



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Igor Sartori Schlichting

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO
NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES**

Florianópolis

2024

Igor Sartori Schlichting

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO
NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil

Orientadora: Prof. Dra. Ana Paula Melo

Coorientador: Dr. Matheus Soares Geraldi

Florianópolis

2024

Schlichting, Igor

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES. / Igor Schlichting ; orientadora, Ana Paula Melo, coorientador, Matheus Geraldi, 2024.

107 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Desempenho Termo Energético. 3. Simulação Computacional. 4. Eficiência Energética. 5. Sistema de Ar-Condicionado. I. Melo, Ana Paula. II. Geraldi, Matheus. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Igor Sartori Schlichting

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO
NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado, em 10 de Setembro de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva, Dr
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

Prof. Roberto Lamberts
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Ana Paula Melo, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Primeiramente, agradeço aos meus pais, Luis Carlos e Maria de Fátima, pelo amor incondicional, apoio e incentivo ao longo de toda a minha jornada acadêmica e pessoal. Sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus amigos e afetos, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos de dificuldade e celebração, meu muito obrigado. Vocês são fundamentais em minha vida, ainda teremos muitos jogos e comidinhas pela frente.

Aos meus amigos e colegas de trabalho e de laboratório, em especial Andrea, Olavo, Brenda, Natasha, Marina, Tiago, Letícia, Renata, Greici, e Bracht, agradeço pela colaboração, pelo aprendizado compartilhado, pelo companheirismo e por diversas vezes me socorrem. Vocês tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora.

À minha orientadora, Ana Paula, e ao meu coorientador, Geraldi, deixo meus sinceros agradecimentos pela orientação, paciência e confiança em meu trabalho. Suas orientações foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos professores Roberto Lamberts e Antonio Cesar, membros da banca examinadora, pela disponibilidade e valiosas contribuições para a melhoria deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é avaliar o impacto da eficiência e operação do sistema de ar-condicionado no consumo de energia elétrica do sistema de ar-condicionado de residências multifamiliares, foram realizadas medições para coletar os dados de consumo, eficiência e operação do sistema de ar-condicionado e a temperatura de bulbo seco do ambiente em 10 Unidades Habitacionais (UHs) em Florianópolis, SC. Também foram aplicados questionários para caracterizar o ocupante e a forma de operação do sistema de ar-condicionado, enquanto as planilhas de monitoramento de ocupação de ambientes serviram para avaliar o padrão de ocupação das UHs analisadas. As UHs analisadas foram modeladas de acordo com os requisitos da NBR15575-1:2021 – Desempenho Térmico, para se obter os indicadores de desempenho térmico das UHs, enquanto o método da INI-R foi utilizado para estimar o consumo de energia elétrica de cada caso. Além dos casos Referência,_{NBR} e Real,_{NBR}, utilizados para determinar o nível de desempenho dos ambientes e UHs, simulados com os dados climáticos INMET de Florianópolis, também foram simulados os casos Real,_{NBR,CLIMA} e Real,_{OBSERVADO}, com os dados climáticos reais do período de medição, com a diferença de que o segundo teve a ocupação adaptada conforme medição. Observou-se que 65% das ativações do sistema de ar-condicionado ocorreram quando o ocupante entrou no ambiente, evidenciando uma correlação entre a necessidade imediata de conforto térmico e o acionamento do sistema. A análise revelou que sistemas mais eficientes apresentaram menores consumos, com destaque para a Suíte da UH2, que, apesar de ter o maior tempo de uso (51,5h), não obteve o maior consumo devido à alta eficiência (6,68 W/W) e set-point de 24°C. A comparação dos indicadores de desempenho, estimativas de consumo de energia, eficiência, temperatura e operação do sistema de ar-condicionado mostrou que a eficiência e o set-point causam o maior impacto no consumo do sistema de ar-condicionado.

Palavras-chave: Desempenho Térmico, Simulação Computacional, Eficiência Energética, Sistema de Ar-Condicionado, NBR 15575.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the impact of the efficiency and operation of the air conditioning system on the electricity consumption of air conditioning systems in multifamily residences. Measurements were taken to collect data on consumption, efficiency, and operation of the air conditioning system, as well as the dry bulb temperature of the environment in 10 Housing Units (HUs) in Florianópolis, SC. Questionnaires were also applied to characterize the occupant and the operation of the air conditioning system, while occupancy monitoring spreadsheets were used to assess the occupancy pattern of the analyzed HUs. The analyzed HUs were modeled according to the requirements of NBR15575-1:2021 – Thermal Performance, to obtain the thermal performance indicators of the HUs, while the INI-R method was used to estimate the electricity consumption of each case. In addition to the Reference, NBR and Real, NBR cases, used to determine the performance level of the environments and HUs simulated with the INMET climate data of Florianópolis, the Real, NBR, CLIMA and Real, OBSERVED cases were also simulated, using the actual climate data from the measurement period. The difference was that the second case had the occupancy adapted based on the measurements. It was observed that 65% of the air conditioning system activations occurred when the occupant entered the environment, highlighting a correlation between the immediate need for thermal comfort and the system's activation. The analysis revealed that more efficient systems showed lower consumption, with particular emphasis on the Suite of HU2, which, despite having the longest usage time (51.5 hours), did not have the highest consumption due to its high efficiency (6.68 W/W) and a set-point of 24°C. The comparison of performance indicators, energy consumption estimates, efficiency, temperature, and air conditioning system operation showed that efficiency and the set-point have the greatest impact on air conditioning system consumption.

Keywords: *Thermo-Energy Performance, Computational Simulation, Energy Efficiency, Air Conditioning System, NBR 15575.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da metodologia	29
Figura 2 - Medidor de consumo de equipamentos de ar-condicionado.....	31
Figura 3 - Imagens dos medidores na UH4	32
Figura 4 - <i>I-button</i>	33
Figura 5 – Modelo Real Unidade Habitacional 1	51
Figura 6 – Modelo Real Unidade Habitacional 2	52
Figura 7 – Modelo Real Unidade Habitacional 3	53
Figura 8 – Modelo Real Unidade Habitacional 4.....	54
Figura 9 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH1	61
Figura 10 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH2.....	61
Figura 11 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH3	61
Figura 12 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH4.....	61
Figura 13 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (18/01 - 25/01) dos ambientes da UH 1	64
Figura 14 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (30/01 – 06/02) dos ambientes da UH 2	64
Figura 15 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (22/02 – 29/02) dos ambientes da UH 3	65
Figura 16 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (15/11 – 22/11) dos ambientes da UH 4	66
Figura 17 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH1	67
Figura 18 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH2.....	68
Figura 19 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH3	68
Figura 20 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH4.....	68
Figura 21 – Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 1.....	73
Figura 22 - Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 2	73
Figura 23 - Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 3.....	74
Figura 24 – Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 4.....	75

Figura 25 – Horas de Uso dos ambientes em ordem crescente de consumo medido	78
Figura 26 – Horas de Uso dos ambientes em ordem crescente de consumo medido	78
Figura 27 – Eficiência dos sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido	79
Figura 28 – Temperatura de ativação e <i>set-point</i> dos sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido	79
Figura 29 – PHFT $Real_{NBR}$ dos ambientes com sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido	80
Figura 30 – Consumo Estimado dos casos $Real_{NBR,CLIMA}$ e $Real_{OBSERVADO}$ dos sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Questionário de Caracterização de uso e ocupação	34
Tabela 2 - Resumo de modelos analisados	36
Tabela 3 - Propriedades Térmicas dos Componentes dos modelos de Referência <small>NBR</small> ,.....	38
Tabela 4 - Propriedades Térmicas dos elementos transparentes e esquadrias.....	38
Tabela 5 - Taxa metabólica e fração radiante para os usuários.	39
Tabela 6 - Padrão de uso para o sistema de iluminação de todos os dias do ano.....	39
Tabela 7 - Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas em APPs e APTs.....	40
Tabela 8 – Período de Medição das UHs.	46
Tabela 9 – Dados do sistema de ar-condicionado das UHs.....	47
Tabela 10 – Valores de Índice CSPF calculado e CEE.	48
Tabela 11 – Geometria e APPs das UHs	48
Tabela 12 – Respostas Questionários	49
Tabela 13 - Características dos modelos Reais das Unidades Habitacionais.....	55
Tabela 14 - Padrão de Ocupação Real, <small>OBSERVADO</small> UH1.....	56
Tabela 15 - Padrão de Ocupação Real, <small>OBSERVADO</small> UH1.....	57
Tabela 16 - Padrão de Ocupação Real, <small>OBSERVADO</small> UH2.....	58
Tabela 17 - Padrão de Ocupação Real, <small>OBSERVADO</small> UH3.....	59
Tabela 18 - Padrão de Ocupação Real, <small>OBSERVADO</small> UH4.....	60
Tabela 19 - <i>Set-point</i> e temperatura de ativação dos ambientes para o modelo Real, <small>OBSERVADO</small>	63
Tabela 20 - <i>Set-point</i> de Refrigeração coletados através da planilha de ocupação questionário e <i>I-Buttons</i>	63
Tabela 21 – Comparação entre o momento de ativação do sistema de ar-condicionado e a ocupação observada nas Unidades Habitacionais	70
Tabela 22 – Desempenho Térmico das Unidades Habitacionais	72
Tabela 23 – Comparação de dados coletados e de simulação de todos os ambientes com sistema de ar-condicionado	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Absortância
APPs	Ambientes de permanência prolongada
APT _s	Ambientes de permanência transitória
CAUH _{aq}	Consumo de energia elétrica para aquecimento
CAUH _{res}	Consumo de energia elétrica para resfriamento
CEE	Coefficiente de performance para aquecimento ou resfriamento do aparelho de ar-condicionado
CEEA	Coefficiente de performance para aquecimento do aparelho de ar-condicionado
CEER	Coefficiente de performance para resfriamento do aparelho de ar-condicionado
CgTA	Carga térmica de aquecimento.
CgTR	Carga térmica de refrigeração
CgTT	Carga térmica total.
CSPF	<i>Cooling Seasonal Performance Facto</i>
Ct	Capacidade térmica
DPI	Densidade da potência instalada
FS	Fator Solar
IDRS	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal
PHFT	Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa.
P _{v,APP}	Percentual de abertura para ventilação de ambientes de permanência prolongada
TBSm	Média anual de temperatura de bulbo seco
Tomáx	Temperatura Operativa Máxima
Tomín	Temperatura Operativa Mínima
UH	Unidade Habitacional
Ut	Transmitância térmica
ZBs	Zonas bioclimáticas

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
SUMÁRIO.....	xii
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES	16
2.1.1 Padrão de Ocupação.....	18
2.1.2 Sistema de ar-condicionado	20
2.2 ABNT NBR 15575:2021	23
2.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	27
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 COLETA DE DADOS E MONITORAMENTO DA UNIDADE HABITACIONAL	30
3.1.1 Equipamento de medição	31
3.1.2 Planilha de Ocupação e Questionário	33
3.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO	35
3.2.1 Modelagem – conforme Seção 11 da NBR15575-1:2021	37
3.2.2 Real,OBSERVADO.....	41
3.3 ANÁLISE E COMPARAÇÃO.....	42
3.3.1 Análise de desempenho térmico	42
3.3.2 Análise de consumo do sistema de ar-condicionado.....	42
4 RESULTADOS	46
4.1 COLETA DE DADOS E MEDIÇÃO	46

4.2	MODELAGEM E SIMULAÇÃO	50
4.3	DESEMPENHO TÉRMICO	71
4.4	CONSUMO DE ENERGIA	72
4.5	COMPARAÇÃO DE DADOS COLETADOS E RESULTADOS DE SIMULAÇÕES.....	76
5	CONCLUSÃO.....	82
6	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	84
	REFERÊNCIAS	85
	APÊNDICE A – TCLE - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 89	
	APÊNDICE B – PLANILHA DE CONTROLE DE OCUPAÇÃO	94
	APÊNDICE C – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DOS AMBIENTES DE PERMANÊNCIA PROLONGADA DAS UNIDADES HABITACIONAIS	95

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA) de 2023 a demanda global de eletricidade foi de 24.722 TWh em 2022, representando um aumento de 2% em relação ao ano anterior, sendo que a energia elétrica representa 18% do consumo total de energia global. Nas economias emergentes e em desenvolvimento, como o Brasil, a demanda *per capita* por eletricidade está em crescimento constante, impulsionada pelo crescimento econômico e pelo aumento do padrão de vida.

Com o aumento da demanda global de eletricidade, é fundamental considerar o impacto direto desta na operação de edifícios, uma vez que representa aproximadamente 30% do consumo final de energia em nível global, sendo liderado pelo consumo dos sistemas artificiais de refrigeração e aquecimento das edificações (IEA, 2021).

No Brasil, o consumo total de energia elétrica das edificações foi de 239 TWh, representando 41% da eletricidade nacional, em 2022. No mesmo ano, as residências brasileiras utilizaram uma combinação diversificada de fontes de energia, com 46% proveniente da eletricidade, 22% do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e 26% da lenha, com isso, o setor residencial representou 65% da eletricidade demanda pelas edificações. Dentro desse contexto, o uso de sistemas de ar-condicionado vem se destacando, representando 17% do consumo de energia elétrica no setor residencial em 2021, podendo ser ainda maior em casos específicos, principalmente devido ao aumento das condições financeiras das famílias, permitindo a substituição de ventiladores e circuladores de ar por condicionadores de ar. Esse aumento no uso de ar-condicionado reflete uma transição tecnológica e de costumes, impulsionada pela necessidade de conforto térmico diante de dias mais quentes ao longo dos anos. Com isso, a eletricidade continua sendo a principal fonte de energia nas residências, demonstrando um grande potencial para melhorias na eficiência energética e uma gestão mais sustentável dos recursos elétricos (EPE, 2023).

Um estudo realizado pela IEA (2018) aponta que o setor residencial será responsável por 70% do crescimento da demanda energética nos sistemas de ar-condicionado. Projeções indicam que essa demanda poderá atingir 6.200 TWh até o ano de 2050. Esses números evidenciam a importância de compreender e avaliar o consumo energético dos sistemas de ar-condicionado nas residências, visando identificar oportunidades de eficiência energética e sustentabilidade nesse setor (COSTA *et al.* 2020). Considerando o aumento contínuo da demanda de eletricidade e a importância do setor residencial no consumo de energia no Brasil e no mundo, é fundamental adotar medidas de eficiência energética e sustentabilidade nos

sistemas de ar-condicionado, por representarem a maior demanda de energia elétrica nas edificações (IEA,2021).

Devido à importância de reduzir o consumo de energia elétrica, várias abordagens estão sendo exploradas em edificações para atingir esse objetivo, incluindo o uso de equipamentos mais eficientes e melhorias no desempenho das edificações como um todo. Há um considerável investimento no desenvolvimento de programas de gestão, modelagem e simulação, que permitem avaliar e analisar o desempenho termo energético das residências em diferentes condições climáticas, de padrão de ocupação, envoltória, cargas internas, entre outras. Esses programas buscam fornecer uma visão abrangente das características termo energéticas de uma residência, identificando áreas em que melhorias podem ser realizadas e propondo soluções eficientes. (JEONG *et al.*, 2021).

Algumas dessas abordagens foram incorporadas em normas nacionais, como a NBR 15575-1 de 2021, que realiza um papel fundamental ao estabelecer critérios para o desempenho de residências no Brasil, com a seção 11 da NBR abordando o desempenho térmico, através de dois métodos, o método prescritivo e o método por simulação computacional.

No entanto, ainda há uma lacuna na forma como o consumo energético real é representado nas simulações. Apesar dos avanços técnicos consideráveis, os resultados obtidos nas simulações ainda não capturam completamente o verdadeiro impacto energético da envoltória dos edifícios construídos (SANTAMOURIS; VASILAKOPOULOU, 2021). Existem possíveis causas para essa discrepância, e uma delas pode ser atribuída à complexidade envolvida na representação de todos os fatores das condições reais nas simulações. Isso, muitas vezes, requer o uso de simplificações, seja através da simplificação da modelagem da envoltória, do estabelecimento de padrões fixos para a ocupação do edifício ou da adoção de padrões simplificados para as cargas internas (JEONG *et al.*, 2021). Essas simplificações podem não ser capazes de capturar toda a complexidade e variabilidade encontradas no ambiente real, o que leva a uma representação incompleta do impacto energético nos edifícios.

O método de simulação apresentado na Seção 11 da ABNT NBR 15575-1:2021, por exemplo, avalia o desempenho térmico da envoltória da Unidade Habitacional considerando uma série de fatores essenciais, incluindo isolamento térmico, ventilação, padrão de ocupação, cargas internas, carga térmica, entre outros. O padrão de ocupação utilizado é fixo, e não leva em consideração a eficiência real dos equipamentos de ar-condicionado das residências, por analisar somente a carga térmica. A norma, que não tem o papel de avaliar o desempenho do sistema de ar-condicionado, não considera as diferenças entre os equipamentos de ar-

condicionado em termos de eficiência energética ou a variação do comportamento dos ocupantes em relação ao uso desses equipamentos. Como resultado, dependendo do equipamento de ar-condicionado escolhido, as simulações podem subestimar ou superestimar o consumo de energia estimado pela INI-R nas unidades habitacionais. É importante levar em conta esses fatores para se obter uma avaliação mais precisa do desempenho energético das edificações e identificar oportunidades de melhoria, pois esses pontos influenciam no consumo e desempenho do edifício (BECKER; PARKER, 2009).

Sendo assim, este estudo explora o impacto da eficiência e operação do sistema de ar-condicionado no consumo energético de residências multifamiliares através de simulações de desempenho térmico frente aos requisitos estabelecidos no método de simulação da ABNT NBR 15575-1:2021, com foco no padrão de ocupação, *set-point*, temperatura de ativação e eficiência do sistema de ar-condicionado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é analisar o impacto da eficiência e operação do sistema de ar-condicionado no consumo de energia elétrica do sistema de ar-condicionado de residências multifamiliares.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar o padrão de ocupação das unidades habitacionais avaliadas;
- Investigar como o uso dos equipamentos de ar-condicionado está relacionado à temperatura interna do ambiente avaliado;
- Determinar o nível de desempenho da envoltória das unidades habitacionais avaliadas.
- Estimar o consumo de energia das unidades habitacionais analisadas durante o período de medição.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentadas as premissas relevantes para o entendimento da pesquisa. Primeiro, conceituam-se as simulações de desempenho termo energético em edificações, assim como os aspectos relevantes para a pesquisa que influenciam o desempenho térmico das edificações. Em seguida é apresentada a ABNT NBR15575-1:2021, que será o método para determinar o desempenho térmico das unidades habitacionais.

2.1 SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES

É fundamental compreender que a simulação não produz soluções imediatas nem respostas prontas; seu propósito principal é aprimorar a compreensão dos fenômenos analisados. No passado, a atenção estava voltada para a criação de programas e seus recursos. No entanto, na atualidade, devido aos notáveis avanços na precisão e confiabilidade dos modelos de simulação, o foco do debate voltou-se à eficácia da simulação de desempenho de edifícios ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Há um amplo consenso de que a simulação por computador desempenha um papel central no desenvolvimento de edifícios sustentáveis e eficientes, tanto em construções recém-criadas como em reformas (HENSEN; LAMBERTS, 2019).

Há um interesse crescente, tanto na prática quanto na pesquisa, em utilizar a simulação não apenas para entender as interações entre o edifício, seus ocupantes, os sistemas de ar-condicionado e o clima externo, para viabilizar opções de projetos sustentáveis, mas também para atividades pós-construção, como comissionamento, operação e gestão eficaz de edifícios a fim de abordar as discrepâncias entre o desempenho previsto e o real (CLARKE; HENSEN, 2015).

Um exemplo de abordagem para redução de consumo foi explorado por Naves *et al.* (2021) que apresentou uma análise da eficiência energética em edificações residências situadas em regiões de clima tropical, com foco na implementação de sistema de armazenamento de energia térmica (TES) e sistemas fotovoltaicos (PV). O objetivo central foi avaliar o potencial dessas tecnologias em melhorar o desempenho dos sistemas de ar condicionado, visando a otimização do consumo energético e a redução de custos. A metodologia empregada baseou-se em simulações computacionais realizadas através do programa TRNSYS, que permitiu a modelagem de diferentes cenários operacionais para o ar-condicionado e TES, levando em consideração as variações de tarifas de energia. Os resultados indicam que a integração sinérgica de TES e PV pode ser uma estratégia viável para alcançar um balanço de energia zero

em uma base anual, contribuindo para a sustentabilidade energética em edificações residências. A pesquisa destacou a importância de considerar as particularidades climáticas na gestão energética de edifícios e sugere que a combinação de TES e PV representa uma solução promissora para enfrentar os desafios impostos pelo alto consumo de energia em sistemas de climatização em zonas tropicais.

Maile *et al.* (2007) afirma que as simulações termo energéticas de edifícios são baseadas em equações, princípios e suposições termodinâmicas. Devido à complexidade dos processos térmicos em um edifício e à falta de entendimento total sobre eles, os programas de simulação termo energéticas aproximam suas previsões com equações e métodos qualificados.

As previsões e cálculos das simulações computacionais são realizadas partindo da execução de um modelo ou de um conjunto de modelos que interagem entre si. Tais modelos são a representação computacional ou descrição de sistemas da edificação a ser analisada (BECKER; PARKER, 2009). Através dos modelos computacionais da geometria do edifício, cargas internas, sistemas de ar-condicionado, dados climáticos, estratégias e cronogramas de operação e parâmetros específicos as ferramentas de simulação de energia são capazes de prever o desempenho energético de um edifício.

O estudo realizado por Eli *et al* (2021), apresenta uma análise do desempenho térmico em residências brasileiras, enfatizando a complexidade de fatores que influenciam a eficiência energética. A metodologia adotada, que inclui simulações computacionais, permitiu uma avaliação detalhada dos efeitos de variáveis construtivas e comportamentais, bem como das condições climáticas, sobre os indicadores de desempenho térmico de percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT) e cargas térmicas para aquecimento e resfriamento. Os resultados indicam uma variação significativa no desempenho térmico, ressaltando a importância do isolamento térmico e da consideração de padrões de ocupação. As conclusões sugerem que políticas públicas e práticas de construção devem ser adaptadas às realidades locais, incorporando tanto estratégias passivas, como ventilação natural, quanto ativas, como o uso de ar condicionado, para otimizar o desempenho térmico de residências. A pesquisa destaca a necessidade de múltiplos indicadores para uma compreensão holística do desempenho térmico, e aponta para a influência significativa do comportamento dos usuários e da variação climática regional nas estratégias de resfriamento e eficiência energética das residências.

2.1.1 Padrão de Ocupação

Independentemente de como os sistemas são modelados, o comportamento dos usuários pode alterar o desempenho térmico previsto. Mesmo que a edificação e seus sistemas sejam bem projetados e planejados, o modo como as pessoas se comportam dentro do edifício pode alterar o seu funcionamento e o resultado esperado. Sendo que, dentre as diversas incertezas que devem ser consideradas para simular o desempenho de uma edificação, o padrão de ocupação tem grande impacto no consumo energético de edificações (MAHDAVI; TAHMASEBI, 2019).

Existem discussões de como estabelecer um modelo de padrão de ocupação. A maneira mais usual é por meio de frações horárias (entre 0 e 1), que seriam horários fixos, que representam os ocupantes e seu comportamento, que multiplicam os ganhos internos devido à presença de pessoas, cargas de iluminação e cargas de equipamentos (GAETANI; HOES; HENSEN, 2016).

O artigo de revisão conduzido por Balvedi, Ghisi e Lamberts (2018) se concentra na integração de informações relevantes sobre o comportamento dos ocupantes em simulações de edifícios. Os temas-chave abordados envolvem a coleta de dados de comportamento de ocupação, o desenvolvimento de modelos comportamentais de ocupação e a aplicação desses modelos. Ao revisar as abordagens de coleta de informações, o estudo destaca que o monitoramento físico dos ocupantes pode ser dispendioso devido aos custos associados aos equipamentos, especialmente em experimentos de grande escala. O uso de equipamentos de imagem é considerado excessivamente intrusivo para contextos residenciais, e em vez disso, os sensores de movimento são preferíveis, preservando a privacidade dos ocupantes. Embora sistemas de monitoramento baseados em GPS de dispositivos celulares possam ser viáveis para acompanhar rotinas e ocupações, existe a preocupação com a segurança dos dados pessoais dos ocupantes. A precisão na coleta de dados é enfatizada, com a sugestão de fazer perguntas diretas em questionários para minimizar erros e mal-entendidos. Para alcançar resultados mais confiáveis, a combinação de vários métodos é sugerida devido à incerteza inerente a cada abordagem individual. O estudo também destaca a importância de definir claramente os objetivos da pesquisa para evitar aumentar desnecessariamente a complexidade do estudo. Além disso, são apresentados dois tipos de modelos: determinístico, também conhecido como fração horária ou horários fixos, que replica os padrões monitorados de ocupação, e probabilístico, capaz de gerar novos padrões de ocupação. Em síntese, o estudo evidencia a relevância de incorporar informações precisas sobre o comportamento dos ocupantes nas

simulações de edifícios, ressaltando a importância de uma abordagem abrangente e cuidadosa para garantir resultados confiáveis

Mahdavi e Tahmasebi (2019) apontam que é comumente aceito que os modelos determinísticos de padrão de ocupação, podem ser obtidos por meio de normas. Como por exemplo a norma europeia EN 16798-1 (CEN, 2019) e a norma americana ASHRAE 90.1 (2022), que abordam o padrão de ocupação de diversas tipologias comerciais e residenciais ao definir um cronograma detalhado para o uso dos ambientes e equipamentos ao longo do dia, porém, enquanto a EN 16798-1:2019 considera diferenças entre dias úteis e finais de semana, com os dias de final de semana apresentando maior ocupação, a ASHRAE 90.1 (2022) utiliza o mesmo padrão de ocupação tanto para os dias de semana, como para os finais de semana. A ocupação e o uso de aparelhos e iluminação variam nas 24 horas, refletindo comportamentos típicos dos moradores, como horários de saída durante o dia e retorno à noite.

Porém, o estudo realizado por Zahiri e Elsharkawy (2018) demonstrou, com o auxílio de programa de simulação, a importância de utilizar perfis horários fixos dominantes de ocupação e uso de energia em vez de perfis de horários fixos padronizados ao calcular o consumo de energia do edifício. O estudo investigou um bloco de apartamentos em Londres, destinado a ser reformado, explorou as correlações entre a ocupação, os padrões de consumo de energia, o conforto térmico e o desempenho energético do edifício no inverno. Os pesquisadores utilizaram uma metodologia quantitativa, incluindo questionários, entrevistas estruturadas, monitoramento interno e modelagem de simulação do edifício. Os resultados revelam que as características sociodemográficas dos ocupantes têm influência significativa no consumo de energia e nas contas de consumo das unidades habitacionais. A pesquisa utilizou o programa *DesignBuilder* para modelagem e simulação energética e térmica do edifício. Foi observado que o estilo de vida dos ocupantes pode causar variações significativas no consumo, aumentando ou diminuindo o consumo total de energia do edifício. Os questionários indicaram que os padrões de uso de energia dos ocupantes e suas características sociodemográficas, incluindo o número de moradores e faixas etárias, têm efeitos consideráveis no desempenho energético do edifício, podendo chegar a variações de 40% do consumo da edificação.

O estudo realizado por Yu *et al.* (2019), na China, pretendeu melhorar a precisão na simulação de energia de edifícios ao utilizar dados de Avaliação Pós-Ocupação (APO) para calibrar o modelo de energia. O método desenvolvido no estudo aborda sete parâmetros de entrada atualizados, sendo eles: horários, dispositivos, condicionadores de ar, janelas, iluminação, água quente doméstica e cozinha. Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma

análise comparativa entre dois modelos de simulação de energia de edifícios - um com e outro sem um estudo detalhado de APO. Para a simulação de energia, os autores utilizaram a ferramenta *DesignBuilder*, que funciona como uma interface do programa *EnergyPlus*. Os resultados mostram que, ao atualizar as suposições do modelo de energia com base em comportamentos reais, a precisão do consumo simulado de energia do edifício pode ser melhorada em 14% para a área total do edifício e 16% para a área residencial, em comparação com o caso em que o modelo de energia não foi ajustado com dados da APO.

O propósito do modelo de padrão de ocupação é compreender como as ações dispersas das pessoas afetam os sistemas da edificação, como a circulação de ar, o controle de temperatura, a iluminação artificial, e outros aspectos. Compreender de que forma os ocupantes impactam esses sistemas auxilia na compreensão de como o comportamento humano pode influenciar o desempenho dos edifícios, além de possibilitar a previsão e o aprimoramento desse desempenho (CLARKE; HENSEN, 2015).

2.1.2 Sistema de ar-condicionado

Ramos *et al.* (2020) realizaram um estudo que abordou a dinâmica do uso de ar-condicionado em residências brasileiras, com o intuito de compreender o comportamento dos ocupantes e suas preferências em relação à climatização dos ambientes. Através de uma ampla coleta de dados por meio de questionários, que alcançou um total de 3.259 respostas válidas, os autores realizaram uma análise estatística não-paramétrica que revelou uma preferência significativa (89%) por ambientes naturalmente ventilados entre os participantes. Observou-se que fatores como as condições climáticas locais e o nível de renda familiar foram determinantes na disponibilidade e uso de sistemas de ar-condicionado. Em particular, famílias de alta renda residentes em áreas de clima extremamente quente mostraram maior propensão a possuir e utilizar ar-condicionado por períodos prolongados. Além disso, o estudo identificou uma variação notável nas temperaturas de *set-point* preferidas para o ar-condicionado, sendo que as temperaturas mais baixas eram escolhidas nos climas mais quentes. Este estudo evidencia que existem fatores que podem influenciar diretamente o uso do sistema de ar-condicionado, e, conseqüentemente, o consumo de uma residência. Esses fatores podem estar sobre o controle do ocupante, como o *set-point* do ar condicionado e a temperatura de ativação do ar-condicionado, ou não, como o clima, sendo um fator que não está sobre controle do ocupante.

O estudo realizado por Lu, Gaur e Lacasse (2024), ressalta a necessidade de utilizar dados climáticos atualizados e precisos em simulações de desempenho energético de edifícios,

para uma avaliação efetiva dos impactos do clima nas simulações. O estudo investigou o desempenho térmico de edificações sob projeções de condições climáticas futuras, enfatizando a integração de efeitos urbanos e estratégias de mitigação baseadas na natureza. O objetivo central foi avaliar como as edificações poderiam responder a cenários climáticos alterados, particularmente em Ottawa, Canadá, onde se esperava que mudanças significativas no clima urbano ocorressem devido ao aquecimento global. A metodologia empregou o modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) para simular dados climáticos urbanos, utilizando projeções de modelos climáticos globais e considerando variados cenários de aquecimento. Estratégias de mitigação, como o aumento da vegetação urbana e a melhoria do albedo das superfícies, foram incorporadas para examinar seu potencial em reduzir o calor urbano. Os resultados indicaram que tais soluções baseadas na natureza tiveram um impacto significativo na diminuição das temperaturas diurnas e noturnas em áreas urbanas. Além disso, observou-se que a urbanização intensificou fenômenos como a precipitação e modificou os padrões de vento locais.

Dentre os fatores que podem estar diretamente sobre o controle do usuário está a temperatura de ativação do sistema de ar-condicionado, que pode ser caracterizada como a temperatura fora da zona de conforto do ocupante, ou seja, caso a temperatura do ambiente estiver fora da zona de conforto, o ocupante irá ligar o sistema de ar-condicionado. A Seção 11 da NBR15757-1(2021), define 3 possíveis faixas de temperatura operativa do ambiente, podendo ser entre 18°C e 26°C, abaixo de 28° e abaixo de 30°, que dependem da média de temperatura de bulbo seco externa do local da edificação, sendo assim, caso uma edificação se encontre em um clima onde que a faixa de temperatura operativa está entre 18°C e 26°, significa que o ocupante irá ativar o sistema de ar-condicionado para aquecimento caso a temperatura operativa do ambiente interno esteja abaixo de 18° e irá ativar o sistema de ar-condicionado para resfriamento caso a temperatura operativa do ambiente interno esteja acima de 26°C.

Além da temperatura de ativação, outro fator que pode estar diretamente sobre o controle do ocupante seria o *set-point* do sistema de ar-condicionado, que representa a temperatura a ser mantida, preestabelecida pelo usuário, durante o funcionamento do sistema de ar-condicionado (ABNT, 2021). De acordo com Yin *et al.* (2016) sistemas de ar-condicionado representam uma carga elétrica substancial em edifícios, frequentemente mais de 1/3 da carga total, e o *set-point* claramente influencia o consumo final da edificação. O estudo realizado pelos autores apresentou uma nova estrutura de estimativa de demanda para edifícios residenciais e comerciais, usando uma combinação do programa *EnergyPlus* e um modelo para cargas térmicas controladas. Os autores destacam que para cada variação de 1°C do *set-point*

para modelos de ocupação de horários fixos é esperado uma variação de 2,5% no consumo do ar-condicionado, seja em edifícios residenciais ou comerciais, porém o estudo questiona essa afirmação após demonstrar que os sistemas de ar-condicionado apresentam maior potencial de redução de carga térmica ao relacionar o *set-point* com as condições climáticas, principalmente em climas muito quentes.

Nos últimos anos, a abordagem de *design* e operação de edifícios centrada nos ocupantes tem sido objeto de considerável pesquisa global. Reconhece-se cada vez mais que os ocupantes desempenham um papel fundamental na concepção e operação de ambientes internos seguros, confortáveis e energeticamente eficientes. Com base em um estudo feito por André *et al.* (2023) que envolveu 72 entrevistas com operadores e gerentes de instalações em sete países distintos, abrangendo diversas zonas climáticas, observou-se que as diferenças climáticas aparentemente têm pouca influência na gestão dos edifícios, enquanto as preocupações e reclamações dos ocupantes são notavelmente afetadas por essas discrepâncias. Portanto, é recomendada a formulação de protocolos operacionais que considerem tanto a sustentabilidade do edifício quanto o controle exercido pelos ocupantes, levando em consideração o contexto climático. Além disso, os *set-points* de temperatura, embora relacionados às condições climáticas, também são influenciados por fatores socioculturais, padrões normativos e questões econômicas, como economia de energia e custos. No entanto, a correlação entre o clima e os *set-points* pode apresentar variações surpreendentes dentro do mesmo país, destacando faixas de aquecimento e resfriamento mais próximas em climas frios. A pesquisa também aponta que a ampliação das faixas de temperatura de *set-point*, ajustadas de acordo com características climáticas, poderia resultar em economia de energia, aproveitando a capacidade de adaptação dos ocupantes. No entanto, equilibrar a otimização da eficiência energética com o conforto dos ocupantes continua sendo um desafio complexo.

Normalmente, a modelagem do *set-point* é baseada em regras, onde um valor específico pode ser estabelecido para a temperatura do ambiente, e quando o sistema de ar-condicionado é ativado o ambiente será aquecido ou resfriado para atingir a temperatura estabelecida (MAHDAVI; TAHMASEBI, 2019).

Anderson *et al.* (2019) realizaram um estudo de caso com três edificações para analisar o desempenho energético de edifícios zero energia e entender os impactos das alterações dos componentes e sistemas dos edifícios avaliados através de simulação no programa *DesignBuilder*. O estudo mostrou que o consumo do sistema de ar-condicionado é em grande parte devido ao *set-point* definido pelos usuários, podendo representar reduções de até 25% no

consumo da edificação, quando corretamente operados. Para calcular o consumo do sistema de ar-condicionado os autores utilizaram um cálculo aproximado utilizando a energia total para carga térmica ideal das zonas dividida por um COP constante do ar-condicionado. Dessa forma, apesar de não representar precisamente o consumo do sistema de ar-condicionado, evita-se a necessidade de especificar cada componente do sistema de ar-condicionado, que requer informações muitas vezes difíceis de se obter e experiência considerável para atingir os resultados desejados.

Este mesmo método também é empregado por estruturas normativas reconhecidas como a Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Residenciais (INI-R) de 2022 do INMETRO. A INI-R (2022) considera critérios da envoltória, sistema de ar-condicionado, água quente e outros sistemas que influenciam o consumo da edificação sendo possível avaliar através do método prescritivo, simplificado e de simulação. Em relação a envoltória e sistema de ar-condicionado, o método prescritivo da INI-R segue conforme o método prescritivo da Seção 11 da ABNT NBR15575:2021, além de fornecer uma estimativa de consumo de refrigeração e aquecimento para sala e dormitório que depende da zona bioclimática da edificação a ser avaliada. O método simplificado utiliza uma ferramenta de metamodelo capaz de estimar os indicadores do desempenho térmico presentes na Seção 11 da ABNT NBR15575. O metamodelo estima o valor destas variáveis com base em um treinamento realizado a partir de um banco de dados de simulações computacionais desenvolvidas conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-1. E o método de simulação, que também segue o método da Seção 11 ABNT NBR15575-1:2021. Tanto o método simplificado como o método de simulação utilizam de uma divisão simples dos *outputs* de carga térmica, resultantes da NBR 15575-1, pela eficiência do sistema de ar-condicionado para estimar o consumo do sistema.

2.2 ABNT NBR 15575:2021

Em muitos países a legislação está impulsionando soluções sustentáveis ao exigirem as simulações de desempenho termo energético de edifícios (Clark e Hensen, 2015), e no Brasil não é diferente.

A Norma de Desempenho de Edificações - NBR15575 teve sua origem em 2000, resultado de esforços conjuntos da Caixa Econômica Federal e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) no Brasil. Desde então, ela tem sido objeto de debates e discussões na sociedade brasileira, envolvendo diversos setores da indústria da construção civil. Após um

longo processo de aprimoramento baseado em referências nacionais e internacionais, a primeira versão da ABNT NBR 15.575 foi publicada em julho de 2013 (ASBEA, 2015).

Um estudo realizado por Krelling *et al.* (2023) destacou dificuldades e lições na formulação do novo método de avaliação de desempenho térmico abordado na versão mais recente da NBR15575-1:2021, destacando que o grande desafio foi lidar com a diversidade no Brasil, devido às diferenças culturais, climáticas e técnicas de construção em todo o país. O estudo destaca que o consumo de energia em edifícios é influenciado por fatores socioeconômicos e psicológicos, como atitudes, normas subjetivas, tradições e valores pessoais. Muitos padrões de desempenho térmico em todo o mundo não refletem adequadamente a realidade brasileira e sua cultura. O estudo também enfatiza que a representação do comportamento dos ocupantes nas simulações de desempenho de edifícios é simplificada, e tornar essa representação mais complexa é um desafio para o futuro. No entanto, a norma NBR 15575 (2021) é considerada sólida o suficiente para lidar com certos níveis de variabilidade no comportamento dos ocupantes. (KRELLING *et al*, 2023)

A versão mais recente da NBR15575, dividida em seis partes, cada uma abordando aspectos específicos do desempenho das construções, como estrutura, segurança, térmico, acústico, luminosidade, entre outros, sendo que até 2021 apenas as partes de acústica e térmica foram publicadas. O método da NBR 15575 baseia-se na definição de critérios e parâmetros técnicos que devem ser atendidos durante o projeto, execução e uso da edificação, garantindo a qualidade, durabilidade e segurança do empreendimento habitacional. A norma considera diferentes condições de uso e classifica as edificações em níveis de desempenho mínimo (obrigatório), intermediário (opcional) e superior (opcional), levando em conta aspectos como resistência estrutural, estanqueidade, isolamento térmico e acústico, ventilação, iluminação e outros fatores que influenciam no bem-estar e satisfação dos usuários (ABNT, 2021).

A Seção 11 da NBR15575-1, referente ao desempenho térmico de unidades habitacionais (UH), tem como base as partes NBR15575-1: Generalidades, NBR15575-4: Critérios para sistemas de vedações externas (SVVE) e NBR15575-5: Coberturas. A seção 11 define parâmetros para o isolamento térmico das paredes, coberturas e esquadrias, bem como para o desempenho de sistemas de ventilação, buscando minimizar o uso de energia e manter a temperatura operativa dos ambientes internos dentro dos limites estipulados. Além disso, permite a avaliação do desempenho térmico de edifícios residenciais através do método simplificado ou do método de simulação (ABNT, 2021).

O método simplificado avalia o desempenho térmico das unidades habitacionais (UHs) através da comparação das características geométricas dos ambientes de permanência prolongada (APPs) considerando os elementos de proteção das aberturas e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos, com base em valores de referência. Esse procedimento estabelece os requisitos e critérios para NBR15575-4: Critérios para sistemas de vedações externas (SVVE) e NBR15575-5: Coberturas. Para edificações multifamiliares, o mesmo procedimento deve ser aplicado a todas as UHs. Caso algum dos critérios do procedimento simplificado não seja atendido para um ou mais APPs, a avaliação da UH deve ser realizada utilizando o método de simulação computacional. O Procedimento Simplificado permite a análise de desempenho térmico para alcançar o nível mínimo, que é obrigatório, enquanto o atendimento aos níveis Intermediário e Superior requer a avaliação pelo Procedimento de Simulação Computacional (ABNT, 2021).

O método de simulação utiliza a comparação entre indicadores para classificar o desempenho de uma edificação. São modelados os ambientes da unidade habitacional com as propriedades térmicas de todos os componentes construtivos (paredes, pisos, teto e janelas), assim como o padrão de ocupação, sistemas de iluminação, cargas térmicas e considerando as diferentes zonas bioclimáticas (ZBs) do Brasil, levando em conta as características climáticas específicas de cada região, o que permite a adequação dos requisitos de desempenho térmico de acordo com a localização da edificação (ABNT, 2021).

A comparação dos indicadores do método de simulação é realizada entre um modelo de referência com características de referência, de acordo com os requisitos da ABNT NBR 15575:2021, e um modelo real, com a composição de materiais de acordo com o projeto, ambos os modelos com a geometria real do edifício. Para avaliar o desempenho térmico é necessário simular os modelos de referência e real em duas condições, com ventilação natural (VN) e sem ventilação natural (AC), para a obter os indicadores da avaliação em diferentes contextos (ABNT, 2021).

Os indicadores para a simulação do modelo VN são (ABNT, 2021):

- **Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT):** O PHFT é calculado para cada área de permanência prolongada (APP), com PHFT da unidade habitacional (UH) obtido a partir da média aritmética entre os valores de todos os APPs. Sendo a razão entre as horas ocupadas dentro de uma determinada faixa de temperatura operativa e o

total de horas ocupadas do ambiente, sendo entre 18°C a 26°C para intervalo de temperatura 1.

- **Temperatura Operativa Máxima (Tomáx):** referente ao maior valor entre as temperaturas operativas dos APPs da UH durante o período de ocupação;
- **Temperatura Operativa Mínima (Tomín):** referente ao menor valor entre as temperaturas operativas dos APPs da UH durante o período de ocupação, sendo necessário apenas para as ZBs 1 à 4.

Os indicadores para a simulação do modelo AC são (ABNT, 2021):

- **Carga térmica de aquecimento (CgTA):** quantidade de calor fornecido ao ambiente para manter o ambiente à temperatura desejada, para IT1 deve-se considerar que será ligado o ar-condicionado sempre que a temperatura operativa estiver abaixo de 18°C;
- **Carga térmica de refrigeração (CgTR):** quantidade de calor retirado do ambiente para manter o ambiente à temperatura desejada, para IT1 deve-se considerar que será ligado o ar-condicionado sempre que a temperatura operativa estiver acima de 26°C.
- **Carga térmica total (CgTT):** total de calor, fornecido ou retirado do ar do ambiente para manter as condições adequadas.

O método descrito na seção 11 da ABNT NBR15575-1:2021 emprega níveis para classificar o desempenho de uma residência avaliada. A fim de atingir o nível mínimo, é necessário que o desempenho térmico da residência, medido pelo PHFT real, seja igual ou superior a 90% do PHFT de referência. Além do PHFT o nível mínimo também exige que, para edifícios multifamiliares:

- Tomáx real deve ser menor ou igual que a Tomáx ref + 2°C para coberturas ou Tomáx ref + 1°C para o pavimento térreo ou tipo;
- Tomín real deve ser maior ou igual que a Tomín ref -1°C para todos os pavimentos.

Para a avaliação dos níveis intermediário e superior de desempenho térmico da ABNT NBR15575-1:2021, passa a ser avaliada o acréscimo do PHFT real em relação ao PHFT ref, que deve ser maior ou igual que o acréscimo mínimo determinado pela norma. Além disso também passa a ser considerada a redução de CgTT entre o real e a referência, que deve ser maior ou igual que a redução mínima estabelecida pela norma.

2.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O desempenho térmico de edificações é essencial para garantir o conforto térmico dos ocupantes e reduzir os custos com consumo de energia, especialmente em climas quentes. Estudos recentes, como o de Ramos et al. (2020), mostram que a utilização de sistemas de ar-condicionado nas residências brasileiras está fortemente influenciada por fatores climáticos e socioeconômicos, como a renda familiar e as condições climáticas locais. Além disso, a escolha do set-point e a temperatura de ativação do ar-condicionado são fatores determinantes no consumo energético, como destaca Yin et al. (2016). A pesquisa de Lu et al. (2024) também ressalta a importância da integração de dados climáticos precisos nas simulações de desempenho energético, considerando projeções de clima futuro.

O controle de fatores como a temperatura interna e as condições climáticas externas é crucial na avaliação do uso de sistemas de climatização. A NBR 15757-1 (2021) descreve faixas de temperatura operativa que orientam o uso de ar-condicionado, dependendo temperatura operativa dos ambientes internos. A eficiência energética desses sistemas está intimamente ligada ao *set-point* ajustado pelo ocupante, com variações de 1°C podendo resultar em modificações significativas no consumo de energia.

A NBR 15575:2021 tem papel central na regulação do desempenho térmico das edificações brasileiras. Essa norma, que surgiu em 2000 e foi atualizada pela última vez em 2021, considera as variações climáticas regionais do Brasil e propõe métodos de avaliação de desempenho térmico por meio de simulação computacional ou métodos simplificados. A Seção 11 da NBR 15575-1 aborda os critérios de desempenho térmico das unidades habitacionais (UH), considerando as condições climáticas locais, as propriedades dos materiais de construção e o comportamento dos ocupantes.

Os métodos de avaliação incluem a análise do percentual de horas em que a temperatura está dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), a carga térmica necessária para aquecimento ou resfriamento. Através da comparação entre o modelo real e o modelo de referência a norma estabelece diferentes níveis de desempenho (mínimo, intermediário e superior), com critérios específicos para a classificação do desempenho térmico, levando em conta a redução da carga térmica para aquecimento e resfriamento.

A principal dificuldade na implementação de métodos de avaliação de desempenho térmico no Brasil, como aponta Krelling et al. (2023), é a diversidade cultural e climática, que dificulta a retratação precisa das condições locais. Além disso, a simulação precisa do comportamento dos ocupantes e das condições climáticas futuras, como discutido por Lu et al.

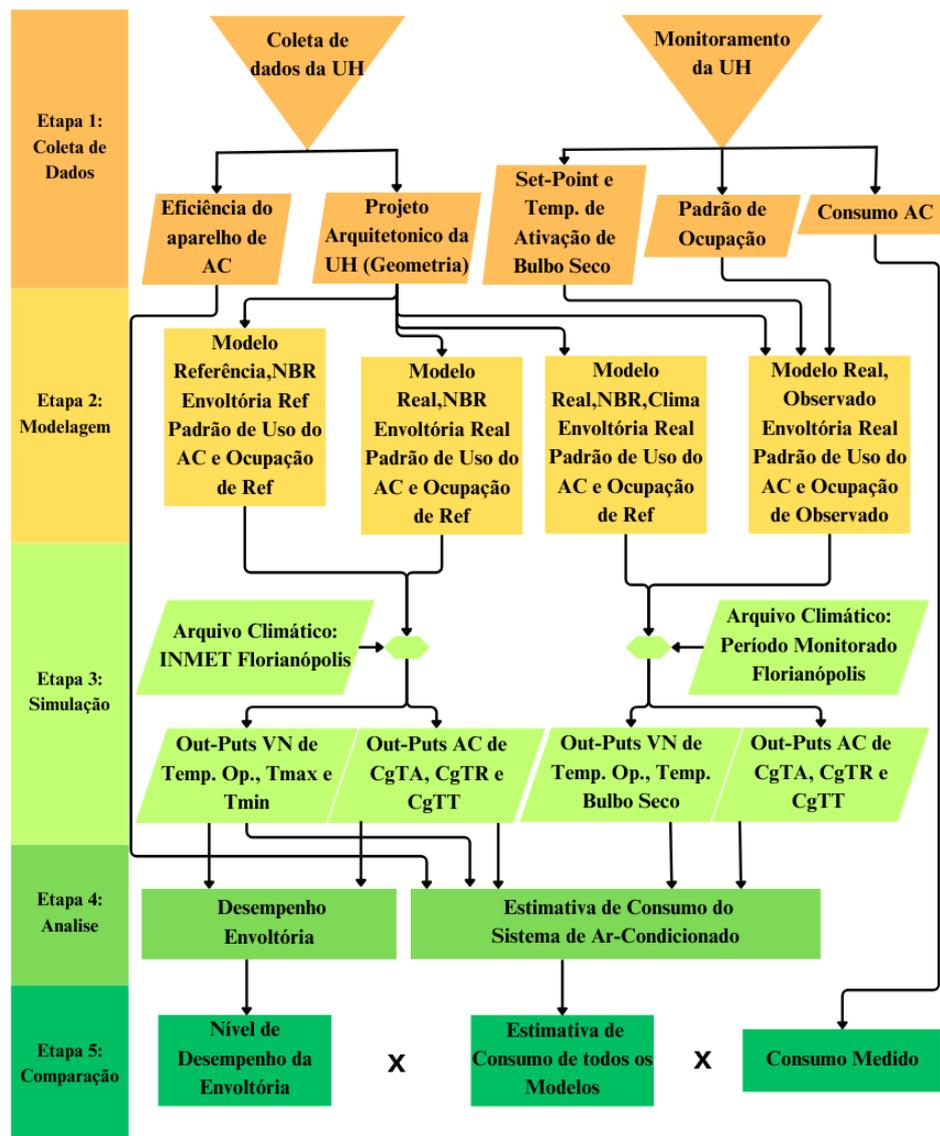
(2024), é um desafio em um cenário de mudanças climáticas, com a necessidade de incorporar projeções de longo prazo nas análises de desempenho energético.

O desempenho térmico das edificações e o uso de sistemas de ar-condicionado são aspectos cruciais na busca por soluções energéticas mais eficientes e sustentáveis. No Brasil, a ABNT NBR 15575:2021 fornece diretrizes importantes para garantir o desempenho termo energético das edificações residenciais. A integração de métodos de simulação de desempenho, como os descritos na norma, é fundamental para otimizar o uso de energia e melhorar o desempenho termo energético, mas os desafios relacionados ao comportamento dos ocupantes e às mudanças climáticas exigem uma abordagem cada vez mais precisa e adaptável.

3 METODOLOGIA

O fluxograma da metodologia desta pesquisa é apresentado na Figura 1, o trabalho seguiu 5 etapas. Primeiramente, serão apresentadas as formas de coleta de dados e monitoramento da unidade habitacional da etapa 1, em seguida, na etapa 2, será abordada a modelagem, as simulações na etapa 3, o método de análise de desempenho térmico e método de análise do consumo, na etapa 4 e, por fim, comparação de resultados na etapa 5

Figura 1 - Fluxograma da metodologia



A captação de voluntários para o estudo foi realizada por meio de convites, nos quais foi apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), presente no Apêndice A, contendo informações aos voluntários. Foram coletados os dados de 10 UHs e os critérios de seleção incluíam residir na região da Grande Florianópolis, residir em um edifício

multifamiliar, preferencialmente no pavimento tipo, possuir pelo menos um aparelho de ar-condicionado na residência e, preferencialmente, ter a planta baixa da residência disponível em formato físico ou digital, conforme abordado no TCLE (Apêndice A).

A Etapa 1 consistiu na coleta de dados da UH, projetos arquitetônicos e informações do sistema de ar-condicionado, monitoramento, utilizando os equipamentos de medição, e questionário (Tabela 1) e planilha (Apêndice B) para definir o set-point, o padrão de ocupação e o consumo do sistema de ar-condicionado. Em seguida, na Etapa 2, foi realizada a modelagem das UHs seguindo as instruções da ABNT NBR 15575-1:2021. Nesta Etapa foram gerados quatro modelos, $Referência_{NBR}$, $Real_{NBR}$ e $Real_{NBR,CLIMA}$, com padrão de ocupação conforme a Seção 11 da ABNT NBR 15575-1:2021, e $Real_{OBSERVADO}$ com padrão de ocupação conforme as medições da Etapa 1. A Etapa 3 consistiu na utilização de arquivos climáticos INMET e real para simulação de cada modelo para obtenção dos outputs de acordo com a ABNT NBR 15575-1:2021 com ventilação natural (outputs VN) e sem ventilação natural (outputs AC). Na Etapa 4, foram realizadas as análises de desempenho dos modelos $Referência_{NBR}$ e $Real_{NBR}$, e análises de consumo do sistema de ar-condicionado de todos os modelos. Por fim, na Etapa 5 foi realizada a comparação dos resultados obtidos da Etapa 4 entre todas as UHs.

3.1 COLETA DE DADOS E MONITORAMENTO DA UNIDADE HABITACIONAL

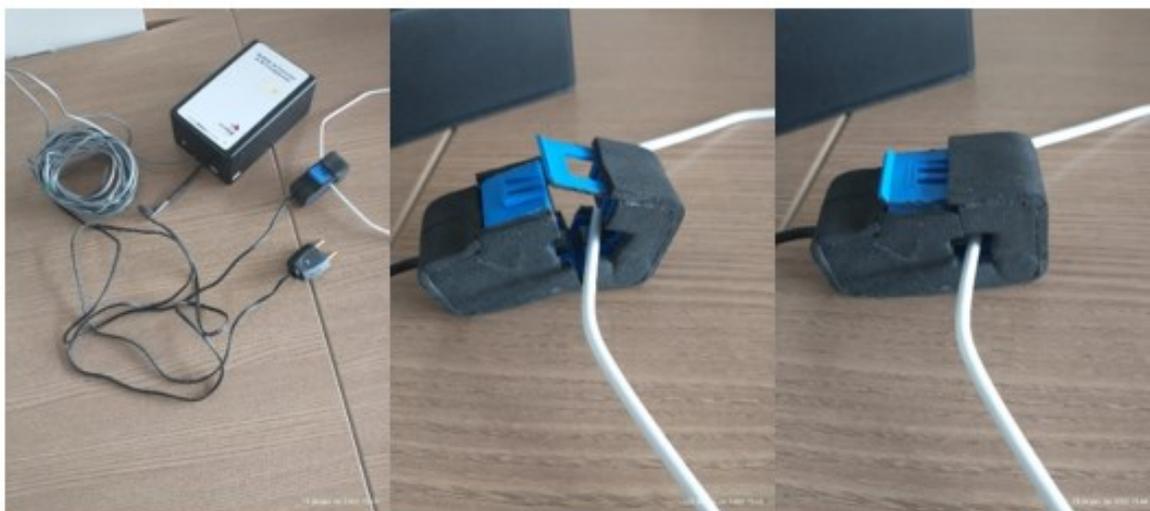
Cada período de medição teve a duração de 7 dias, sendo que a instalação dos equipamentos de medição ocorreu no dia mais conveniente para o voluntário, e a coleta foi realizada ao final da semana de experimento. Os equipamentos de medição instalados foram os medidores de consumo de ar-condicionado para estabelecer com maior precisão quando os aparelhos de ar-condicionado foram ligados pelos ocupantes e os *I-buttons* para coleta de dados de temperatura e umidade do ambiente.

Os equipamentos de medição forneceram dados objetivos e quantitativos, permitindo uma avaliação precisa de variáveis específicas, enquanto os questionários e planilhas coletaram informações subjetivas, enriquecendo a compreensão do tema e a precisão das simulações que foram realizadas. É importante mencionar que, mesmo com a aplicação de múltiplos métodos de coleta de dados, ainda podem existir incertezas nos resultados, devido às limitações inerentes a cada abordagem.

3.1.1 Equipamento de medição

Para medir o consumo de energia elétrica foi utilizado um equipamento de medição de consumo de sistemas de ar-condicionado (Figura 2), desenvolvido pelo professor PhD. Saulo Guths que foi conectado ao cabo de energia que alimenta o equipamento de ar-condicionado no quadro de disjuntores da residência. O aparelho é pequeno, mas precisou de um espaço onde pudesse permanecer conectado à energia (precisava ficar ligado em uma tomada), sem interrupções, durante o período do experimento. O aparelho mediu a corrente (em Ampères) e a tensão (em Volts), a cada 1 minuto, através de um sensor não invasivo do tipo SCT-13, da marca YHDC, que apresenta precisão de 1%, sendo assim, não houve necessidade de contato com a parte interna e condutora do fio que fornecia energia ao ar-condicionado.

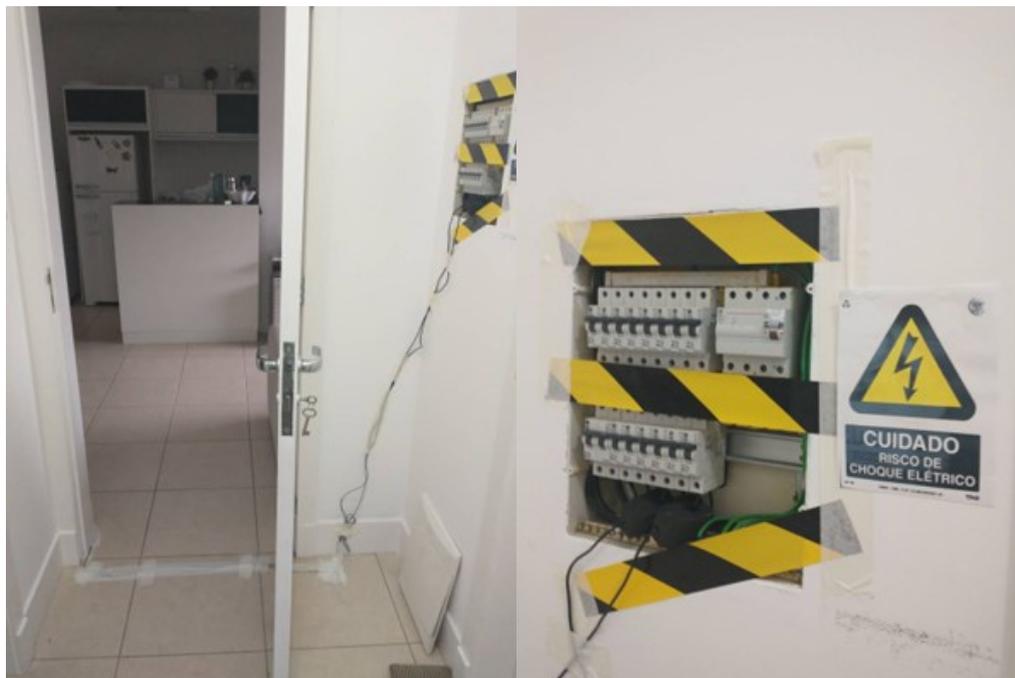
Figura 2 - Medidor de consumo de equipamentos de ar-condicionado.



Para garantir a segurança do pesquisador e ocupantes, o procedimento de instalação do equipamento de medição seguiu as orientações da NR-10 (MET, 2019), que exige que todo profissional que trabalhe direta ou indiretamente com instalações e serviços em eletricidade realize o curso de capacitação na prevenção de acidentes com eletricidade, de acordo com as disposições vigentes. Sendo assim, foram seguidas as orientações conforme a NR-10, respeitando o uso de equipamentos de proteção individual, desenergização e devida sinalização.

A Figura 3 ilustra a disposição dos medidores instalados e a necessidade de sinalização de risco. Para a realização das medições, foram utilizadas placas de alerta, fitas isolantes para impedir o contato com os disjuntores, fitas no chão para dificultar que os ocupantes tropeçassem nos equipamentos, bem como os equipamentos de segurança individual apropriados.

Figura 3 - Imagens dos medidores na UH4



Observou-se que as unidades habitacionais possuíam diferentes formas de disposição da ligação do sistema de ar-condicionado à rede, sendo assim, foi importante verificar a melhor forma de instalar os medidores para cada UH.

Em relação ao padrão de ocupação da residência, alguns fatores foram importantes para entender a percepção térmica dos ocupantes e a utilização do sistema de ar-condicionado. Para isso foi necessário compreender os limites de temperatura de bulbo seco interna através da medição de temperatura, entender a ocupação dos ambientes e a relação dos ocupantes com a residência e o sistema de ar-condicionado.

Para medir a temperatura de bulbo seco interna e a umidade relativa do ar nos ambientes, foram utilizados *I-buttons* (Figura 3) da série DS1923, fabricados pela Maxim Integrated, com resolução de 0.0625°C . Esses aparelhos são pequenos, possuem bateria interna e são discretos. Foi necessário instalar dois *I-buttons* em cada ambiente com a presença de um sistema de ar-condicionado: um na saída de ar do aparelho e o outro a uma altura média na parede interna do ambiente, levando em consideração que a base maior estará voltada para a parede, enquanto a base menor, que possui o sistema de medição estará voltada para o ambiente. O *I-button* na saída do aparelho de ar-condicionado serviu para identificar que o aparelho estava funcionando devido à mudança rápida de temperatura na saída. O *I-button* no ambiente serviu para determinar o *set-point* determinado pelo usuário, sendo possível de identificar ao observar

a temperatura do ambiente no instante que o sistema de ar-condicionado desliga durante a operação, e medir a temperatura do ambiente durante todo o experimento.

É importante destacar que os aparelhos não podiam ser removidos durante todo o experimento, requerendo cuidado para evitar choques físicos com o dispositivo instalado na parede. Por isso, foi necessário posicioná-los em um local seguro e estável para prevenir acidentes.

Figura 4 - *I-button*



3.1.2 Planilha de Ocupação e Questionário

Além disso, também foi realizado o levantamento da ocupação dos usuários nos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala) através de um questionário e uma planilha. O questionário, Tabela 1, teve a função de compreender como o usuário interagia com o aparelho de ar-condicionado. A planilha, Apêndice B, serviu para compreender quantas pessoas estavam em cada ambiente durante a semana, para estabelecer um modelo de ocupação para a residência, e ter o conhecimento da temperatura de acionamento do sistema desejado pelo usuário ao ligar o aparelho de ar-condicionado.

A planilha disponibilizada aos ocupantes da residência apresentava os ambientes, horários, *set-point* do aparelho de ar-condicionado e controle dos dias de um período de 7 dias consecutivos. Esta planilha serviu para estimar a quantidade de indivíduos em cada ambiente em determinados horários. Com esses dados, foi possível estabelecer um modelo do padrão de ocupação por UH, que foi utilizado para configurar as simulações computacionais das unidades habitacionais.

Tabela 1 – Questionário de Caracterização de uso e ocupação

Cidade: Florianópolis

Rua:

Complemento: apto

1. A quanto tempo instalou o ar-condicionado? (aberta)
2. Você está satisfeito com seu aparelho de ar-condicionado? (escolha única)
 - Sim
 - Não
3. Justifique sua satisfação ou insatisfação com seu aparelho de ar-condicionado (aberta)
4. Pretende instalar mais equipamentos em outro ambiente? (múltipla escolha)
 - Sim, na suíte
 - Sim, no quarto
 - Sim, na sala
 - Sim, no escritório
 - Sim, em outro ambiente
 - Não
 - Outro
5. Se você fosse substituir o modelo atual qual o motivo da substituição? (aberta)
6. Quando você costuma usar o aparelho ar-condicionado? (múltipla escolha)
 - Durante o dia
 - Durante a noite
 - Outro
7. Qual o motivo de utilizar o aparelho de ar-condicionado? (múltipla escolha)
 - Quando está muito calor
 - Quando está muito frio
 - Quando está muito úmido
 - Por conta do ruído externo
 - Outro
8. Qual o *set-point* que você geralmente utiliza? (aberta)
9. Possui algum tipo ventilador? (múltipla escolha)
 - Móvel
 - Teto

- Não possui
 - Outro
10. Em quais cômodos estão os ventiladores? (múltipla escolha)
- Sala
 - Quarto
 - Suíte
 - Escritório
 - Outro
 - Não possui
11. Prefere usar ventilador ou ar-condicionado? (escolha única)
- Ventilador
 - Ar-Condicionado
 - Nenhum
12. Usa ventilador e ar-condicionado ao mesmo tempo? (escolha única)
- Sempre
 - Às vezes
 - Nunca
13. A quanto tempo mora neste local? (aberta)
14. Quantas pessoas vivem em sua casa? (aberta)
15. Qual é a idade atual de cada pessoa? (aberta)
16. Qual o gênero de cada pessoa? (aberta)
17. Algum ocupante trabalha e/ou estuda de forma remota, híbrida ou em um local fora da residência? (aberta)

3.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A modelagem das unidades habitacionais foi realizada no programa *DesignBuilder*, que utiliza o programa *EnergyPlus* como base para as simulações. Utilizando as plantas baixas fornecidas pelos voluntários ou o levantamento *in loco* realizado pelo pesquisador, foram estabelecidos o modelo de referência e os modelos reais com base nos requisitos da ABNT NBR 15575-1:2021. O escopo da pesquisa limitou-se às UHs selecionadas, sendo assim, foi avaliado apenas o desempenho dessas UHs, não de todo o edifício. Mesmo assim, a modelagem seguiu as orientações da ABNT NBR 15575-1:2021, portanto, foram modelados todos os pavimentos da edificação e seu entorno, como não foi possível o acesso aos projetos completos

das edificações, os pavimentos tiveram que ser simplificados apenas repetindo o modelo da UH avaliada como sendo a UH padrão de toda a edificação.

Os casos foram definidos com base nas orientações da Seção 11 da ABNT NBR15575-1:2021, projetos das unidades habitacionais e dados medidos, resultando em 4 Casos por UH, como mostra a Tabela 2, sendo:

1. **Referência,NBR:** Caso de Referência da ABNT NBR15575-1:2021, com geometria real, demais características de referência e arquivo climático INMET de Florianópolis – Análise do Desempenho Térmico e Consumo de energia;
2. **Real,NBR:** Caso Real da ABNT NBR15575-1:2021, com geometria real, componentes construtivos reais, demais características de referência e arquivo climático INMET de Florianópolis – Análise do Desempenho Térmico e Consumo de energia;
3. **Real,NBR,CLIMA:** Caso Real da ABNT NBR15575-1:2021, com geometria real, componentes construtivos reais, demais características de referência e arquivo climático real de Florianópolis, durante o período de medição – Análise de Consumo de energia;
4. **Real,OBSERVADO:** Caso Real, com geometria real, componentes construtivos reais, *set-point* observado, temperatura de ativação de bulbo seco observado, padrão de ocupação observado, demais características de referência da ABNT NBR15575-1:2021 e arquivo climático real de Florianópolis, durante o período de medição – Análise de Consumo de energia.

Tabela 2 - Resumo de modelos analisados

Caso	Geometria	Composição da Envoltória	Arquivo Climático	Set-point do AC e Temp de Ativação	Padrão de Ocupação	Demais Características do modelo	Análise
Referência, NBR	Real	NBR15575-1: 2021	INMET Florianópolis	NBR15575-1: 2021	NBR15575-1: 2021	NBR15575-1: 2021	Desempenho Térmico e Consumo de energia
Real, NBR	Real	Real	INMET Florianópolis	NBR15575-1: 2021	NBR15575-1: 2021	NBR15575-1: 2021	Desempenho Térmico e Consumo de energia
Real, NBR,CLIMA	Real	Real	Real Florianópolis	NBR15575-1: 2021	NBR15575-1: 2021	NBR15575-1: 2021	Consumo de energia
Real, OBSERVADO	Real	Real	Real Florianópolis	Real	Real	NBR15575-1: 2021	Consumo de energia

3.2.1 Modelagem – conforme Seção 11 da NBR15575-1:2021

A modelagem foi estabelecida de acordo com o método da Seção 11 da ABNT NBR15575-1:2021 para todos os seus sistemas e características. Ao total foram estabelecidos 8 modelos para as análises, sendo eles: os 4 Casos com ventilação natural (VN) e sem ventilação natural (AC). Seguindo as orientações da NBR15575-1, 2021, o entorno real das Unidades Habitacionais foi considerado para todos os modelos.

As esquadrias do caso Referência,_{NBR} seguiram as condições de referência e, quando o projeto não continha as informações das esquadrias, os casos Real,_{NBR}, Real,_{NBR,CLIMA} e Real,_{OBSERVADO} também seguiram o modelo de referência. Nos modelos de Referência,_{NBR}, não foram considerados os elementos de sombreamento interno ou externo. Quando existiam, as venezianas não foram consideradas no modelo de Referência,_{NBR}; nos modelos Real,_{NBR}, Real,_{NBR,CLIMA} e Real,_{OBSERVADO}, foram consideradas sempre fechadas nos ambientes de permanência transitória (APTs) e, nos ambientes de permanência prolongada (APPs), abriram quando a temperatura externa de bulbo seco foi menor que 26°C e fecharam quando foi maior que 26°C. As condições de contato com o solo foram as mesmas para todos modelos, no caso de pilotis, o piso do pavimento foi considerado exposto às condições externas e ventos, sem ganho de calor devido à radiação solar direta.

Apesar de utilizar o método da Seção 11 da ABNT NBR 15575-1:2021, a avaliação completa de desempenho térmico de uma edificação não fez parte do escopo da pesquisa, realizando apenas a análise de desempenho térmico das Unidades Habitacionais (UHs) avaliadas. Assim, devido às limitações de foco do estudo e à dificuldade de obtenção de todos os projetos das edificações para análises precisas de composições de materiais e estrutura, a pesquisa não considerou pontes térmicas.

As propriedades térmicas dos componentes dos modelos da Referência,_{NBR} seguiram as orientações da ABNT NBR 15575-1:2021, conforme a Tabela 3. Os modelos Real,_{NBR}, Real,_{NBR,CLIMA} e Real,_{OBSERVADO} tiveram como base a Biblioteca de Componentes Construtivos desenvolvida por Weber *et al.* (2017) e a ABNT ISO NBR 10456:2022 para a definição das propriedades térmicas dos componentes construtivos, enquanto a absorvância dos ambientes foi baseada nos resultados obtidos por Dornelles (2008), o Apêndice C traz o relatório fotográfico dos APPs das residências que foi utilizado para determinar as absorvâncias.

Tabela 3 - Propriedades Térmicas dos Componentes dos modelos de Referência_{NBR}

Componente	Condutividade térmica (W/(m.K))	Calor específico (J/(kg.K))	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade (kg/m ³)
Parede Externa 10cm	1,75	1000	0,58	0,9	2200
Parede Interna 10cm	1,75	1000	Valor do Modelo Real	Valor do Modelo Real	2200
Pisos	1,75	1000	Valor do Modelo Real	Valor do Modelo Real	2200
Telha com 0,6cm de espessura	0,65	840	0,65	0,9	1700
Laje com 10cm de espessura	1,75	1000	Valor do Modelo Real	Valor do Modelo Real	2200

Fonte: ABNT (2021)

As características dos elementos transparentes, e esquadrias do modelo de Referência_{NBR} foram conforme a Tabela 4 com percentual de abertura para ventilação (Pv,APP) (%) de 7,65%.

Tabela 4 - Propriedades Térmicas dos elementos transparentes e esquadrias

Componente	Propriedade térmica	Valor
Elementos Transparentes	Fator Solar (FS)	0,87
	Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K))	5,7
	Percentual de elementos transparentes (Pt,APP) (%)	17
Perfis das Esquadrias	Absortância à radiação solar dos perfis	0,58
	Emissividade de onda longa dos perfis	0,9
	Condutância térmica (W/(m ² .K))	56
	Largura dos perfis da esquadria (mm)	50

Fonte: ABNT (2021)

Para os casos Referência_{NBR}, Real_{NBR}, Real_{NBR,CLIMA} o padrão de ocupação da ABNT NBR15575-1:2021 foram configurados com quartos totalmente ocupados entre 00:00 e 07:59 e entre 22:00 e 23:59 e com a sala com meia ocupação entre 14:00 e 17:59 e totalmente ocupada entre 18:00 e 21:59, no caso de uso misto o ambiente estará completamente ocupado entre 00:00 e 07:59, com metade da ocupação entre 14:00 e 17:59 e completamente ocupado entre 18:00 e 23:59. Considerando 2 pessoas por quarto enquanto a ocupação da sala seria o total de ocupantes da residência.

A taxa metabólica dos ocupantes de todos os modelos será conforme a Tabela 5 e o uso do sistema de iluminação conforme a Tabela 6 para todos os dias do ano.

Tabela 5 - Taxa metabólica e fração radiante para os usuários.

Ambiente	Período de Uso	Atividade	Calor produzido por área de superfície corporal (W/m ²)	Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m ² de área de superfície corporal (W)	Fração radiante
Dormitório	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,3
Sala	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,3
Uso Misto	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,3
	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,3

Fonte: ABNT (2021)

Tabela 6 - Padrão de uso para o sistema de iluminação de todos os dias do ano.

Ambiente	Período de Uso
Dormitório	06:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59
Sala	16:00 – 21:59
Uso Misto	06:00 – 07:59 e 16:00 – 23:59

Fonte: ABNT (2021)

Foi considerada a densidade da potência instalada (DPI) de 5,0 W/m², fração radiante de 0,32 e fração visível de 0,23 para o sistema de iluminação de todos os ambientes. Para a sala e uso misto, no período entre 14:00 e 21:59, também foi considerada a potência de 120 W e fração radiante de 0,30 para os equipamentos (ABNT, 2021).

Para as simulações com ventilação natural, para determinação do PHFT, Tomáx e Tomín, as janelas apenas abriram quando o ambiente estava ocupado, considerando dois critérios: quando a temperatura de bulbo seco interna do APP era igual ou superior a 19°C, ou quando a temperatura de bulbo seco interna era superior à temperatura de bulbo seco externa. Foram consideradas as infiltrações por frestas conforme a Tabela 7, sendo que as janelas de APTs foram consideradas sempre fechadas, com exceção dos banheiros, que foram considerados sempre abertos (ABNT, 2021).

Tabela 7 - Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas em APPs e APTs

Parâmetros	Portas	Janelas
Coefficiente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (kg/(s.m))	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coefficiente de descarga (Cd) da abertura (adimensional)	0,60	0,60

Fonte: ABNT (2021)

As portas internas entre APPs e APTs foram consideradas sempre abertas, com exceção dos banheiros, cujas portas permaneceram sempre fechadas, assim como as portas externas. As portas externas com elementos transparentes para varandas tiveram o mesmo funcionamento que as janelas. Foram utilizados os mesmos coeficientes de pressão nas aberturas da envoltória para o modelo real e de referência (ABNT, 2021).

Para as simulações sem ventilação natural, seguindo as orientações da ABNT NBR 15575-1:2021, todas as portas e janelas permaneceram fechadas durante todo o ano, com exceção da janela do banheiro, que permaneceu aberta. O funcionamento do sistema de ar-condicionado considerou o *set-point* de 23°C e ativação a temperatura operativa de 26°C para o cálculo de carga térmica de refrigeração dos casos Referência,_{NBR}, Real,_{NBR}, Real,_{NBR,CLIMA} enquanto o caso Real,_{OBSERVADO} foi utilizado o *set-point* observado e a temperatura de ativação de bulbo seco observado. Como Florianópolis pertence ao intervalo 1 de temperaturas externas da ABNT NBR 15575-1:2021, o *set-point* para o cálculo da carga térmica de aquecimento foi de 21°C. O acionamento do sistema de ar-condicionado foi condicionado à ocorrência de ocupação do APP.

O arquivo climático utilizado para os casos Referência,_{NBR} e Real,_{NBR} foi o INMET Florianópolis, enquanto os casos Real,_{NBR,CLIMA} e Real,_{OBSERVADO}, foram simulados utilizando o arquivo climático do período observado. O arquivo climático específico para o período observado foi criado utilizando a ferramenta *Elements*, da *Big Ladder*, que é um programa gratuito, de código aberto e multiplataforma para criar e editar arquivos climáticos personalizados para modelagem de energia em edifícios (*Big Ladder Software LLC*, 2014). Este arquivo climático, foi baseado inicialmente no arquivo climático TMYx 2007-2021 de Florianópolis, obtido através do repositório gratuito de dados climáticos para simulações de edificações *Climate.OneBuilding* (2023), sendo então, editado por meio dos dados climáticos de temperatura de bulbo seco e úmido, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento e radiação solar horizontal global, normal e difusa especificamente medidos para o período de medição e fornecidos pelo Laboratórios de

Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (LEPTEN), UFSC e pelo Laboratório Fotovoltaica, UFSC.

3.2.2 Real, OBSERVADO

O valor do *set-point* foi obtido da planilha de controle de ocupação (Apêndice B), preenchida pelos ocupantes da residência. Os dados das medições de temperatura dos *I-buttons* instalados nos ambientes serviram como controle em relação ao valor informado pelos ocupantes, considerando uma variação de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Ou seja, caso o ocupante determinasse um valor T para a temperatura, e a média da temperatura ambiente com o sistema de ar-condicionado ligado estivesse em $T \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, foi considerado que o sistema de ar-condicionado estaria funcionando como o esperado. A decisão de adotar uma margem de variação de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para considerar o *set-point* do ar-condicionado como atingido foi baseada na frequência das medições realizadas pelos *I-buttons*. Os dispositivos registraram a temperatura ambiente em intervalos de 5 minutos, o que pode não capturar com exatidão o momento em que o sistema de ar-condicionado atinge o *set-point* informado pelos ocupantes.

Como as medições não ocorrem continuamente, há a possibilidade de que a temperatura ambiente já tenha atingido o valor desejado entre os intervalos de medição. Para mitigar esse possível descompasso e evitar que pequenas flutuações nos dados comprometam a avaliação do *set-point* preferido pelo ocupante, foi adotada a margem de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Essa margem visa compensar eventuais variações que possam ocorrer no intervalo entre as medições, garantindo que, quando o sistema mantiver a temperatura dentro dessa faixa, ele seja considerado como operando corretamente.

A temperatura de ativação de bulbo seco foi estabelecida através da média das temperaturas do ambiente no momento que o sistema de ar-condicionado é ativado. Os ambientes que não possuíam ar-condicionado foram simulados sem o uso de ar-condicionado.

Assim como o *set-point*, o ponto de partida para a definição do padrão de ocupação foi a planilha de controle de ocupação (Apêndice B), preenchida pelos ocupantes da residência. Os dados das medições dos *I-buttons* e dos medidores de consumo do sistema de ar-condicionado serviram como controle para comparação com as respostas da planilha. Portanto, caso as leituras dos equipamentos de medição indicassem que o ar-condicionado estava ligado em um ambiente, mas os ocupantes não tivessem marcado na planilha que o ambiente estava ocupado, a planilha seria ajustada para refletir a presença de algum ocupante, indicando uma provável falha no preenchimento pelos voluntários.

A ABNT NBR 15575-1:2021 utilizava como padrão de ocupação um dia, por frações horárias, para todo o ano. Enquanto, a pesquisa definiu o padrão de ocupação para todo o ano utilizando a semana medida nas residências avaliadas, considerando frações horárias tanto nos dias de semana como nos finais de semana.

3.3 ANÁLISE E COMPARAÇÃO

3.3.1 Análise de desempenho térmico

A análise de desempenho térmico da edificação foi realizada por meio do método de simulação da ABNT NBR 15575-1:2021. Devido à importância do clima na análise do desempenho térmico de uma edificação, a norma estabelece intervalos que influenciam nos critérios de modelagem e limites de avaliação. Sendo assim, a NBR 15575-1 aponta intervalos da média anual de temperatura de bulbo seco (TBSm) do local a ser avaliado, os quais, assim como a ZB, influenciam na forma e critérios de avaliação. Esses intervalos são:

- Intervalo de temperatura 1: $TBSm < 25^{\circ}C$;
- Intervalo de temperatura 2: $25^{\circ}C < TBSm < 27^{\circ}C$;
- Intervalo de temperatura 3: $27^{\circ}C < TBSm$.

Florianópolis pertence à ZB3 e a média de temperatura de bulbo seco é de $20,91^{\circ}C$, portanto está no intervalo de temperatura 1, conforme definido pela norma.

Concluída a avaliação de desempenho pelo método da ABNT NBR 15575-1:2021 utilizando os modelos de Referência_{NBR} e Real_{NBR} de cada UH, foi realizada a comparação dos indicadores com o objetivo de identificar as diferenças entre os Casos simulados e as medições.

3.3.2 Análise de consumo do sistema de ar-condicionado

O método utilizado para estimar o consumo do sistema de ar-condicionado foi conforme a descrição do Anexo B.II – Sistemas de Condicionamento de Ar da INI-R para o método de simulação. Este método consistiu em utilizar os indicadores CgTA e CgTR, utilizados para a análise de desempenho térmico da ABNT NBR 15575-1:2021, e a eficiência dos aparelhos de ar-condicionado, seja através do COP, IDRS ou CSPF, para máquinas split ou janela que funcionam até 17,6 kW, conforme a equação 1 (INMETRO, 2022).

$$CAUH_{(aq \text{ ou } res)} = \frac{CgT (A \text{ ou } R)}{CEE (A \text{ ou } R)} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

$CAUH_{(aq \text{ ou } res)}$ = consumo de energia elétrica para aquecimento ou resfriamento da UH (kWh/ano);

$CgT (A \text{ ou } R)$ = carga térmica total de aquecimento ou resfriamento da UH (kWh/ano);

$CEE (A \text{ ou } R)$ = coeficiente de eficiência energética para aquecimento ou resfriamento do aparelho de ar-condicionado da UH (W/W).

Seguindo as orientações da INI-R (INMETRO, 2022) a condição de referência para resfriamento adota o valor de $CEER_{ref}$ de 3,5 e de aquecimento de 3,47. Para o cálculo do CEE de resfriamento dos modelos $Real_{NBR}$, $Real_{NBR}$, e $Real_{NBR}$ serão utilizadas as equações a seguir, dependendo do funcionamento do sistema de ar-condicionado presente da residência:

Com base no Coeficiente de Performance para refrigeração (COP), para janela ou split de velocidade fixa, conforme a Equação 2:

$$CEER = 1,062 * COP \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$CEER$ = coeficiente de eficiência energética para resfriamento do aparelho de ar-condicionado da UH (W/W);

COP = coeficiente de *performance* do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (W/W).

Com base no *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF), para split com inverter, conforme a Equação3

$$CEER = CSPF \quad (\text{eq. 3})$$

Onde:

$CEER$ = coeficiente de eficiência energética para resfriamento do aparelho de ar-condicionado da UH (W/W);

$CSPF$ = *Cooling Seasonal Performance Factor*.

Em relação à eficiência do sistema de ar-condicionado, o INMETRO fornece os dados de eficiência de diversos sistemas de ar-condicionado, tanto para o índice CEE, índice antigo para equipamentos não inverter, ou para o IDRS, índice novo para equipamentos inverter (motor com rotação variável) (INMETRO, 2022). Sendo assim, os dados do sistema de ar-condicionado das UHs avaliadas foram obtidos para possibilitar a determinação da eficiência através das planilhas fornecidas pelo INMETRO.

Caso o sistema de ar-condicionado da UH avaliada não estivesse listado nos índices do INMETRO foi adotado um sistema de ar-condicionado equivalente, que estivesse listado nos índices, sendo que os sistemas de ar-condicionado equivalentes não inverter foram escolhidos do índice CEE e os sistemas de ar-condicionado equivalentes inverter escolhidos do índice IDRS. A escolha do sistema de ar-condicionado equivalente foi feita a partir da comparação cruzada das informações de capacidade de resfriamento (BTU/h), tipo de sistema de ar-condicionado e CEE dos equipamentos entre o conforme consta na tabela de índices antigos, baseado no CEE, e o índice mais recente, baseado no IDRS. Para este último, o CEE de cada equipamento que consta na tabela de índices novos foi determinado, e então, comparou-se o CEE do equipamento existente com este CEE calculado, como último critério de comparação para adoção do equipamento equivalente.

Para os cálculos de estimativa de consumo dos sistemas de ar-condicionado não inverter foi utilizado o índice CEE do INMETRO (2022a), porém para maior precisão, os cálculos de estimativa de consumo dos sistemas de ar-condicionado inverter foi utilizado o *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF), baseado nos dados de carga e consumo do índice IDRS do INMETRO (2022a). O Fator de Desempenho Sazonal de Resfriamento (CSPF) é uma medida que reflete a eficiência de um equipamento de refrigeração ao comparar a quantidade total de calor removido do ar interno durante um ano com a quantidade total de energia consumida pelo equipamento no mesmo período. O CSPF é calculado de acordo com a norma ISO 16358-1:2013, levando em conta o desempenho do equipamento em cargas de 50% e 100% e utilizando o arquivo climático horário (EPW) INMET da cidade em questão, além das horas de ocupação (INMETRO, 2022b). O CSPF foi calculado utilizando a calculadora desenvolvida e disponibilizada pelo PBE Edifica (2024), disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/cspf/>>.

Conforme determina a Seção 11 da ABNT NBR15575-1 (2021) as cargas térmicas de resfriamento e aquecimento são consideradas baseadas na temperatura operativa do ambiente interno (ABNT, 2021), sendo utilizada nos casos Referência,_{NBR}, Real,_{NBR} e Real,_{NBR,CLIMA}

enquanto o caso Real,^{OBSERVADO} irá utilizar a temperatura de bulbo seco do ambiente interno como base pra determinar as cargas térmicas das simulações, devido a determinação da temperatura de ativação dos ambientes através dos *I-buttons*, que medem temperaturas de bulbo seco.

Após a determinação da estimativa de consumo de energia pelo método da INI-R, foi possível comparar os resultados e identificar as diferenças de consumo entre os Casos de cada UH e comparar os Casos de todas as UHs na tentativa de identificar padrões considerando as características das UHs, envoltória, set-point, temperatura de ativação, padrão de ocupação, eficiência do sistema de ar-condicionado, desempenho pelo método da Seção 11 da NBR15575-1:2021 e consumo medido durante o experimento.

4 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os modelos, dados coletados e análises realizadas das Unidades Habitacionais (UHs). As análises foram realizadas durante semanas quentes do final do outono e durante o verão, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Período de Medição das UHs.

UH	Período	Ano
UH1	18/01 - 25/01	2024
UH2	30/01 – 06/02	2024
UH3	22/02 – 29/02	2024
UH4	15/11 – 22/11	2023

4.1 COLETA DE DADOS E MEDIÇÃO

Em relação à eficiência do sistema de ar-condicionado, nenhum dos equipamentos de ar-condicionado estavam listados nas tabelas dos índices novos do INMETRO (IDRS). Porém, todos os sistemas do tipo inverter, presentes nas UHs 1, 2 e 4, e o sistema do Quarto 1 da UH3, que é não inverter, estavam presentes nas tabelas dos índices antigos do INMETRO (CEE). Os sistemas da Suíte e Sala da UH3, também não inverter, não estavam presentes nas tabelas dos índices CEE. Sendo assim, foi necessário adotar sistemas equivalentes que estivessem presentes nas tabelas de índices do INMETRO para todos os sistemas levantados, como mostra a Tabela 9.

Após a determinação do sistema equivalente, foi calculado o Índice CSPF utilizando o arquivo climático INMET de Florianópolis, conforme a Tabela 10. Posteriormente o Índice CSPF foi utilizado para estimar o consumo do sistema de ar-condicionado das UHs.

Tabela 9 – Dados do sistema de ar-condicionado das UHs.

UH	Ambiente	Tipo	Capacidade de Resfriamento (BTU/h),	Sistema Existente			Sistema Equivalente			
				CEE	Fabricante	Código	CEE	Fabricante	Código	IDRS
UH1	Suíte	Split Inverter	9000	3,4	Springer Midea	42MKCA09M5	3,28	Springer Midea	42AFVQH09S5	5,5
UH2	Suíte	Split Inverter	9000	3,24	Samsung	AR09MVSPBGM NAZ	3,17	LG	S4NQ09WA5AD	5,5
UH2	Sala	Split Inverter	18000	3,4	Springer Midea	38MBCA18M5	3,36	Unifrio	UNFINV01F18INT	5,92
UH3	Suíte	Split Não Inverter	9000	Não encontrado	LG	TSNH092YMA0	3,24	LG	S4NQ09WA51A	X
UH3	Sala	Split Não Inverter	9000	Não encontrado	LG	TSNH092YMA0	3,24	LG	S4NQ09WA51A	X
UH3	Quarto 1	Split Não Inverter	7000	3,24	Electrolux	TI07R	x	x	x	X
UH4	Suíte	Split Inverter	9000	3,21	Electrolux	TE09R - TI09R	3,17	LG	S4NQ09WA5AD	5,5
UH4	Quarto 1	Split Inverter	9000	3,38	Philco	PH9000QFM	3,28	Springer Midea	42AFVQH09S5	5,5

Tabela 10 – Valores de Índice CSPF calculado e CEE.

UH	Ambiente	Tipo	Índice Utilizado	Valor Índice
UH1	Suíte	Split Inverter	CSPF	7,96
UH2	Suíte	Split Inverter	CSPF	6,94
UH2	Sala	Split Inverter	CSPF	6,68
UH3	Suíte	Split Não Inverter	CEE	3,24
UH3	Sala	Split Não Inverter	CEE	3,24
UH3	Quarto	Split Não Inverter	CEE	3,24
UH4	Suíte	Split Inverter	CSPF	6,94
UH4	Quarto	Split Inverter	CSPF	7,96

Em relação aos dados de geometria das edificações, os voluntários residentes das UHs 2 e 3 forneceram o projeto arquitetônico, como mostra a Tabela 11, contendo as medidas da unidade habitacional, porém não foi possível o acesso ao projeto estrutural ou ao arquitetônico de todo pavimento e restante das edificações. As unidades são compostas por uma suíte, um quarto e uma sala integrada com cozinha. Destaca-se que um dos quartos de 3 UHs tem a função de escritório, sendo assim será considerado como APP, porém a Seção 11 da NBR15575-1:2021 apenas leva em consideração salas e quartos. Com relação as UHs 1 e 4, não foi possível ter acesso aos projetos, logo, o pesquisador teve que fazer o levantamento *in loco* de todas as medidas internas da residência. Sendo assim, o acesso aos projetos completos das UHs é considerado uma limitação da pesquisa.

Tabela 11 – Geometria e APPs das UHs

UH	Informação da Geometria	APPs	APPs com Ar-Condicionado
UH1	Levantamento <i>in loco</i>	2 Dormitórios e 1 Sala	1 Dormitório
UH2	Planta baixa disponibilizada em formato PDF	2 Dormitórios e 1 Sala	1 Dormitório e 1 Sala
UH3	Planta baixa disponibilizada em formato DWG	2 Dormitórios e 1 Sala	2 Dormitórios e 1 Sala
UH4	Levantamento <i>in loco</i>	3 Dormitórios e 1 Sala	2 Dormitórios

A Tabela 12 contém as respostas dos questionários de caracterização de uso e ocupação. Os voluntários relataram que conseguiram responder ao questionário sem dificuldades.

Tabela 12 – Respostas Questionários

Característica	UH1	UH2	UH3	UH4
A quanto tempo instalou o ar-condicionado?	Entre 5 e 10 anos	Entre 3 a 5 anos	Entre 5 e 10 anos	Entre 5 e 10 anos
Você está satisfeito/a com seu aparelho de ar-condicionado?	Sim	Sim	Sim	Sim
Justifique sua satisfação ou insatisfação com seu aparelho de ar-condicionado	Ele funciona bem, não produz ruído e desliga a luz do painel.	Optou por não responder	Atende bem as necessidades	Optou por não responder
Pretende instalar mais equipamentos em outro ambiente?	Sim, no escritório	Não	Não	Não
Caso você fosse substituir o modelo atual, qual seria a sua escolha?	Um aparelho mais novo, um aparelho mais eficiente	Um aparelho mais novo, um aparelho mais eficiente	Um aparelho mais novo	Um aparelho mais novo, um aparelho mais eficiente, um aparelho mais silencioso
Quando você costuma usar o aparelho ar-condicionado?	Durante a noite	Durante o dia, durante a noite, Sala mais de dia; quarto mais de noite	Durante o dia, durante a noite	Durante a noite
Qual o motivo de utilizar o aparelho de ar-condicionado?	Quando está muito calor	Quando está muito calor	Quando está muito calor	Quando está muito calor, quando está muito úmido
Qual <i>set-point</i> de temperatura do ar-condicionado que você geralmente utiliza?	24	24	Quando está muito quente ligo no 18 por um tempo e depois aumento pra 22 mais ou menos	Suíte: 24 Quarto 1: 23
Possui algum tipo de ventilador?	Móvel	Móvel	Não possui ventiladores	Móvel
Em quais cômodos estão os ventiladores?	Quarto	Quarto	Não possui ventiladores	Quarto 2
Prefere usar ventiladores ou ar-condicionado?	Ar-Condicionado	Ar-Condicionado	Ar-Condicionado	Ar-Condicionado
Usa ventilador e ar-condicionado ao mesmo tempo?	Nunca	Nunca	Nunca	Nunca
A quanto tempo mora neste local?	Entre 3 a 5 anos	Entre 3 a 5 anos	Mais de 10 anos	Entre 5 e 10 anos
Quantas pessoas vivem em sua casa?	2	1	1	3
Qual a idade dos ocupantes?	Ambos 36	31	31	23, 21 e 22
Qual o gênero dos ocupantes?	1 Masculino e 1 Feminino	Masculino	Feminino	3 pessoas do gênero feminino
Algum ocupante trabalha e/ou estuda de forma remota, híbrida ou em um local fora da residência?	1 Fora da residência e 1 Híbrido	Fora da residência	Trabalho na residência	3 pessoas de forma híbrida

4.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Todas as UHs se encontram no pavimento tipo de edifícios multifamiliares na cidade de Florianópolis, sendo que as UHs 3 (terceiro pavimento) e 4 (sexto pavimento) estão em blocos diferentes de um mesmo condomínio, enquanto as UHs 1 (segundo pavimento) e 2 (quinto pavimento) estão em edifícios diferentes. As Figuras 5, 6, 7 e 8 retratam os modelos reais das UHs 1, 2, 3 e 4, respectivamente, modeladas no *DesignBuilder*. A marcação em vermelho determina a UH avaliada em cada edifício. As plantas são meramente ilustrativas e não representam a verdadeira escala entre as UHs.

Devido à limitação da falta de projetos disponíveis, todas as informações que não puderam ser verificadas foram consideradas conforme a condição de referência da NBR15575-1:2021, incluindo a estrutura da laje entre os pisos. As características para os modelos Reais das UHs estão detalhadas na Tabela 13.

Para todos os modelos empregou-se o método *standard* de cálculo de troca de calor devido o contato com o solo disponível no *DesignBuilder*. O método *standard* de cálculo é uma abordagem que considera a transferência de calor entre espaços e o solo através de elementos de superfície unidimensionais no piso térreo. Ele não leva em conta os efeitos bidimensionais e tridimensionais na condução de calor no solo que ocorrem na realidade. Embora possa modelar com precisão a transferência de calor ao longo de vários dias (*DesignBuilder*, 2023).

Figura 5 – Modelo Real Unidade Habitacional 1

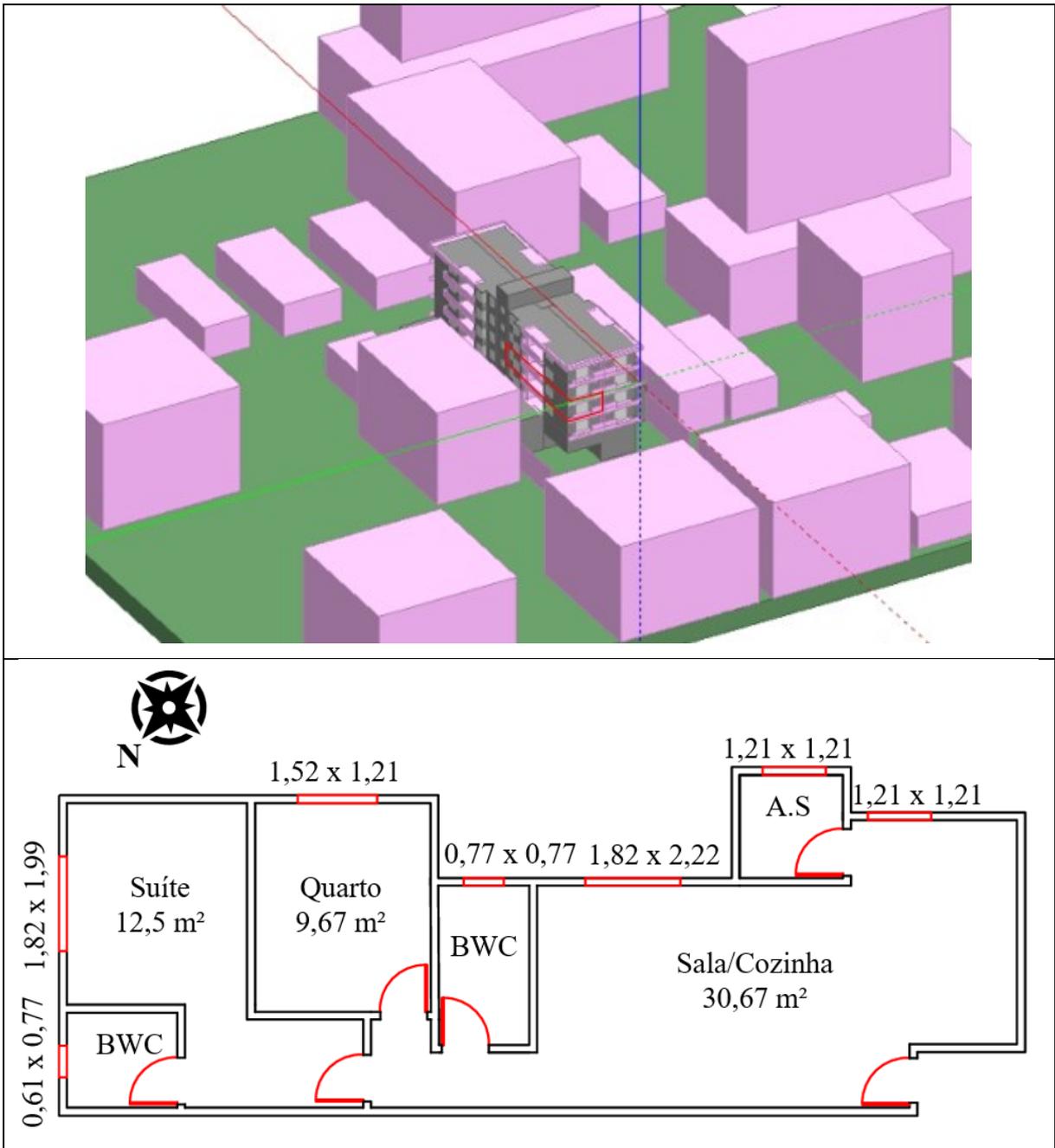


Figura 6 – Modelo Real Unidade Habitacional 2

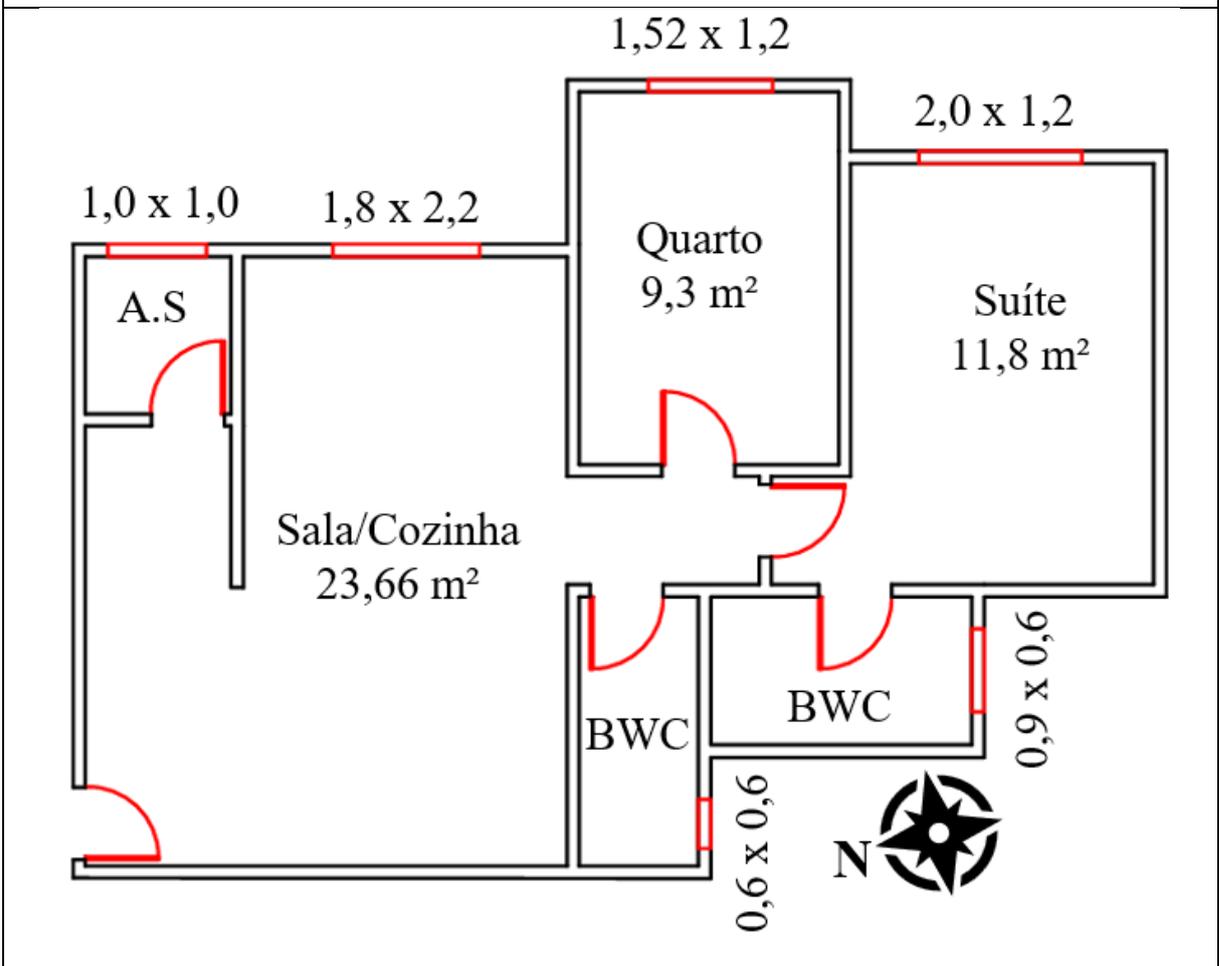
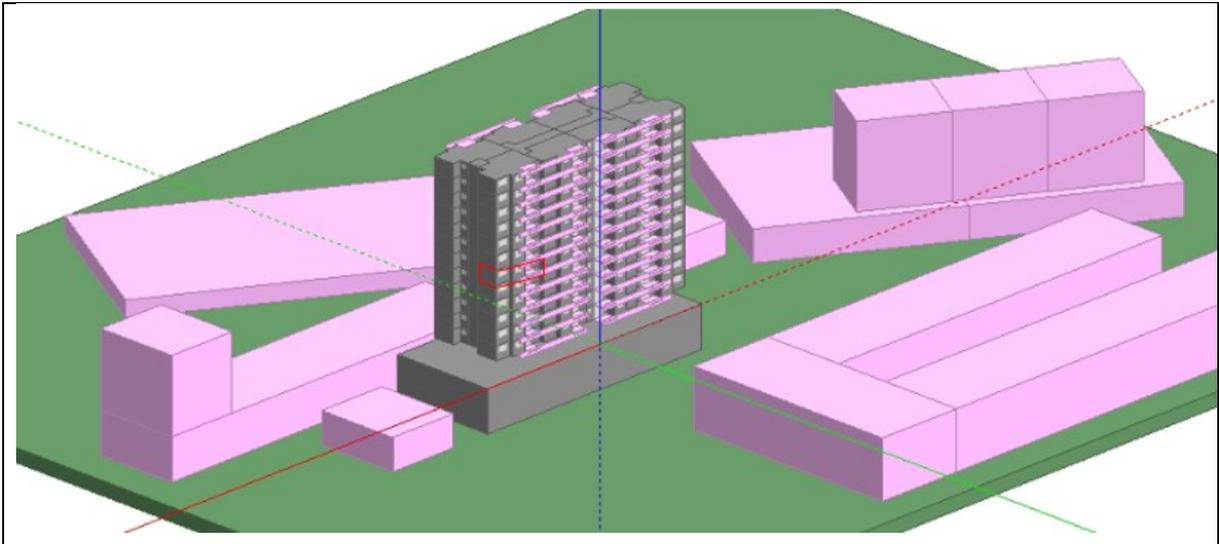


Figura 7 – Modelo Real Unidade Habitacional 3

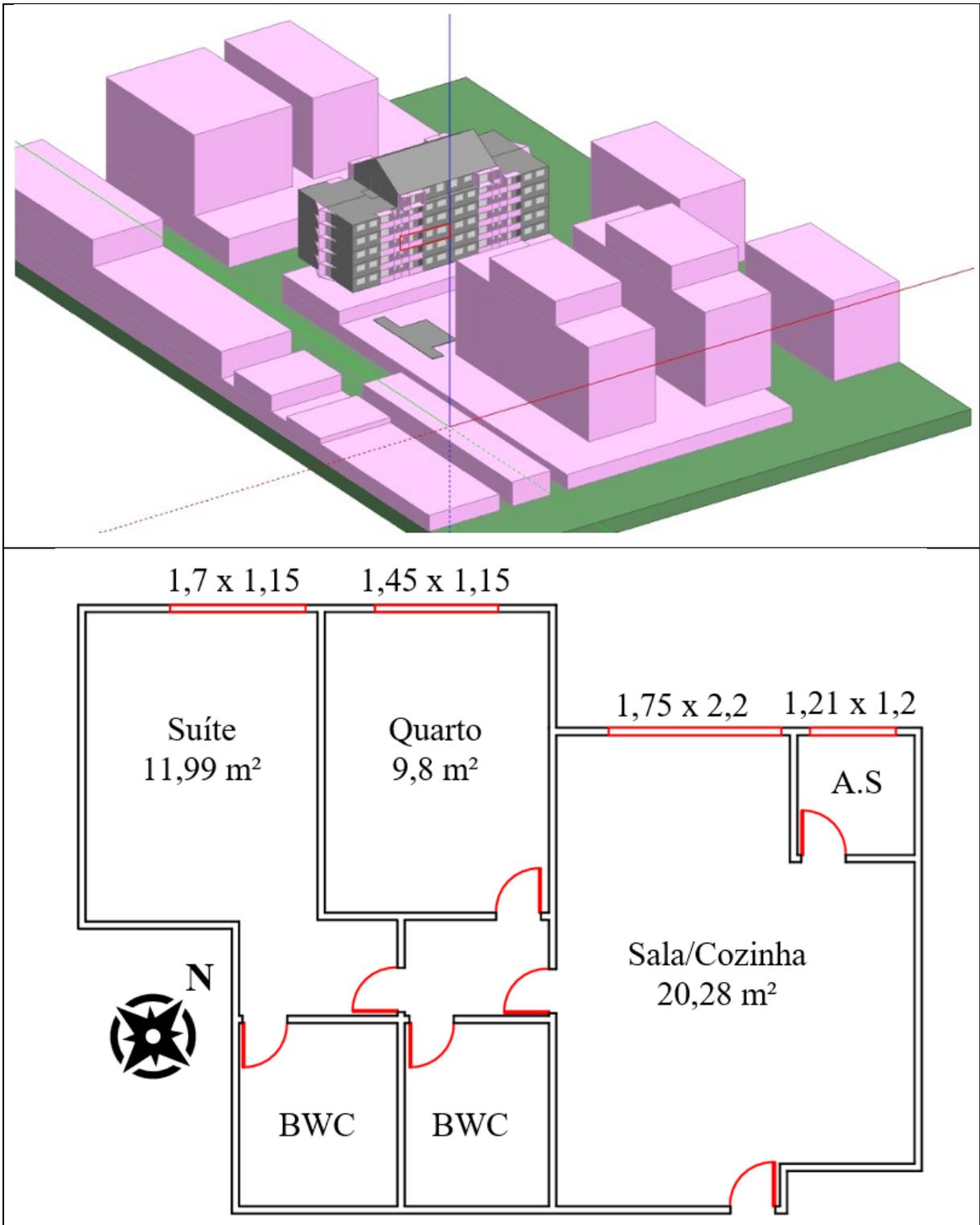


Figura 8 – Modelo Real Unidade Habitacional 4

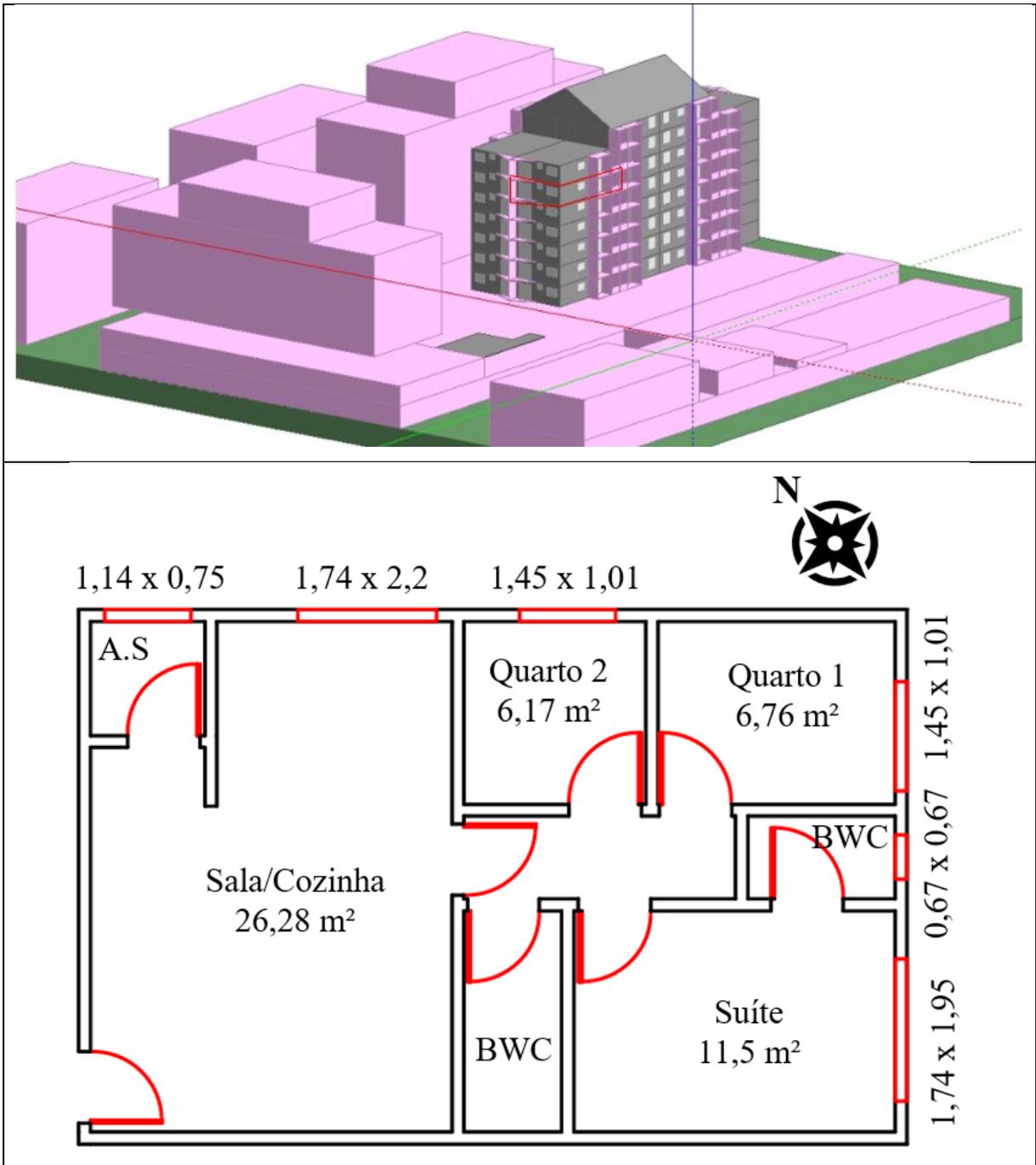


Tabela 13 - Características dos modelos Reais das Unidades Habitacionais.

Característica	UH1	UH2	UH3	UH4
Quantidade de ocupantes	2	1	1	3
Tipologia	Edifício Multifamiliar - Tipo	Edifício Multifamiliar - Tipo	Edifício Multifamiliar - Tipo	Edifício Multifamiliar - Tipo
Componente construtivo das Paredes Externas	Argamassa externa e interna (2cm) e tijolo cerâmico 8 furos 19x19x29cm Ut (W/m ² °C) = 1,62 Ct (kJ/m ² °C) = 167	Argamassa externa e interna (2,5cm) e tijolo cerâmico 8 furos 12x19x19cm Ut (W/m ² °C) = 2,13 Ct (kJ/m ² °C) = 155	Argamassa externa e interna (3cm) e tijolo cerâmico 9 furos 14x19x24cm Ut (W/m ² °C) = 1,8 Ct (kJ/m ² °C) = 169	Argamassa externa e interna (3cm) e tijolo cerâmico 9 furos 14x19x24cm Ut (W/m ² °C) = 1,8 Ct (kJ/m ² °C) = 169
Absortância das Paredes Externas	ABS = 0,4	ABS = 0,4	ABS = 0,45	ABS = 0,45
Componente construtivo das Paredes Internas	Argamassa externa e interna (2,5cm) e tijolo cerâmico 8 furos 14x19x19cm Ut (W/m ² °C) = 1,83 Ct (kJ/m ² °C) = 161	Argamassa externa e interna (2,5cm) e tijolo cerâmico 6 furos 9x14x24cm Ut (W/m ² °C) = 2,37 Ct (kJ/m ² °C) = 151	Argamassa externa e interna (3cm) e tijolo cerâmico 9 furos 14x19x24cm Ut (W/m ² °C) = 1,8 Ct (kJ/m ² °C) = 169	Argamassa externa e interna (3cm) e tijolo cerâmico 9 furos 14x19x24cm Ut (W/m ² °C) = 1,8 Ct (kJ/m ² °C) = 169
Absortância Parede Interna	ABS = 0,3	ABS = 0,36	ABS = 0,3	ABS = 0,3
Revestimento Piso Quarto	Cerâmica ABS = 0,36	Cerâmica ABS = 0,40	Cerâmica ABS = 0,40	Vinílico ABS = 0,50
Revestimento Piso Sala	Cerâmica ABS = 0,36	Cerâmica ABS = 0,40	Cerâmica ABS = 0,40	Cerâmica ABS = 0,40
Revestimento Piso Demais Ambientes	Cerâmica ABS = 0,36	Cerâmica ABS = 0,40	Cerâmica ABS = 0,40	Cerâmica ABS = 0,40
Componente construtivo do Piso entre lajes	Laje de concreto armado 15cm 3cm contrapiso, sem forro Ut (W/m ² °C) = 2,7 Ct (kJ/m ² °C) = 324	Laje de concreto armado 15cm 3cm contrapiso, sem forro Ut (W/m ² °C) = 2,7 Ct (kJ/m ² °C) = 324	Laje de concreto armado 15cm 3cm contrapiso, sem forro Ut (W/m ² °C) = 2,7 Ct (kJ/m ² °C) = 324	Laje de concreto armado 15cm 3cm contrapiso, sem forro Ut (W/m ² °C) = 2,7 Ct (kJ/m ² °C) = 324
Componente construtivo da Cobertura	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje maciça Ut (W/m ² °C) = 1.698 Ct (kJ/m ² °C) = 337	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje maciça Ut (W/m ² °C) = 1.698 Ct (kJ/m ² °C) = 337	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje maciça Ut (W/m ² °C) = 1.698 Ct (kJ/m ² °C) = 337	Telha fibrocimento, câmara de ar e laje maciça Ut (W/m ² °C) = 1.698 Ct (kJ/m ² °C) = 337
Absortância Cobertura	ABS = 0,4	ABS = 0,4	ABS = 0,4	ABS = 0,4
Veneziana	Nos Quartos	Nos Quartos	Nos Quartos	Nos Quartos
Componente construtivo dos Vidros	Clear Cebrace 3mm FS = 0,87 Ut (W/m ² °C) = 5,7	Clear Cebrace 3mm FS = 0,87 Ut (W/m ² °C) = 5,7	Clear Cebrace 3mm FS = 0,87 Ut (W/m ² °C) = 5,7	Clear Cebrace 3mm FS = 0,87 Ut (W/m ² °C) = 5,7
Rotação da Maior Fachada ao Norte	-141°	-102°	39°	-51°

O padrão de ocupação do modelo Real,_{OBSERVADO} foi conforme a Tabela 14, com os dados de orientação e quantidade de ocupantes de cada ambiente e as Tabelas 15, 16, 17 e 18, que retratam o padrão de ocupação informado pelos ocupantes nas planilhas de ocupação das UHs 1, 2, 3 e 4, respectivamente, onde 1 significa que todos os ocupantes estão presentes no ambiente, 0,5 metade dos ocupantes e 0 que o ambiente não está ocupado. Enquanto o padrão de ocupação dos casos de Referência,_{NBR}, Real,_{NBR} e Real,_{NBR,CLIMA} seguiram conforme estabelecido pela ABNT NBR 15575-1:2021.

Tabela 14 - Padrão de Ocupação Real,_{OBSERVADO} UH1

Ambiente	Quantidade de Ocupantes	Orientação	Porcentagem de horas de ocupação em comum com a NBR15575-1	Uso
UH1-Quarto	2	Sul	22%	Escritório
UH1-Sala	2	Sul	56%	Sala
UH1-Suíte	2	Sul e Leste	83%	Dormitório
UH2-Quarto	1	Leste	54%	Escritório
UH2-Sala	1	Leste	63%	Sala
UH2-Suíte	1	Sul e Leste	85%	Dormitório
UH3-Quarto	1	Norte	48%	Escritório
UH3-Suíte	1	Norte	77%	Dormitório
UH3-Sala	1	Norte	49%	Sala
UH4-Quarto 1	1	Norte e Leste	67%	Dormitório
UH4-Suíte	1	Leste	68%	Dormitório
UH4-Quarto 2	1	Norte	58%	Dormitório
UH4-Sala	3	Norte	64%	Sala

É interessante observar como o padrão de ocupação das UHs divergem do padrão de ocupação recomendado pela Seção 11 da NBR 15575-1:2021. Isso pode ser explicado com base nas respostas do questionário (Tabela 12), que mostra ocupantes com rotinas muito diferentes. Alguns ocupantes possuem trabalho/estudo híbrido ou remoto, o que aumenta o tempo que o ocupante está presente em sua residência. Além da quantidade de habitantes por ambiente, que nenhuma UH apresentou a quantidade de habitantes por ambiente esperada pela NBR15575-1:2021 de 2 ocupantes por dormitório. Os dormitórios apresentaram relação entre 58% e 85% com o padrão de ocupação determinado pela NBR15575-1:2021, os escritórios, que seriam considerados dormitórios pela NBR15575-1:2021 apresentaram relação entre 22% e 54%, enquanto as salas apresentaram relação entre 49% e 64%.

Tabela 15 - Padrão de Ocupação Real, OBSERVADO UH1

Ambiente: Suíte								Ambiente: Quarto 1							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	1	1	1	1	0	0	1	0:00	0	0	0	0	0	0	0
1:00	1	1	1	1	1	1	1	1:00	0	0	0	0	0	0	0
2:00	1	1	1	1	1	1	1	2:00	0	0	0	0	0	0	0
3:00	1	1	1	1	1	1	1	3:00	0	0	0	0	0	0	0
4:00	1	1	1	1	1	1	1	4:00	0	0	0	0	0	0	0
5:00	1	1	1	1	1	1	1	5:00	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0.5	0.5	1	1	1	1	1	6:00	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0.5	0	0	0	0	0.5	1	7:00	0	0	0	0	0	0.5	0
8:00	0	0	0	0	0	0	1	8:00	0	0	0.5	0	0.5	0	0
9:00	0	0	0	0	0	0	1	9:00	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0
10:00	0	0	0	0	0	0	1	10:00	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	11:00	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5
12:00	0	0	0	0	0	0	0	12:00	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	13:00	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	14:00	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	15:00	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0.5
16:00	0	0	0	0	0	0	0	16:00	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5
17:00	0	0	0	0	0	0	0	17:00	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
18:00	0	0	0	0	0	0	0	18:00	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5
19:00	0	0	0	0	0	0	0	19:00	0	0.5	0.5	0	0.5	1	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	20:00	0.5	0	0	0	0	1	0.5
21:00	1	0	0	0	0	0	0	21:00	0	0	0	0	0	0	0.5
22:00	1	0	0.5	0	0	0	0.5	22:00	0	0	0	0	0	0	0
23:00	1	1	1	0	0	0	1	23:00	0	0	0	0	0	0	0

Ambiente: Sala							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	0	0	0	0	0	1	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0.5	0.5	0	0	0	0	0
7:00	0.5	0.5	1	0	1	0	0
8:00	0	0	0.5	0	0.5	1	0
9:00	0	0	0.5	0	0.5	0	0
10:00	0	0	0.5	0	0.5	0	0
11:00	0	0	0.5	0	0	0	0.5
12:00	0.5	0	1	0.5	0.5	1	1
13:00	0	0	0.5	0	0.5	1	1
14:00	0	0	0.5	0	0	1	1
15:00	0	0	0.5	0	0	1	0
16:00	0	0	0.5	0	0	0	0.5
17:00	0	0	0.5	0	0	0.5	0.5
18:00	0	0	0.5	0	0	0.5	0.5
19:00	1	0	0	1	0	0	0
20:00	0	1	0	1	0	0	0.5
21:00	0	1	0	1	1	1	0.5
22:00	0	1	0	1	1	1	0.5
23:00	0	0	0	1	0	1	0

Tabela 16 - Padrão de Ocupação Real, OBSERVADO UH2

Ambiente: Suite								Ambiente: Quarto 1							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	1	1	1	1	1	1	0	0:00	0	0	0	0	0	0	0
1:00	1	1	1	1	1	1	0	1:00	0	0	0	0	0	0	0
2:00	1	1	1	1	1	1	0	2:00	0	0	0	0	0	0	0
3:00	1	1	1	1	1	1	1	3:00	0	0	0	0	0	0	0
4:00	1	1	1	1	1	1	1	4:00	0	0	0	0	0	0	0
5:00	1	1	1	1	1	1	1	5:00	0	0	0	0	0	0	0
6:00	1	1	1	1	1	1	1	6:00	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0	0	1	1	7:00	0	0	0	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0	0	0	1	8:00	0	0	0	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0	0	0	1	9:00	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	1	10:00	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	11:00	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	12:00	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	13:00	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	14:00	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	15:00	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0	0	16:00	0	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0	17:00	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	18:00	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	19:00	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	20:00	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	21:00	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	1	1	0	0	0	1	22:00	0	0	0	0	0	0	0
23:00	1	1	1	0	0	0	1	23:00	0	0	0	0	0	0	0

Ambiente: Sala							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	1
2:00	0	0	0	0	0	0	1
3:00	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0
7:00	1	1	1	1	0	0	0
8:00	1	0	0	1	1	1	0
9:00	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	1	0
11:00	0	0	0	0	0	1	1
12:00	0	0	0	0	0	0	1
13:00	0	0	0	0	0	0	1
14:00	0	0	0	0	0	0	1
15:00	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	1	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	1	0
18:00	0	1	1	0	0	0	0
19:00	0	1	0	0	1	0	1
20:00	0	0	1	0	1	0	1
21:00	1	1	1	0	0	0	0
22:00	1	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	1	0	0	0

Tabela 17 - Padrão de Ocupação Real, OBSERVADO UH3

Ambiente: Suíte								Ambiente: Quarto 1							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	0	0	1	0	0	0	1	0:00	0	0	0	0	0	0	0
1:00	1	1	1	1	1	1	1	1:00	0	0	0	0	0	0	0
2:00	1	1	1	1	1	1	1	2:00	0	0	0	0	0	0	0
3:00	1	1	1	1	1	1	1	3:00	0	0	0	0	0	0	0
4:00	1	1	1	1	1	1	1	4:00	0	0	0	0	0	0	0
5:00	1	1	1	1	1	1	1	5:00	0	0	0	0	0	0	0
6:00	1	1	1	1	1	1	1	6:00	0	0	0	0	0	0	0
7:00	1	1	1	1	1	1	1	7:00	0	0	0	0	0	0	0
8:00	0	1	0	0	1	1	1	8:00	0	0	0	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0	0	1	1	9:00	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	1	1	10:00	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	1	11:00	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	12:00	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	13:00	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	14:00	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	15:00	1	0	0	1	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	1	0	16:00	1	0	1	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0	17:00	1	0	1	0	0	0	0
18:00	0	1	0	0	1	0	0	18:00	1	0	0	0	0	0	1
19:00	0	0	0	0	1	0	0	19:00	1	1	0	0	0	0	1
20:00	0	0	0	0	0	0	0	20:00	1	1	0	0	0	0	1
21:00	0	0	0	0	0	0	0	21:00	1	1	0	0	0	0	1
22:00	0	0	0	0	0	0	0	22:00	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	23:00	0	0	0	0	0	0	0

Ambiente: Sala							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	1	1	0	1	1	1	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0	0	0	0
8:00	1	0	1	1	1	0	0
9:00	0	1	1	1	1	0	0
10:00	0	1	0	0	1	0	0
11:00	1	1	0	0	0	1	0
12:00	1	0	0	0	0	1	1
13:00	1	0	1	0	1	1	1
14:00	1	0	1	0	1	1	1
15:00	0	1	1	0	0	1	1
16:00	0	1	0	1	0	0	1
17:00	0	1	0	0	0	0	1
18:00	0	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	1	0	0	0	0
20:00	0	0	1	1	0	0	0
21:00	0	0	1	0	0	0	0
22:00	1	1	1	0	0	0	1
23:00	1	1	1	1	0	0	1

Tabela 18 - Padrão de Ocupação Real, OBSERVADO UH4

Ambiente: Suite								Ambiente: Quarto 1							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	1	0	1	1	1	1	1	0:00	1	1	1	1	1	0	1
1:00	1	1	1	1	1	1	0	1:00	1	1	1	1	1	1	1
2:00	1	1	1	1	1	1	0	2:00	1	1	1	1	1	1	1
3:00	1	1	1	1	1	1	0	3:00	1	1	1	1	1	1	1
4:00	1	1	1	1	1	1	0	4:00	1	1	1	1	0	1	0
5:00	1	1	1	1	1	1	0	5:00	1	1	1	1	1	1	1
6:00	1	1	1	1	1	1	0	6:00	1	1	1	1	1	1	1
7:00	1	1	1	1	1	1	0	7:00	1	0	1	1	1	1	1
8:00	1	0	1	1	1	1	0	8:00	1	0	1	1	1	1	1
9:00	0	0	1	1	0	0	0	9:00	0	0	1	1	1	1	1
10:00	0	0	1	1	0	0	0	10:00	0	0	0	1	0	1	0
11:00	0	1	1	1	0	0	0	11:00	0	0	0	1	0	1	0
12:00	0	0	1	1	0	0	0	12:00	0	0	0	1	0	1	0
13:00	0	0	1	1	0	0	0	13:00	0	0	0	0	0	1	0
14:00	0	0	1	1	0	0	0	14:00	0	0	0	1	0	1	0
15:00	1	0	1	1	0	0	0	15:00	0	0	1	1	0	1	0
16:00	1	0	1	1	0	0	0	16:00	0	0	1	1	0	1	1
17:00	1	0	1	1	0	0	0	17:00	0	1	0	1	1	1	1
18:00	1	0	1	1	0	0	0	18:00	0	1	0	1	1	0	1
19:00	1	0	1	1	0	0	0	19:00	0	1	0	1	1	0	1
20:00	1	0	1	1	1	0	0	20:00	0	1	1	1	1	0	1
21:00	1	0	1	1	1	0	0	21:00	1	1	1	1	1	0	1
22:00	1	0	1	1	1	0	1	22:00	1	1	0	1	1	0	0
23:00	1	0	1	1	1	0	1	23:00	1	1	0	1	1	0	1

Ambiente: Sala								Ambiente: Quarto 2							
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
0:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0:00	1	1	1	1	0	1	0
1:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1:00	0	1	1	1	0	1	1
2:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2:00	0	1	1	1	0	1	1
3:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3:00	0	1	1	1	0	1	1
4:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4:00	0	1	1	1	0	1	0
5:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5:00	0	1	1	1	0	1	1
6:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6:00	0	1	1	1	0	1	1
7:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7:00	0	1	1	1	0	1	1
8:00	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	8:00	0	0	1	0	0	1	1
9:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9:00	0	0	1	1	0	1	1
10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10:00	0	0	0	1	0	1	1
11:00	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11:00	0	0	0	1	0	1	1
12:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	12:00	0	0	0	1	0	0	1
13:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	13:00	0	0	0	1	0	1	1
14:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14:00	0	0	1	1	0	1	1
15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15:00	0	0	1	1	0	1	0
16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16:00	0	0	1	1	0	1	0
17:00	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17:00	0	0	0	1	1	1	1
18:00	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	18:00	0	0	0	0	1	0	1
19:00	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	19:00	0	0	0	0	1	0	1
20:00	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	20:00	0	0	0	0	1	0	1
21:00	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21:00	0	0	1	0	1	0	0
22:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	22:00	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	23:00	0	1	1	0	1	0	0

Conforme mostra o fluxograma do método (Figura 1), foram utilizados dois arquivos climáticos distintos para as análises, o arquivo climático INMET de Florianópolis, e o arquivo climático real durante cada período de medição, conforme mostram as Figuras 9, 10, 11 e 12 para os períodos de medição das UHs 1, 2,3 e 4, respectivamente.

Figura 9 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH1

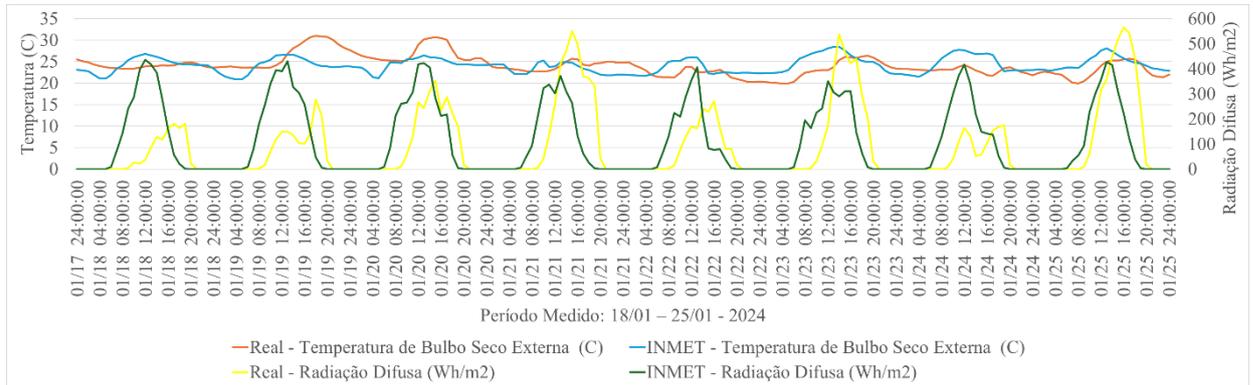


Figura 10 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH2

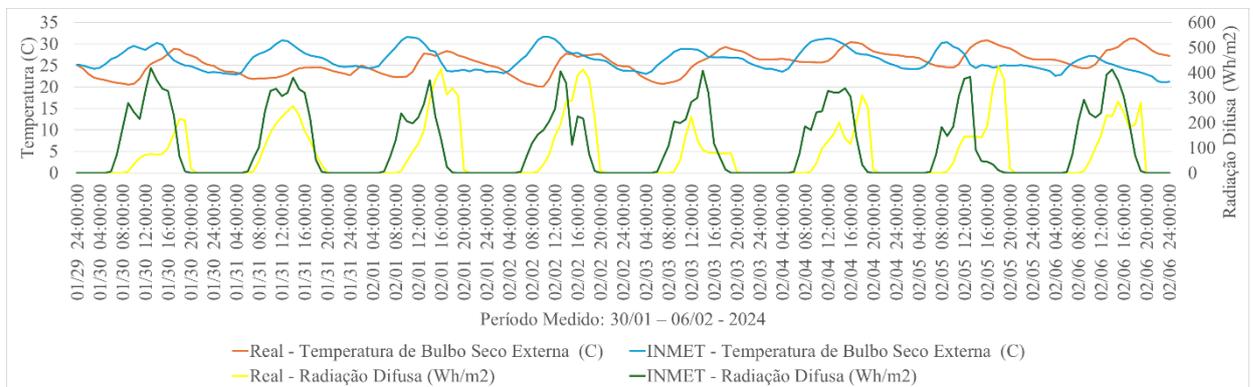


Figura 11 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH3

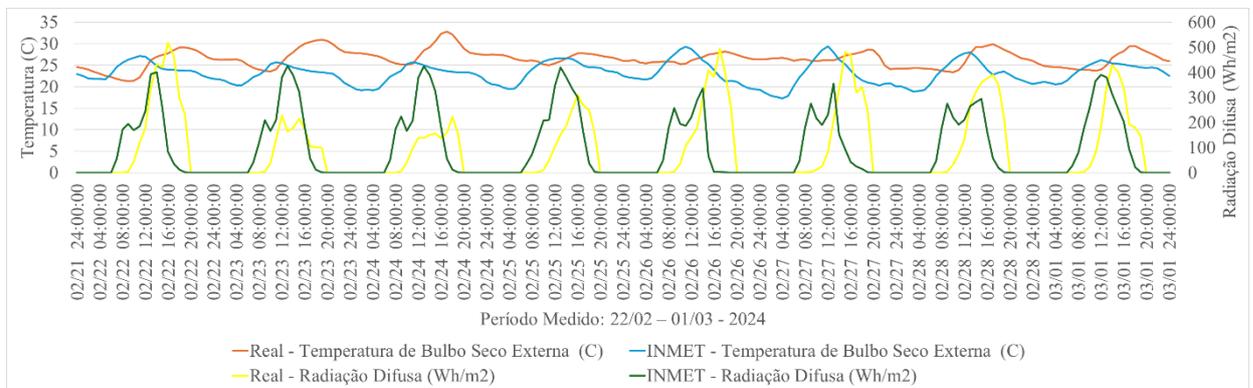
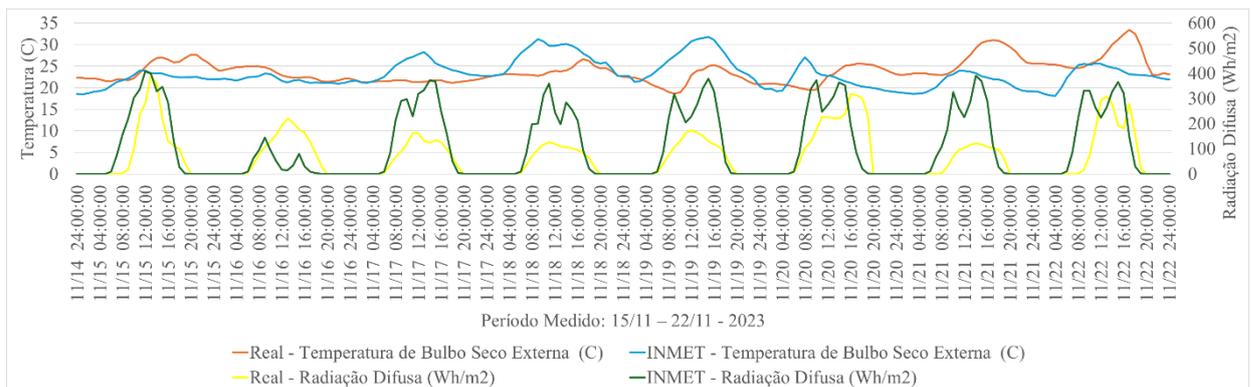


Figura 12 – Comparação dos arquivos climáticas durante o período de medição da UH4



Observou-se que o arquivo climático real, de forma geral, apresentou temperaturas superiores ao arquivo climático INMET durante os períodos de medição, como pode ser facilmente observado no período de medição da UH3 (Figura 11). Mesmo assim o arquivo INMET apresentou picos maiores de temperaturas durante o período de medição da UH4 (Figura 12) e temperaturas maiores em alguns dias, como pode ser observado no período de medição das UHs 1 e 2 (Figuras 9 e 10). Esses resultados sugerem que, embora o arquivo climático real forneça uma média mais alta de temperaturas, o arquivo INMET pode registrar extremos de temperatura em determinadas ocasiões, indicando variabilidade entre os dados de ambos os arquivos climáticos.

O *set-point* e temperatura de ativação dos ambientes para a análise de consumo do modelo $Real_{OBSERVADO}$ foi considerado conforme a Tabela 19. O *set-point* e temperatura de ativação dos ambientes dos modelos de Referência, NBR , $Real_{NBR}$ e $Real_{NBR,CLIMA}$ seguiram conforme estabelecido pela ABNT NBR 15575-1:2021. O *set-point* dos ambientes do modelo $Real_{OBSERVADO}$ foi determinado utilizando a planilha de ocupação fornecida para os ocupantes, onde deveriam anotar a temperatura de *set-point* escolhida para o sistema de ar-condicionado. Esta informação foi cruzada com as respostas do questionário e a temperatura de bulbo seco média do ambiente, dado obtido pelos *I-buttons*, quando o sistema de ar-condicionado desligava durante a operação, dado obtido pelos medidores de consumo. Enquanto a temperatura de ativação foi determinada através da temperatura do *I-button* presente no ambiente, quando o sistema de ar-condicionado era ativado, conforme mostra a Tabela 20 e as Figuras 13, 14, 15 e 16 para os ambientes das UHs 1, 2, 3 e 4, respectivamente, durante suas respectivas semanas analisadas. Nas figuras a Temperatura AC representa a temperatura medida pelo *I-button* dentro do sistema de ar-condicionado enquanto a Temperatura Ambiente representa a temperatura medida por outro *I-button*, localizado no ambiente, fora do ar-condicionado.

Tabela 19 - *Set-point* e temperatura de ativação dos ambientes para o modelo Real,^{OBSERVADO}

Unidade Habitacional	Ambiente	<i>Set-point</i> de Refrigeração (°C)	Temperatura de Bulbo seco de ativação (°C)	Horas de uso do sistema de Ar-Condicionado da Semana Analisada	Potência Média do sistema de Ar-Condicionado (W)
UH1	Suíte	24	26,6	9,3	248,2
	Quarto 1	Sem AC	Sem AC	Sem AC	Sem AC
	Sala	Sem AC	Sem AC	Sem AC	Sem AC
UH2	Suíte	24	28,9	51,5	49,2
	Quarto 1	Sem AC	Sem AC	Sem AC	Sem AC
	Sala	24	26,9	4,67	482,6
UH3	Suíte	22	27,3	25,4	816,9
	Quarto 1	22	27,8	7,1	482,4
	Sala	22	28,0	11,0	683,5
UH4	Suíte	23	25,2	32,5	168,8
	Quarto 1	24	26,3	7,3	133
	Quarto 2	Sem AC	Sem AC	Sem AC	Sem AC
	Sala	Sem AC	Sem AC	Sem AC	Sem AC

Tabela 20 - *Set-point* de Refrigeração coletados através da planilha de ocupação questionário e *I-Buttons*

Unidade Habitacional	Ambiente	<i>Set-point</i> de Refrigeração (°C)		
		Planilha de Ocupação	Questionário	<i>I-Buttons</i>
UH1	Suíte	24	24	24,5
	Quarto 1	Sem AC	Sem AC	Sem AC
	Sala	Sem AC	Sem AC	Sem AC
UH2	Suíte	24	24	25,6
	Quarto 1	Sem AC	Sem AC	Sem AC
	Sala	24	24	25,5
UH3	Suíte	22	Entre 18-22	24,6
	Quarto 1	22	Entre 18-22	26,4
	Sala	22	Entre 18-22	27,3
UH4	Suíte	23	23	23,0
	Quarto 1	24	24	24,2
	Quarto 2	Sem AC	Sem AC	Sem AC
	Sala	Sem AC	Sem AC	Sem AC

Observou-se que tanto a UH1 como a UH4 apresentaram boa correspondência entre os *set-points* desejados pelos ocupantes e as temperaturas medidas pelos *I-buttons*, que sugere que o sistema de ar-condicionado está funcionando devidamente. Com a UH1e Quarto 1 da UH4 apresentando *set-point* de próximo de 24°C, ou seja, 1° C a mais que o esperado pela NBR15575-1:2021, enquanto o ocupante da Suíte da UH4 preferiu o *set-point* de 23°C, seguindo o esperado pela NBR15575-1 e o ocupante da UH3 preferiu utilizar *set-point* de 22°C, abaixo do esperado.

Figura 13 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (18/01 - 25/01) dos ambientes da UH 1

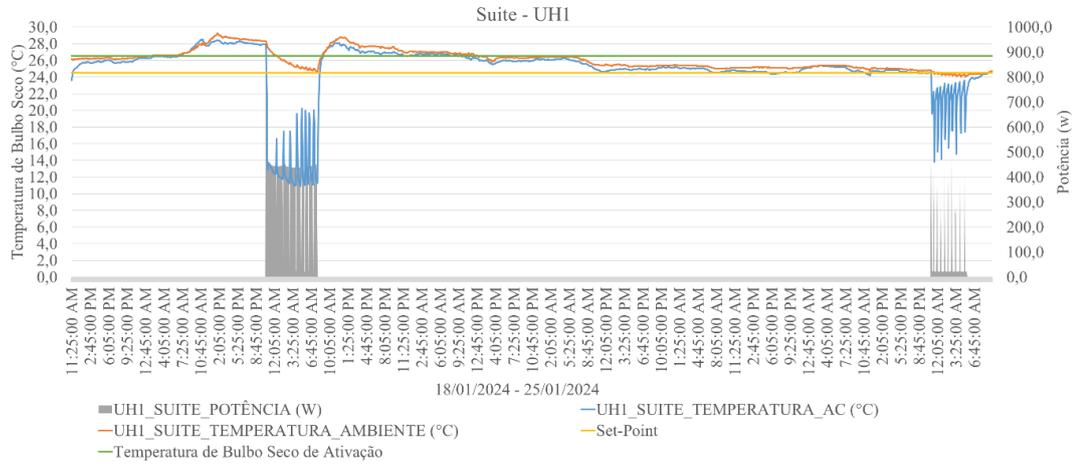


Figura 14 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (30/01 - 06/02) dos ambientes da UH 2

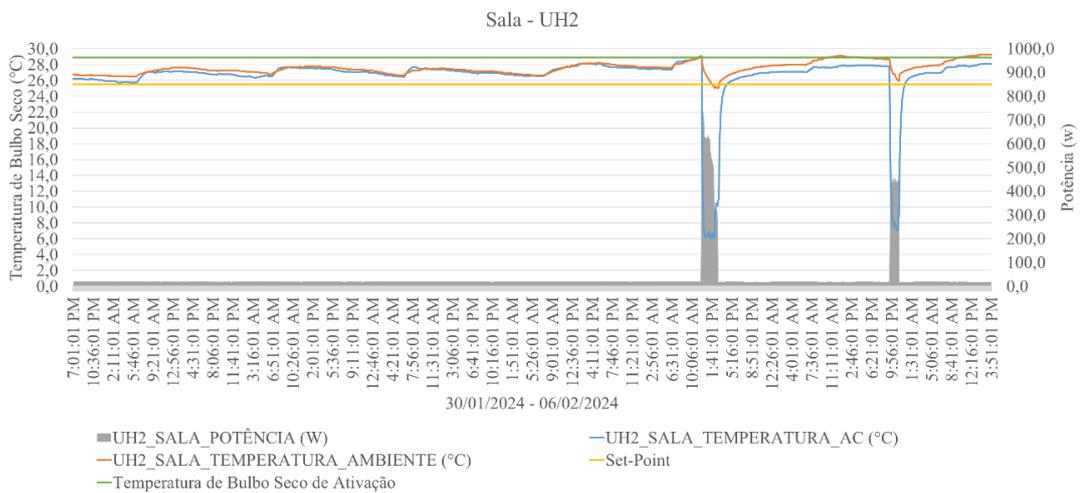
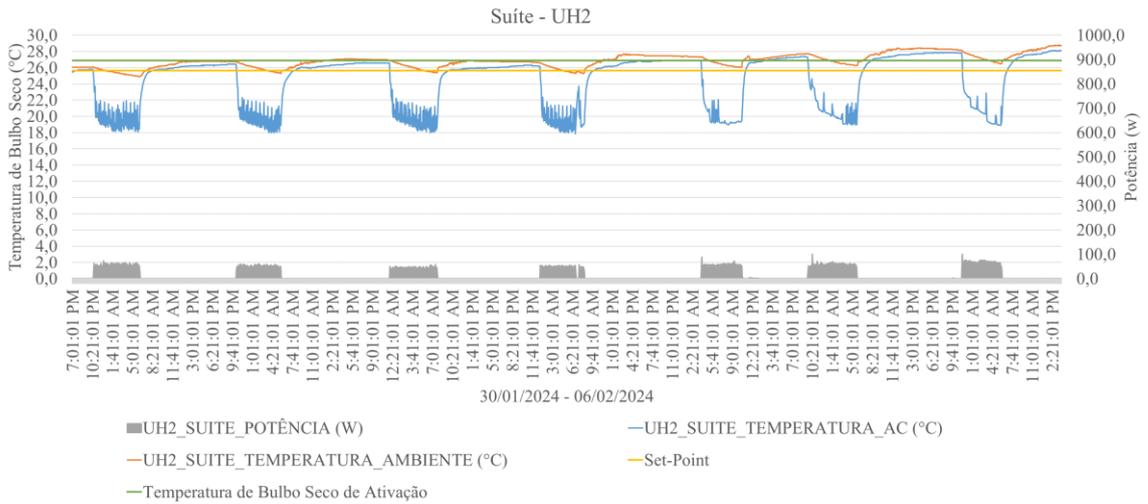


Figura 15 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (22/02 – 29/02) dos ambientes da UH 3

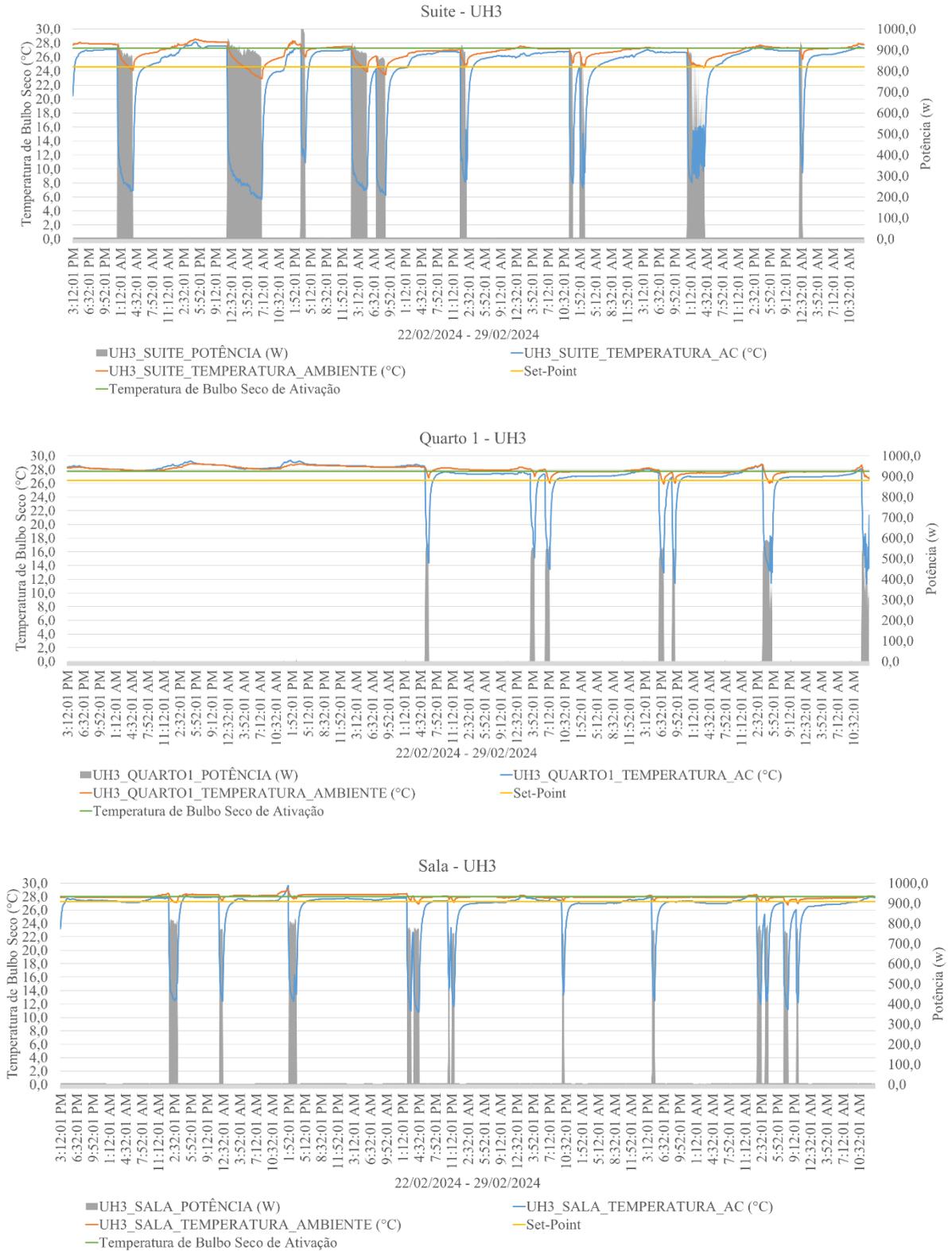
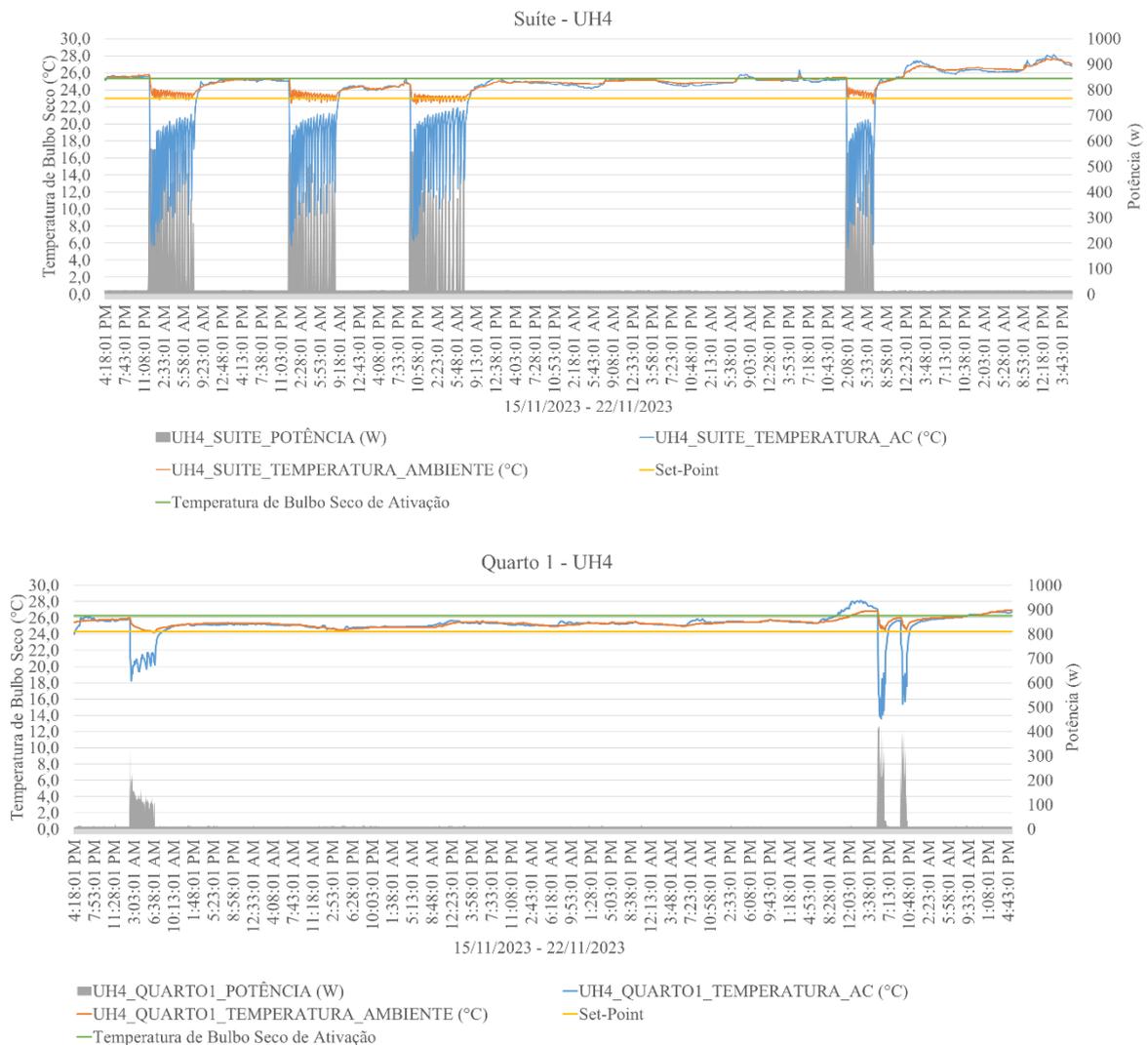


Figura 16 - Temperaturas e Potência durante o período de medição (15/11 – 22/11) dos ambientes da UH 4



A UH2 e a UH3 apresentaram temperaturas medidas pelos *I-buttons* que não condizem com o apontado pelos ocupantes. A discrepância pode ser dada pelo funcionamento inadequado do sistema de ar-condicionado ou dos medidores.

Ao analisar um único período das Suítes de cada UH, foi possível observar com maior precisão o funcionamento de cada sistema de ar-condicionado. As Figuras 17, 18, 19 e 20, que representam respectivamente as UHs 1, 2, 3 e 4, mostram um funcionamento semelhante entre os splits inverter presentes nas suítes das UHs 1, 2 e 4. Observa-se que, durante o funcionamento, o sistema de ar-condicionado é capaz de operar em potência parcial, o que é evidenciado tanto pela queda de energia quanto pelo comportamento da temperatura registrada pelo *I-button* instalado na saída do ar-condicionado. Quando o sistema

de ar condicionado atinge o *set-point* desejado, a potência é reduzida ou desligada, o que provoca um leve aumento na temperatura medida pelo sensor na saída do ar-condicionado.

Com isso em mente, foi descartada a possibilidade do sistema de ar-condicionado da UH2 não funcionar de forma adequada. Ambos os ambientes da UH2 com sistema de ar-condicionado, apresentaram o comportamento esperado de um split inverter, além de a Suíte apresentar a menor potência média dentre os demais sistemas de ar-condicionado com inverter de 9000 BTU.

Descarta-se também a possibilidade de mal funcionamento dos *I-buttons* das UHs, pois as temperaturas medidas do ambiente (Temperatura Ambiente) e de dentro do sistema de ar-condicionado (Temperatura AC), enquanto o sistema está desligado, eram praticamente idênticas em todos os períodos. Atribuindo então o posicionamento dos *I-buttons* no ambiente o provável motivo de discrepância entre o *set-point* medido e o *set-point* afirmado pelos ocupantes. Se o *I-button* estiver localizado em uma área com circulação de ar diferente ou com exposição a fontes de calor, como lâmpada incandescente ou radiação direta da janela, a medição pode não refletir com precisão a temperatura percebida no ambiente como um todo, resultando em discrepâncias entre o *set-point* ajustado e o *set-point* relatado pelos ocupantes. Além disso, fatores como bloqueios físicos próximos aos sensores e mudanças nas condições ambientais podem influenciar as leituras.

Figura 17 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH1

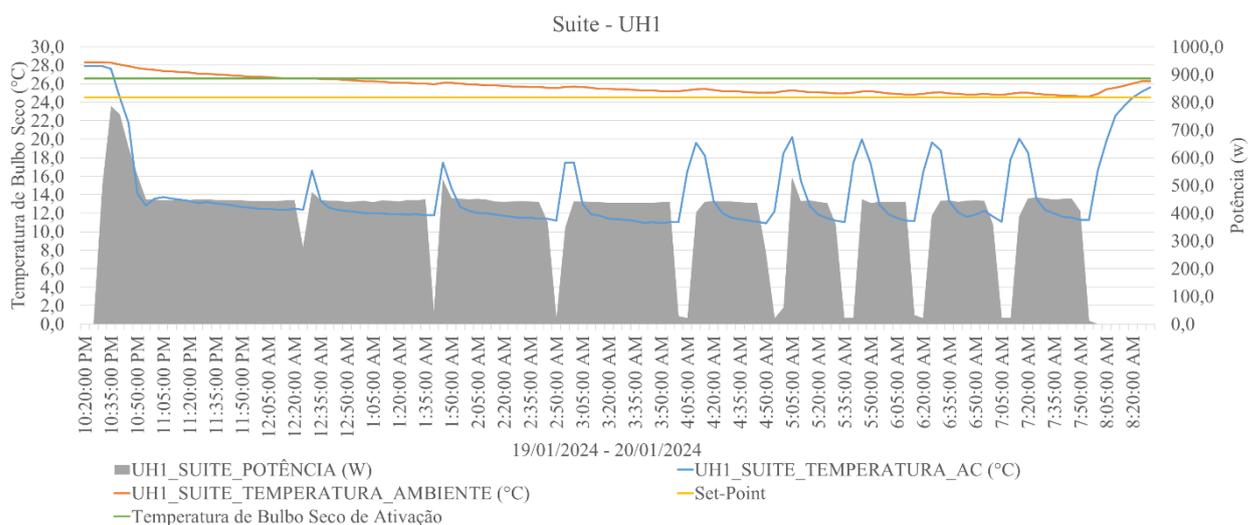


Figura 18 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH2

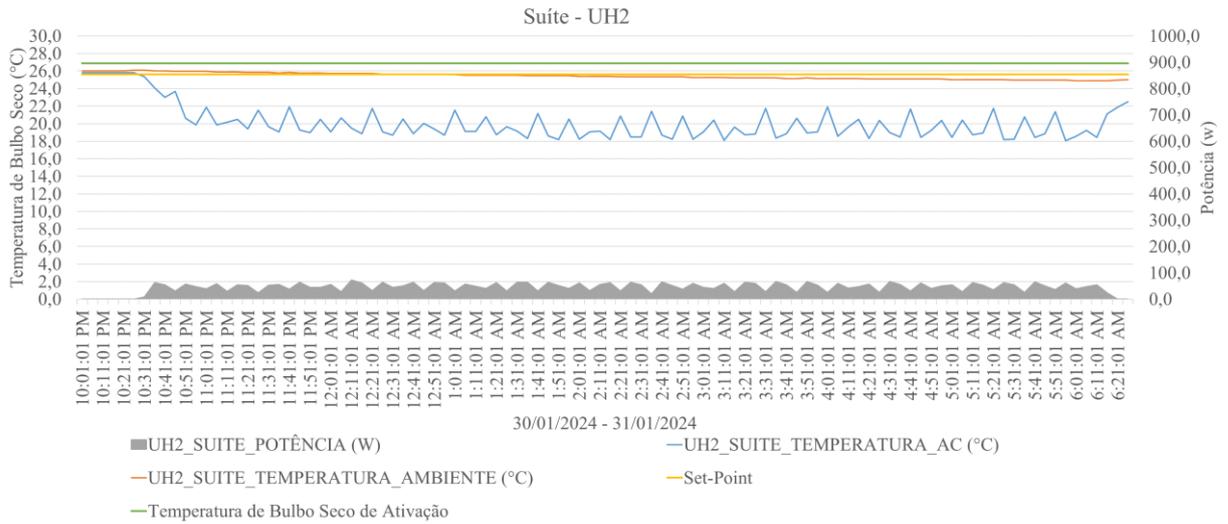


Figura 19 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH3

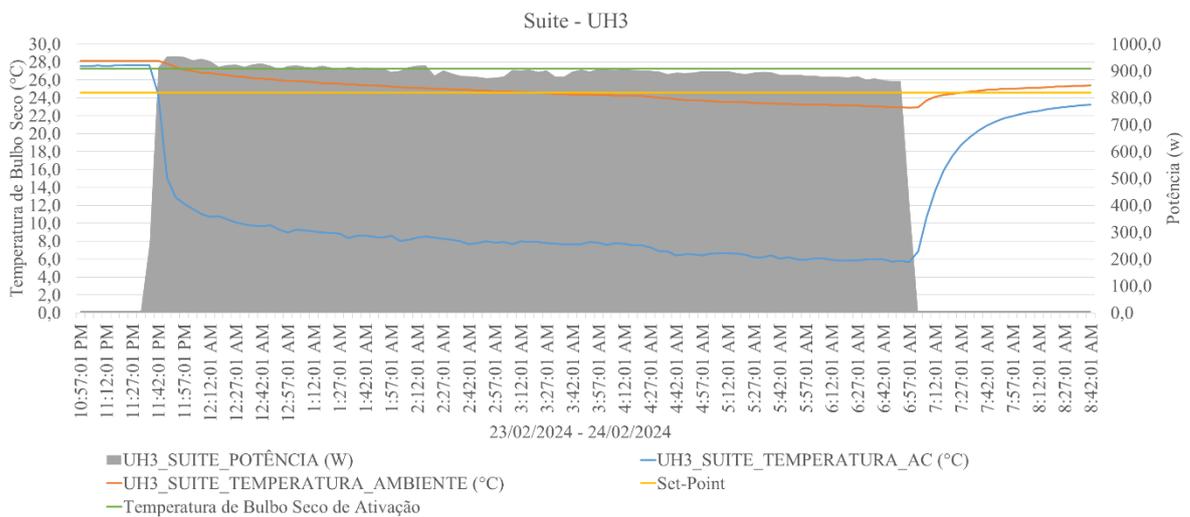
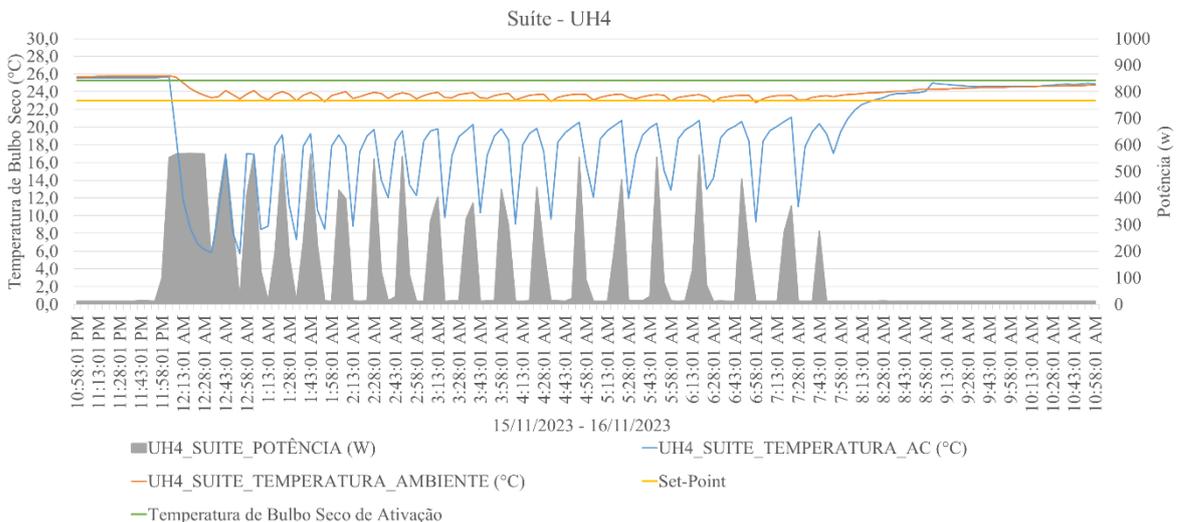


Figura 20 – Análise de um único período durante a semana de medição da Suíte da UH4



Para a UH3 (Figura 19), diferente das demais UHs, o sistema de ar-condicionado dos ambientes é do tipo split, porém não é inverter, sendo assim, apresentou o consumo praticamente constante durante todo o período que estava ligado. A temperatura do ambiente permanece diminuindo sem estabilizar em uma temperatura, não sendo possível determinar se o *set-point* foi atingido. Além de todos os sistemas de ar-condicionado dos ambientes da UH3 apresentarem a maior potência média dentre todos os sistemas avaliados, maiores até que a Sala da UH2, que possui o único ar-condicionado de 18000 BTU. Sendo assim, não é possível determinar se, neste caso, o sistema de ar-condicionado apresenta falha de funcionamento, falha de dimensionamento para suprir a demanda dos ambientes ou se os *I-buttons* não foram devidamente colocados.

Concluiu-se que, com base nos dados conjuntos da planilha de ocupação, questionários e *I-buttons*, de todas as UHs, o *set-point* a ser considerado para as simulações mais adequado seria o informado pelos ocupantes na planilha de ocupação. Como concluiu-se que os *I-buttons* estavam funcionando devidamente, foi possível utilizar ambos os *I-buttons* de cada ambiente, um dentro e outro fora do sistema de ar-condicionado, para determinar a temperatura de bulbo seco de ativação de cada ambiente.

Ao analisar o padrão de ocupação em conjunto com o momento de ativação do sistema de ar-condicionado (Tabela 21) foi possível determinar que, considerando todos os ambientes analisados, de todas as UHs, das 43 vezes que o sistema de ar foi acionado, 65% foram no momento que o ocupante entrou no ambiente, 16% aconteceram em até uma hora no ambiente e 19% enquanto o ocupante estava a mais de uma hora no ambiente. Sendo que, o ocupante do quarto da UH4 e o ocupante da UH3 desligaram o sistema de ar-condicionado e depois de certo tempo ligaram novamente.

Tabela 21 – Comparação entre o momento de ativação do sistema de ar-condicionado e a ocupação observada nas Unidades Habitacionais

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH1 - Suite		2				Sul e Leste		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	1	1	1	1	1	1	1	
1:00	1	1	1	1	1	1	1	
2:00	1	1	1	1	1	1	1	
3:00	1	1	1	1	1	1	1	
4:00	1	1	1	1	1	1	1	
5:00	1	1	1	1	1	1	1	
6:00	0,5	0,5	1	1	1	1	1	
7:00	0,5	0	0	0	0	0,5	1	
8:00	0	0	0	0	0	0	1	
9:00	0	0	0	0	0	0	1	
10:00	0	0	0	0	0	0	1	
11:00	0	0	0	0	0	0	0	
12:00	0	0	0	0	0	0	0	
13:00	0	0	0	0	0	0	0	
14:00	0	0	0	0	0	0	0	
15:00	0	0	0	0	0	0	0	
16:00	0	0	0	0	0	0	0	
17:00	0	0	0	0	0	0	0	
18:00	0	0	0	0	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	1	0	0	0	0	0	0	
22:00	1	0	0,5	1	0	0	0,5	
23:00	1	1	1	1	0	0	1	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH2 - Suite		1				Sul e Leste		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	1	1	1	1	1	1	0	
1:00	1	1	1	1	1	1	0	
2:00	1	1	1	1	1	1	0	
3:00	1	1	1	1	1	1	1	
4:00	1	1	1	1	1	1	1	
5:00	1	1	1	1	1	1	1	
6:00	1	1	1	1	1	1	1	
7:00	0	0	0	0	0	1	1	
8:00	0	0	0	0	0	0	1	
9:00	0	0	0	0	0	0	1	
10:00	0	0	0	0	0	0	1	
11:00	0	0	0	0	0	0	0	
12:00	0	0	0	0	0	0	0	
13:00	0	0	0	0	0	0	0	
14:00	0	0	0	0	0	0	0	
15:00	0	0	0	0	0	0	0	
16:00	0	0	0	0	0	0	0	
17:00	0	0	0	0	0	0	0	
18:00	0	0	0	0	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	1	1	1	0	0	1	
23:00	1	1	1	1	0	0	1	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH2 - Sala		1				Leste		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	0	0	0	0	0	0	0	
1:00	0	0	0	0	0	0	1	
2:00	0	0	0	0	0	0	1	
3:00	0	0	0	0	0	0	0	
4:00	0	0	0	0	0	0	0	
5:00	0	0	0	0	0	0	0	
6:00	0	0	0	0	0	0	0	
7:00	1	1	1	1	0	0	0	
8:00	1	0	0	1	1	1	0	
9:00	0	0	0	0	0	0	0	
10:00	0	0	0	0	0	1	0	
11:00	0	0	0	0	0	1	1	
12:00	0	0	0	0	0	0	1	
13:00	0	0	0	0	0	0	1	
14:00	0	0	0	0	0	0	1	
15:00	0	0	0	0	0	0	0	
16:00	0	1	0	0	0	0	0	
17:00	0	0	0	0	0	1	0	
18:00	0	1	1	0	0	0	0	
19:00	0	1	0	0	1	0	1	
20:00	0	0	1	0	1	0	1	
21:00	1	1	1	0	0	0	0	
22:00	1	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	1	0	0	0	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH3 - Suite		1				Norte		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	0	0	1	0	0	0	1	
1:00	1	1	1	1	1	1	1	
2:00	1	1	1	1	1	1	1	
3:00	1	1	1	1	1	1	1	
4:00	1	1	1	1	1	1	1	
5:00	1	1	1	1	1	1	1	
6:00	1	1	1	1	1	1	1	
7:00	1	1	1	1	1	1	1	
8:00	0	1	0	0	1	1	1	
9:00	0	0	0	0	0	1	1	
10:00	0	0	0	0	0	1	1	
11:00	0	0	0	0	0	0	1	
12:00	0	0	0	0	0	0	0	
13:00	0	0	0	0	0	0	0	
14:00	0	0	0	0	0	0	0	
15:00	0	0	0	0	0	0	0	
16:00	0	0	0	0	0	1	0	
17:00	0	0	0	0	0	0	0	
18:00	0	1	0	0	1	0	0	
19:00	0	0	0	0	1	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH3 - Sala		1				Norte		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	1	1	0	1	1	1	0	
1:00	0	0	0	0	0	0	0	
2:00	0	0	0	0	0	0	0	
3:00	0	0	0	0	0	0	0	
4:00	0	0	0	0	0	0	0	
5:00	0	0	0	0	0	0	0	
6:00	0	0	0	0	0	0	0	
7:00	0	0	0	0	0	0	0	
8:00	1	0	1	1	1	0	0	
9:00	0	1	1	1	1	0	0	
10:00	0	1	0	0	1	0	0	
11:00	1	1	0	0	0	1	0	
12:00	1	0	0	0	0	1	1	
13:00	1	0	1	0	1	1	1	
14:00	1	0	1	0	1	1	1	
15:00	0	1	1	0	0	1	1	
16:00	0	1	0	1	0	0	1	
17:00	0	1	0	0	0	0	1	
18:00	0	0	0	0	0	0	0	
19:00	0	0	1	0	0	0	0	
20:00	0	0	1	1	0	0	0	
21:00	0	0	1	0	0	0	0	
22:00	1	1	1	0	0	0	1	
23:00	1	1	1	1	0	0	1	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH4 - Suíte		1				Leste		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	1	0	1	1	1	1	1	
1:00	1	1	1	1	1	1	0	
2:00	1	1	1	1	1	1	0	
3:00	1	1	1	1	1	1	0	
4:00	1	1	1	1	1	1	0	
5:00	1	1	1	1	1	1	0	
6:00	1	1	1	1	1	1	0	
7:00	1	1	1	1	1	1	0	
8:00	1	0	1	1	1	1	0	
9:00	0	0	1	1	0	0	0	
10:00	0	0	1	1	0	0	0	
11:00	0	1	1	1	0	0	0	
12:00	0	0	1	1	0	0	0	
13:00	0	0	1	1	0	0	0	
14:00	0	0	1	1	0	0	0	
15:00	1	0	1	1	0	0	0	
16:00	1	0	1	1	0	0	0	
17:00	1	0	1	1	0	0	0	
18:00	1	0	1	1	0	0	0	
19:00	1	0	1	1	0	0	0	
20:00	1	0	1	1	1	0	0	
21:00	1	0	1	1	1	0	0	
22:00	1	0	1	1	1	0	1	
23:00	1	0	1	1	1	0	1	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH3 - Quarto		1				Norte		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	0	0	0	0	0	0	0	
1:00	0	0	0	0	0	0	0	
2:00	0	0	0	0	0	0	0	
3:00	0	0	0	0	0	0	0	
4:00	0	0	0	0	0	0	0	
5:00	0	0	0	0	0	0	0	
6:00	0	0	0	0	0	0	0	
7:00	0	0	0	0	0	0	0	
8:00	0	0	0	0	0	0	0	
9:00	0	0	0	0	0	0	0	
10:00	0	0	0	0	0	0	0	
11:00	0	0	0	0	0	0	0	
12:00	0	0	0	0	0	0	0	
13:00	0	0	0	0	0	0	0	
14:00	0	0	0	0	0	0	0	
15:00	1	0	0	1	0	0	0	
16:00	1	0	1	0	0	0	0	
17:00	1	0	1	0	0	0	0	
18:00	1	0	0	0	0	0	1	
19:00	1	1	0	0	0	0	1	
20:00	1	1	0	0	0	0	1	
21:00	1	1	0	0	0	0	1	
22:00	0	0	0	0	0	0	0	
23:00	0	0	0	0	0	0	0	

Ambiente		Quantidade de Ocupantes				Orientação		
UH4 - Quarto		1				Norte e Leste		
DIA:	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	
0:00	1	1	1	1	1	0	1	
1:00	1	1	1	1	1	1	1	
2:00	1	1	1	1	1	1	1	
3:00	1	1	1	1	1	1	1	
4:00	1	1	1	1	0	1	0	
5:00	1	1	1	1	1	1	1	
6:00	1	1	1	1	1	1	1	
7:00	1	0	1	1	1	1	1	
8:00	1	0	1	1	1	1	1	
9:00	0	0	1	1	1	1	1	
10:00	0	0	0	1	0	1	0	
11:00	0	0	0	1	0	1	0	
12:00	0	0	0	1	0	1	0	
13:00	0	0	0	0	0	1	0	
14:00	0	0	0	1	0	1	0	
15:00	0	0	1	1	0	1	0	
16:00	0	0	1	1	0	1	1	
17:00	0	1	0	1	1	1	1	
18:00	0	1	0	1	1	0	1	
19:00	0	1	0	1	1	0	1	
20:00	0	1	1	1	1	0	1	
21:00	1	1	1	1	1	0	1	
22:00	1	1	0	1	1	0	0	
23:00	1	1	0	1	1	0	1	

As suítes tendem a ter uma ocupação mais constante, com uso prolongado do ar-condicionado, particularmente à noite e madrugada. Enquanto as salas mostram um uso mais esporádico do ar-condicionado, geralmente nas tardes e noites, como visto na UH3-Sala e UH2-Sala, sugerindo que são menos usadas para atividades noturnas ou de descanso. A madrugada (0h às 6h) também apresenta alta ocupação e uso do ar-condicionado, principalmente nos dormitórios, indicando tendência de uso do sistema de ar-condicionado durante o período de sono.

4.3 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico foi avaliado com base no modelo de Referência_{NBR} e no modelo Real_{NBR} das UHs, simulados com ventilação natural (VN) e totalmente condicionado (AC). Esta análise adotou o arquivo climático INMET da cidade de Florianópolis. Através da

análise de redução de carga térmica, das temperaturas operativas máximas e mínimas e do aumento do PHFT, foi determinado o nível de desempenho das UHs conforme mostra a Tabela 22.

Tabela 22 – Desempenho Térmico das Unidades Habitacionais

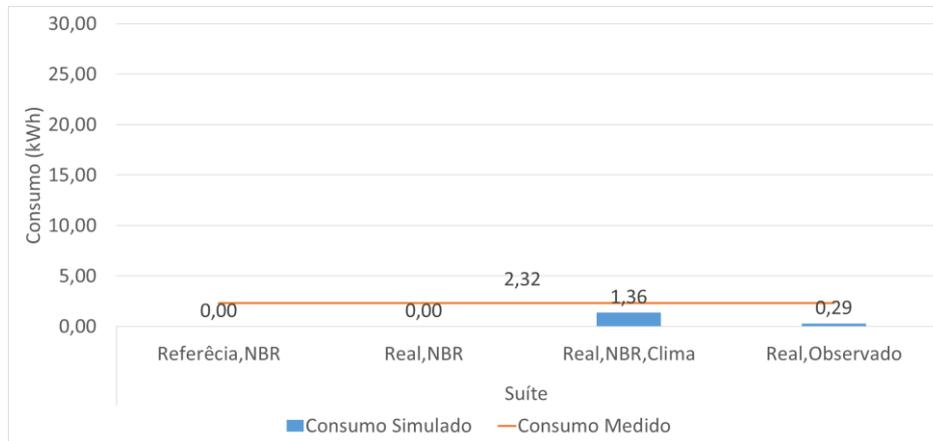
UH	Modelo	Tomin (°C)	Tomáx (°C)	PHFT (%)	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	CgTT (kWh)	Nível de Desempenho Térmico
1	Referência, _{NBR}	13,9	30,9	81,36%	1712,75	304,96	2017,71	Intermediário
	Real, _{NBR}	17,49	29,71	89,22%	1203,93	3,7	1207,63	
	Diferença	3,59	-1,19	7,86%	-30%	-99%	-40%	
2	Referência, _{NBR}	12,54	31,13	80,28%	1062,44	376,67	1439,11	Superior
	Real, _{NBR}	13,75	29,83	87,34%	484,42	150,18	634,6	
	Diferença	1,21	-1,3	7,06%	-54%	-60%	-56%	
3	Referência, _{NBR}	16,94	31,94	79,06%	2523,61	15,5	2539,11	Intermediário
	Real, _{NBR}	17,94	30,81	82,98%	1845,37	0	1845,37	
	Diferença	1	-1,13	3,92%	-27%	-100%	-27%	
4	Referência, _{NBR}	14,46	30,3	88,35%	919,39	191,99	1111,38	Superior
	Real, _{NBR}	16	29,23	94,04%	317,55	54,83	372,38	
	Diferença	1,54	-1,07	5,69%	-65%	-71%	-66%	

A análise de desempenho térmico revelou que todas as UHs apresentaram aumento de Tomin e PHFT em relação ao caso de referência, e também redução de Tomáx CgTR e CgTA. As UHs 1 e 3 atingiram nível de desempenho intermediário, enquanto as UHs 2 e 4 atingiram o nível de desempenho térmico superior conforme a Seção 11 da NBR15575-1:2021. As UHs 1 e 3 não apresentaram a diferença necessária para a redução de carga térmica das para atingir o nível superior.

4.4 CONSUMO DE ENERGIA

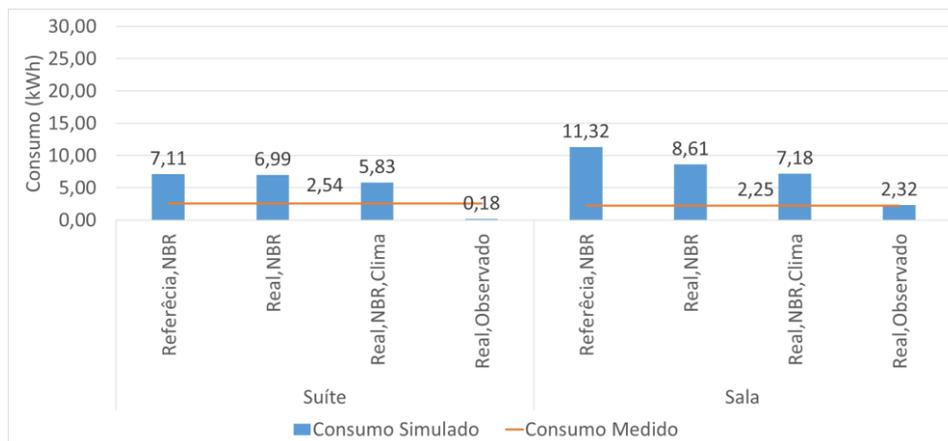
A seguir serão apresentados os resultados da análise de consumo de energia do sistema de ar-condicionado, para tal, foram comparados os consumos do modelo Real,_{OBSERVADO}, Real,_{NBR,CLIMA}, simulados utilizando o arquivo climático de Florianópolis com os dados da semana medida, e os modelos Referência,_{NBR} e Real,_{NBR}, simulados utilizando o arquivo INMET de Florianópolis. Os resultados são apresentados nas Figuras 21, 22, 23 e 24, em relação as UHs 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Todos os resultados apresentados são referentes ao período de medição de cada UH.

Figura 21 – Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 1



Observou-se que a Suíte da UH1 não apresentou consumo nos casos de Referência,NBR e Real,NBR, isso se deu devido as temperaturas operativas durante a semana avaliada que ficaram abaixo de 26° C. Ao utilizar o arquivo climático real da semana avaliada, o caso Real,NBRCLIMA apresentou aumento no consumo, com as temperaturas operativas ultrapassando 26° C. Porém, no caso Real,OBSERVADO, onde foram considerados o padrão de ocupação, set-point e temperatura de ativação observados, o consumo reduziu com o aumento do *set-point* para 24° C e temperatura de ativação para 26,3° C. Seria esperado a redução do consumo em comparação com o caso Real,NBR,CLIMA, com *set-point* de 23° C e temperatura de ativação de 26° C, no entanto, isso afastou o consumo Real,OBSERVADO do consumo medido. O impedimento de obter os projetos com as corretas composições das UHs avaliadas acaba impactando as análises por não ser possível representar com exatidão a envoltória das edificações, que pode causar a discrepância entre as simulações e as medições.

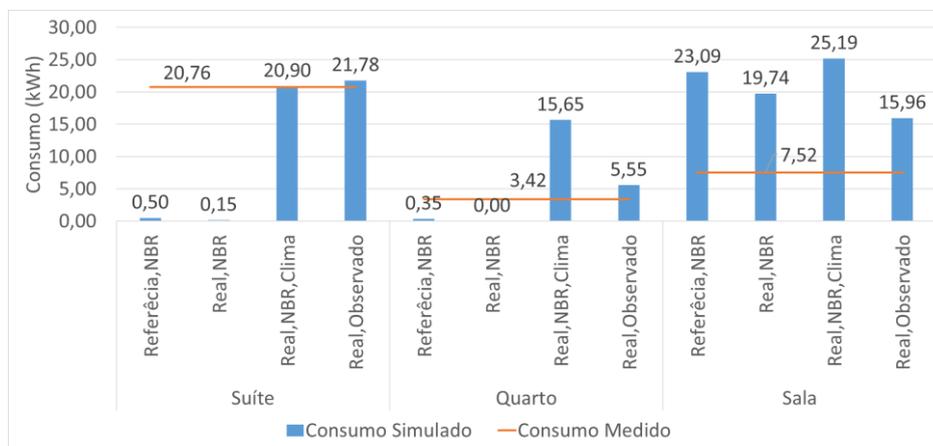
Figura 22 - Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 2



Diferente da UH1, os ambientes da UH2 apresentaram consumo nos casos Referência,_{NBR} e Real,_{NBR} e estes casos apresentaram maior consumo do que o caso Real,_{NBR,CLIMA} mostrando que a alteração do clima não necessariamente representa aumento no consumo. A quantidade de equipamentos e disponibilidade dos ocupantes não possibilitou avaliar mais de uma UH durante o mesmo período de medição. Isso dificulta a comparação entre as UHs para identificar a influência do clima pois cada UH apresenta um clima diferente durante sua respectiva semana avaliada, tanto no arquivo climático INMET, como no arquivo climático das semanas analisadas. Outro fator seria os arredores do edifício, que no caso da UH3 nenhum edifício causa sombreamento, enquanto a UH1 está rodeada de outras edificações.

Assim como a UH1, a UH2 apresentou redução no consumo ao considerar o padrão de ocupação e operação do sistema de ar-condicionado observados, com o consumo do caso Real,_{OBSERVADO} da sala 3% maior que o consumo medido, isso pode ser justificado pelo aumento do set-point para 24°C e das temperaturas de ativação da suíte (28,9° C) e da sala (26,9° C), mas, de forma geral, o consumo estimado do sistema de ar-condicionado da UH2 estaria superestimado.

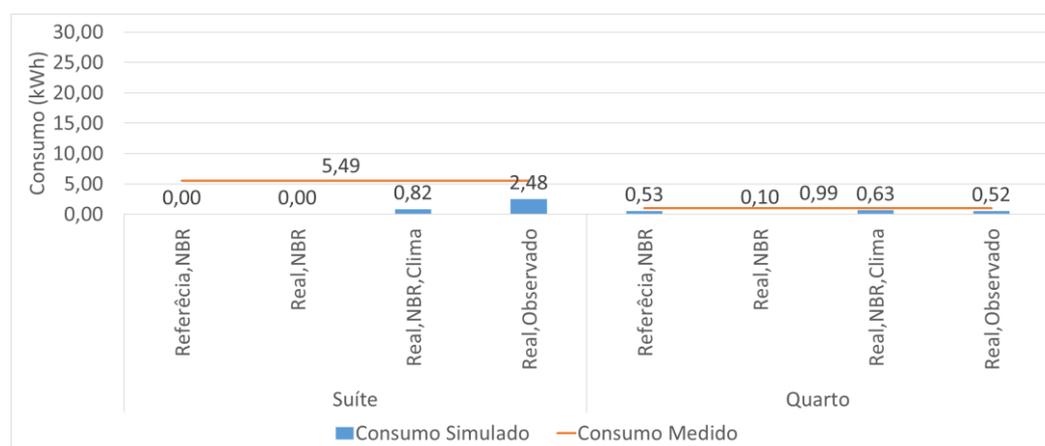
Figura 23 - Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 3



A UH3 apresentou baixo consumo estimado nos dormitórios e alto consumo estimado na sala nos casos de Referência,_{NBR} e Real,_{NBR}, com o caso Referência,_{NBR} apresentando maior consumo estimado do sistema de ar-condicionado que o caso Real,_{NBR}. A alteração do dado climático no caso Real,_{NBR,CLIMA} resultou no aumento do consumo em todos os ambientes, com a Suíte atingindo consumo estimado 0,7% maior que o consumo medido, enquanto os demais ambientes apresentaram consumo estimados muito superiores ao consumo medido. Ao analisar o caso Real,_{OBSERVADO} a suíte da UH3 é o primeiro ambiente que apresenta consumo estimado

maior que o caso $Real_{,NBR,CLIMA}$, com aumento de 4%. Os demais ambientes apresentaram consumo estimado do caso $Real_{,OBSERVADO}$ menor do que o caso $Real_{,NBR,CLIMA}$, porém continuam superestimados em relação ao consumo medido do sistema de ar-condicionado.

Figura 24 – Consumos de energia do sistema de ar-condicionado simulados e medido durante a semana de medição da UH 4



Assim como a Suíte da UH1, a Suíte da UH4 não apresentou consumo estimado nos casos Referência, NBR e Real, NBR , devido as temperaturas operativas do ambiente abaixo de $26^{\circ}C$ durante a semana avaliada, enquanto o Quarto apresentou consumo em ambos os casos, com o redução de consumo no caso Real, NBR em comparação com o caso Referência, NBR . Com aumento no consumo de ambos os ambientes no caso Real, $NBR,CLIMA$. No caso Real, $OBSERVADO$ o consumo estimado do sistema de ar-condicionado da suíte aumentou em comparação com o caso Real, $NBR,CLIMA$ e se aproximou do consumo medido, embora ainda esteja abaixo, enquanto no quarto o caso Real, $NBR,CLIMA$ apresentou maior consumo estimado que o Real, $OBSERVADO$.

Em todas as UHs há discrepâncias entre o consumo simulado e o consumo medido, especialmente nas simulações que utilizaram os dados climáticos INMET Florianópolis (Referência, NBR e Real, NBR), que em alguns ambientes não apresentaram consumo durante a semana de medição pois a temperatura operativa destes casos não atingiu $26^{\circ}C$.

Em comparação, as simulações realizadas com o arquivo climático da semana de medição (Real, $NBR,CLIMA$ e Real, $OBSERVADO$), em sua maioria, apresentam consumo estimado mais próximo do consumo medido. Como esperado, a diferença de dados climáticos foi suficiente para impactar o consumo estimado nos ambientes, com certa tendência de o consumo estimado nos dormitórios estarem subestimados enquanto o consumo estimado nas salas estarem superestimados.

4.5 COMPARAÇÃO DE DADOS COLETADOS E RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

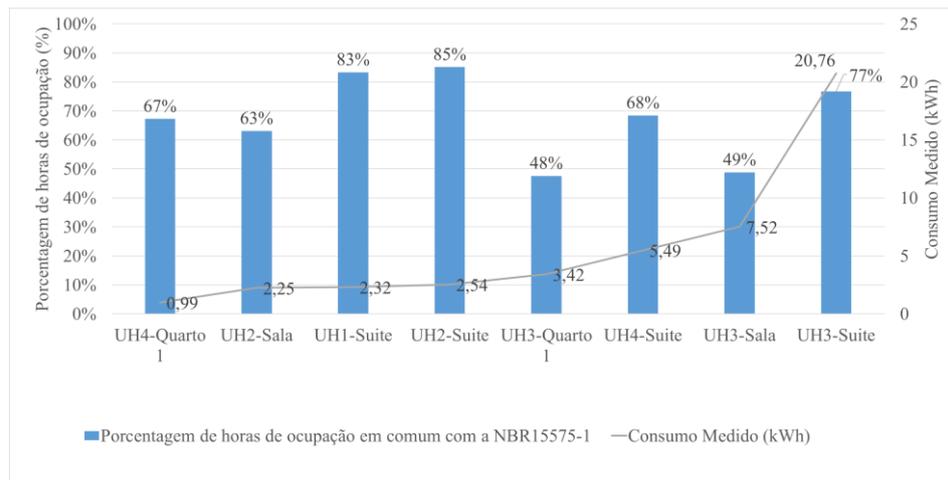
A seguir serão comparados os principais dados e indicadores explorados neste trabalho, conforme mostra a Tabela 23, que traz os dados organizados de forma crescente de consumo medido. Observa-se que o Quarto 1 da UH4 foi o ambiente que apresentou menor consumo medido (0,99 kWh), e a Suíte da UH3 o ambiente que apresentou o maior consumo medido (20,76 kWh). Ambientes com orientação para o Norte (UH3-Sala e UH4-Quarto 1) apresentam tanto altos quanto baixos consumos médios, enquanto as orientações Leste e Sul apresentaram consumos medidos menores, sugerindo que a orientação, por si só, não é um fator isolado determinante do consumo energético.

Tabela 23 – Comparação de dados coletados e de simulação de todos os ambientes com sistema de ar-condicionado

AMBIENTE	Dados Coletados							Simulações		
	Consumo Medido (kWh)	Orientação das Paredes Externas	Porcentagem de horas de ocupação em comum com a NBR15575-1	Horas de Uso (h)	Índice de Eficiência (CEE ou CSPF) (W/W)	Temperatura de ativação (°C)	Set-Point (°C)	PHFT do Ambiente (%) Real, _{NBR}	Consumo Estimado (kWh) Real, _{NBR,CLIMA}	Consumo Estimado (kWh) Real, _{OBSERVADO}
UH4-Quarto 1	0,99	Norte e Leste	67%	7,30	7,96	26,3	24	92,00%	0,63	0,52
UH2-Sala	2,25	Leste	63%	4,67	6,94	26,9	24	86,00%	7,18	2,32
UH1-Suite	2,32	Sul e Leste	83%	9,30	7,96	26,6	24	98,00%	1,36	0,29
UH2-Suite	2,54	Sul e Leste	85%	51,50	6,68	28,9	24	85,00%	5,83	0,18
UH3-Quarto 1	3,42	Norte	48%	7,10	3,24	27,8	22	95,00%	15,65	5,55
UH4-Suite	5,49	Leste	68%	32,50	6,94	25,2	23	95,00%	0,82	2,48
UH3-Sala	7,52	Norte	49%	11,00	3,24	28	22	61,00%	25,19	15,96
UH3-Suite	20,76	Norte	77%	25,40	3,24	27,3	22	93,00%	20,9	21,78

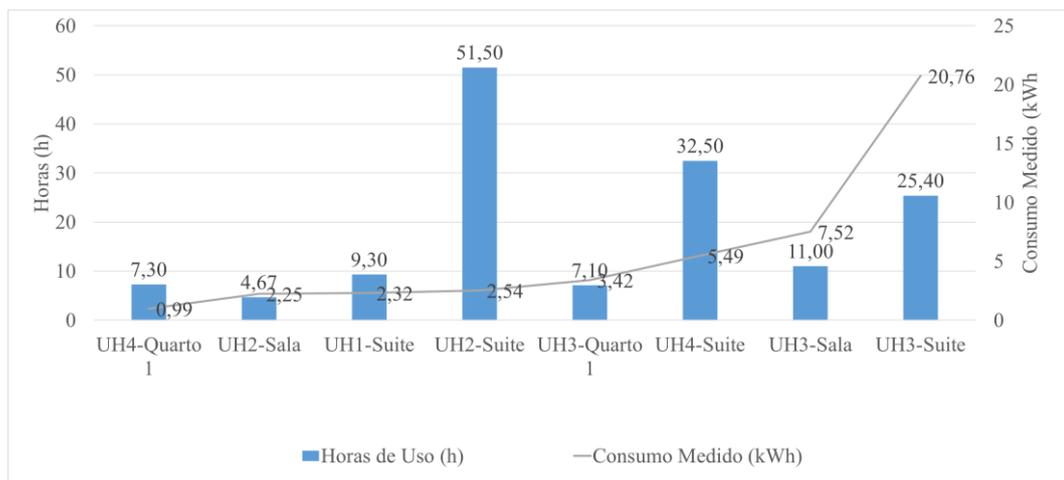
Conforme mostra a Figura 25, a proximidade entre a ocupação real e a ocupação da NBR15575-1:2021 não mostra clara relação com o consumo medido. Isso se dá devido a irregularidade entre as porcentagens de horas de ocupação em comum com a NBR15575-1 e o consumo.

Figura 25 – Horas de Uso dos ambientes em ordem crescente de consumo medido



Já a Figura 26, mostra que mais horas de uso geralmente resultam em maior consumo medido, mesmo tendo uma relação direta, outros fatores, como a eficiência do sistema de ar-condicionado e o *set-point* escolhido pelo ocupante demonstraram maior impacto no consumo medido.

Figura 26 – Horas de Uso dos ambientes em ordem crescente de consumo medido

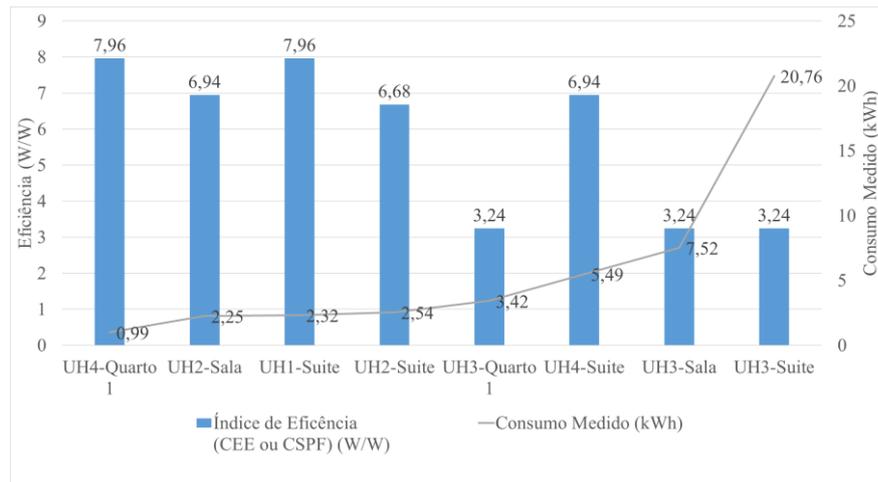


Observou-se que as horas de uso do sistema de ar-condicionado não foram necessariamente impactadas pela forma de trabalho/estudo do ocupante. Isso pode ser observado ao analisarmos as UHs 2 e 3, ambas com apenas 1 ocupante, e apresentaram o maior tempo de uso do sistema de ar-condicionado, respectivamente 56,17h e 43,7h, sendo que o

ocupante da UH2 apenas trabalha fora da residência, enquanto o ocupante da UH3 trabalha na residência.

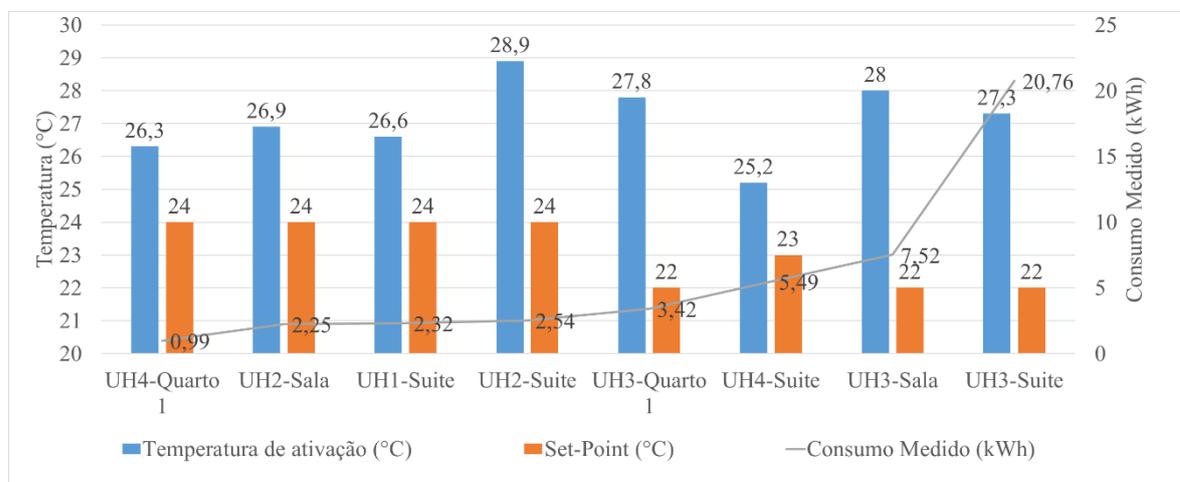
A eficiência do sistema de ar-condicionado demonstra maior relação com o consumo, onde observa-se que as maiores eficiências resultam em menores consumo, como mostra a Figura 27.

Figura 27 – Eficiência dos sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido



A Figura 28 demonstra que o *set-point* tem maior impacto no consumo que a temperatura de ativação do sistema de ar-condicionado, onde os ambientes com *set-point* maiores (24°C) apresentaram consumo inferior quando comparados com os ambientes com *set-point* de 22°C ou 23°C, mesmo com a temperatura de ativação dos ambientes com *set-point* de 24° menor que os demais ambientes.

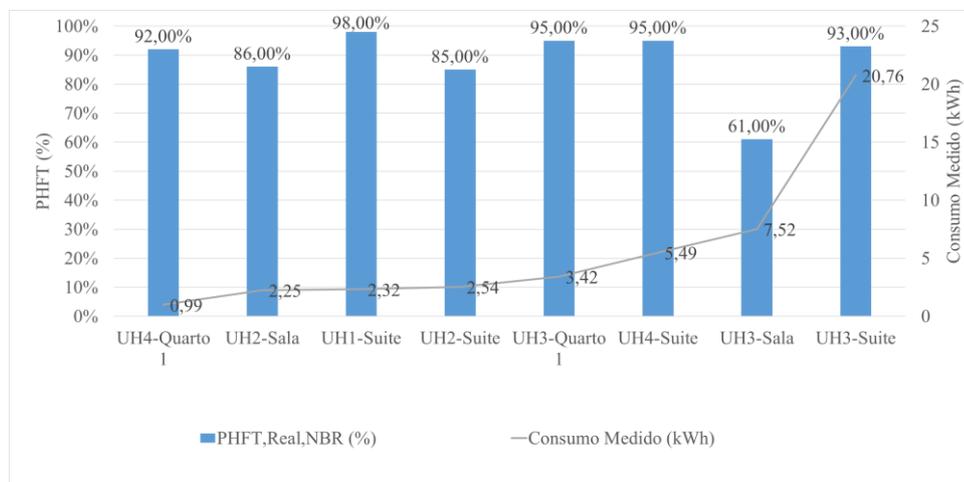
Figura 28 – Temperatura de ativação e *set-point* dos sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido



Observou-se que, dependendo do ambiente onde está o ocupante, existe variação na temperatura de ativação do sistema de ar-condicionado. Isso pode ser observado ao analisar as UHs 2 e 3, ambas com apenas um ocupante durante a semana de avaliação, que apresentam diferentes temperaturas de ativação para cada ambiente, sendo que a Suíte da UH2 apresenta maior temperatura de ativação (28,9° C) quando comparado com a Sala da UH2 (26,9° C). Já a Sala da UH3 apresenta maior temperatura de ativação (28° C) em comparação com os demais ambientes.

Diferente da eficiência e *set-point*, que demonstram relação com o consumo do sistema de ar-condicionado, o PHFT do ambiente não apresentou relação significativa. O Quarto da UH1, por exemplo, apresentou o menor consumo medido (0,99 kWh) e PHFT de 92%, enquanto a Suíte da UH3, apresentou o maior consumo de ar-condicionado medido (20,76 kWh) e PHFT de 93%, como mostra a Figura 29. Considerando apenas os dados presentes neste trabalho observou-se certa tendência de que a eficiência e operação do sistema de ar-condicionado tem maior influência no consumo do sistema de ar-condicionado do que a envoltória da edificação.

Figura 29 – PHFT Real,_{NBR} dos ambientes com sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido

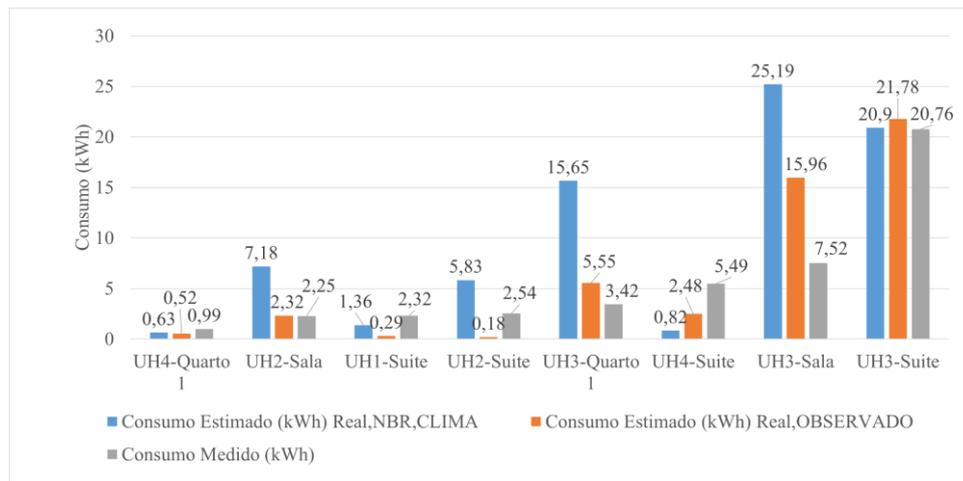


A relação do padrão de ocupação e operação do sistema de ar-condicionado com o consumo é apresentada na Figura 30.

Conforme mostram as estimativas de consumo do caso Real,_{NBR,CLIMA} e Real,_{OBSERVADO}, em 6 dos 8 dos ambientes analisados o caso Real,_{OBSERVADO} apresentou um consumo estimado menor do que o caso Real,_{NBR,CLIMA}, apresentando certa tendência de superestimar o consumo ao utilizar os parâmetros de padrão de ocupação, *set-point* e temperatura de ativação. Além disso o caso Real,_{OBSERVADO} apresentou maior proximidade do

consumo medido do sistema de ar-condicionado em 5 dos 8 ambientes avaliados, mostrando a relevância da correta retratação do padrão de ocupação e operação do sistema de ar-condicionado para a estimativa de consumo de ar-condicionado de residências multifamiliares.

Figura 30 – Consumo Estimado dos casos $Real_{NBR,CLIMA}$ e $Real_{OBSERVADO}$ dos sistemas de ar-condicionado em ordem crescente de consumo medido



5 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi analisar o impacto da eficiência e operação do sistema de ar-condicionado no consumo de energia elétrica do sistema de ar-condicionado de residências multifamiliares.

O padrão de ocupação das unidades habitacionais foi avaliado utilizando ferramentas de monitoramento, a relação dos ocupantes com o sistema de ar-condicionado foi caracterizada através de questionários, enquanto as planilhas de ocupação e equipamentos de medição coletaram dados do padrão de ocupação, temperatura de ativação, *set-point* e consumo das UHs avaliadas.

A partir dos dados coletados foram estabelecidos 4 casos, baseados no método de avaliação de nível de desempenho térmico de edifícios residenciais da Seção 11 da ABNT NBR1575-1:2021. Com base nos dados climáticos INMET de Florianópolis e dados climáticos dos períodos de avaliação, foi possível simular e comparar diferentes cenários, com diferentes padrões de ocupação e operação do sistema de ar-condicionado, considerando as temperaturas de ativação e *set-point* reais, de forma a avaliar como o uso do ar-condicionado varia em resposta às condições internas de temperatura.

Durante a etapa de simulação, os casos Referência_{,NBR} e Real_{,NBR}, com dados do arquivo climático de INMET de Florianópolis geraram *outputs* de temperatura operativa, máxima, mínima e carga térmica permitindo avaliar o desempenho da envoltória das UHs. Além disso, os *outputs* destes casos, juntamente com os *outputs* dos casos Real_{,NBR,CLIMA} e Real_{,OBSERVADO}, simulados utilizando os dados climáticos dos períodos de avaliação, foram utilizados para estimar o consumo do sistema de ar-condicionado de cada caso, embora o arquivo climático real forneça uma média mais alta de temperaturas, o arquivo INMET pode registrar extremos de temperatura em determinadas ocasiões. O consumo foi estimado através do método de cálculo apresentado pela INI-R.

A análise conjunta dos dados de desempenho da envoltória das UHs, das estimativas de consumo, consumo medido, temperaturas e relação do ocupante com o sistema de ar-condicionado permitiu analisar o impacto da eficiência e operação do sistema de ar-condicionado no consumo de energia elétrica do sistema de ar-condicionado de residências multifamiliares.

Observou-se que embora as horas de uso tenham direta influência no consumo, outros fatores apresentam maior impacto sobre o consumo. Isso pode ser observado na Suíte da UH2, que mesmo apresentando o maior tempo de uso do sistema de ar-condicionado (51,5h) e

potência similar aos demais casos medidos, não apresentou o maior consumo, isso pode ser justificado pela eficiência (6,68 W/W) e pelo *set-point* (24° C) do sistema de ar-condicionado.

Adicionalmente, 65% das ativações do sistema de ar-condicionado ocorreram quando o ocupante entrou no ambiente, evidenciando uma correlação entre a recente ocupação do espaço e o acionamento do sistema. Esse dado sugere que a ativação imediata do ar-condicionado está diretamente relacionada à necessidade de conforto térmico percebido pelo ocupante ao entrar no ambiente, o que também pode influenciar o tempo de operação e, consequentemente, o consumo.

Ao analisar a influência do sistema de ar-condicionado, existe clara relação entre os sistemas mais eficientes apresentarem o menor consumo, com exceção da Suíte da UH4, que mesmo tendo alta eficiência (6,94 W/W), apresentou o segundo maior tempo de uso (32,5h) e a menor temperatura de ativação (25,2° C). Ou seja, mesmo que a eficiência demonstre maior impacto do que as horas de uso, os outros fatores ainda influenciam o consumo do sistema de ar-condicionado.

A temperatura de ativação, por exemplo, mesmo tendo influenciado o aumento do consumo na Suíte da UH4, os demais ambientes que apresentaram *set-point* abaixo de 27° C, estavam entre os menores consumos, e isso pode ser justificado pelo *set-point* do sistema de ar-condicionado. Ao analisar o *set-point* das UHs, percebe-se que quanto maior o *set-point*, menor o consumo do sistema de ar-condicionado. Isso ocorreu em todos os 4 ambientes com *set-point* de 24° C. Com isso, é possível concluir que, neste caso, que o *set-point* apresentou maior impacto no consumo de energia do sistema de ar-condicionado do que a temperatura de ativação.

Embora a análise dos dados medidos tenha revelado correlações, o PHFT não demonstrou uma relação clara com o consumo de energia medido. Dentre todos os fatores analisados, observou-se que tanto a eficiência quanto o *set-point* do sistema de ar-condicionado exerceram as influências mais significativas sobre o consumo de energia elétrica. Essas variáveis mostraram-se mais determinantes do que o tempo de uso ou a temperatura de ativação, destacando a importância de considerar a eficiência energética e a escolha adequada do *set-point* para a otimização do consumo em sistemas de ar-condicionado em residências multifamiliares.

6 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As limitações do trabalho foram:

- A pesquisa foi baseada em um estudo de caso específico em residências multifamiliares localizadas em Florianópolis, utilizando dados climáticos locais. Assim, as conclusões podem não ser diretamente aplicáveis a outras regiões com diferentes características, sejam elas climáticas, de ocupação ou culturais, limitando a generalização dos resultados para outras localidades ou tipos de edifícios.
- A análise foi realizada em um número restrito de unidades habitacionais (UHs), o que pode limitar a representatividade dos resultados. Para resultados mais robustos, seria necessário um estudo com uma amostra maior de UHs e variabilidade de características de construção e operação do sistema de ar-condicionado.
- O estudo focou principalmente na eficiência e operação do sistema de ar-condicionado, mas outros parâmetros, como a manutenção dos sistemas de ar-condicionado, qualidade do ar interno e fatores culturais, econômicos e psicológicos dos ocupantes, como o humor, não foram analisados, mas podem impactar na utilização do sistema de ar-condicionado.
- Cada UH foi avaliada durante 1 semana podendo haver variabilidade significativa em diferentes épocas do ano ou sob condições climáticas extremas que não foram capturadas. A análise poderia ser fortalecida com dados ao longo de um ano inteiro para melhor refletir as variações sazonais e possibilitar a análise das UHs durante o mesmo período.
- A falta de precisão na estimativa da eficiência do sistema de ar-condicionado em alguns casos, devido à inexistência de dados específicos, pode influenciar a estimativa de consumo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais-Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ABNT. **NBR ISO 10456**: Materiais e produtos de construção — Propriedades higrotérmicas — Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ANDERSON, J.; ROBINSON, D. A.; MA, Z. **Performance simulation and evaluation of net zero energy buildings in an Australian coastal climate. Smart Innovation, Systems and Technologies**, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04293-6_34.
- ANDRÉ, M. et al. Practical differences in operating buildings across countries and climate zones: Perspectives of building managers/operators. **Energy and Buildings**, v. 278, p. 112650, jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112650>.
- ASBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15575**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.asbea.org.br/wp-content/uploads/2022/07/normas-de-desempenho.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2023
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, GA: ASHRAE, 2022.
- BALVEDI, B. F; GHISI, E; LAMBERTS, R. A review of occupant behaviour in residential buildings. Elsevier B.V. **Energy & Buildings** 174. 495–505. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.049>
- BECKER, K.; PARKER, J. R. A Simulation Primer: Em: GIBSON, D.; BAEK, Y. K. (Eds.). **Digital Simulations for Improving Education**. [s.l.] IGI Global, 2009a. p. 1–24.
- BIG LADDER SOFTWARE LLC. **Elements**. 2014. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/projects/elements/>. Acesso em: 05 jul. 2024
- CEN - Comité Européen de Normalisation. **EN 16798-1 - Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6**. Brussels, 2019.
- CLARKE, J. A.; HENSEN, J. L. M. Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements. **Building and Environment**, v. 91, p. 294–306, set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.002>.
- CLIMATE.ONEBUILDING. **WMO Region 3 - South America**. 2023. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/default.html. Acesso em 10 nov. 2023

COSTA, F. et al. **Estudo de Impacto Regulatório, Diretrizes Gerais e Estudo de Caso para Condicionadores de Ar tipo Split System no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.049>

DESIGN BUILDER. **Ground Modelling - Standard Method**. 2023. Disponível em: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Ground_Modelling.htm. Acesso em: 05 set. 2023

DORNELLES, K.A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Campinas, SP, 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

ELI, L. G. et al. Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context. **Energy and Buildings**, v. 244, p. 111047, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111047>.

EPE - Empresa de pesquisa energética. **Atlas da Eficiência Energética Brasil, 2023, Relatório de Indicadores**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-788/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202023.pdf#search=Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica>. Acesso em: 16 jul. 2024.

GAETANI, I.; HOES, P.-J.; HENSEN, J. L. **On the sensitivity to different aspects of occupant behaviour for selecting the appropriate modelling complexity in building performance predictions**. Journal of Building Performance Simulation, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19401493.2016.1260159>

HENSEN, J.; LAMBERTS, R. (EDS.). **Building performance simulation for design and operation**. Second edition ed. Abingdon, Oxon ; New York, NY: Routledge, 2019.

IEA - International Energy Agency. **The Future of Cooling Opportunities for energy-efficient air conditioning**. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling> Acesso em: 26 mai. 2023.

IEA - International Energy Agency. **Buildings**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/buildings>. Acesso em: 28 abr. 2023.

IEA - International Energy Agency. **World Energy Outlook 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/world-energy-outlook>. Acesso em: 06 ago. 2024.

INMETRO - Instituto nacional de metrologia normalização e qualidade industrial. **Condicionadores de ar**. 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/Tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar> Acesso em: 02 set. 2023.

INMETRO - Instituto nacional de metrologia normalização e qualidade industrial. **INI Residencial, instrução normativa do INMETRO para edificações residenciais**. Rio de Janeiro. 2022b.

JEONG, B. et al. Identification of Environmental and Contextual Driving Factors of Air Conditioning Usage Behaviour in the Sydney Residential Buildings. **Buildings**, [S.l.], v. 11, n. 122, 18 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings11030122>.

KRELLING, A. F. et al. A thermal performance standard for residential buildings in warm climates: Lessons learned in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 281, p. 112770, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112770>.

LU, H; GAUR, A; LACASSE, M. Climate data for building simulations with urban heat island effects and nature-based solutions. **Scientific Data**, 11, 731, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03532-5>.

MAILE, TOBIAS; FISCHER, MARTIN; BAZJANAC, VLADIMIR. **Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective**. Stanford. 2007.

MAHDAVI, A; TAHMASEBI, F. People in building performance simulation. In: HENSEN, J; LAMBERTS, R. (Ed.) **Building performance simulation for design and operation**. 2. Ed. Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge, 2019. p. 117-145.

NAVES, A.X.; ESTELLER, L.J.; HADDAD, A.N.; BOER, D. Targeting Energy Efficiency through Air Conditioning Operational Modes for Residential Buildings in Tropical Climates, Assisted by Solar Energy and Thermal Energy Storage. Case Study Brazil. **Sustainability**, 13, 12831, nov 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su1322128313>.

PBE EDIFICA. **COOLING SEASONAL PERFORMANCE FACTOR (CSPF)**. 2024, Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/cspf/>. Acesso em: 10 de abril de 2024

RAMOS, G et al. Adaptive behaviour and air conditioning use in Brazilian residential buildings. **Building Research & Information**, v. 49, p. 496-511, aug. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09613218.2020.1804314>.

SANTAMOURIS, M; VASILAKOPOULOU, K. Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonization. Elsevier Ltd. e-Prime - **Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy** 1. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>.

WEBER, F.S.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017. 52p.

YIN, R. et al. Quantifying flexibility of commercial and residential loads for demand response using setpoint changes. **Applied Energy**, v. 177, p. 149–164, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.090>.

YU, C.; DU, J.; PAN, W. Improving accuracy in building energy simulation via evaluating occupant behaviors: A case study in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 202, p. 109373, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109373>.

ZAHIRI, S.; ELSHARKAWY, H. Towards energy-efficient retrofit of council housing in London: Assessing the impact of occupancy and energy-use patterns on building performance. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 672–681, set. 2018. Disponível em: [10.1016/j.enbuild.2018.07.010](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.010).

APÊNDICE A – TCLE - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Pesquisa: Análise do desempenho termo energético de sistemas de ar condicionado em unidades habitacionais multifamiliares.

Bem-vindo/a à nossa pesquisa!

O senhor/a está sendo convidado para nossa pesquisa. A pesquisa aborda o consumo e desempenho de sistemas de ar-condicionado em edificações residenciais. Buscamos participantes que possuam sistema de ar-condicionado em suas residências e que estejam dispostos a fornecer informações sobre o consumo, desempenho e padrão de ocupação de suas residências.

Este é um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), para participar do estudo acadêmico “Análise do desempenho termo energético de sistemas de ar condicionado em unidades habitacionais multifamiliares.”. Este estudo compara o consumo real dos condicionadores de ar das residências com a estimativa da NBR 15575-1:2021 e como os ocupantes interagem com o equipamento, e está vinculado ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. Caso aceite participar, o senhor(a) contribuirá para que os pesquisadores entendam melhor o verdadeiro desempenho dos condicionadores de ar e o efeito da ocupação dos moradores sobre eles em relação à percepção térmica no ambiente interno.

Inicialmente, o/a senhor/a receberá em sua residência os pesquisadores que realizarão as medições para coletar os dados de consumo do sistema de ar-condicionado, a temperatura de bulbo seco do ambiente e o padrão de ocupação. O/A senhor/a também receberá os questionários para entender o padrão de ocupação real das residências analisadas. As residências analisadas serão modeladas de acordo com os requisitos da Seção 11 da ABNT NBR15575-1:2021 – Desempenho Térmico, para se obter o desempenho termo energético na condição real e na condição de referência. Também serão feitas simulações com o mesmo método da NBR15575-1, porém com o *set-point*, padrão de ocupação e sistema de ar-condicionado de acordo com a residência avaliada, características obtidas por meio dos questionários e monitoramento de consumo. Ao final, pretende-se analisar os resultados das simulações para compreender a diferença entre os consumos, compará-los com o consumo monitorado durante o experimento, e entender a influência do padrão de ocupação da residência no resultado do nível de desempenho da NBR15575-1.

A justificativa para esta pesquisa é a necessidade de se compreender a lacuna na representação do impacto energético real em simulações de desempenho de edifícios. A NBR

15575-1:2021, por exemplo, utiliza um padrão de ocupação fixo e não leva em consideração a eficiência real dos equipamentos de ar-condicionado das residências, por analisar somente a carga térmica. Isso significa que a norma não considera as diferenças entre os equipamentos de ar-condicionado em termos de eficiência energética ou a variação do comportamento dos ocupantes em relação ao uso desses equipamentos. Como resultado, as simulações podem subestimar ou superestimar o consumo real de energia nas residências.

Esta pesquisa é importante porque pode ajudar a melhorar a precisão das simulações de desempenho de edifícios e, assim, identificar oportunidades de melhoria no consumo de energia. Os resultados da pesquisa podem ser utilizados pelos profissionais da área da construção civil para projetar e construir edifícios mais eficientes em termos de energia.

Como serão feitas as coletas de dados?

Consumo do aparelho de ar-condicionado: Para medir o consumo será posicionado em sua residência um equipamento que será conectado ao fio de energia pertencente ao ar-condicionado no quadro de disjuntores da residência. O aparelho é pequeno, mas necessita de um espaço onde possa ficar conectado à energia (precisa ficar ligado em uma tomada), sem interrupções, durante o período do experimento. **Por motivo de segurança, não serão selecionadas residências com ocupantes menores de 16 anos ou animais de estimação.**



Temperatura do Ambiente: Para a medição de temperatura do ambiente interno serão utilizados *I-buttons* – aparelhos do tamanho de um botão – para medição de temperatura. Serão instalados dois *I-buttons* por ambiente com ar-condicionado: um será instalado na saída de ar do aparelho de ar-condicionado e o outro a uma altura média na parede do ambiente. Solicitamos que o/a senhor/a não modifique a localização ou faça contato direto com os equipamentos. Portanto, é solicitado cuidado para não esbarrar no *I-button* que estiver na parede do cômodo. A intenção é deixá-lo em um local que não favoreça acidentes.



Padrão de ocupação: Uma planilha será disponibilizada contendo os ambientes, horários e dias, no período de 7 dias consecutivos, para ser preenchida pelos ocupantes da residência estabelecendo de forma aproximada a quantidade de indivíduos em cada ambiente em determinados horários.

Quanto tempo dura o experimento?

O experimento terá duração de 7 dias, durante os quais os aparelhos serão instalados no dia mais conveniente para o voluntário e recolhidos ao final da semana.

O que é necessário para participar?

Possuir pelo menos um ambiente com ar-condicionado.

Residir na região da Grande Florianópolis.

Possuir a planta baixa da residência em qualquer formato legível.

Quais informações dos voluntários serão necessárias?

Será feito um questionário para caracterização sociodemográfica dos usuários e melhor entender a relação dos usuários com o ambiente e os equipamentos. O questionário trará perguntas para coletar informações de renda, formas de ocupação e características do equipamento de ar-condicionado.

A sua participação na pesquisa é voluntária e não haverá qualquer tipo de remuneração, assim como não será gerado qualquer tipo de despesa para o participante. Em caso de eventuais danos, comprovadamente decorrentes de sua participação nesta pesquisa, haverá indenização. Em caso de ressarcimento ou indenizações, os mesmos serão cobertos pelos pesquisadores responsáveis via depósito bancário.

Os riscos associados a essa pesquisa são baixos. Entretanto, caso você sinta algum desconforto ou constrangimento durante a realização da pesquisa, você pode desistir em qualquer momento e os pesquisadores responsáveis irão à residência para retirar os equipamentos. Caso desista da participação depois de feita a coleta dos dados, esses dados não serão reportados. Os benefícios de sua participação nesta pesquisa são de ordem educacional,

científica e conhecimento sobre o desempenho da sua residência em relação ao consumo do seu HVAC. O participante receberá todo acompanhamento e assistência necessária ao longo da pesquisa. Todas as respostas serão mantidas de maneira confidencial, e somente dados agregados serão reportados. Nenhuma informação individual e/ou pessoal será divulgada.

A Resolução 466/2012 foi utilizada como embasamento legal para a pesquisa. Se possuir dúvidas sobre seus direitos como um participante desta pesquisa, por favor contate o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da UFSC pelo telefone (48) 3721-6094 ou na Sala 701 do prédio da Reitoria II, na Rua Desembargador Vitor Lima, nº 222, Trindade, Florianópolis. O CEPSH é um órgão colegiado interdisciplinar, deliberativo, consultivo e educativo, vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina, mas independente na tomada de decisões, criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

Se possuir quaisquer dúvidas a respeito deste estudo, por favor contate o Mestrando Igor S. Schlichting pelo e-mail igor1314@live.com ou pelo telefone (48) 98421-9728 ou a Prof.^a Dra. Ana Paula Melo, pelo e-mail a.p.melo@ufsc.br ou pelo telefone (48) 3721-3025, ou ambos no LabEEE, localizado no Prédio do ECV, sala 401-B, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima-UFSC, Trindade.

Caso você deseje receber um retorno sobre os resultados da pesquisa, por favor, basta manifestar o desejo ao assinalar o campo abaixo. Seu e-mail não será vinculado às suas respostas, mantendo o anonimato das mesmas. Caso preferir, você pode nos enviar um e-mail a qualquer momento que tenha dúvidas ou queira mais informações sobre a pesquisa. Você terá livre acesso às informações da pesquisa.

Assinale “Eu Gostaria” se você quiser um retorno sobre seus resultados da pesquisa após a conclusão e publicação da mesma.

Eu Gostaria. Eu não gostaria.

CONSENTIMENTO INFORMADO – AUTORIZAÇÃO

Eu,

(nome completo), concordo em participar da pesquisa “Análise do desempenho de sistemas de ar-condicionado em residências”, regida pela Resolução CNS/MS nº 466/12, e declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às questões colocadas e quanto a minha participação direta na pesquisa. Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha pessoa possam ser publicados em meios científicos. Declaro ainda que recebi uma via do TCLE. Este documento possui duas vias, uma ficará com o voluntário e a outra com o pesquisador.

Florianópolis, ____ de _____ de 2023.

(Assinatura do Voluntário)

(Assinatura do Pesquisador)

* Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, entre em contato:

Pesquisador: Igor Sartori Schlichting | Telefone: (48) 98421-9728 | E-mail: igor1314@live.com

Orientadora: Ana Paula Melo | Telefone: (48) 3721-3025 | E-mail: a.p.melo@ufsc.br

APÊNDICE B – PLANILHA DE CONTROLE DE OCUPAÇÃO

A primeira parte da planilha será preenchida pelo pesquisador em conjunto com o voluntário, onde será definida a numeração da unidade habitacional, a quantidade de ambientes de uso prolongado, a quantidade de ambientes com ar-condicionado e a quantidade de habitantes da residência. Será feita uma planilha para cada ambiente de uso prolongado (sala e quartos) para o controle de ocupação de toda a unidade.

A etapa seguinte seria o monitoramento diário de cada ambiente de permanência prolonga, onde o voluntário deverá registrar a quantidade de pessoas que estiverem no ambiente em determinado horário, quando o ambiente estiver vazio, basta colocar um zero. Além disso será pedido para o voluntário marcar a temperatura do *set-point* do ar-condicionado, o valor pode ser obtido ao observar o controle do aparelho ou o próprio aparelho de ar-condicionado.

Unidade Habitacional:															
Quantidade de ambientes de uso prolongado:															
Quantidade de ambientes COMAC:															
Quantidade de habitantes da residência:															
Ambiente:		COMAC ()					SEM AC ()								
DIA:	1	Temp.	2	Temp.	3	Temp.	4	Temp.	5	Temp.	6	Temp.	7	Temp.	
01:00															
02:00															
03:00															
04:00															
05:00															
06:00															
07:00															
08:00															
09:00															
10:00															
11:00															
12:00															
13:00															
14:00															
15:00															
16:00															
17:00															
18:00															
19:00															
20:00															
21:00															
22:00															
23:00															
00:00															

Autor (2023)

**APÊNDICE C – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DOS AMBIENTES DE
PERMANÊNCIA PROLONGADA DAS UNIDADES HABITACIONAIS**

Unidade Habitacional 1

Unidade Habitacional 1 – Suíte



Parede e Teto



Visão externa e Janela



Visão Externa



Piso

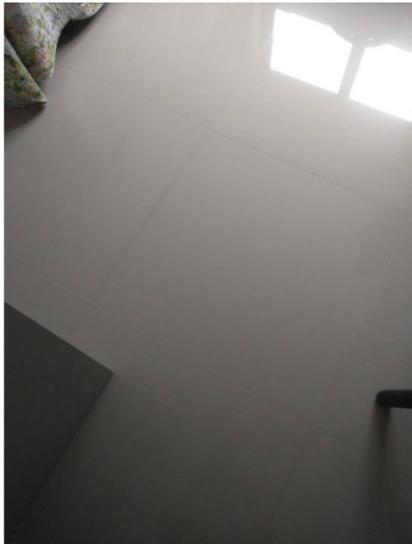
Unidade Habitacional 1 – Quarto



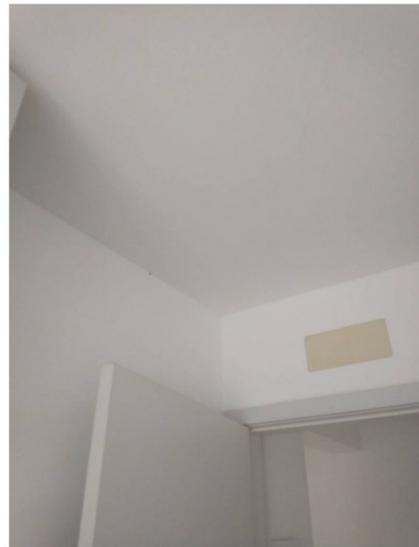
Parede, Teto, Janela e Visão Externa



Visão Externa



Piso

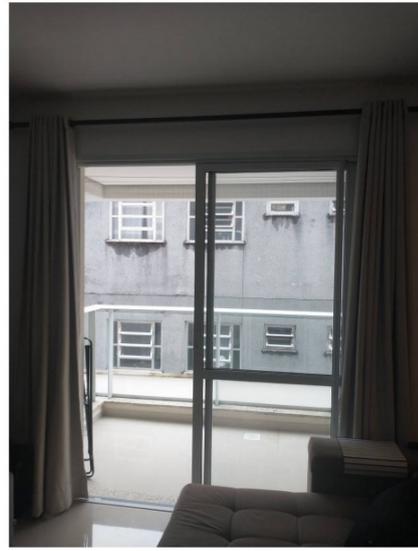


Parede e Teto

Unidade Habitacional 1 – Sala



Parede, Teto e Piso



Parede, Janela e Visão Externa



Visão Externa

Unidade Habitacional 2

Unidade Habitacional 2 - Suíte



Parede, Janela, Teto e Visão Externa

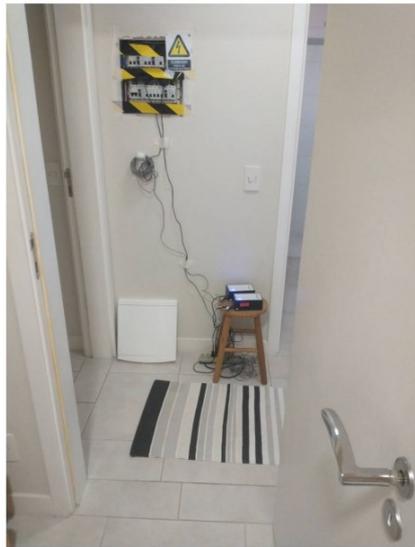


Parede e Piso

Unidade Habitacional 2 - Quarto



Parede, Janela, Teto e Visão Externa

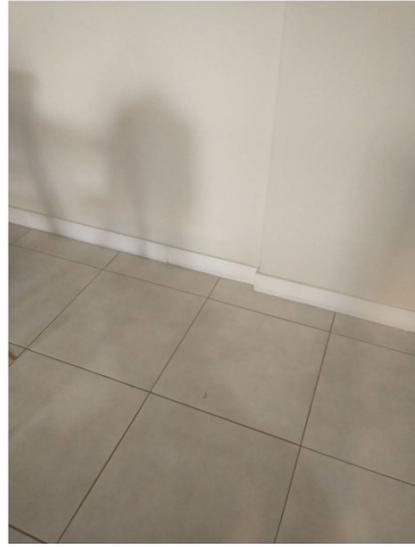


Parede e Piso

Unidade Habitacional 2 - Sala



Parede e Teto



Parede e Piso



Janela e Visão Externa



Visão Externa



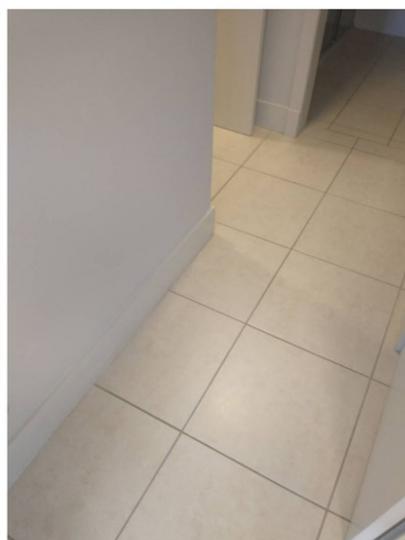
Visão Externa

Unidade Habitacional 3

Unidade Habitacional 3 - Suite



Parede, Teto e Janela



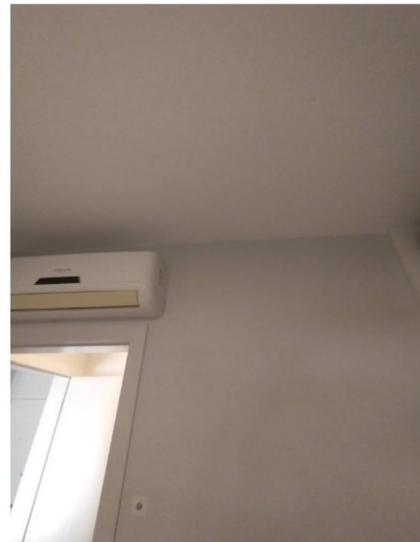
Parede e Piso



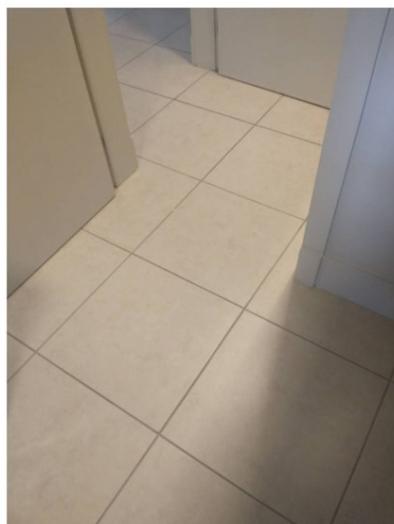
Janela e Visão Externa
Unidade Habitacional 3 - Quarto



Janela e Parede



Parede e Teto



Piso

Unidade Habitacional 3 - Sala



Parede, Piso e Teto



Janela e Visão Externa



Visão Externa

Unidade Habitacional 4

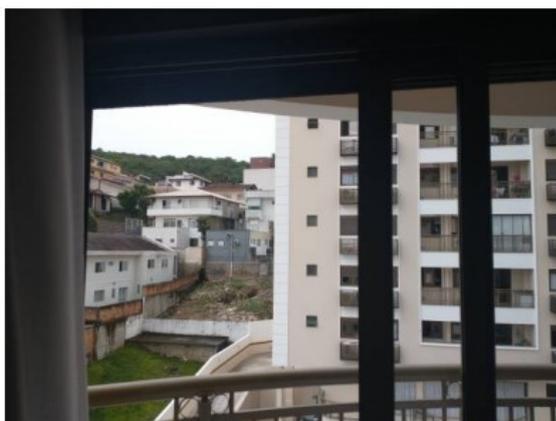
Unidade Habitacional 4 - Suíte



Parede e Piso



Parede e Teto

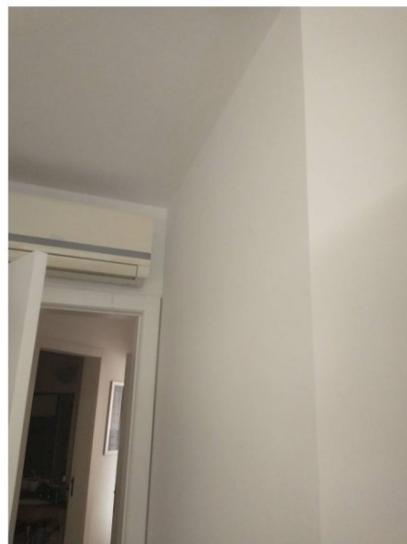


Visão Externa

Unidade Habitacional UH4 – Quarto 1



Parede e Piso



Parede e Teto



Janela e Visão Externa

Unidade Habitacional 4 – Quarto 2



Parede, Janela e Teto



Janela e Visão Externa

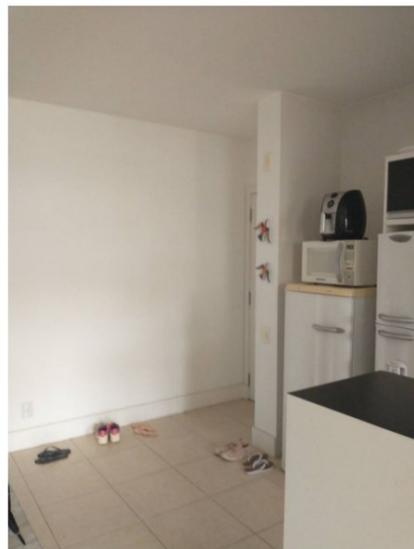


Piso

Unidade Habitaciona 4 - Sala



Janela e Visão Externa



Parede, Piso e Teto



Parede e Piso



Parede e Piso