada localmente ser armazenada em baterias para posterior uso, sendo que as atuais tecnologias de armazenamento são limitadas. Além disso não é possível retornar a energia excedente à rede, a fim de compensar um futuro consumo para qual o sistema de geração local não seja suficiente, como acontece nos casos onde o edifício é conectado à rede (*on-grid*), dada a existência desta possibilidade por parte das companhias de distribuição.

Levando em conta as tecnologias disponíveis para geração de energia renovável, Torcellini et al. (2006) desenvolveram um ranking de fontes de energias renováveis no contexto de EEZ, que está disposto na Tabela 5. Os princípios aplicados no desenvolvimento deste ranking baseiam-se em tecnologias que: minimizem o impacto ambiental geral, incentivando projetos de construção energeticamente eficientes e reduzindo as perdas de transporte e conversão; estejam disponíveis durante a vida útil do edifício; sejam amplamente disponíveis e possuam alto potencial de replicação para novos EEZ.

Tabela 5 - Hierarquia das opções de fontes de energia renovável para uso de EEZ.

Opção Número	Opções de locais de fornecimento de energia	Exemplos
0	Reduzir consumo de energia através de tecnologias de baixo consumo de energia	Iluminação natural, sistemas de condicionamento de ar, equipamento e iluminação de alta eficiência, ventilação natural, resfriamento evaporativo.
Opções locais de fornecimento de energia		
1	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis dentro da implantação do edifício	Sistema fotovoltaico, aquecimento solar de água, e sistema eólico localizados no edifício.
2	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis dentro do terreno	Sistema fotovoltaico, aquecimento solar de água, geração hidrelétrica de baixo impacto e sistema eólico localizados no terreno, mas fora do edifício.
Opções externas de fornecimento de energia		
3	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis fora do terreno para gerar energia no terreno	Biomassa, lenha, etanol ou biodiesel podem ser importados de fora do terreno ou subprodutos do terreno que podem ser processados in loco para gerar eletricidade e calor.
4	Compra de energia renovável fora do terreno	Compra de energia gerada por sistemas eólicos, fotovoltaicos, créditos de carbono ou outras opções "verdes" para compra de energia.

Fonte: Torcellini et al. (2006) traduzido por Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013).

Diversos autores defendem que um projeto de EEZ deve ser primeiramente pensado para ter uma alta eficiência energética, para só depois haver o dimensionamento da capacidade do sistema gerador de energia por fontes renováveis. Por este motivo, a eficiência energética é o grau mais alto na hierarquia das fontes de energia renovável e deve ser o primeiro passo para todo e qualquer EEZ.

Ao longo dos anos muitos autores propuseram diferentes definições, Hernandez e Kenny (2010) por exemplo, propuseram a definição de *Life Cycle Zero Energy Buildings - LC-ZEB* (Edifício de Energia Zero Ciclo de Vida), a qual inclui no balanço energético do edifício toda a energia envolvida no ciclo de vida dos materiais e processos da sua construção. Goldstein et al. (2010) sugeriu a possibilidade da adição ao balanço energético da energia consumida no transporte dos usuários até o EEZ. Pogharian et al. (2008) apresentam uma possibilidade de definição de EEZ, onde há a contabilização do custo energético embutido nos alimentos, desde sua produção até o seu consumo, levando-se em conta os processos de operação de máquinas agrícolas, irrigação, transporte e refrigeração. Além disso, também se considera a energia usada na produção e aplicação de fertilizantes e agrotóxicos. Esta definição se fundamenta na dependência atual da indústria agrícola em combustíveis fósseis,

nas ineficiências associadas a vastos campos de monocultura, os quais dependem fortemente do uso de fertilizantes, além do armazenamento, processamento e transporte por milhares de quilômetros entre o campo e o consumidor final.

Um EEZ pode ser definido de muitas maneiras, definições diferentes podem ser apropriadas dependendo dos objetivos do projeto, dos valores dos projetistas e do proprietário e da política energética do governo no país em questão. Segundo Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013), a falta de compatibilidade entre as definições de EEZ derivam das diferentes definições de energia, sobre geração própria, sobre consumo próprio, sobre medição da energia e o período do balanço a ser considerado. Torcellini et al. (2006) apresentam quatro definições diferentes de energias utilizadas em definições de EEZ, ou seja, como a energia do balanço deve ser contabilizada:

- **EEZ de energia local:** Um edifício em que a energia gerada é suficiente para superar os gastos anuais da energia importada da rede.
- **EEZ de energia primária:** Um edifício onde a energia gerada é suficiente para superar os gastos energéticos anuais, em termos de energia primária, a qual leva em conta os gastos energéticos causados na geração, transmissão e distribuição da fonte energética utilizada, aplicando-se aos consumos os devidos fatores de conversão.
- **Edifícios de custo zero de energia:** Um edifício onde a quantidade de dinheiro ganha pela exportação de energia para a rede elétrica é igual ou maior a quantidade paga pelo uso energético ao longo do ano.
- **Edifícios de energia de emissão zero:** Um edifício onde a geração de energia renovável de emissão zero é igual ou maior a energia consumida proveniente de fontes de energia geradoras de emissões.

O presente trabalho usará a definição de EEZ de energia local.

2.4.2 Cenário Mundial e Nacional

Atualmente, alguns governos incorporaram no seu planejamento metas referentes a EEZ. Um exemplo disso acontece na União Europeia, onde na Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (UE, 2010), os Estados Membros asseguram que após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas tenham necessidades quase nulas de energia e que até 31 de

Dezembro de 2020, todos os novos edifícios tenham necessidades quase nulas de energia. Nos Estados Unidos, as comissões de serviços públicos e de energia do governo da Califórnia através do Plano Estratégico de Eficiência Energética da Califórnia (do inglês, *California Energy Efficiency Strategic Plan*) colocam as seguintes metas: todas as novas edificações residenciais serão EEZ até 2020; todas as novas edificações comerciais serão EEZ até 2030; 50% dos edifícios comerciais serão adequados para se tornarem EEZ; 50% das novas grandes reformas de edifícios do estado serão EEZ até 2025 (*CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION, 2008*). Além das instituições governamentais, muitos estudos são publicados com a temática de EEZ, um exemplo é o artigo produzido por G. Evola, G. Margani e L. Marletta (2013) que buscou soluções técnicas e econômicas em detalhes construtivos no clima do mediterrâneo, com a finalidade de definir um padrão de medição para EEZ nos países que compartilham destas características climáticas. Estudos como este estão se tornando cada vez mais comuns no cenário mundial, aumentando cada vez mais a importância do tema e trazendo diretrizes para obtenção de EEZ em larga escala.

No Brasil ainda não há metas para EEZ, porém a aplicação da INI-R, explicada em tópicos anteriores, abre uma possibilidade de avaliação das edificações neste sentido, já que nela leva em conta os consumos das edificações e a possibilidade de avaliação da introdução de sistemas de geração de energia local renovável.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012) estabelece as regras para o sistema de “compensação de energia”. O qual tornou possível a exportação do excedente de energia gerada localmente para a rede pública em troca de créditos de energia, que podem ser usados em 60 meses em edifícios do mesmo proprietário. Em 24 de novembro de 2015 foi publicada a Resolução Normativa ANEEL nº 687, de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015), a qual altera alguns aspectos da resolução anteriormente citada, mantendo o sistema de compensação de energia. Apesar de não ser possível a venda para a rede pública, tal regulamentação surge como uma motivação a mais para projetos que buscam substituir integralmente o consumo de energia, reduzindo a preocupação acerca da compensação por eventuais excedentes, mesmo que ocasionais, favorecendo o aumento de EEZ.

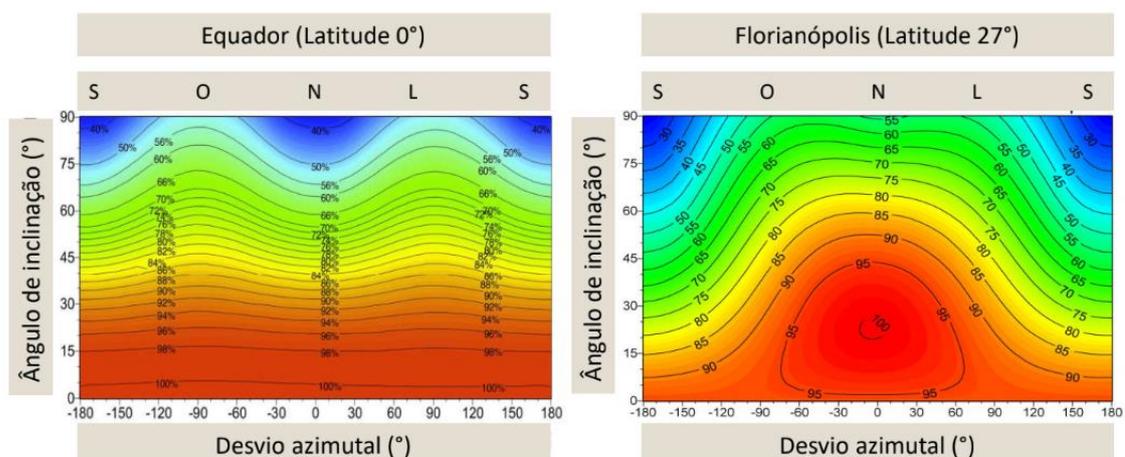
De acordo com Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013), a necessidade de redução de perdas em transporte de energia surge na busca pela eficiência energética, portanto, os sistemas de geração de energia a partir de fontes de renováveis devem

ser instalados o mais próximo possível do ponto de consumo (EEZ). Este raciocínio define uma hierarquia entre fontes renováveis de energia, a qual incentiva a redução da distância entre geração e consumo. Os sistemas geradores de energia que podem ser instalados na área de implantação dos edifícios são o grau máximo que pode ser alcançado em redução de perda de energia por transporte. Por este motivo, gerações fotovoltaica ou eólica são preferíveis à geração micro hidroelétrica.

De maneira geral, as tecnologias mais aplicáveis para o emprego em projetos de EEZ são sistema de aquecimento de água por energia solar e sistemas de geração fotovoltaica (TORCELLINI, 2006). Segundo Rüter (2004), a tecnologia solar fotovoltaica tem sua energia captada proveniente de fonte renovável, sua operação é silenciosa e não gera poluição, é de simples operação e os módulos fotovoltaicos podem ser integrados nas edificações, ao serem incorporados à arquitetura.

Apesar de todos os benefícios da tecnologia fotovoltaica, é necessário que se projete estes sistemas de modo a maximizar a incidência solar nos módulos, para assim obter-se o melhor aproveitamento possível em relação à captação de energia. Por conta disso, a orientação e inclinação dos módulos deve ser pensada no projeto. Em sua tese, Zomer (2014) expõe as diferenças percentuais na incidência energética sob os módulos em diferentes orientações e inclinações, para as latitudes de 0° e de 27°. Estas informações podem ser visualizadas na Figura 8.

Figura 8 – Variação da irradiação solar para diferentes posições e localidades.



Fonte: ZOMER, 2014.

No presente trabalho, no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, os módulos serão considerados orientados para norte, com 27° de inclinação (igual à latitude do local).

2.5 SÍNTESE SOBRE O CAPÍTULO

Com a previsão no aumento no consumo energético, a nível mundial e no Brasil, faz-se necessário tanto a busca pela produção energética a partir de fontes renováveis, quanto, principalmente, a diminuição na demanda energética dos edifícios. Os governos possuem um papel fundamental na busca pela eficiência energética em edificações, desenvolvendo programas com esta finalidade. Programas de etiquetagem por exemplo, permitem aos usuários efetuarem a escolha de produtos que apresentam um menor consumo energético em relação a outros de mesma categoria. Normativas possibilitam a construção de edifícios seguindo parâmetros mínimos de desempenho, garantindo um nível mínimo de eficiência energética.

Na nova proposta para a avaliação da eficiência energética das edificações residenciais, a INI-R, através dos métodos descritos é possível estimar os consumos energéticos de edificações residenciais, possibilitando uma melhor visualização dos parâmetros que mais influenciam nos consumos energéticos, auxiliando na busca de um projeto mais eficiente e com uma melhor classificação. Também é possível estimar o potencial de geração de energia local de fontes renováveis, favorecendo o surgimento de EEZ.

Atualmente EEZ fazem parte das metas buscadas que vão de encontro à eficiência energética, diminuindo a dependência dos sistemas centralizados, e conseqüentemente, diminuindo eventuais perdas ao longo do processo produtivo e da longa cadeia distributiva. Em muitos países, os EEZ já estão presentes como meta em seus planos energéticos, no Brasil ainda não existem metas para a obtenção de EEZ, porém, é possível exportar a energia produzida para a rede, gerando créditos que abatem a energia importada, uma diretriz que representa um passo importante no desenvolvimento de políticas de EEZ.

3 MÉTODO

A metodologia utilizada para o presente trabalho consiste na avaliação da eficiência energética de duas edificações residenciais unifamiliares existentes na região da Grande Florianópolis através da aplicação dos métodos prescritivo e simplificado da INI-R. As edificações localizam-se no Grupo Climático 1-b. Medidas de eficiência energética de possível execução foram aplicadas às edificações já avaliadas para então serem novamente classificadas em relação à eficiência energética, utilizando os mesmos métodos de avaliação da INI-R. Com os novos valores de consumo obtidos pelo método simplificado, sistemas fotovoltaicos foram dimensionados objetivando, a obtenção de balanço energético zero.

O método é detalhado nos itens a seguir.

3.1 ESCOLHA DAS UNIDADES E LEVANTAMENTO EM CAMPO

Foram selecionadas duas edificações residenciais unifamiliares na região da Grande Florianópolis, construídas sob o Programa Minha Casa Minha Vida do Governo Federal com faixa de renda 1,5.

Objetivando a aplicação dos métodos prescritivo e simplificado para avaliação de eficiência energética das edificações, foram avaliadas quais seriam as variáveis necessárias a serem coletadas em campo. Estas variáveis foram reunidas em um formulário pré-estruturado, que posteriormente foi utilizado nos levantamentos em campo. As variáveis que não puderam ser levantadas em campo, como por exemplo dados de transmitância e capacidade térmica dos materiais, foram obtidos de composições equivalentes disponíveis no Anexo V dos Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) (INMETRO, 2013) ou calculados de acordo com o método de cálculo da NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para o levantamento foi utilizada trena graduada em milímetros, bússola e câmera fotográfica de aparelho celular. O formulário utilizado encontra-se no Anexo A deste trabalho.

As edificações analisadas neste trabalho serão denominadas doravante como Unidade Habitacional 01 e Unidade Habitacional 02.

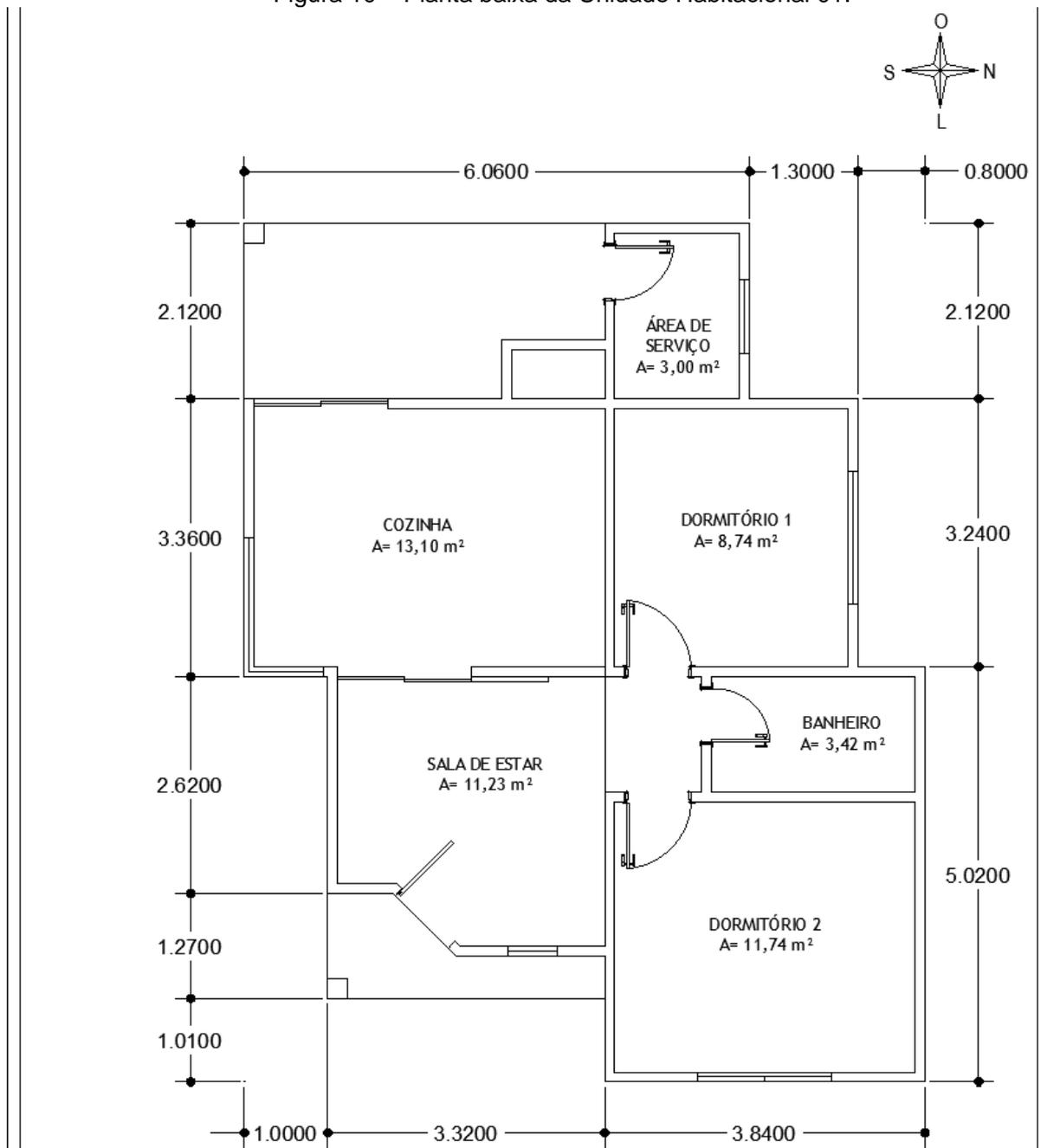
3.1.1 Unidade Habitacional 01

A primeira edificação analisada foi construída no ano de 2011, sob o programa Minha Casa Minha Vida, na cidade de Tijucas/SC (Zona Bioclimática 3). Possui três moradores, dois adultos e uma criança. A Figura 8 apresenta a foto da edificação e a Figura 9 a sua planta baixa, elaborada a partir das medições em campo.

Figura 9 – Unidade Habitacional 01.



Figura 10 – Planta baixa da Unidade Habitacional 01.



A residência encontra-se implantada num lote de 368,32 m². Apresenta um pavimento térreo com pé direito de 2,85 m, área total construída de 69,40 m² e área útil de 51,23 m².

Dos ambientes apresentados, três são de permanência prolongada: sala de estar, dormitório 1 e dormitório 2. A UH01 possui sistema de condicionamento de ar do tipo *split* no dormitório 2. O equipamento é da marca Komeco, possui potência de 7.000btus/h e selo Procel de Economia de Energia com classe A de eficiência energética. O sistema construtivo conta com estrutura de vigas e pilares em concreto armado, paredes de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos, lajes no piso e no

teto do tipo pré-moldada, constituídas por vigotas de concreto e telhas de cerâmica. As telhas de material cerâmico apoiam-se sobre lajes inclinadas, estas também pré-moldadas. Para a determinação da transmitância e capacidade térmica da cobertura utilizou-se o procedimento de cálculo presente na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para os dados de transmitância e capacidade térmica das paredes externas, foi utilizada a composição nº 41 do Anexo V do RAC (INMETRO, 2013). A descrição dos componentes e seus valores de transmitância e capacidade térmica encontram-se descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Características térmicas dos componentes construtivos da UH 01.

	Descrição	Transmitância térmica - U (W/m²K)	Capacidade térmica - CT (kJ/m²K)
Parede	Argamassa interna (2,5 cm), Bloco cerâmico (9,0 x 19,0 x 19,0 cm) e Argamassa externa (2,5 cm)	2,39	151
Cobertura	Laje pré-moldada (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm), Câmara de ar (>5,0 cm), Laje pré-moldada (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm), Telhas Cerâmicas	1,87	350,62

O valor de absorptância solar adotado para as fachadas e cobertura foi o mesmo, com valor de 0,611, ou 61,1%, equivalente à cor nº 23 Cinza BR do Anexo V do RAC.

Para estimar os fatores de ventilação das aberturas, foram utilizados os valores indicados na INI-R em função do tipo de abertura. A janela da sala foi considerada uma janela de tombar com uma inclinação de 45°, abertura nº 7 na tabela de aberturas da INI-R. As dos dormitórios são deslizantes com duas folhas, equivalentes à abertura nº 2 da mesma tabela. Na Tabela 7 estão mostradas as dimensões das janelas dos ambientes de longa permanência.

Tabela 7 – Dimensões das janelas dos ambientes de longa permanência.

Ambiente	Altura (m)	Largura (m)	Fator de ventilação
Sala	1,125	0,6	0,6
Dormitório 1	1,1	1,6	0,5
Dormitório 2	1,1	1,6	0,5

Todas elas são de alumínio, com vidros simples de 3 mm com fator solar de 0,87 e transmitância térmica de $5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, sendo estes considerados iguais à condição de referência. As aberturas não possuem veneziana.

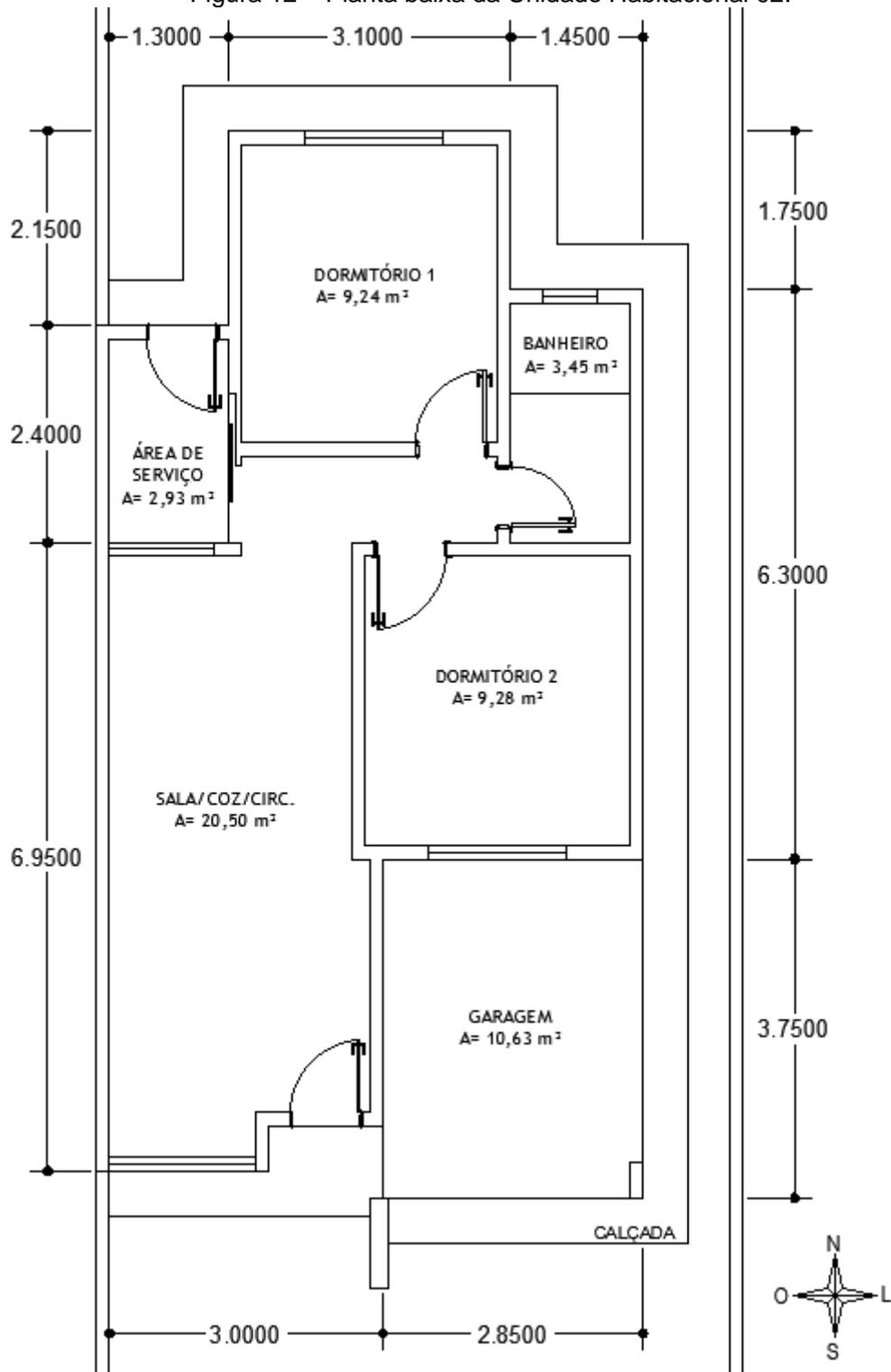
3.1.2 Unidade Habitacional 02

A segunda edificação analisada foi edificada na cidade de Tijucas/SC (Zona Bioclimática 3) no ano 2014, também pelo programa Minha Casa Minha Vida. Possui dois moradores, um adulto e uma criança. A UH02 é apresentada na Figura 10 e a sua planta baixa na Figura 11, elaborada através de medições em campo.

Figura 11 – Unidade Habitacional 02.



Figura 12 – Planta baixa da Unidade Habitacional 02.



A edificação está implantada num lote de $181,30 \text{ m}^2$ e possui um pavimento térreo com pé direito de 2,80 metros. A área total edificada é de $77,82 \text{ m}^2$ e a área útil é de $45,40 \text{ m}^2$.

Na edificação, três ambientes são de permanência prolongada: sala, dormitório 1 e dormitório 2. A UH02 não conta com sistema de condicionamento de ar. A estrutura é composta de vigas e pilares em concreto armado, paredes de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos, laje no teto do tipo pré-moldada, constituída por vigotas de concreto e telhas de cerâmica, com cobertura em telha de fibrocimento.

Para obtenção dos dados de transmitância e capacidade térmicas das paredes externas, foi utilizada a composição de nº 41, do Anexo V do RAC. Já para a cobertura, a composição considerada foi a de nº 10. A descrição dos componentes e seus valores de transmitância e capacidade térmica encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Características térmicas dos componentes construtivos da UH 02.

	Descrição	Transmitância térmica - U (W/m²K)	Capacidade térmica - CT (kJ/m²K)
Parede	Argamassa interna (2,5 cm), Bloco cerâmico (9,0 x 19,0 x 19,0 cm) e Argamassa externa (2,5 cm)	2,39	151
Cobertura	Laje pré-moldada (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm), Câmara de ar (>5,0 cm), Telha Fibrocimento 0,8cm	1,79	180

A absorptância solar adotada para as paredes externas provém da cor palha, cor de nº 27 no Anexo V do RAC, que tem valor estimado de 0,396, ou 39,6%. Já na cobertura, de acordo com a cor das telhas de fibrocimento, foi adotado o valor de 0,715, ou 71,5%, equivalente à cor Concreto de nº 53.

Para estimar os fatores de ventilação das aberturas, foram utilizados os valores indicados na INI-R em função do tipo de abertura. Tanto a janela da sala quanto as dos dormitórios são do tipo deslizante, com duas folhas, equivalente a abertura de nº 2 na tabela de aberturas da INI-R. Na Tabela 9 estão expostas as dimensões das aberturas dos ambientes de longa permanência, bem como seus fatores de ventilação.

Tabela 9 - Dimensões das janelas dos ambientes de longa permanência.

Ambiente	Altura (m)	Largura (m)	Fator de ventilação
Sala	1,56	1,56	0,5
Dormitório 1	1,16	1,46	0,5
Dormitório 2	1,16	1,46	0,5

Todas as aberturas são de alumínio, com vidros simples de 3 mm com fator solar de 0,87 e transmitância térmica de $5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, sendo estes considerados iguais à condição de referência. As aberturas não possuem veneziana.

3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO

Ambas as edificações atendem aos limites de aplicação do método prescritivo da INI-R. Portanto, buscou-se obter a classificação e o consumo energético das unidades habitacionais através deste método, comparando os dados da edificação aos cinco requisitos necessários para a classificação em nível A.

3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO

Para as UHs analisadas no presente trabalho, foram avaliados os sistemas de envoltória, aquecimento de água, emissão de CO_2 e potencial de geração de energia local renovável. O uso racional da água não foi avaliado. Os cálculos para a obtenção da classe de eficiência energética da envoltória, do aquecimento de água e classe geral da UH foram realizados através de uma planilha Excel, a qual segue os procedimentos descritos na INI-R, elaborada e disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da UFSC.

3.3.1 Envoltória

Na INI-R, encontram-se os critérios para avaliação da eficiência energética da envoltória dos ambientes de permanência prolongada quanto ao consumo energético e ao percentual de horas ocupadas em conforto térmico quando ventilada naturalmente. As edificações foram avaliadas utilizando a interface do metamodelo, disponível no site do CB3E, para o sistema de envoltória. Os dados de entrada na interface para as duas UHs avaliadas encontram-se dispostos nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Dados de entrada da UH01.

Ambiente:	SALA	DORMITÓRIO 01	DORMITÓRIO 02
Fator de vidro na fachada NORTE:	0,00	0,20	0,00
Fator de vidro na fachada SUL:	0	0	0
Fator de vidro na fachada LESTE:	0,07	0,00	0,17
Fator de vidro na fachada OESTE:	0	0	0
Área de fachada NORTE:	0,00	8,89	9,29
Área de fachada SUL:	9,29	0,00	3,99
Área de fachada LESTE:	9,12	0,00	10,26
Área de fachada OESTE:	0	3,36	0
Área do ambiente:	11,23	8,74	11,74
Capacidade térmica das paredes externas (kJ/m ² .K):	151,00 (Média)	151,00 (Média)	151,00 (Média)
Transmitância térmica das paredes externas (W/(m ² .K)):	2,39	2,39	2,39
Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² .K):	350,62 (Alta)	350,62 (Alta)	350,62 (Alta)
Transmitância térmica da cobertura (W/(m ² .K)):	1,87	1,87	1,87
Transmitância do vidro:	5,70	5,70	5,70
Fator solar do vidro:	0,87	0,87	0,87
Tipo de piso do pavimento:	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica
Pé direito:	2,85	2,85	2,85
Absortância solar das paredes externas:	0,61	0,61	0,61
Absortância solar da cobertura:	0,61	0,61	0,61
Tamanho da projeção:	0	0	0
Altura do pavimento:	0	0	0
Veneziana:	NÃO	NÃO	NÃO
Fator de altura da abertura:	0,39	0,39	0,39
Fator de abertura para ventilação:	0,60	0,50	0,50
Pilotis:	NÃO	NÃO	NÃO
Exposição do piso:	SOLO	SOLO	SOLO
Exposição da cobertura:	EXPOSTA	EXPOSTA	EXPOSTA

Tabela 11 - Dados de entrada da UH02.

Ambiente:	SALA	DORMITÓRIO 01	DORMITÓRIO 02
Fator de vidro na fachada NORTE:	0	0,22	0
Fator de vidro na fachada SUL:	0,30	0	0,22
Fator de vidro na fachada LESTE:	0	0	0
Fator de vidro na fachada OESTE:	0	0	0
Área de fachada NORTE:	0	7,84	0
Área de fachada SUL:	7,98	0,00	7,56
Área de fachada LESTE:	7,84	4,48	8,96
Área de fachada OESTE:	18,62	5,60	0,00
Área do ambiente:	20,50	9,24	9,28
Capacidade térmica das paredes externas (CTParExt):	151,00 (Média)	151,00 (Média)	151,00 (Média)
Transmitância térmica das paredes externas (UParExt):	2,39	2,39	2,39
Capacidade térmica da cobertura (CTCob):	180,000 (Média)	180,000 (Média)	180,000 (Média)
Transmitância térmica da cobertura (UCob):	1,79	1,79	1,79
Transmitância do vidro:	5,70	5,70	5,70
Fator solar do vidro:	0,87	0,87	0,87
Tipo de piso do pavimento:	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica
Pé direito:	2,80	2,80	2,80
Absortância solar das paredes externas:	0,40	0,40	0,40
Absortância solar da cobertura:	0,72	0,72	0,72
Tamanho da projeção:	0	0	2,00
Altura do pavimento:	0	0	0
Veneziana:	NÃO	NÃO	NÃO
Fator de altura da abertura:	0,56	0,41	0,41
Fator de abertura para ventilação:	0,50	0,50	0,50
Pilotis:	NÃO	NÃO	NÃO
Exposição do piso:	SOLO	SOLO	SOLO
Exposição da cobertura:	EXPOSTA	EXPOSTA	EXPOSTA

A interface gera valores de carga térmica para aquecimento e para resfriamento, para cada ambiente, em kWh/(m².ano), além do percentual de horas ocupadas em conforto térmico quando a edificação é naturalmente ventilada. Calculadas as cargas térmicas para aquecimento e refrigeração, procede-se com o cálculo do percentual de redução destas em relação às cargas térmicas da edificação de referência. O percentual de redução de carga térmica de refrigeração do APP é calculado pela

Equação 1 e o percentual de redução da carga térmica de aquecimento do APP é calculado pela Equação 2 (o último aplica-se somente aos grupos climáticos 1 a 8).

$$\%RedCgTR = \frac{(CgTR_{APPref} - CgTR_{APPreal})}{(CgTR_{APPref})} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

%RedCgTR é o percentual de redução da carga térmica para refrigeração do ambiente de permanência prolongada (%);

$CgTR_{APPreal}$ é a carga térmica para refrigeração do ambiente de permanência prolongada da edificação real (kWh/(m².ano));

$CgTR_{APPref}$ é a carga térmica para refrigeração do ambiente de permanência prolongada da edificação na condição de referência (kWh/(m².ano)).

$$\%RedCgTA = \frac{(CgTA_{APPref} - CgTA_{APPreal})}{(CgTA_{APPref})} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

%RedCgTA é o percentual de redução da carga térmica para aquecimento do ambiente de permanência prolongada (%);

$CgTA_{APPreal}$ é a carga térmica para aquecimento do ambiente de permanência prolongada da edificação real (kWh/(m².ano));

$CgTA_{APPref}$ é a carga térmica para aquecimento do ambiente de permanência prolongada da edificação na condição de referência (kWh/(m².ano)).

Deve-se observar que quando a carga térmica anual de aquecimento ou refrigeração da edificação de referência e/ou da edificação real resultar em valor menor do que 1,0 kWh/(m².ano), o valor 1,0 deve ser adotado. Estes casos são definidos como Classe A e recebem Equivalente Numérico de Eficiência Energética da APP igual a 3.

Definidos os percentuais de redução das cargas térmicas, calcula-se o equivalente numérico de eficiência energética do APP para resfriamento e aquecimento. Os equivalentes numéricos de eficiência energética dos APP para refrigeração ($EqNum_{APPr}$) e para aquecimento ($EqNum_{APPa}$) são obtidos através de diferentes equações, a depender da situação, ao se comparar o percentual de redução da carga térmica para refrigeração do APP com o limite inferior de cada classe de eficiência. Quanto mais alto o valor do percentual de redução da carga térmica para refrigeração do APP real em relação à condição de referência, maior será o seu equivalente numérico e por consequência, mais eficiente será o APP.

Após isso, calcula-se o equivalente numérico de eficiência energética da envoltória da UH para refrigeração ($EqNum_{UHr}$) e aquecimento ($EqNum_{UH a}$) pela da ponderação dos equivalentes numéricos dos APPs para refrigeração e aquecimento

pelas suas respectivas áreas úteis. Por fim, através da ponderação dos equivalentes numéricos da UH para refrigeração e aquecimento pelas cargas térmicas para refrigeração e aquecimento da edificação na condição de referência, obtém-se o equivalente numérico global de eficiência energética da envoltória da UH.

Para a classificação do nível de eficiência energética da envoltória da UH, o equivalente numérico global de eficiência energética da envoltória da UH deve ser comparado aos valores presentes na Tabela 12.

Tabela 12 – Escala de classificação da eficiência energética da envoltória da UH.

A	B	C	D
EqNumUH \geq 3	3 > EqNumUH \geq 2	2 > EqNumUH \geq 1	EqNumUH < 1

Fonte: INI-R (CB3E, 2018a).

Os consumos energéticos da envoltória da UH real e da UH com características de referência são obtidos através de um somatório ponderado das cargas térmicas dos APPs por suas respectivas áreas úteis, dividindo-se pelo coeficiente de performance (COP) do sistema de condicionamento de ar, com valor de 3,24 para sistemas *split*, independente do grupo climático.

Os consumos energéticos das envoltórias da UH real e da UH com características de referência é o somatório dos consumos para refrigeração e para aquecimento.

Os cálculos para a classificação das envoltórias e para a estimação dos consumos energéticos das UHs reais e na condição de referência foram realizados através da planilha Excel supracitada.

3.3.2 Aquecimento de água

Nas duas unidades habitacionais avaliadas, o sistema de aquecimento de água é de aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico). Neste caso, considera-se apenas o consumo de energia elétrica necessário para aquecer a água usada pelos moradores (50 litros/pessoa/dia, no mínimo), da sua temperatura ambiente até sua temperatura esperada de consumo, considerando-se a eficiência do equipamento aquecedor. Quando aplicável, devem-se considerar as demais parcelas que tratam da perda em reservatórios térmicos, perdas na tubulação de distribuição de água quente, ganho por recirculação e por sistemas de aquecimento

de água por energia solar. Os cálculos também foram efetuados com auxílio da planilha excel.

3.4 CONSUMOS ENERGÉTICOS DA UH POR TIPO DE ENERGIA

Os cálculos dos consumos foram feitos com auxílio da planilha excel disponibilizada pelo LabEEE. Os procedimentos considerados encontram-se descritos abaixo e detalhados na INI-R.

3.4.1 Consumo total de energia elétrica

O consumo total de energia elétrica das edificações é calculado somando-se os consumos para refrigeração, para aquecimento e para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica. A este consumo também deve ser adicionado um consumo médio estimado de equipamentos, descrito na INI-R. Também deve-se descontar do consumo de energia elétrica da edificação real o potencial de geração local de energia renovável. A Equação 3 expressa o cálculo do consumo total de energia elétrica para a edificação real. Para a edificação com características de referência o cálculo procede de maneira semelhante, porém, não é descontado o potencial de geração local de energia renovável.

$$C_{EEreal} = CR_{UHreal} + CA_{UHreal} + C_{AAE} + C_{EQ} - G_{EE} \quad \text{Equação (3)}$$

C_{EEreal} é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);
 CR_{UHreal} é o consumo energético para refrigeração da edificação real (kWh/ano);
 CA_{UHreal} é o consumo energético para aquecimento da edificação real (kWh/ano);
 C_{AAE} é o consumo total para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica (kWh/ano);
 C_{EQ} é o consumo médio estimado de equipamentos (kWh/ano);
 G_{EE} 1 locais de energia elétrica (kWh/ano).

3.4.1.1 Consumo médio de equipamentos

Aos consumos provenientes de fontes de energia elétrica, deve ser adicionado um consumo referente ao consumo estimado de equipamentos. Para este cálculo consideram-se duas pessoas por dormitório, cada uma com um consumo de 28,37 kWh/mês.

3.4.2 Consumo total de energia térmica

O consumo total de energia térmica provém do consumo de energia para aquecimento de água por fontes térmicas, como gás natural (GN), gás liquefeito de petróleo (GLP) ou semelhantes. Neste trabalho não será utilizada nenhuma energia proveniente de fontes térmicas.

3.4.3 Conversão para energia primária

Os fatores de conversão para energia primária dependem do tipo de energia e da sua fonte. A INI-R considera os valores de conversão para energia primária descritos na Tabela 13. Nas duas UHs analisadas neste trabalho a energia utilizada é integralmente elétrica.

Tabela 13 – Fatores de conversão para energia primária.

Fonte de energia	Fator de conversão	
Energia elétrica	fc_e	1,6
Energia térmica - Gás Natural (GN)	fc_t	1,1
Energia térmica – Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	fc_t	1,1

Fonte: INI-R (CB3E, 2018a).

3.5 CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA UH

A classe de eficiência energética da UH é calculada a partir do percentual de redução do consumo de energia primária da edificação real em relação a edificação com as características de referência. A Tabela 14 mostra os limites inferiores dos percentuais de redução de consumo entre uma classe e outra, em função do número de dormitórios, para os grupos climáticos.

Tabela 14 – Escala de classificação da eficiência energética de UHs nos Grupos Climáticos 1 a 24.

Percentual de Redução de Consumo de energia primária (%RedC _{EP}) - GC 1 a 24									
Classe	LimInf A				LimInf B				LimInf C
APP	Sala + (n ^o Dormitórios)				Sala + (n ^o Dormitórios)				-
GC	01	02	03	04	01	02	03	04	-
1a - 1b	45	40	35	30	30	25	20	15	0
2-4	40	35	30	25	25	20	15	10	0
5-6	30	28	25	20	20	18	15	10	0
7-8	35	30	28	25	22	20	18	10	0
9	35	30	28	25	20	15	12	10	0
10	48	42	38	35	25	20	18	15	0
11 - 12	44	40	38	35	22	20	18	15	0
13 - 14	32	30	28	25	18	15	12	10	0
15 - 16	32	30	28	25	18	15	12	10	0
17	25	23	21	20	18	15	12	10	0
18	22	20	18	16	15	12	10	08	0
19 - 20	20	18	16	15	15	12	10	08	0
21 - 22	24	22	20	18	15	12	10	08	0
23 - 24	25	23	22	20	18	15	12	10	0

Fonte: INI-R (CB3E, 2018a).

O percentual de horas ocupadas conforto térmico quando ventilada naturalmente (PHOC_T) é definido pelo resultado da média das horas ocupadas em conforto térmico de cada APP, ponderada pela respectiva área útil, como encontra-se expresso na Equação 4.

$$PHOC_T = \frac{(\%_{APP1} \cdot AU_{APP1} + \dots + \%_{APPn} \cdot AU_{APPn})}{(AU_{APP1} + \dots + AU_{APPn})} \quad \text{Equação (4)}$$

PHOC_T é o percentual de horas da UH ocupadas em conforto térmico quando ventilados naturalmente (%);

%_{APPn} é o percentual de horas de cada APP ocupadas em conforto térmico quando ventilados naturalmente (%);

AU_{APPn} é a área útil de cada APP.

3.6 EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Nas duas UHs avaliadas, há o consumo apenas de energia elétrica. O fator de conversão aplicado para energia elétrica, obtida através do Sistema Interligado Nacional é de 0,09 kg.CO₂/kWh.

3.7 ANÁLISE DAS MEDIDAS A SEREM IMPLANTADAS

Nos casos onde não foi obtida classe A de eficiência energética, foram implantadas medidas de possível aplicação. Pelo fato de as UHs analisadas estarem já edificadas, algumas das modificações nos parâmetros levados em consideração pelos métodos prescritivo e simplificado são inviáveis ou mesmo impraticáveis, como por exemplo mudança de orientação, mudança na área das aberturas, mudança nas áreas dos ambientes, troca dos componentes construtivos das paredes e da cobertura (adições de materiais podem ser viáveis a depender do caso), exposição dos pisos, pé-direito, entre outros. Para a envoltória, foram incorporadas venezianas em todas as aberturas dos APP, além da mudança das absortâncias solares das paredes externas e das coberturas para 0,3, ou 30%, valores relativos a cores mais claras.

Para o sistema de aquecimento de água, procurou-se dimensionar um sistema de aquecimento solar, utilizando o chuveiro elétrico em casos onde não é possível ter-se água quente por fonte solar. Os coletores e reservatórios foram selecionados através das tabelas de eficiência, disponibilizadas pelo Inmetro (INMETRO, 2018b). Será implantado um sistema de distribuição com tubulação polimérica com diâmetro de 22 mm, isolamento de 13 mm e extensão de 7 m. O dimensionamento do sistema de aquecimento de água por energia solar será realizado de acordo com os procedimentos descritos na INI-R, utilizando a planilha excel disponibilizada pelo LabEEE como ferramenta de cálculo. As médias mensais de irradiação solar, num plano orientado para norte, com 27° de inclinação em relação à horizontal, estão apresentadas na Tabela 15. A inclinação de 27° é referente à latitude e é recomendada para se ter uma maior exposição solar durante o ano.

Tabela 15 – Médias mensais de irradiação solar para o município de Tijucas – SC, para uma inclinação de 27° N, em (kWh/m².dia).

JAN	5,10
FEV	5,13
MAR	4,79
ABR	4,31
MAI	3,93
JUN	3,41
JUL	3,55
AGO	4,05
SET	3,75
OUT	4,02
NOV	4,84
DEZ	5,07

Fonte: CRESESB, 2016.

3.8 REAPLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO

Após a aplicação das modificações descritas anteriormente, foi novamente aplicado o método prescritivo.

3.9 REAPLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO

Com os novos parâmetros definidos, foi realizada a aplicação do método simplificado novamente, a fim de se obter diminuição da carga térmica de resfriamento e consequente melhoria no consumo. Os dados de entrada na interface do metamodelo, além da adição de venezianas e mudança nas absortâncias, continuam os mesmos apresentados nas Tabelas 10 e 11. No aquecimento de água, foi feito o dimensionamento e aplicado o sistema de aquecimento solar mencionado anteriormente.

3.10 GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA RENOVÁVEL E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS

O procedimento para avaliação do uso de sistemas de geração local de energia renovável encontra-se disposto na INI-R. As UHs avaliadas neste trabalho não possuem geração local de energia renovável. A fim de mensurar a capacidade

geradora do sistema fotovoltaico necessária para obtenção da classificação de EEZ, foram dimensionados sistemas fotovoltaicos que atendessem a demanda anual de energia elétrica.

O dimensionamento descrito a seguir foi feito conforme a publicação de Marinovski, Salamoni e Ruther (2004). A área de módulos a ser instalada é estimada através do cálculo da potência nominal (gerada a partir da radiação solar) necessária para suprir o consumo energético anual da edificação. Como dado de demanda energética ao longo do ano, foi utilizado o valor de consumo de energia elétrica expresso em kWh/ano. A Equação 5 expressa a potência nominal instalada (P_{CC}) necessária no atendimento à demanda da edificação.

$$P_{CC} = \frac{\left(\frac{E}{G}\right)}{R} \quad \text{Equação (5)}$$

P_{CC} = Potência média necessária (kW_{pcc});
 E = Consumo de energia elétrica anual (kWh/ano);
 G = Ganho por radiação solar anual ($kWh/m^2/ano$);
 R = Rendimento do sistema (%).

Para a determinação do rendimento do sistema, consideraram-se os fatores de perda médios da quantificação feita pela Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS, 2013), descritos na Tabela 16.

Tabela 16 – Fatores de perdas para sistemas fotovoltaicos.

Fatores de perda	Variação	Valor médio
Sombreamento	0,0 - 5,0 %	2,5 %
Sujidade	1,0 - 3,0 %	2,0 %
Reflexão	3,0 - 5,0 %	4,0 %
Variação do espectro AM 1.5	1,0 - 2,0 %	1,5 %
Descascamento (<i>Mismatch</i>)	0,5 - 2,5 %	1,5 %
Condições diferentes das padrões de teste	4,0 - 9,0 %	6,5 %
Perdas c.c.	0,5 - 1,5 %	1,0 %
Perdas na conversão de energia	0,5 - 3,0 %	1,8 %
Perdas no inversor	3,0 - 7,5 %	5,3 %
Perdas na fiação elétrica	0,2 - 1,5 %	0,9 %

Fonte: DGS, 2013

Levando-se em conta estas perdas, o rendimento do sistema totaliza 76,04%. A Equação 6 expressa a área necessárias de módulos fotovoltaicos (A_{total}), em função da potência nominal (P_{CC}) e da eficiência dos módulos fotovoltaicos escolhidos (E_{ff}).

$$A_{total} = \frac{P_{CC}}{E_{ff}} \quad \text{Equação (6)}$$

A_{total} = Área de módulos (m^2);
 P_{CC} = Potência média necessária (kW_{pcc});
 E_{ff} = Eficiência do módulo (%).

O indicador do potencial de geração de energia elétrica através uso de fontes locais de energia renovável obtido ao final, representa a porcentagem de energia consumida pela UH que é atendida pela geração local de energia e é exposto na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) da UH.

3.11 COMPARAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram comparados os consumos obtidos, bem como as classificações nos casos reais aos casos onde foram aplicadas as novas medidas de eficiência às duas UHs. Também procurou se analisar a área de módulos fotovoltaicos necessária à obtenção de EEZs. A fim de tentar mensurar a diferença gerada por modificações relativamente simples e a possibilidade de redução total ou parcial do consumo por fontes renováveis. Para validação da INI-R, compararam-se os consumos obtidos aos consumos reais retirados da fatura de energia elétrica das UHs.

4 RESULTADOS

4.1 UH01

4.1.1 Aplicação do Método Prescritivo

Dos cinco requisitos necessários para a classificação pelo método prescritivo, nenhum deles foi atendido. Ainda assim dentro de alguns requisitos pôde-se observar que alguns parâmetros enquadram-se nos limites da classificação, como por exemplo as transmitâncias térmicas das paredes externas e cobertura. Também é o caso da área de abertura do dormitório 1 em relação à sua área de piso. Os parâmetros que não foram atendidos estão destacados em vermelho. É possível observar os parâmetros necessários à classificação pelo método prescritivo na Tabela 17.

Tabela 17 – Requisitos do método prescritivo para a UH01.

A.1 - PAREDES EXTERNAS			
	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 3,5	50 ≤ CT ≤ 290
Sala	0,611	2,39	151,00
Dormitório 1	0,611	2,39	151,00
Dormitório 2	0,611	2,39	151,00
A.2 - COBERTURAS EXTERNAS			
	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 2,0	50 ≤ CT ≤ 250
Sala	0,611	1,87	350,62
Dormitório 1	0,611	1,87	350,62
Dormitório 2	0,611	1,87	350,62
A.3 - ABERTURAS EXTERNAS			
	Grupos Climáticos	Percentual mínimo de abertura para ventilação por grupo climático	
Critério	1 a 16	10% da área de piso	
	17 a 24	12% da área de piso	
Sala	1-b	3,61%	
Dormitório 1	1-b	10,07%	
Dormitório 2	1-b	7,50%	
A.4 - SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS			
	Sala	Dormitórios	
Critério	Prot. Sol 100% ou Somb. ≥ 0,5 m	Prot. Solar 100%	
Sala	Não	-	
Dormitório 1	-	Não	
Dormitório 2	-	Não	
A.5 - SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA			
	Sem reservatório	Com reservatório	
Critério	Aquecedor de água à gás com condensador e eficiência mínima do aparelho de 0,90	*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação elétrica de equipamento com eficiência mínima de 0,85;	
		*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de aquecedor de passagem à gás classe A no PBE ou com Selo Compet;	
		*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de bomba de calor;	
		*Bomba de calor de eficiência superior a 1,50.	
		Os sistemas com reservatório de água quente devem possuir tubulações com isolamento térmico mínimo de 13 mm e condutividade térmica compreendida entre 0,032 e 0,040 W/mK.	
UH01	Aquecedor elétrico de um único ponto de consumo (Chuveiro elétrico)	-	

* Das alternativas indicadas, apenas uma deve ser atendida

4.1.2 Aplicação do Método Simplificado

4.1.2.1 Envoltória

A partir da entrada dos dados na interface do metamodelo, foi possível obter os valores de carga térmica para aquecimento e resfriamento, bem como os percentuais de horas ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente ($PHOC_T$), para os ambientes de permanência prolongada da UH01. Estes valores foram comparados aos valores obtidos para a edificação de referência, a fim de estipular-se o percentual de redução no consumo energético e a classe de eficiência energética da envoltória. Pode-se observar nas Figuras 12 e 13 os valores obtidos para a UH01, bem como as variáveis da edificação com características de referência.

Figura 13 – Valores de carga térmica da UH01.

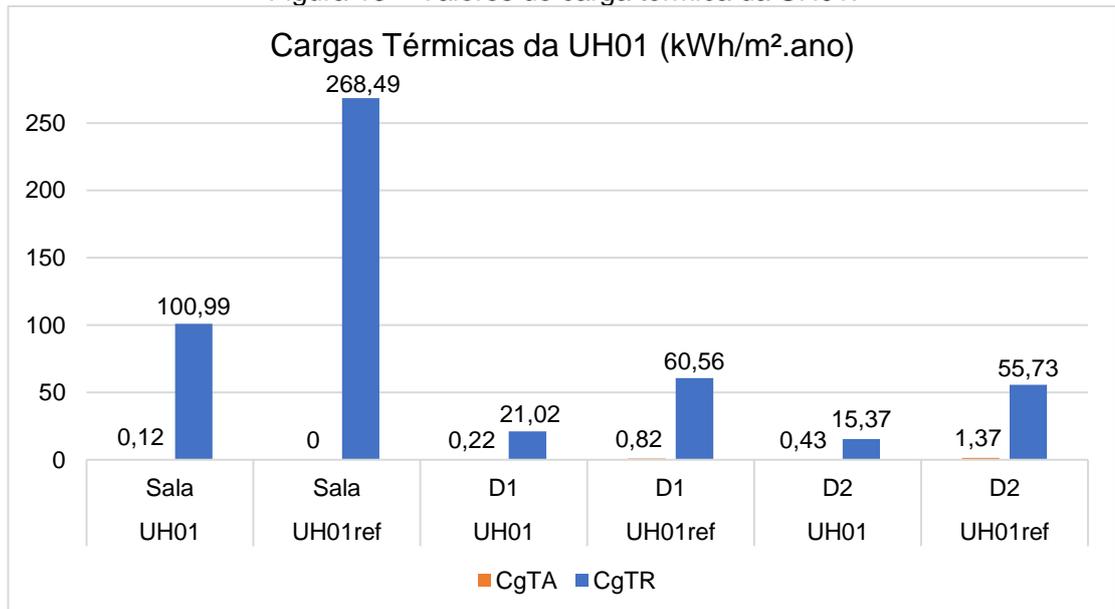
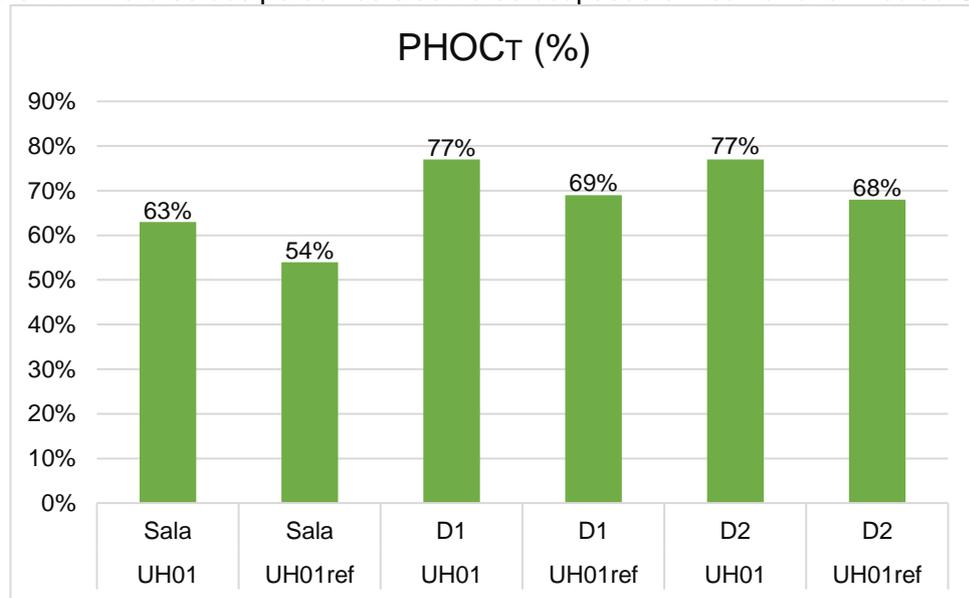


Figura 14 – Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH01.



A envoltória da UH01 foi classificada, através dos procedimentos detalhados no capítulo 4 deste trabalho e utilizando a planilha disponibilizada pelo LabEEE como ferramenta de cálculo, como classe B de eficiência energética e apresentou um PHOCT de 72%.

4.1.2.2 Aquecimento de Água

Considerando um chuveiro com eficiência de 0,95, a classificação do sistema de aquecimento de água da UH01 é de classe D de eficiência energética, igual à condição de referência. Com um consumo estimado de energia elétrica de 1.881,18 kWh/ano, valor referente ao aquecimento 200 litros diários de água diretamente no ponto de consumo, que ao ser convertido em energia primária pelo devido fator (1,6 para energia elétrica) tem valor de 3.009,89 kWh/ano.

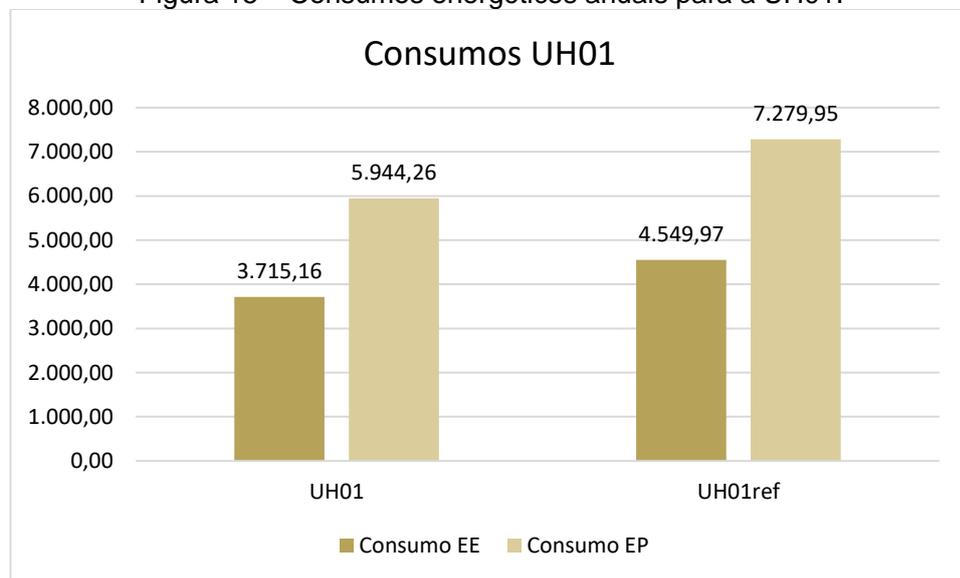
4.1.2.3 Equipamentos elétricos

O consumo dos equipamentos elétricos é estimado pela INI-R como sendo 28,37 kWh/mês por pessoa. O total de consumo dos equipamentos elétricos da UH01 é de 113,48 kWh/mês ou 1.361,76 kWh/ano.

4.1.2.4 Consumo total

De acordo com a Equação 3 deste trabalho, somaram-se os consumos de energia elétrica da UH01 provenientes de: envoltória, aquecimento de água por fontes elétricas e equipamentos elétricos. Os consumos totais de energia elétrica e o mesmo consumo convertido em energia primária, multiplicado pelo devido fator de conversão para energia elétrica (1,6), para a UH01 e a edificação com características de referência encontra-se na Figura 14.

Figura 15 – Consumos energéticos anuais para a UH01.



4.1.2.5 Classe de Eficiência Energética

Com os consumos energéticos da envoltória, do sistema de aquecimento de água e dos equipamentos elétricos para a edificação real e de referência, foi possível classificar a UH01 por completo, a qual obteve classe C de eficiência energética das edificações, apresentando um percentual de redução de 18% em relação à edificação com características de referência.

4.1.3 Emissões de CO₂

Tendo a UH01 um consumo total de energia elétrica de 3.715,16 kWh/ano, a UH apresentou uma emissão estimada de dióxido de carbono (CO₂) relativa a este consumo de 0,3344 toneladas por ano.

4.1.4 Reaplicação do Método Prescritivo

Após a aplicação das medidas propostas na UH01, aplicou-se novamente o método prescritivo. Neste caso pode-se observar que o sistema construtivo com da cobertura excede o limite de capacidade térmica para a classificação, bem como as aberturas da sala e do dormitório não têm área de ventilação suficiente relativa à área de piso destes ambientes. Estes parâmetros estão indicados em vermelho. Para que a U01 possa ser classificada pelo método prescritivo, seria necessário diminuir a capacidade térmica da cobertura em 100,62 kJ/(m²K), no mínimo, além de aumentar o tamanho das janelas do dormitório 2 e principalmente da sala, de modo a terem no 10% ou mais da área de piso da respectiva APP. Estas alterações seriam demasiadamente custosas, em especial a alteração da cobertura, visto que a casa encontra-se já construída. Os requisitos e parâmetros necessários para a classificação da UH01 encontram-se nas Tabela 18.

Tabela 18 – Requisitos do método prescritivo para a UH01.

A.1 - PAREDES EXTERNAS			
	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 3,5	50 ≤ CT ≤ 290
Sala	0,3	2,39	151,00
Dormitório 1	0,3	2,39	151,00
Dormitório 2	0,3	2,39	151,00
A.2 - COBERTURAS EXTERNAS			
	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 2,0	50 ≤ CT ≤ 250
Sala	0,3	1,87	350,62
Dormitório 1	0,3	1,87	350,62
Dormitório 2	0,3	1,87	350,62
A.3 - ABERTURAS EXTERNAS			
	Grupos Climáticos	Percentual mínimo de abertura para ventilação por grupo climático	
Critério	1 a 16	10% da área de piso	
	17 a 24	12% da área de piso	
Sala	1-b	3,61%	
Dormitório 1	1-b	10,07%	
Dormitório 2	1-b	7,50%	
A.4 - SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS			
	Sala	Dormitórios	
Critério	Prot. Sol 100% ou Somb. ≥ 0,5 m	Prot. Solar 100%	
Sala	Proteção solar 100% (Veneziana)	-	
Dormitório 1	-	Proteção solar 100% (Veneziana)	
Dormitório 2	-	Proteção solar 100% (Veneziana)	
A.5 - SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA			
	Sem reservatório	Com reservatório	
Critério	Aquecedor de água à gás com condensador e eficiência mínima do aparelho de 0,90	<p>*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação elétrica de equipamento com eficiência mínima de 0,85;</p> <p>*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de aquecedor de passagem à gás classe A no PBE ou com Selo Compet;</p> <p>*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de bomba de calor;</p> <p>*Bomba de calor de eficiência superior a 1,50.</p> <p>Os sistemas com reservatório de água quente devem possuir tubulações com isolamento térmico mínimo de 13 mm e condutividade térmica compreendida entre 0,032 e 0,040 W/mK.</p>	
UH01	-	<p>Sistema de aquecimento termosolar que atende 62% da demanda de água quente da residência, com complementação elétrica de equipamento com eficiência de 0,95 e reservatório classe A no PBE;</p> <p>Tubulações com isolamento térmico de 13 mm e condutividade térmica compreendida entre 0,032 e 0,040 W/mK.</p>	

* Das alternativas indicadas, apenas uma deve ser atendida

4.1.5 Reaplicação do Método Simplificado

4.1.5.1 Envoltória

Após a aplicação das medidas propostas, a partir da entrada dos novos dados na interface do metamodelo, os dados de carga térmica para aquecimento e resfriamento, assim como o $PHOC_T$, foram obtidos e mostrados nas Figuras 15 e 16, juntamente aos dados da UH de referência.

Figura 16 – Valores de carga térmica da UH01.

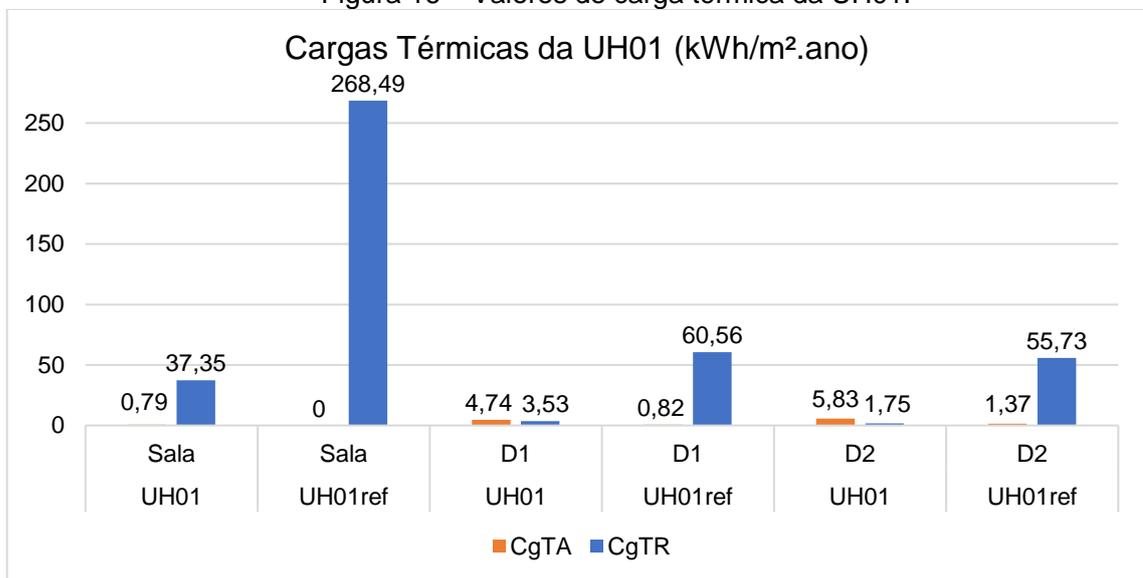
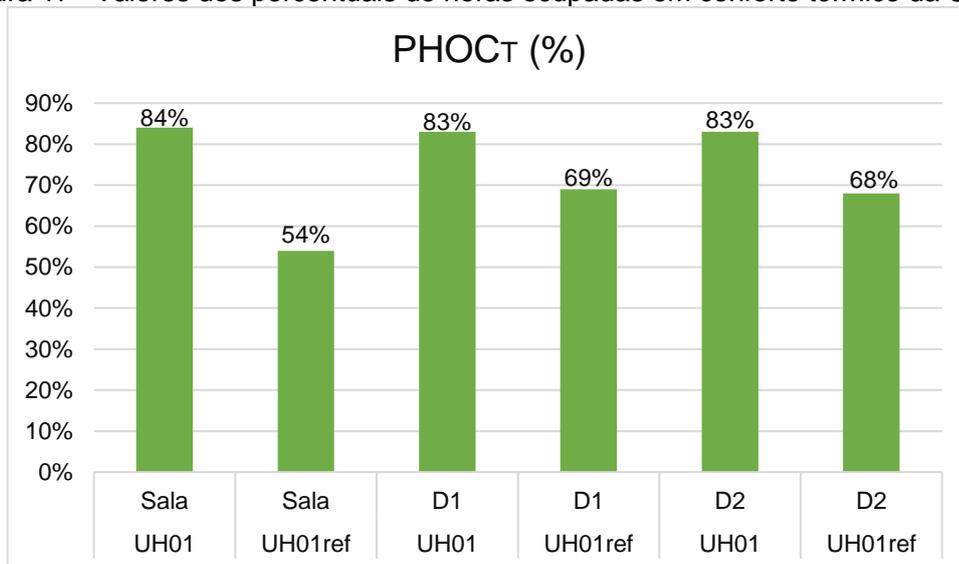


Figura 17– Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH01.



É possível observar um aumento nas cargas térmicas de refrigeração em relação ao caso real, todavia, as cargas térmicas para aquecimento diminuíram consideravelmente, gerando um aumento no $PHOC_T$ e um aumento no nível de classificação da envoltória para classe A de eficiência energética, com 83% de horas ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente.

4.1.5.2 Aquecimento de Água

Para o aquecimento de água, foi dimensionado de acordo com as diretrizes da INI-R, um sistema de aquecimento solar, com reservatório de 200 litros de capacidade, com uma tubulação polimérica de 7 m de comprimento, com diâmetro de 22 mm e 13 mm de isolamento térmico.

As informações do reservatório e coletor escolhido nas tabelas do Inmetro encontram-se nas tabelas 19 e 20:

Tabela 19 – Dados do coletor solar escolhido.

Coletor Solar	
Fabricante	BOSCH
Modelo	FCC220-2V
Área dos coletores (m ²)	2,08
Material da superfície absorvedora	Alumínio
Classificação Inmetro	A
Fator de eficiência óptica	0,831
Modificador do ângulo de incidência	0,96
Fator de correção do conjunto coletor/trocador	0,95
Coeficiente global de perdas do coletor (W/m ² .K)	3,71

Fonte: INMETRO, 2018b

Tabela 20 – Dados do reservatório solar escolhido.

Reservatório	
Fabricante	Tekhouse
Modelo	Baixa Pressão 200 litros AI
Capacidade (L)	200
Material do corpo interno	Aço Inox
Material do isolamento	Poliuretano

Fonte: INMETRO, 2018b

Através de dados de irradiação solar anual para a cidade de Tijuca e da planilha disponibilizada pelo LabEEE, foi possível calcular a energia captada para fins de aquecimento de água para banho.

A geração aproximada encontrada, sem perdas, foi de 4,12 kWh/dia. Ao descontar-se as perdas do reservatório (1,078 kWh/dia) e do sistema de distribuição (0,01516 kWh/dia), calculou-se que o total de energia captada para aquecimento de água por fontes solares é de 1.163,04 kWh/ano, o que representa um percentual de redução no consumo de 62%. A média anual das frações solares mensais tem o valor de 0,84. Para os momentos onde não é possível obter água quente pelo sistema dimensionado, será utilizado um chuveiro com eficiência de 0,95. O consumo total de energia elétrica para aquecimento de água encontrado foi de 718,14 kWh/ano e 1.149,03 kWh/ano convertido em energia primária. O sistema de aquecimento de água para este caso foi classificado em classe A de eficiência energética. A planilha com os valores de cálculo encontra-se no Anexo B deste trabalho.

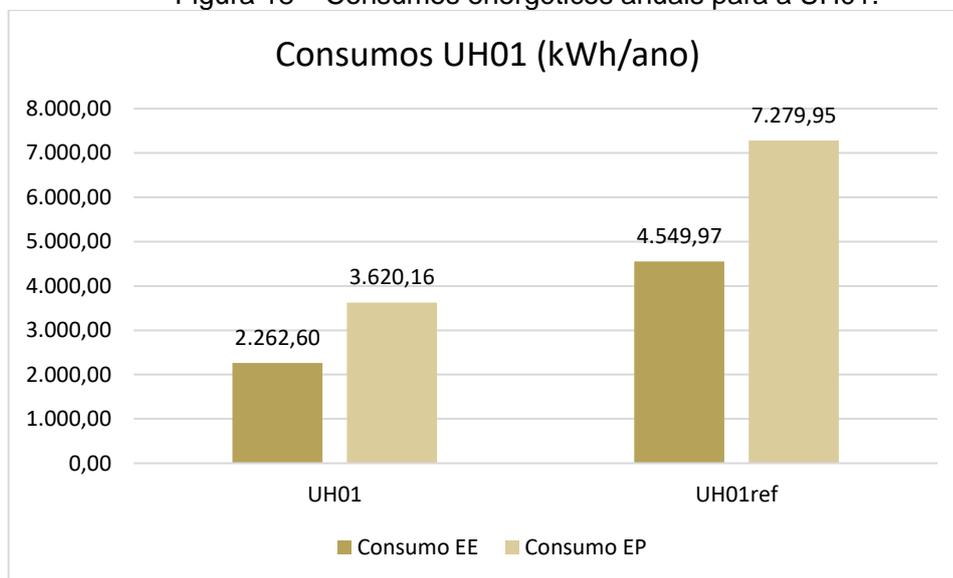
4.1.5.3 Equipamentos elétricos

O consumo de energia elétrica proveniente dos equipamentos elétricos continua o mesmo, com valor de 1.361,76 kWh/ano, já que depende do número de usuários da UH e este permanece o mesmo.

4.1.5.4 Consumo total

Utilizando a Equação 3 deste trabalho, somaram-se os consumos de energia elétrica da UH01 após as medidas de eficiência energética implantadas provenientes de: envoltória, aquecimento de água por fontes elétricas e equipamentos elétricos. Os consumos totais de energia elétrica e o mesmo consumo convertido em energia primária, multiplicado pelo devido fator de conversão para energia elétrica (1,6). A Figura 17 mostra a comparação dos consumos obtidos após as modificações aos da edificação com características de referência.

Figura 18 – Consumos energéticos anuais para a UH01.



4.1.5.5 Classe de Eficiência Energética

Após as aplicações das modificações propostas, a classificação da envoltória e sistema de aquecimento de água, foram estimados os consumos totais da edificação em relação à edificação com características de referência, a fim de se obter a classe de eficiência energética da UH01. A UH01 obteve classe A de eficiência energética, com um percentual de redução no consumo energético de 50%.

4.1.6 Geração Local de Energia Renovável

A fim de tentar substituir completamente o consumo anual de energia elétrica da rede por energia solar, para obtenção de EEZ, foi dimensionado um sistema fotovoltaico de maneira simplificada, como descrito no método do presente trabalho.

Para o cálculo da capacidade do sistema fotovoltaico, foi utilizado o consumo anual de energia elétrica encontrado através do método simplificado com as medidas de eficiência energética incorporadas, que para o caso da UH01 foi de 2.262,60 kWh. Além do consumo, deve-se conhecer também o ganho por radiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico. Supondo a instalação dos módulos com um ângulo de inclinação de 27° em relação ao plano horizontal e orientação norte, a incidência solar anual é de 1.578,75 kWh/m².ano (Tabela 15). Por fim, deve-se considerar o rendimento do sistema, que deriva da consideração de perdas associadas ao sistema. Para o rendimento do sistema será utilizado o valor de 0,76 já mencionado anteriormente. A potência calculada do sistema fotovoltaico para a UH01 após a implantação das medidas propostas é de 1,89 kWp.

O módulo considerado, com dados retirados das tabelas de consumo disponíveis no site do Inmetro (INMETRO, 2017), foi escolhido por possuir uma alta eficiência e ser classe A de eficiência energética. As informações referentes ao módulo escolhido encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21 – Informações do módulo considerado.

Fabricante	LERRI Solar
Modelo	LR6-60-280M
Tipo das células	Silício Monocristalino
Potência Nominal (W)	280
Comprimento (m)	1,65
Largura (m)	0,99
Área (m ²)	1,63
Eficiência (%)	17,2

Fonte: INMETRO, 2017

A área necessária de módulos pode ser calculada ao dividir-se a potência média necessária pela eficiência do módulo. Para a opção escolhida, a área resultante foi de 10,96 m², equivalente a 6,73 módulos. Serão considerados 7 módulos, com área resultante de 11,41 m², 1,96 kWp e geração anual de 2.354,73 kWh/ano, posicionado

a 27° em relação ao plano horizontal, voltadas para o norte. Neste caso, a edificação passa a ter um consumo anual negativo de 92,13 kWh, significando que além de produzir toda a energia que necessita em um ano, retorna para à rede 92,13 kWh. Nesse caso, a UH01 enquadra-se na definição de EEZ considerada neste trabalho, com um Potencial de Geração de Energia (PGE) de 104%, de acordo com a INI-R.

4.1.7 Emissões de CO₂

Tendo a UH01 um consumo total de energia elétrica de 2.262,59 kWh/ano, a UH apresentou uma emissão estimada de dióxido de carbono (CO₂) relativa a estes consumos de 0,2036 toneladas por ano.

4.1.8 Comparação dos Resultados

Nas Figuras 18 e 19 são apresentadas de maneira resumida os resultados obtidos na avaliação pelo método simplificado da INI-R para a UH01 em relação aos consumos de energia elétrica e os mesmos convertidos em energia primária, respectivamente, nas condições de referência (Classe C), na condição real (Classe C), com as medidas sugeridas aplicadas (Classe A) e finalmente com as medidas aplicadas e com geração fotovoltaica (Classe A).

Figura 19 – Consumos de energia elétrica da UH01.

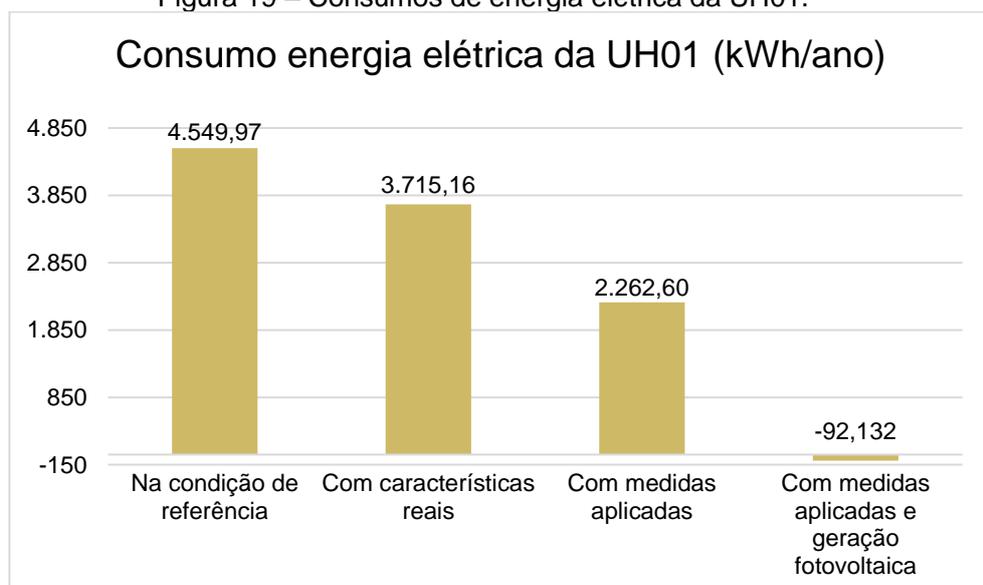
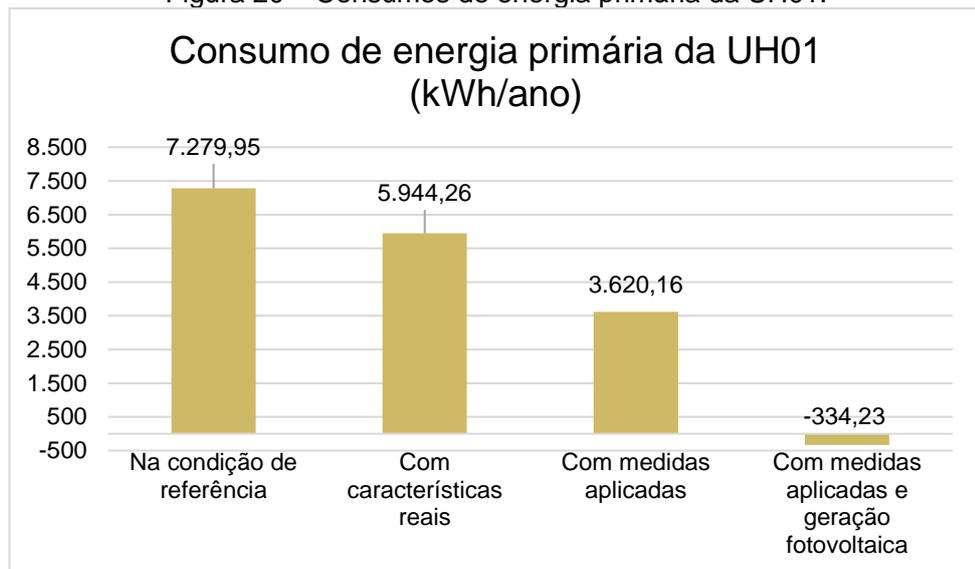


Figura 20 – Consumos de energia primária da UH01.



Observando os valores obtidos através da aplicação do método simplificado da INI-R, percebe-se que a UH01 em sua condição real ainda que tenha obtido classe C na avaliação, apresenta um percentual de redução do consumo de 18% em relação à edificação de referência. Porém, após aplicadas as mudanças, observa-se uma diminuição significativa nos consumos, resultando em 50% de redução em relação à UH com características de referência, obtendo classe A de eficiência energética. Com a aplicação do sistema fotovoltaico para geração de energia local renovável foi possível alcançar um percentual de redução no consumo anual de 105%, exportando anualmente para a rede um excedente de 92,13 kWh, com um sistema composto por 7 módulos. Neste caso a UH01 se enquadra na definição escolhida de EEZ de energia local.

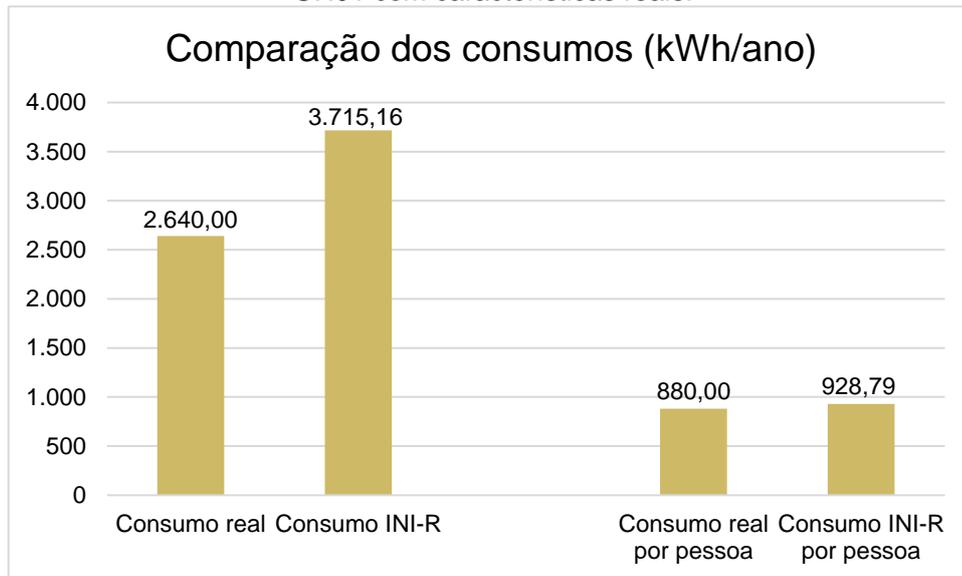
A partir da fatura de energia elétrica da edificação real, foram extraídos os consumos mensais para fins de comparação. Estes consumos estão expressos na Tabela 22.

Tabela 22 – Consumos mensais da UH01 retirados da fatura de energia elétrica.

Mês	Consumo (kWh)
JAN	250
FEV	340
MAR	350
ABR	230
MAI	170
JUN	180
JUL	210
AGO	190
SET	180
OUT	180
NOV	180
DEZ	180
Σ	2.640

Pode-se observar que há uma grande variação entre o consumo anual real, proveniente da fatura de energia elétrica (2.640,00 kWh), e o consumo anual encontrado através da aplicação do método simplificado (3.715,16 kWh). Uma possível causa está no fato de a INI-R considerar duas pessoas por dormitório, resultando em quatro usuários ao total na UH, sendo que em condição real a edificação possui três usuários, dois adultos e uma criança. A fim de comparar os resultados sob um parâmetro comum, dividiu-se o consumo anual pelo número de pessoas considerado nos dois casos. A Figura 20 mostra a comparação entre os consumos na condição real, obtidos através da fatura de energia elétrica, e dos consumos resultantes do método simplificado da INI-R, além de valores de consumo divididos pelos respectivos números de usuários.

Figura 21 – Comparação dos consumos reais com os consumos encontrados na INI-R para a UH01 com características reais.



Quando ponderados por usuários, os consumos anuais ficaram mais próximos, significando que a INI-R se aproximou consideravelmente do caso real, dadas todas as especificidades e variáveis associadas ao consumo de uma edificação. Este trabalho não considerou as taxas mínimas cobradas pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica (CELESC).

4.2 UH 02

4.2.1 Aplicação do Método Prescritivo

Dos cinco requisitos necessários para a classificação pelo método prescritivo, quatro não foram atendidos. O primeiro requisito, o qual trata das características térmicas das paredes externas foi o único atendido. Para o segundo requisito, que trata das coberturas externas, os valores de capacidade e transmitância térmica são adequados, porém a absorvância é consideravelmente maior que o limite, pois trata-se da cor equivalente às telhas de fibrocimento. Os parâmetros que não foram atendidos estão destacados em vermelho. É possível observar os parâmetros necessários à classificação pelo método prescritivo na Tabela 23.

Tabela 23 – Requisitos do método prescritivo para a UH02.

A.1 - PAREDES EXTERNAS	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 3,5	50 ≤ CT ≤ 290
Sala	0,396	2,39	151,00
Dormitório 1	0,396	2,39	151,00
Dormitório 2	0,396	2,39	151,00
A.2 - COBERTURAS EXTERNAS	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 2,0	50 ≤ CT ≤ 250
Sala	0,715	1,79	180,00
Dormitório 1	0,715	1,79	180,00
Dormitório 2	0,715	1,79	180,00
A.3 - ABERTURAS EXTERNAS	Grupos Climáticos	Percentual mínimo de abertura para ventilação por grupo climático	
Critério	1 a 16	10% da área de piso	
	17 a 24	12% da área de piso	
Sala	1-b	5,94%	
Dormitório 1	1-b	9,16%	
Dormitório 2	1-b	9,13%	
A.4 - SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS	Sala	Dormitórios	
Critério	Prot. Sol 100% ou Somb. ≥ 0,5 m	Prot. Solar 100%	
Sala	Não	-	
Dormitório 1	-	Não	
Dormitório 2	-	Não	
A.5 - SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	Sem reservatório	Com reservatório	
Critério	Aquecedor de água à gás com condensador e eficiência mínima do aparelho de 0,90	*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação elétrica de equipamento com eficiência mínima de 0,85;	
		*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de aquecedor de passagem à gás classe A no PBE ou com Selo Compet;	
		*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de bomba de calor;	
		*Bomba de calor de eficiência superior a 1,50.	
		Os sistemas com reservatório de água quente devem possuir tubulações com isolamento térmico mínimo de 13 mm e condutividade térmica compreendida entre 0,032 e 0,040 W/mK.	
UH02	Aquecedor elétrico de um único ponto de consumo (Chuveiro elétrico)	-	

* Das alternativas indicadas, apenas uma deve ser atendida

4.2.2 Aplicação do Método Simplificado

4.2.2.1 Envoltória

A partir da entrada dos dados na interface do metamodelo, foi possível obter os valores de carga térmica para aquecimento e resfriamento, bem como os percentuais de horas ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente ($PHOC_T$), para os ambientes de permanência prolongada da UH02. Pode-se observar nas Figuras 21 e 22 os valores obtidos para a UH02, bem como as variáveis da mesma edificação com características de referência.

Figura 22 – Valores de carga térmica da UH02.

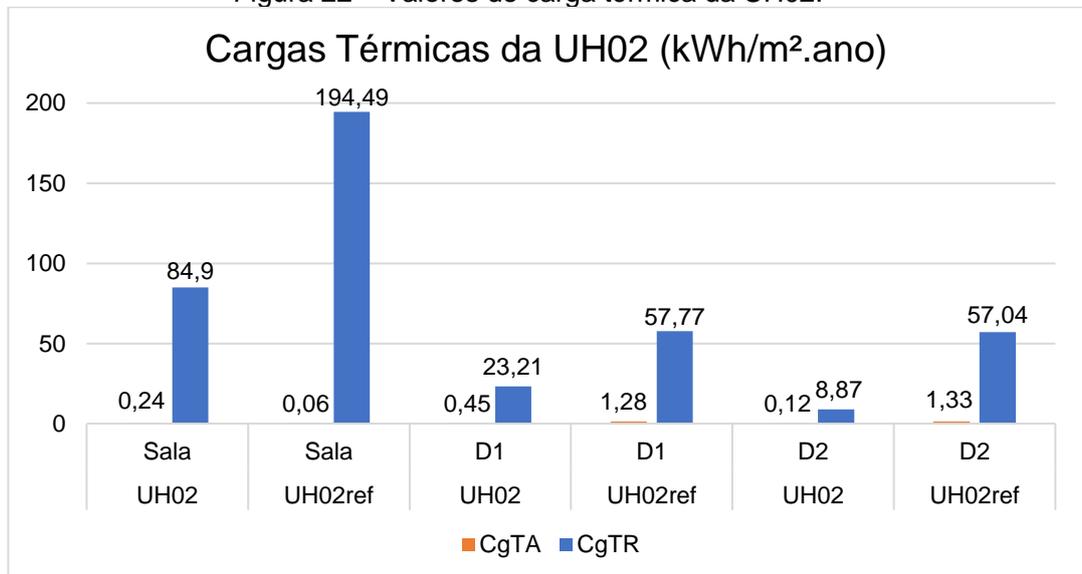
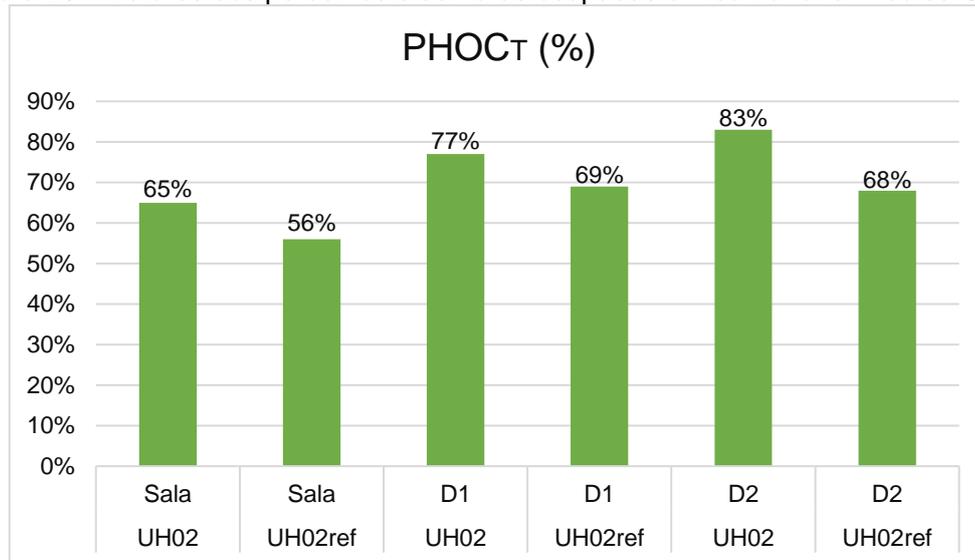


Figura 23 – Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH02.



A envoltória da UH02 foi classificada como classe B de eficiência energética e apresentou um PHOCT de 72%.

4.2.2.2 Aquecimento de Água

Assim como na UH01, considerando um chuveiro com eficiência de 0,95, a classificação do sistema de aquecimento de água da UH01 é de classe D de eficiência energética, igual à condição de referência. Com um consumo estimado de energia elétrica de 1.881,18 kWh/ano, valor referente ao aquecimento 200 litros diários de água diretamente no ponto de consumo, que ao ser convertido em energia primária pelo devido fator (1,6 para energia elétrica) tem valor de 3.009,89 kWh/ano.

4.2.2.3 Equipamentos elétricos

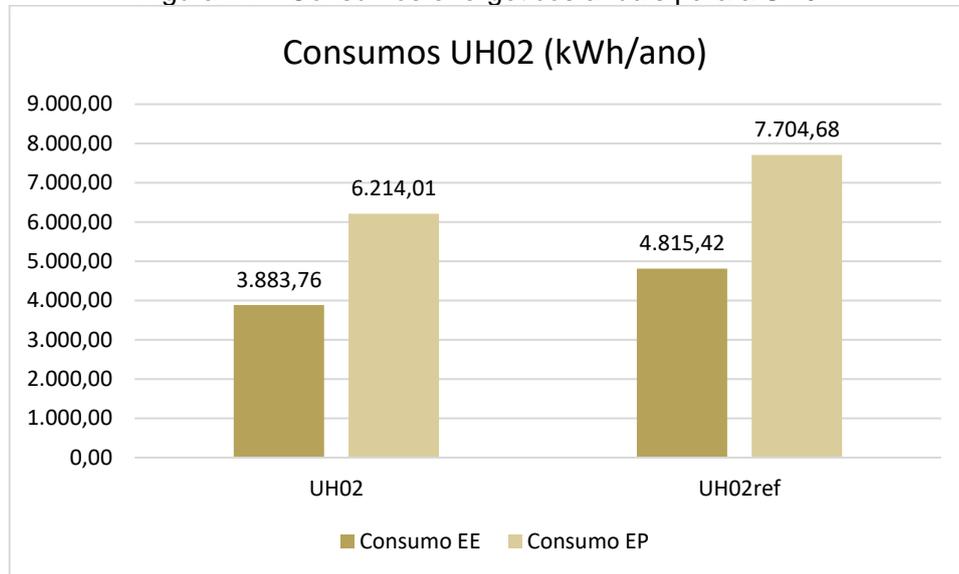
Com quatro usuários ao total presentes na UH02, o valor do consumo de equipamentos elétricos possui o mesmo valor do mesmo consumo para a UH01, 1.361,76 kWh/ano.

4.2.2.4 Consumo total

Os consumos totais são encontrados somando-se os consumos provenientes da envoltória, do aquecimento de água e dos equipamentos elétricos. Estes consumos

encontrados para a edificação real e para a edificação com características de referência encontram-se na Figura 23.

Figura 24 – Consumos energéticos anuais para a UH02.



4.2.2.5 Classe de Eficiência Energética

Com os consumos energéticos da envoltória, do sistema de aquecimento de água e dos equipamentos elétricos para a edificação real e de referência, foi possível classificar por completo a UH02, a qual obteve classe C de eficiência energética das edificações, apresentando um percentual de redução de 19% em relação à edificação com características de referência.

4.2.3 Emissões de CO₂

O consumo total de energia elétrica da UH02 foi de 3.883,76 kWh/ano, a UH apresentou uma emissão estimada de dióxido de carbono (CO₂) relativa a este consumo de 0,3495 toneladas por ano.

4.2.4 Reaplicação do Método Prescritivo

Após a aplicação das medidas propostas na UH02, aplicou-se novamente o método prescritivo. Desta vez pôde-se observar que houve uma melhora significativa gerada pelas mudanças, pois quatro dos cinco requisitos foram cumpridos, mas ainda

não suficiente para a classificação pelo método prescritivo. Os dois dormitórios alcançaram valores de área de ventilação das aberturas externas por área de piso próximos ao limite (9,16% e 9,13%), porém na sala percebe-se uma grande diferença, pelo fato de esta apresentar uma grande área (20,50 m²), valor que excede os limites de classificação da APP pelo método prescritivo. De todo o modo, a área de ventilação não é suficiente para nenhum dos casos e necessitaria de maiores janelas ou de janelas com maiores fatores de ventilação, a princípio a troca de janelas mostra-se inviável, já que a UH02 encontra-se já edificada. Os parâmetros que não foram atendidos estão indicados em vermelho. Os requisitos e parâmetros necessários para a classificação da UH02 encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24 – Requisitos do método prescritivo da UH02.

A.1 - PAREDES EXTERNAS	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 3,5	50 ≤ CT ≤ 290
Sala	0,3	2,39	151,00
Dormitório 1	0,3	2,39	151,00
Dormitório 2	0,3	2,39	151,00
A.2 - COBERTURAS EXTERNAS	Absortância	Transmitância [W/m²K]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Critério	≤ 0,4	≤ 2,0	50 ≤ CT ≤ 250
Sala	0,3	1,79	180,00
Dormitório 1	0,3	1,79	180,00
Dormitório 2	0,3	1,79	180,00
A.3 - ABERTURAS EXTERNAS	Grupos Climáticos	Percentual mínimo de abertura para ventilação por grupo climático	
Critério	1 a 16	10% da área de piso	
	17 a 24	12% da área de piso	
Sala	1-b	5,94%	
Dormitório 1	1-b	9,16%	
Dormitório 2	1-b	9,13%	
A.4 - SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS	Sala	Dormitórios	
Critério	Prot. Sol 100% ou Somb. ≥ 0,5 m	Prot. Solar 100%	
Sala	Proteção solar 100% (Veneziana)	-	
Dormitório 1	-	Proteção solar 100% (Veneziana)	
Dormitório 2	-	Proteção solar 100% (Veneziana)	
A.5 - SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	Sem reservatório	Com reservatório	
Critério	Aquecedor de água à gás com condensador e eficiência mínima do aparelho de 0,90	*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação elétrica de equipamento com eficiência mínima de 0,85;	
		*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de aquecedor de passagem à gás classe A no PBE ou com Selo Compet;	
		*Sistema de aquecimento termosolar que atenda no mínimo 50% da demanda de água quente da residência, com complementação de bomba de calor;	
		*Bomba de calor de eficiência superior a 1,50.	
		Os sistemas com reservatório de água quente devem possuir tubulações com isolamento térmico mínimo de 13 mm e condutividade térmica compreendida entre 0,032 e 0,040 W/mK.	
UH02	-	Sistema de aquecimento termosolar que atende 62% da demanda de água quente da residência, com complementação elétrica de equipamento com eficiência de 0,95; Tubulações com isolamento térmico de 13 mm e condutividade térmica compreendida entre 0,032 e 0,040 W/mK.	

* Das alternativas indicadas, apenas uma deve ser atendida

4.2.5 Reaplicação do Método Simplificado

4.2.5.1 Envoltória

A partir da entrada dos novos dados na interface do metamodelo, foram obtidos os valores de carga térmica para aquecimento e resfriamento, assim como o $PHOC_T$. Estes valores são mostrados nas Figuras 24 e 25, juntamente aos valores obtidos para a UH com características de referência.

Figura 25 – Valores de carga térmica da UH02.

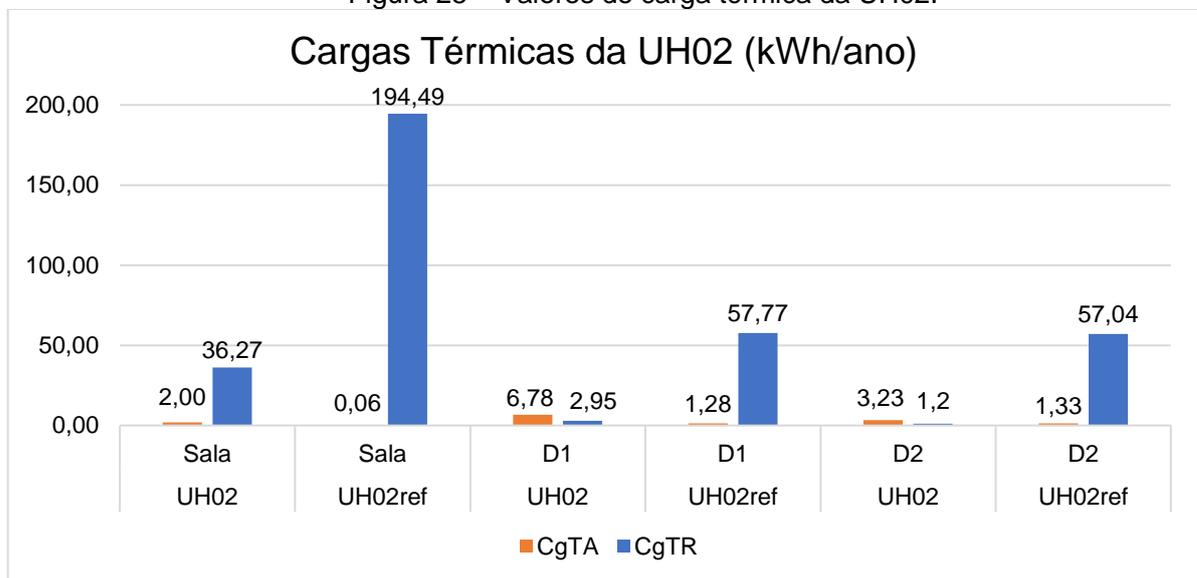
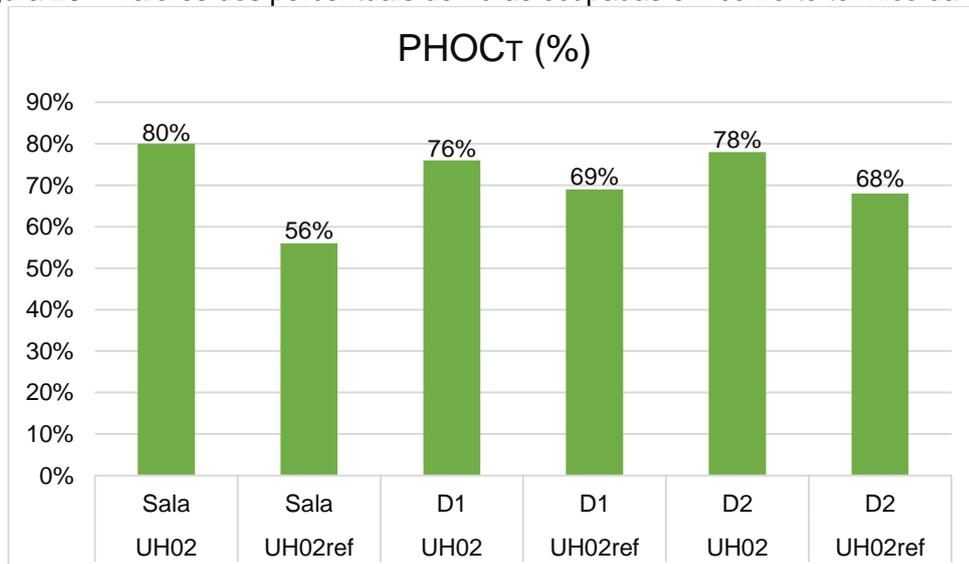


Figura 26 – Valores dos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico da UH02.



Na UH02 com as medidas implantadas também pôde-se observar um aumento nas cargas térmicas de refrigeração em relação ao caso real, porém, assim como no caso da UH01, as cargas térmicas para aquecimento diminuíram consideravelmente, gerando um aumento no $PHOC_T$ e um aumento no nível de classificação da envoltória para classe A de eficiência energética, com 79% de horas ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente.

4.2.5.2 Aquecimento de água

Como o número de habitantes das UHs 01 e 02 são iguais, os consumos diários de água quente também são iguais, logo as duas edificações têm a mesma demanda e consumo em relação aos sistemas de aquecimento de água. Sendo aplicado o mesmo sistema de aquecimento solar aplicado na UH01, os mesmos valores de consumo foram encontrados para a UH02. Quando a demanda não for atendida pelo sistema de aquecimento de água dimensionado, um chuveiro elétrico com eficiência de 0,95 atenderá às necessidades. O consumo anual para o aquecimento de água após a aplicação do novo sistema é de 718,14 kWh/ano e 1149,03 kWh/ano em termos de energia primária, resultado em classe A de eficiência energética, com uma redução de 62% do consumo.

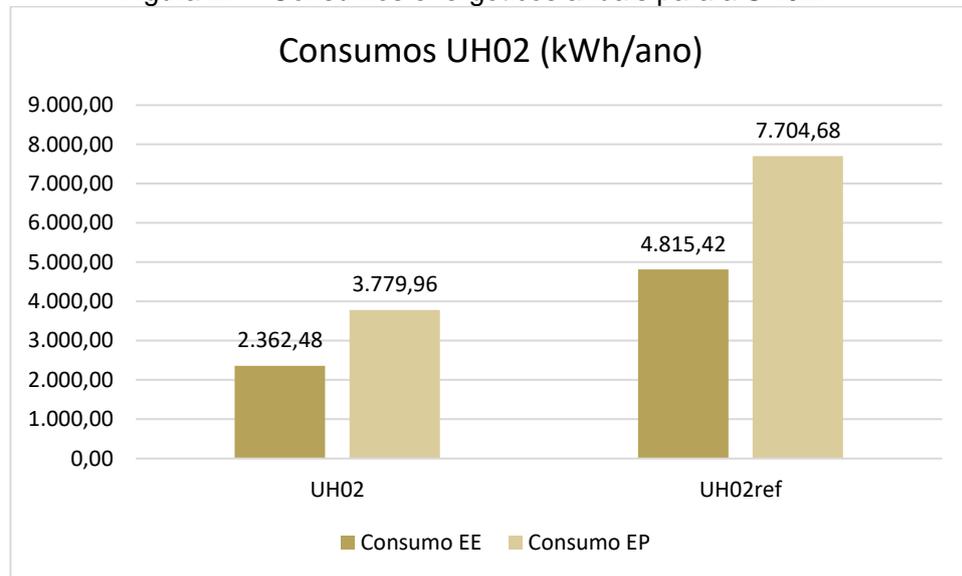
4.2.5.3 Equipamentos elétricos

O consumo de energia elétrica proveniente dos equipamentos elétricos continua o mesmo, com valor de 1.361,76 kWh/ano, já que depende do número de usuários da UH e este permanece o mesmo.

4.2.5.4 Consumo total

A Figura 26 mostra a comparação dos consumos obtidos após as modificações aos da edificação com características de referência.

Figura 27 – Consumos energéticos anuais para a UH02.



4.2.5.5 Classe de Eficiência Energética

Feitas as classificações da envoltória e do sistema de aquecimento de água com as medidas propostas aplicadas, foram estimados os consumos totais da edificação em relação à edificação com características de referência, a fim de se obter a classe de eficiência energética da UH02. Com um percentual de redução no consumo energético de 51%, foi obtida a classe A de eficiência energética.

4.2.6 Geração Local de Energia Renovável

Assim como feito para a UH01, a fim de tentar substituir completamente o consumo anual de energia elétrica da rede por energia solar da UH02, para obtenção de EEZ, foi dimensionado um sistema fotovoltaico de maneira simplificada, como descrito no método do presente trabalho.

Para o cálculo da capacidade do sistema fotovoltaico, foi utilizado o consumo anual de energia elétrica encontrado através do método simplificado com as medidas de eficiência energética incorporadas, que para o caso da UH02 foi de 2.362,48 kWh. Além do consumo, deve-se conhecer também o ganho por radiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico. Supondo a instalação dos módulos com um ângulo de

inclinação de 27° em relação ao plano horizontal e orientação norte, a incidência solar anual é de 1.578,75 kWh/m².ano (Tabela 15). Por fim, deve-se considerar o rendimento do sistema, que deriva da consideração de perdas associadas ao sistema. Para o rendimento do sistema será utilizado o valor de 0,76 já mencionado anteriormente. A potência calculada do sistema fotovoltaico para a UH02 após a implantação das medidas propostas é de 1,96 kWp.

O módulo considerado para a UH02 é o mesmo considerado para a UH01, com dados retirados das tabelas de consumo disponíveis no site do Inmetro (INMETRO, 2017), foi escolhido por possuir uma alta eficiência e ser classe A de eficiência energética.

A área necessária de módulos pode ser calculada ao dividir-se a potência média necessária pela eficiência do módulo. Para a opção escolhida, a área resultante foi de 11,44 m², equivalente a 7,02 módulos. Serão considerados 7 módulos, com área resultante de 11,41 m², 1,96 kWp e geração anual de 2.354,73 kWh/ano, posicionado a 27° em relação ao plano horizontal, voltadas para o norte. Neste caso, a edificação passa a ter um consumo anual 7,75 kWh, significando que tecnicamente o objetivo de EEZ não é matematicamente aplicável, porém como a pequena diferença pode não justificar a compra de mais um módulo, já que o PGE encontrado foi de 99,67%. Nesse caso, a UH02 chegaria muito próxima de se enquadrar na definição de EEZ de energia local, considerada neste trabalho.

Alternativamente, pode-se optar pela instalação de 8 módulos, resultando numa área de módulos de 13,04 m², potência de 2,24 kWp com uma geração esperada de 2.691,12 kWh/ano e com um Potencial de Geração de Energia (PGE) de 114%, de acordo com a INI-R. O consumo anual da edificação sob estas condições é de 328,64 kWh negativos, significando que além de produzir o equivalente utilizado durante um ano, ainda exporta 328,64 kWh para a rede, enquadrando-se na definição de EEZ de energia local, considerada neste trabalho.

4.2.7 Emissões de CO₂

O consumo total da UH02 de energia elétrica, após as medidas implantadas, encontrado foi de 2.362,48 kWh/ano. A UH apresentou uma emissão estimada de dióxido de carbono (CO₂) relativa a este consumo de 0,2133 toneladas por ano.

4.2.8 Comparação dos Resultados

Nas Figuras 27 e 28 são apresentadas de maneira resumida os resultados obtidos para a UH02 em relação aos consumos de energia elétrica e os mesmos convertidos em energia primária, respectivamente, nas condições de referência (Classe C), na condição real (Classe C), com as medidas sugeridas aplicadas (Classe A) e finalmente com as medidas aplicadas e com geração fotovoltaica (Classe A), utilizando 7 e 8 módulos.

Figura 28 – Consumos de energia elétrica da UH02.

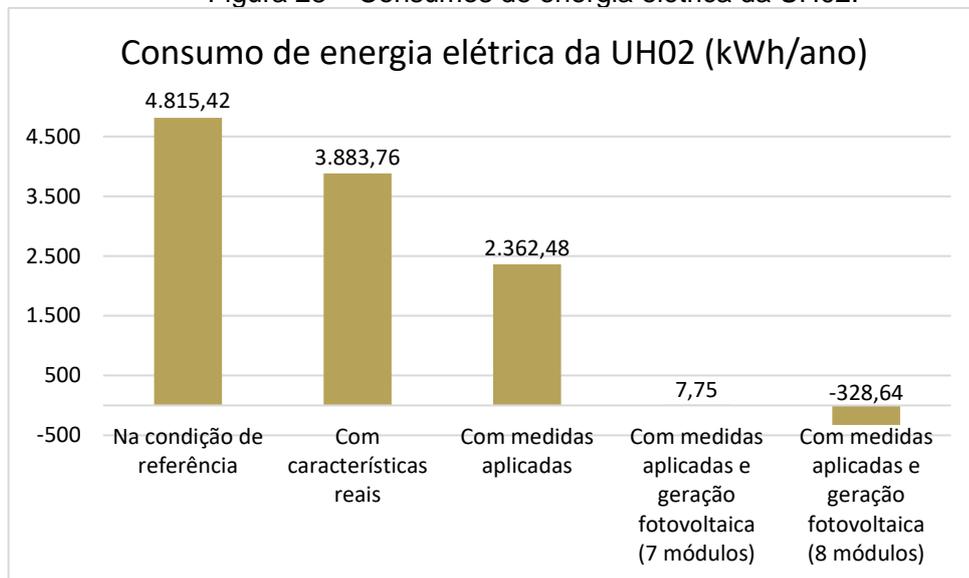
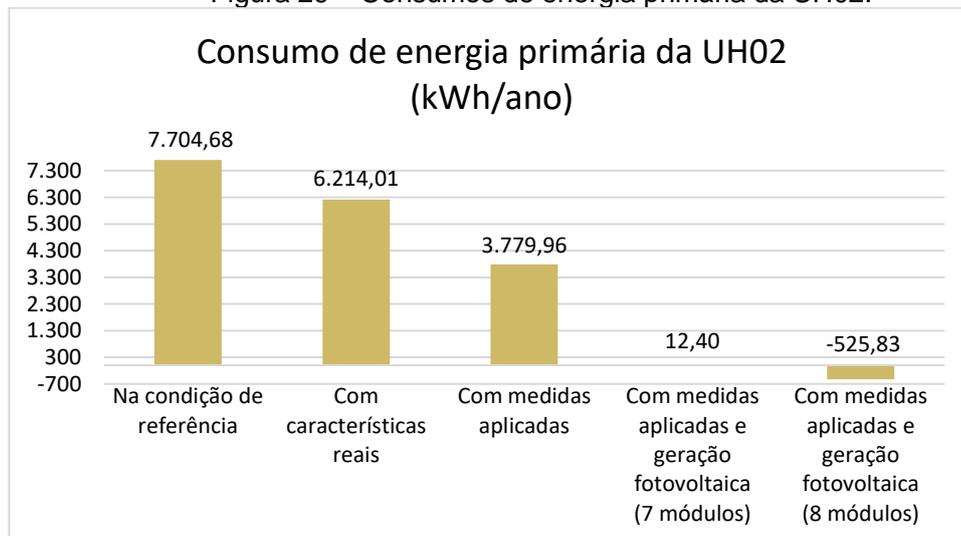


Figura 29 – Consumos de energia primária da UH02.



Observando os valores obtidos através da aplicação do método simplificado da INI-R, percebe-se que a UH02 em sua condição real obteve classe C, apresentando um percentual de redução do consumo de 19% em relação à edificação na condição de referência. Após aplicadas as medidas propostas neste trabalho, houve uma mudança significativa, resultando em 51% de redução do consumo em relação à edificação na condição de referência e sendo classificada em A.

Quanto ao sistema fotovoltaico, o sistema com 7 módulos se aproximou muito da classificação de EEZ, tendo um PGE de 99,67%, com um consumo estimado de apenas 12,40 kWh anuais, contudo, para que seja atendida a definição proposta de EEZ, pode-se optar por 8 módulos fotovoltaicos, gerando um excedente anual de 328,64 kWh, em termos de energia elétrica. Neste caso tem-se um PGE de 114%.

A partir da fatura de energia elétrica da edificação real, foram extraídos os consumos mensais para fins de comparação. Estes consumos estão expressos na Tabela 25.

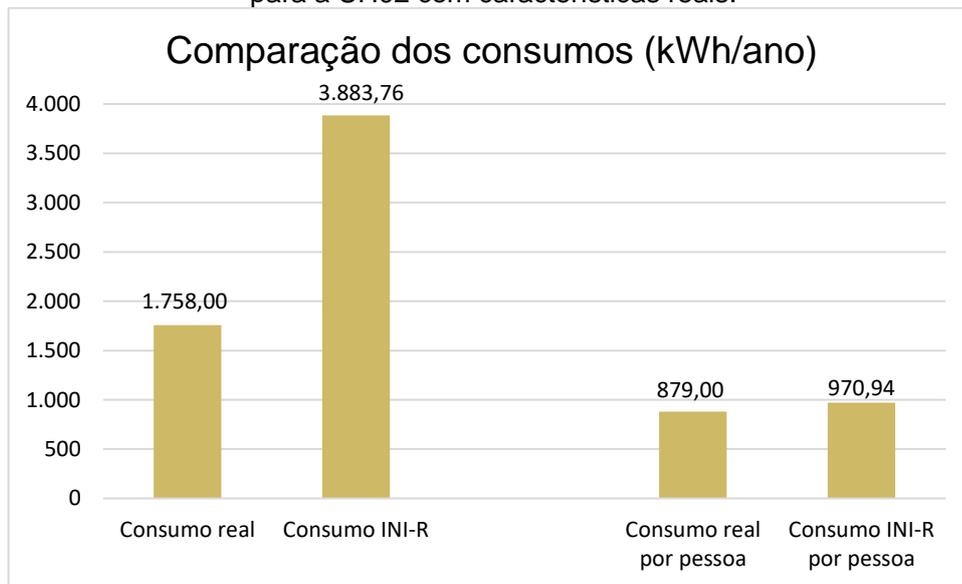
Tabela 25 – Consumos mensais da UH02 retirados da fatura de energia elétrica.

Mês	Consumo (kWh)
JAN	151
FEV	154
MAR	205
ABR	161
MAI	151
JUN	136
JUL	128
AGO	140
SET	141
OUT	133
NOV	129
DEZ	129
Σ	1.758

É possível observar que assim como na UH01, o consumo real anual (1.758 kWh) presente na fatura de energia elétrica distancia-se muito do consumo encontrado através do método simplificado para as características reais (3883,76 kWh), sendo o último pouco mais de duas vezes maior que o primeiro. Porém, em sua

condição real a UH02 conta com dois usuários, um adulto e uma criança, metade do valor indicado pela INI-R, onde consideram-se dois usuários por dormitório, resultando em quatro usuários ao total. Para fins de comparação, dividiram-se os consumos obtidos nos dois casos pelo respectivo número de usuários. A Figura 29 exibe os consumos totais, bem como os consumos divididos por usuário, obtidos na fatura de energia elétrica da edificação real e através da aplicação do método simplificado da INI-R.

Figura 30 – Comparação dos consumos reais com os consumos encontrados na INI-R para a UH02 com características reais.



Ao dividir-se os consumos obtidos pelo número de usuários da UH02 nos dois casos observa-se certa proximidade entre os valores. Como na UH01, na UH02 o resultado do método simplificado da INI-R também se aproximou da condição real, ao considerar-se o número de moradores. Este trabalho não considerou as taxas mínimas cobradas pelas concessionárias de distribuição de energia (CELESC).

5 CONCLUSÃO

Para a realização deste trabalho foram escolhidas duas edificações residenciais na cidade de Tijucas/SC, localizada na região da Grande Florianópolis, cujas características foram levantadas em medições realizadas *in loco*. Através da nova proposta para o método de avaliação da eficiência energética em edificações que encontra-se em desenvolvimento, a INI-R, buscou-se obter os consumos energéticos das edificações através do método prescritivo e simplificado.

Na primeira avaliação, não foi possível a classificação pelo método prescritivo, uma vez que a maioria dos requisitos não foram cumpridos, nem para a UH01 nem para a UH02. Já pelo método simplificado ambas edificações obtiveram classe C de eficiência energética. A fim de melhorar o consumo energético e a classificação das edificações, aplicou-se a estas edificações medidas de eficiência energética de simples implantação, considerando que as UHs encontram-se construídas.

As medidas consistiram na alteração da absorvância térmica das paredes externas e da cobertura da UH01 de 0,611 para 0,3 e da UH02 de 0,396 e 0,715, respectivamente, para 0,3, valor relativo a cores claras, a fim de diminuir o ganho de calor. Pelo mesmo motivo optou-se pela instalação de venezianas na sala e nos dormitórios. Para o sistema de aquecimento de água, o qual contava com um chuveiro elétrico em ambos os casos, dimensionou-se, de acordo com a INI-R, um sistema de aquecimento de água por energia solar com complementação por chuveiro elétrico. Este sistema reduziu os consumos energéticos para o aquecimento de água consideravelmente, 62% nos dois casos. Esta igual redução no consumo é explicada pela mesma demanda de água quente para as duas UHs, visto que esta deriva do número de usuários considerado, além de as condições climáticas e de instalações serem semelhantes nas duas edificações.

Ao aplicar-se novamente o método prescritivo observou-se uma melhora no atendimento aos requisitos, porém não suficiente para a classificação. Na aplicação do método simplificado observou-se melhoras de maneira geral para as duas edificações. Na avaliação da envoltória, mesmo que a variação das cargas térmicas para aquecimento tenha sido proporcionalmente maior, a diminuição considerável das cargas de resfriamento foi maior em valores absolutos, principalmente na sala da UH01, que foi de 100,99 para 37,35 kWh/m².ano. Essa diminuição foi suficiente para a obtenção de classe A para envoltória nos dois casos. Os sistemas de aquecimento

de água também foram avaliados e obtiveram classe A. Após as modificações propostas, tanto a UH01 quanto a UH02 obtiveram classe A de eficiência energética pelo método simplificado da INI-R.

Após a obtenção de classe A de eficiência energética para as duas edificações, através do consumo obtido nestes casos, dimensionou-se de maneira simplificada sistemas fotovoltaicos para a geração de energia local renovável, de maneira a enquadrar as edificações na definição de EEZ de energia local, definição escolhida para este trabalho. Para a UH01, o sistema dimensionado contaria com 7 módulos e produziria um excedente anual de 92,13 kWh. Já para UH02 foram considerados dois casos: um com 7 módulos onde a produção energética se aproximou muito do consumo anual, porém não suficiente para enquadrar-se na definição de EEZ, e outro com 8 módulos que resultou numa geração excedente anual de 328,64 kWh. Não foram consideradas as taxas mínimas cobradas pelas concessionárias, visto que no caso da UH01 (bifásica) e da UH02 (monofásica) são cobrados todo o mês, independente da geração, 50 e 30 kWh, respectivamente. Também se supôs que a energia exportada seria compensada, tornando a produção excedente uma consequência favorável. A produção energética excedente é favorável apenas em casos onde o proprietário possui outro imóvel para descontar os créditos adquiridos, não sendo possível a comercialização. Este fator, aliado às taxas mínimas sem a possibilidade de desconto, pode inibir o aparecimento de EEZs. Nesse sentido, a revisão das leis pode viabilizar o surgimento de cada vez mais EEZs no cenário nacional, principalmente no setor residencial.

Na comparação dos consumos totais presentes na fatura de energia elétrica do caso real, com os consumos obtidos pelo método simplificado da INI-R, os valores de consumo divergiram em um primeiro momento, porém, ao ponderar-se estes consumos pelo número de usuários em cada residência, a diferença observada foi consideravelmente menor. Na UH01 o consumo obtido nas faturas é de 880 kWh/ano por pessoa, com três usuários ao total, já o consumo obtido através do método simplificado, para quatro usuários, é de 928,79 kWh/ano por pessoa. Na UH02 o consumo obtido nas faturas é de 879 kWh/ano por pessoa, com dois usuários ao total, já o consumo obtido através do método simplificado, para quatro usuários, é de 970,94 kWh/ano por pessoa. A INI-R considera em suas análises no mínimo dois usuários por dormitório, uma medida a favor da segurança.

A UH01 não passou na avaliação pelo método prescritivo pois seus valores de absorvância térmica das paredes externas e cobertura e capacidade térmica da cobertura são maiores que os limites. Também não possui área de ventilação das aberturas externas suficiente em relação a área de piso na sala e no dormitório 2. As aberturas dos APPs não possuem venezianas e a água é aquecida no ponto de consumo por chuveiro elétrico. Após as alterações, novamente não foi possível a classificação, por conta da elevada capacidade térmica da cobertura e a falta de área de ventilação na sala e no dormitório 2. A UH02 não passou na avaliação pelo método prescritivo pois o valor de absorvância térmica da cobertura é maior que o limite, as aberturas externas de todos os ambientes não são suficientes em relação a área de piso, as aberturas dos APPs não possuem venezianas e o sistema de aquecimento de água é por aquecimento da água de um único ponto de consumo por chuveiro elétrico. Após as alterações ainda não foi possível a classificação por conta das áreas de ventilação insuficientes nos três APPs.

Em relação aos resultados da UH01 para o método simplificado, antes das alterações obteve classe B para envoltória e D para o aquecimento de água, com 5.944,26 kWh/ano em termos de energia primária, $PHOC_T$ de 72% e emissões de CO_2 de 0,3344 t/ano. Após as alterações nas absorvâncias térmicas das paredes externas e cobertura, além da implantação de um sistema de aquecimento de água por energia solar com complementação por chuveiro elétrico, a UH01 passou a ter classificação A para envoltória, A para o aquecimento de água e A na classe geral, com consumo total de 3.620,16 kWh/ano em termos de energia primária, $PHOC_T$ de 83% e emissões de CO_2 de 0,2036 t/ano. Os resultados do método simplificado da UH02 foram: obtenção de classe B para envoltória e D para o aquecimento de água, com um consumo total em termos de energia primária de 6.214,01 kWh/ano, $PHOC_T$ de 72% e emissões de CO_2 de 0,3495 t/ano. Aplicadas as medidas, a classificação da envoltória passa a ser A, bem como a do aquecimento de água, com um consumo total em termos de energia primária de 3.779,96 kWh/ano, $PHOC_T$ de 79% e emissões de CO_2 estimadas em 0,2126 t/ano.

Acredita-se que o objetivo geral foi atendido, pois nas duas edificações foi possível analisar a possibilidade de torná-las EEZ. Os objetivos específicos esperados também foram atendidos: determinou-se o consumo energético e a classificação das duas edificações pelo método simplificado da INI-R. Foram aplicadas medidas de eficiência energética, as quais melhoraram a classificação das edificações numa

segunda aplicação do método simplificado. Avaliou-se a introdução de sistemas fotovoltaicos a fim de suprir 100% da demanda de energia elétrica, fornecendo uma estimativa para a classificação das UHs como EEZ. Por fim, comparou-se o consumo obtido para o caso real através da INI-R com o consumo obtido nas faturas de energia elétrica.

5.1 ANÁLISE DA INI-R

A mensuração das cargas térmicas para aquecimento e resfriamento, volume de água a ser aquecido e equipamentos elétricos utilizados varia juntamente ao número de usuários das edificações. A ponderação do consumo realizada neste trabalho não é ideal, visto que a relação entre o aumento de usuários e o aumento no consumo energético não é necessariamente proporcional, a depender das características específicas da edificação e de seus usuários. Porém, para efeitos informativos seria interessante a possibilidade de visualização dos resultados para APPs e UHs com cálculos utilizando diferentes combinações de números de usuários.

Além do número de moradores, a INI-R fixa o valor de consumo para os equipamentos elétricos por usuário, diminuindo a contabilização das particularidades das edificações com relação aos seus equipamentos. Por outro lado, deve-se evitar que esse consumo seja subestimado. A sugestão recomendada para este caso seria considerar um valor de consumo mínimo, porém com a possibilidade de aumento, para casos notadamente diferente dos padrões da INI-R, como por exemplo, aquecimento ambiental pelo piso. Créditos de consumo poderiam ser gerados, para serem então abatidos no balanço energético, ao se optar por equipamentos usuais com alta eficiência energética, como por exemplo, lâmpadas LED, geladeira, fogão e outros eletrodomésticos com etiqueta PBE ou Compet, incentivando a compra destes aparelhos.

Na INI-R, o total de energia local renovável produzida é descontado do consumo total de energia elétrica antes de o mesmo ser convertido em energia primária. Por conta disso, as UHs que possuem alguma fonte de energia térmica, por exemplo, não podem ser classificadas como EEZ, uma vez que não é possível descontar a energia local gerada da energia consumida por fontes térmicas. Uma possível solução seria considerar a definição de EEZ de energia primária para o

cálculo do potencial de geração de energia local renovável, podendo-se contabilizar todos os tipos de energia envolvidas no balanço energético, dados os respectivos fatores de conversão.

Por último, sugere-se uma melhora na interface do metamodelo, de modo a realizar-se a avaliação completa, e não apenas das cargas térmicas e do PHOCT.

5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações encontradas ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram:

- Proposta do novo método de avaliação da eficiência energética está em desenvolvimento, suscetível a mudanças no método e consequentemente nos resultados obtidos;
- Ausência de dados climáticos para a cidade de Tijucas-SC na interface do metamodelo;
- Falta de verificação das áreas de cobertura disponíveis para a instalação dos sistemas na condição proposta;
- Quantificação da viabilidade das medidas propostas e de outras medidas possíveis;
- Projeto de sistema fotovoltaico simplificado, não levando em consideração características econômicas, que são geralmente um limitante;
- Impossibilidade de classificação de EEZ ao serem consideradas as taxas mínimas cobradas pela concessionária, bem como a inviabilidade de eventual produção excedente, visto que nem sempre o proprietário dispõe de outro imóvel para abatimento destes créditos e não há a possibilidade de venda de energia nesta modalidade.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, é sugerido:

- Reaplicação dos métodos após publicação oficial da INI-R, a fim de observar as mudanças;

- Análise dos custos envolvidos nas medidas propostas e na aplicação do sistema de geração de energia local renovável;
- Tempo de retorno do investimento no sistema de aquecimento de água por energia solar e no sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220. Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações de até cinco pavimentos – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE 90.1-2016: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. SI ed. Atlanta: Ashrae, 2016.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.
- BRASIL; **Portaria Interministerial N.º 1877 de dezembro de 1985**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/pri19851877.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Relatório Síntese - Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro: Maio de 2018a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2018.
- BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001b. **Regulamenta A Lei no 10.295, de 17 de Outubro de 2001, Que Dispõe Sobre A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e Dá Outras Providências**. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4059.htm>. Acesso em: 25 jul. 2018.
- BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2050: Cenário Econômico 2050**. Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PNE2050_Premissas%20econ%C3%B4micas%20de%20longo%20prazo.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2018.
- CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION, 2008 - Energy Efficiency Strategic Plan* – 18 de Setembro de 2008 – Disponível em: <<http://www.cpuc.ca.gov/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=5305>>. Acesso em: 05 set. 2018.
- CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - **INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS - INI-R** (em desenvolvimento). 2018a. Disponível em: <<http://www.cb3e.ufsc.br>>.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - **Desenvolvimento da etiquetagem**. 2018b. Disponível em:

<<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>>. Acesso em: 12 set. 2018.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - **Apresentação - Método residencial**. 2018c. Disponível em:

<<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Me%CC%81todo%20residencial%20-%20CT%20Inmetro.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – **Interface do**

Metamodelo. 2018d. Disponível em: <<http://pbeedifica.com.br/redes/residencial/>>. Acesso em: 09 out. 2018.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. 2016. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>.

DOE. U.S. Department of Energy. **A Common Definition for Zero Energy Buildings**.

Setembro de 2015. Disponível em:

<<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/A%20Common%20Definition%20for%20Zero%20Energy%20Buildings.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2018.

DGS - German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013.

EVOLA, G. MARGANI, G E MARLETTA, L. **Cost-effective design solutions for low-rise residential Net ZEBs in Mediterranean climate**. Artigo de periódico. Energy and Buildings Volume 68, Part A, Janeiro 2014, Páginas 7-18. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.026>>.

GOLDSTEIN, D. B.; BURT, L.; HORNER, J.; ZIGELBAUM, N. **Zeroing in on Net-Zero Buildings: Can We Get There? How Will We Know When We Have Arrived?** ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2010.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. **From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)**. Energy and Buildings, v. 42, n. 6, p. 815–821, 2010.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 163, de 08 de junho de 2009. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2009.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 449, de 25 de novembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2010a.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º. 372, de 17 de Setembro de 2010b. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2010.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros.** Rio de Janeiro, 2013.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA - MÓDULOS - Edição 2017.** Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaiico_modulo.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2018.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Histórico PBE.** 2018a – Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/historico.php>>. Acesso em: 12 set. 2018.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. 2018b. **Tabelas de consumo/Eficiência energética - Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água (PBE Solar – coletores e reservatórios).** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **World Energy Balances 2017: World energy balances: Overview.** Paris, 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO SEDE DO CREA-SC.** Artigo. Julho de 2004. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/antigo/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf>. Data de acesso: 06 nov. 2018.

MENDES, N., WESTPHAL, F., LAMBERTS, R. E CUNHA, J. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil** - Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MENKES, Monica. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade.** 2004. 295 f. Tese - Curso de Doutorado, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PACHECO, M., GHISI, E. E LAMBERTS, R. **Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero.** Relatório interno. Florianópolis, 2013.

POGHARIAN, S. **GETTING TO NET ZERO ENERGY FOOD: the Alstonvale Net Zero House.**, 2008. Disponível em: <http://web.me.com/sevagpogharian/alstonvale/Lifestyle_-_Net_Zero_Food_files/Net%20Zero%20Energy%20Food.pdf>. Acesso em 01 set. 2018.

RORIZ, R - **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0.** ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto Ambiental e Eficiência

Energética de Edificações. São Carlos, SP. Março de 2014. Disponível em:
<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Roriz_2014.pdf>.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos : o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil** – Florianópolis : LABSOLAR, 2004. 114 p. Disponível em:
<<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em 09 nov. 2018.

SOUZA, A., GUERRA, J. E KRUGER, E. **Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico** - Revista Tecnologia e Sociedade - 1ª Edição, 2011. Disponível em:
<<http://www.redalyc.org/html/4966/496650333008/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

TORCELLINI, P. et al. **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition**.
California: ACEEE Summer Study, 2006.

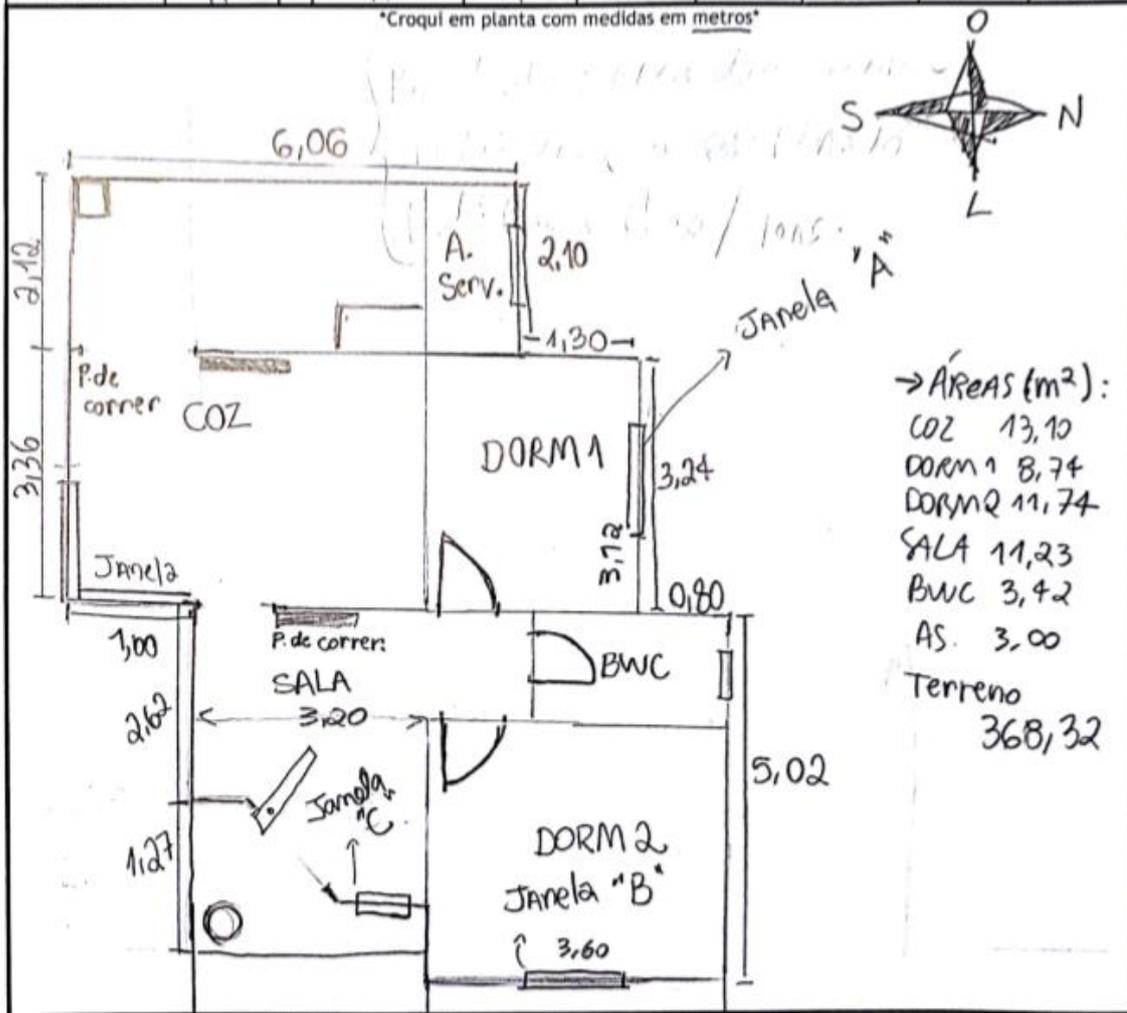
UE. União Europeia. **DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios**. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>>. Acesso em: 05 set 2018.

ZOMER, C. **MÉTODO DE ESTIMATIVA DA INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO PARCIAL NA GERAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS EM EDIFICAÇÕES**. Tese de doutorado. Florianópolis, 2014. Disponível em:
<https://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Clarissa_Debiasi_Zomer.pdf>.

ANEXO A – Formulários utilizados nas medições em campo

UH01 – página 1:

Ambientes									
#	SALA	DORM 1	DORM 2						
Pé direito	2,85	2,85	2,85						
Pav. (Cota)	0	0	0						
Piso em contato com solo ou laje? (S/L)	Laje	Laje	Laje						
Cobertura exposta ou laje? (E/L)	Exp.	Exp.	Exp.						
Pilotis? (S/N)	N	N	N						

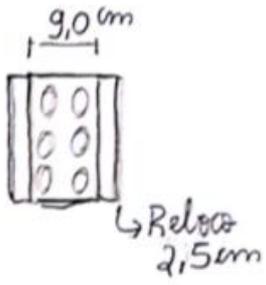


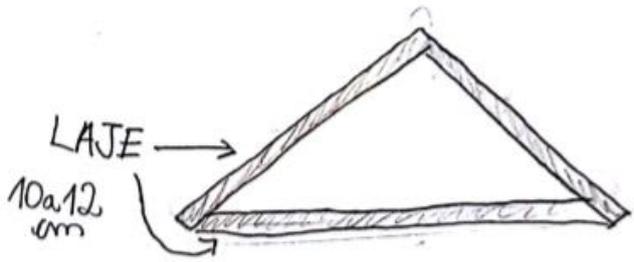
- Áreas (m²):
- COZ 13,10
 - DORM 1 8,74
 - DORM 2 11,74
 - SALA 11,23
 - BWC 3,42
 - AS. 3,00
 - Terreno 368,32

AR SPLIT KONECO 7.000 bt/h

Ligação Bifásica

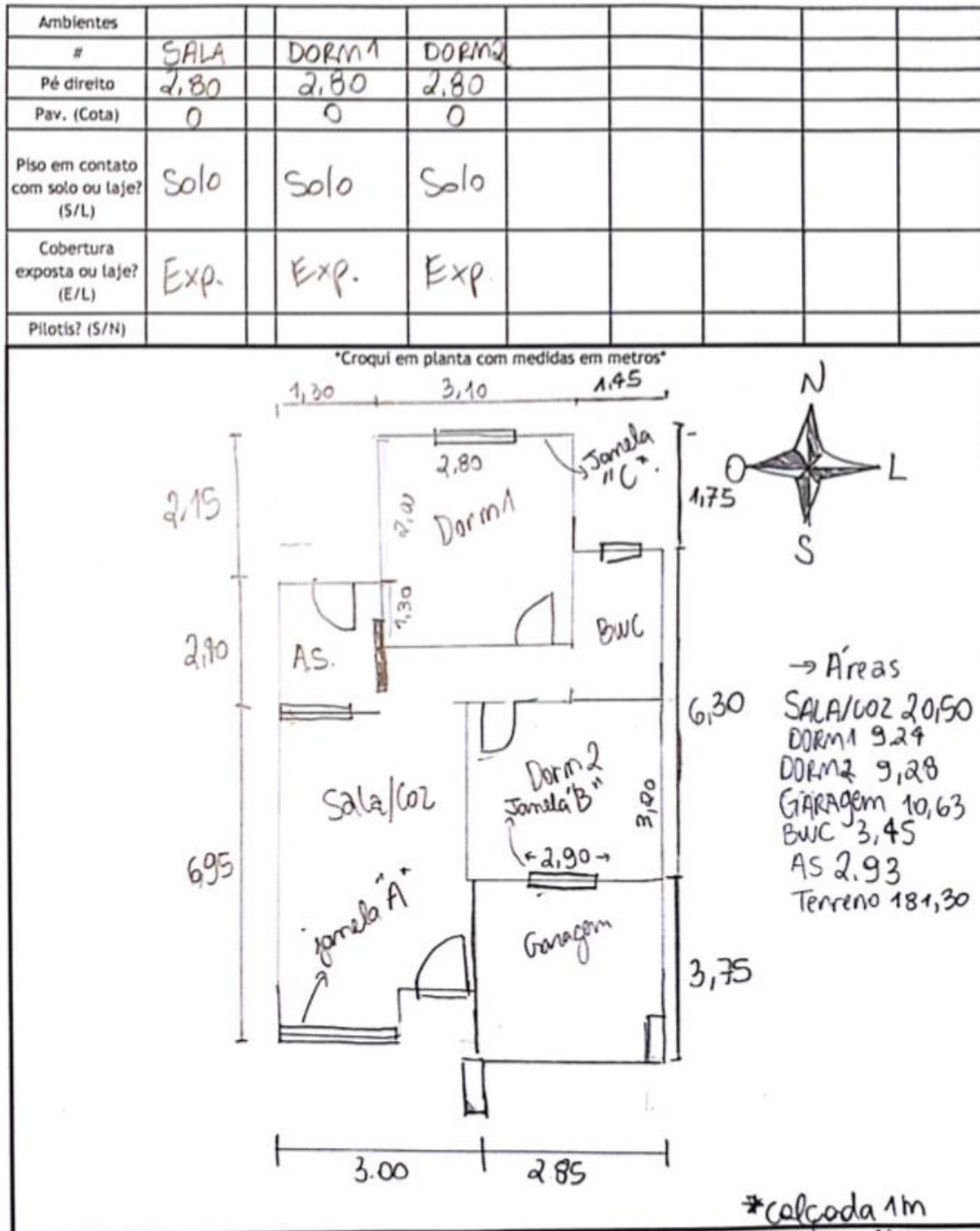
UH01 – página 2:

Pó-Direito:	2,85	m	Tipo de piso (Cerâmica ou Madeira):		Possui veneziana? / Possui Película?	Materiais de composição das paredes externas: *Esboço e descrição dos materiais, espessura e cor das paredes externas*
Aberturas	Tipo/Material:	Dimensões (Altura, Largura, Profundidade, -Peltoril-e-Frame) [m]:	% Ventilação e % Iluminação			
A	Vid/Alum	1,1 x 1,6	50%	NÃO	 <p>9,0 cm</p> <p>↳ Reloca 2,5 cm</p> <p>cor: CINZA</p>	
B	Vid/Alum	1,1 x 1,6	50%	NÃO		
C	Vid/Alum	1,125 x 0,6	colocar	NÃO		
D						
E						
F						
G						
H						
I						Materiais de composição das paredes internas: *Esboço e descrição dos materiais, espessura e cor das paredes internas*
J						<p>mesmo externo</p> <p>cor: -erva doce.</p>
K						
L						
M						
N						
O						
P						
Detalhes cobertura: Tipo de sistema, Materiais, Camadas, Cor, etc...						

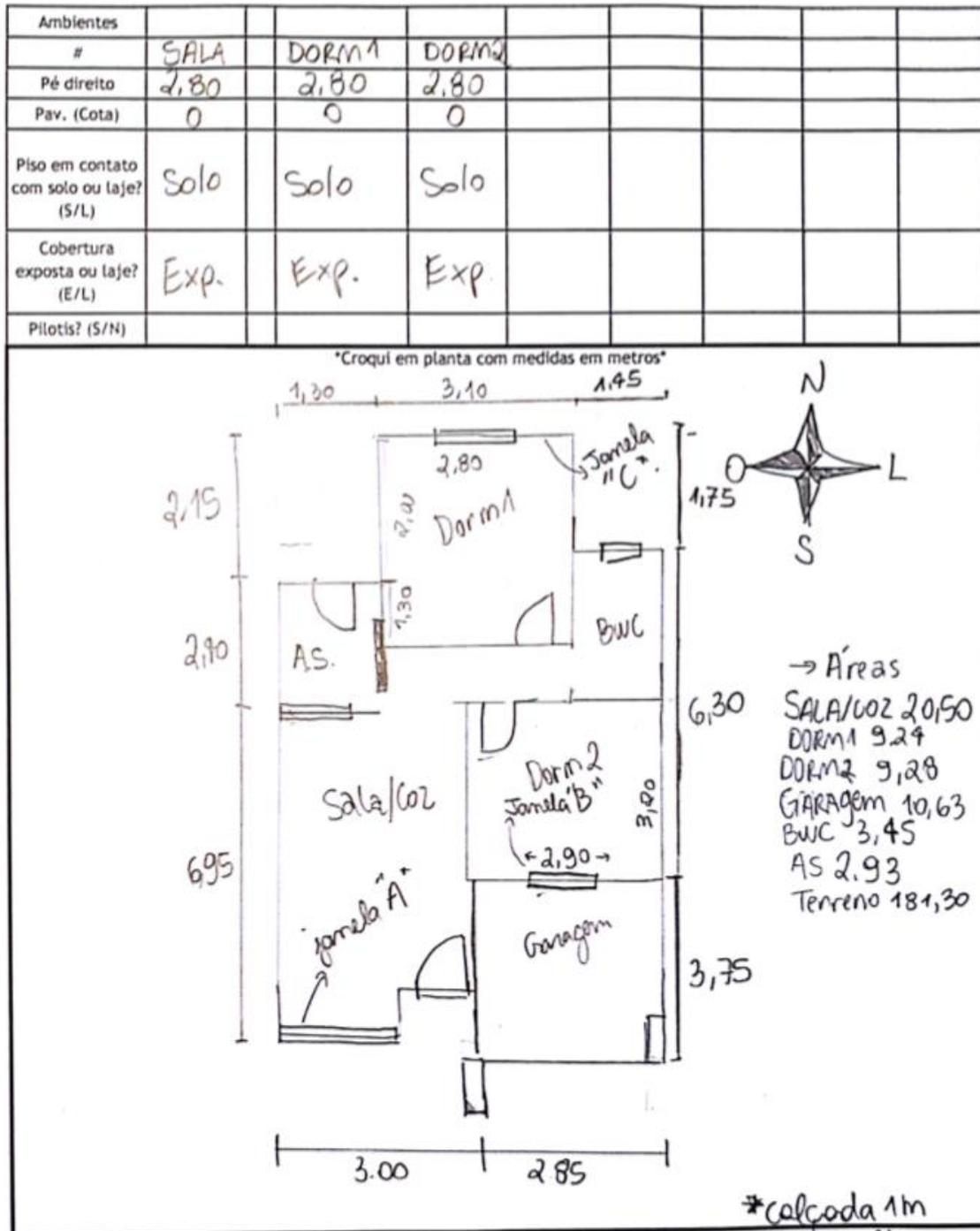


- Laje inclinada;
 - Pré-moldada;
 - Telha.
 - Cerâmica
- cor: CINZA

UH02 – página 1:



UH02 – página 2:



ANEXO B – Planilha Excel com dados das classificações

Envolvória:

CLASSIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DE CADA UNIDADE HABITACIONAL												
Número	Identificação da UH	GCL	Nº de APPs	G _T Ruhref (kWh/ano)	G _T Auhref (kWh/ano)	G _T Ruhreal (kWh/ano)	G _T Auhreal (kWh/ano)	EqNumUH	EqNumUHa	EqNumUH	CLASSE	PHOCT
1	UH01	1b	3	4198,7073	36,0538	1498,2763	31,71	2,91	3,00	2,91	B	72%
2	UH01med	1b	3	4198,7073	36,0538	470,8377	121,1018	3,78	1,06	3,76	A	83%
1	UH02	1b	3	5050,171	44,6696	2037,224	39,02	2,96	3,00	2,96	B	72%
2	UH02med	1b	3	5050,171	44,6696	781,929	133,6216	3,71	0,00	3,68	A	79%

Edificação de Referência														
Identificação da UH	APP	ID APP	Área (m ²)	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Aquecimento (kWh/ano)	Refrigeração (kWh/m ² .ano)	Aquecimento (kWh/ano)	Refrigeração (kWh/m ² .ano)	Refrigeração (kWh/ano)	Horas de Conforto	%RedcGTR	%RedcGTA	EqNumAPP	EqNumAPPa
UH01	Sala	01Sala	11,23	0,12	11,23	100,99	1134,1177	63%	62%	0%	0%	0%	3,16	3,00
UH01	Dormitório	01D1	8,74	0,22	8,74	21,02	183,7148	77%	65%	0%	0%	0%	2,61	3,00
UH01	Dormitório	01D2	11,74	0,43	11,74	15,37	180,4438	77%	72%	27%	0%	27%	2,90	3,00
UH01med	Sala	02Sala	11,23	0,79	11,23	37,35	419,4405	84%	86%	0%	0%	0%	3,69	3,00
UH01med	Dormitório	02D1	8,74	4,74	41,4276	3,53	30,8522	83%	94%	-374%	97%	-326%	3,77	0,00
UH01med	Dormitório	02D2	11,74	5,83	68,4442	1,75	20,545	83%	97%	0%	56%	0%	3,87	0,00
UH02	Sala	01Sala	20,5	0,24	20,5	84,9	1740,45	65%	56%	0%	22%	0%	3,03	3,00
UH02	Dormitório	01D1	9,24	0,45	9,24	23,21	214,4604	77%	60%	22%	60%	22%	2,39	3,00
UH02	Dormitório	01D2	9,28	0,12	9,28	8,87	82,3136	83%	84%	25%	84%	25%	3,38	3,00
UH02med	Sala	02Sala	20,5	2	41	36,27	743,535	80%	81%	-100%	81%	-100%	3,59	0,00
UH02med	Dormitório	02D1	9,24	6,78	62,6472	2,95	27,258	76%	95%	-430%	95%	-430%	3,80	0,00
UH02med	Dormitório	02D2	9,28	3,23	29,9744	1,2	11,136	78%	98%	-143%	98%	-143%	3,92	0,00

Aquecimento de água:

Identificação UH e Sistema																					
Número	Identificação UH	Cidade	Região do País	Temperatura Ambiente média (°C)	Sistema de Aquecimento			Elétrico ou térmico?	Tipo de Sistema	Possui Reservatório de Armazenamento?											
1	UH01	Florianópolis (SC)	Demais Regiões	20,93	Aquecedor elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico)			Elétrico	Individual	Não											
2	UH01med	Florianópolis (SC)	Demais Regiões	20,93	Aquecedor elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico)			Elétrico	Individual	Sim											
1	UH02	Florianópolis (SC)	Demais Regiões	20,93	Aquecedor elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico)			Elétrico	Individual	Não											
2	UH02med	Florianópolis (SC)	Demais Regiões	20,93	Aquecedor elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico)			Elétrico	Individual	Sim											
Energia consumida no atendimento de demanda de água quente (EAA)																					
Identificação UH				Quantidade de Pessoas - f	T água fra	T água quente	EAA (kWh/dia)	Possui sistema de Recuperação e Calor?		EAA,rec (kWh/dia)	EAA,sol (kWh/dia)	Possui sistema de Distribuição?		Material da tubulação	Ltub (m)	DN da tubulação (mm)	Espessura Isolamento (mm)	EAA,per,tub (kWh/dia)			
UH01				4	18,93	40	4,90	Não		0	0	Não		NÃO PREENCHER	NÃO PREENCHER	NÃO PREENCHER	NÃO PREENCHER	0			
UH01med				4	18,93	40	4,90	Sim		0	4,12	Sim		Polimérico	7	22	13	0,0151642			
UH02				4	18,93	40	4,90	Não		0	0	Não		NÃO PREENCHER	NÃO PREENCHER	NÃO PREENCHER	NÃO PREENCHER	0			
UH02med				4	18,93	40	4,90	Sim		0	4,12	Sim		Polimérico	7	22	13	0,01516424			
Energia para aquecimento de água proveniente de sistemas que recuperam calor ou energia solar térmica (EAA,rec,sol)																					
Tubulação do Sistema de Distribuição																					
Reservatório																					
Identificação UH		É Solar e Etiquetado pelo Imetro?		Volume (L)		Temperatura média no reservatório (°C)		Perdas Calculada - EAA, res (kWh/dia)		Perda máxima (kWh/dia)											
UH01		NÃO PREENCHER		NÃO PREENCHER		NÃO PREENCHER		0		0											
UH01med		Sim		200		60		1,077740919		1,799											
UH02		NÃO PREENCHER		NÃO PREENCHER		NÃO PREENCHER		0		0											
UH02med		Sim		200		60		1,077740919		1,799											
Cálculo da Eficiência																					
Edificação Real						Edificação Referência						%	Classe Com Armazenamento	Classe Sem Armazenamento	Classe	Classe					
Identificação UH		Eficiência do Equipamento Elétrico		CAAE (kWh/ano)		CAAT (kWh/ano)		EAA,tot (kWh/ano)		CAAE (kWh/ano)		CAAT (kWh/ano)		EAA,tot (kWh/ano)		Redução		Classe Com Armazenamento	Classe Sem Armazenamento	Classe	Classe
UH01		0,95		1881,18248		0		3009,891966		1881,18248		0		3009,891966		0%		D	D	D	D
UH01med		0,95		718,140777		0		1149,025243		1881,18248		0		3009,891966		62%		A	A	A	A
UH02		0,95		1881,18248		0		3009,891966		1881,18248		0		3009,891966		0%		D	D	D	D
UH02med		0,95		718,140777		0		1149,03		1881,18248		0		3009,891966		62%		A	A	A	A

Dimensionamento do sistema de aquecimento de água por energia solar:

Cálculo de Sistema Recuperador de Calor Via Solar									
Identificação UH:		UH01							
Região:		Demais Regiões							
Cidade:		Florianópolis (SC)							
Demanda - EAA (kWh/dia):		4,90							
Área coletores - Sc (m ²):		2,08							
Fator de eficiência óptica do coletor:		0,831							
Modificador do ângulo de incidência:		0,96							
Fator de correção do conjunto coletor/trocador:		0,95							
Coefficiente global de perdas do coletor (W/m ² .K):		3,71							
Volume de acumulação solar (l):		200							
Temperatura mínima da água quente (°C):		40							
Temperatura água fria - ano (°C):		18,93							
Temperatura ambiente - ano (°C):		20,93							
Fator adimensional - F'R(τα)		0,757872							
Fator - F'RUL (kW/m ² .K):		0,0035245							
K1:		0,939774487							
K2:		CADA MÊS							
Eimês (kWh/m ² .mês)									
	Dias no mês	Radiação Solar - Hdia (kWh/m ² .dia)							
Janeiro	31	5,1	249,22	744	453,5458	1,64	2,99	0,95	EAA,sol (kWh/dia): 4,12
Fevereiro	28	5,13	226,43	672	408,9895	1,65	2,98	0,95	
Março	31	4,79	234,08	744	447,9587	1,54	2,95	0,91	
Abril	30	4,31	203,83	720	423,6332	1,39	2,88	0,84	
Maior	31	3,93	192,05	744	415,2817	1,27	2,74	0,79	
Junho	30	3,41	161,26	720	395,8494	1,10	2,69	0,70	
Julho	31	3,55	173,48	744	400,2933	1,14	2,64	0,73	
Agosto	31	4,05	197,91	744	391,6304	1,30	2,58	0,82	
Setembro	30	3,75	177,34	720	389,6798	1,21	2,65	0,76	
Outubro	31	4,02	196,45	744	429,5688	1,29	2,83	0,80	
Novembro	30	4,84	228,89	720	423,1058	1,56	2,88	0,92	
Dezembro	31	5,07	247,76	744	446,8638	1,63	2,94	0,94	

Células azuis:
preencher.
Células laranja:
não preencher.

Classe da UH:

CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE HABITACIONAL AUTÔNOMA							INFORMATIVOS UH REAL										
Número	Identificação da UH	Identificação da UH			Qual o tipo de gás utilizado? Se energia térmica utilizada	% REDUÇÃO Com Geração	CLASSE Com Geração	% REDUÇÃO Sem Geração	CLASSE Sem Geração	PHOCT	PGE	ET água	E CO2 (tCO2/ano)	Consumo Energia Elétrica (MWh/ano)	Consumo Térmico (k/ano)	Consumo Energia Elétrica (kWh/mês)	Consumo Térmico (k/mês)
		GCL	Nº Dormitórios	Pessoas													
1	UH01	1b	2	4	GP	18%	C	18%	C	72%	0%	#N/A	0,334	3715,160	0,000	309,597	0,000
2	UH01med	1b	2	4	GP	102%	A	50%	A	83%	104%	#N/A	0,204	-92,132	0,000	-7,678	0,000
1	UH02	1b	2	4	GP	19%	C	19%	C	72%	0%	#N/A	0,350	3883,759	0,000	323,647	0,000
2	UH02med	1b	2	4	GP	107%	A	51%	A	79%	113,91%	#N/A	0,213	-328,642	0,000	-27,387	0,000