


Influência do padrão de uso e ocupação de habitações multifamiliares no consumo energético da edificação

Influence of the use and occupancy pattern of multifamily housing on the building's consumption

Eduardo Pierozan 

Taylana Piccinini Scolaro 

Elise Sommer Watzko 

EneDir Ghisi 

Resumo

O objetivo desse estudo é identificar o padrão de uso e ocupação dos moradores de uma habitação multifamiliar de interesse social e comparar com o padrão determinado pela INI-R. Também busca-se avaliar o consumo de energia da edificação com e sem medidas de eficiência energética em ambos os cenários de uso e ocupação. Para definição do padrão de uso e ocupação, foram distribuídos questionários aos moradores de um conjunto habitacional localizado na Serra Gaúcha. O consumo de energia de um projeto representativo foi determinado considerando as instruções da INI-R. Uma análise econômica foi realizada. Os resultados identificaram diferenças importantes entre os cenários, como número de moradores, horário de ocupação dos ambientes e condições de uso da habitação. O consumo de energia no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado foi 23,7% e 34,2% menor no projeto representativo sem e com as medidas de eficiência energética, respectivamente. Em ambos os cenários, o projeto com as medidas de eficiência apresentou Valor Presente Líquido positivo e *payback* descontado de 5,7 anos. Concluiu-se que o padrão de uso e ocupação adaptado foi o mais realista neste estudo.

Palavras-chave: Padrão de uso e ocupação. Habitação de interesse social. Edificação de energia quase zero. Consumo energético. Análise econômica.

Abstract

This study aims to identify the pattern of use and occupancy of the users of multifamily social housing and compare it with the pattern determined by INI-R Standard. Furthermore, we seek to evaluate the energy consumption of the building with and without energy efficiency measures in both use and occupancy scenarios. A survey was conducted with social housing occupants in a cold climate in southern Brazil to define the use and occupation pattern. The energy consumption of a representative project was determined according to INI-R Standard. An economic analysis was performed. The results identified important differences between the scenarios, such as the number of residents, room occupancy hours, and use conditions of the housing. Energy consumption in the scenario with the adapted use and occupancy pattern was 23.7% and 34.2% lower in the representative project without and with the energy efficiency measures, respectively. In both scenarios, the project with the efficiency measures showed a positive Net Present Value and a discounted payback of 5.7 years. It was concluded that the adapted use and occupation pattern was the most realistic in this study.

Keywords: Pattern of use and occupation. Social housing. Nearly zero-energy building. Energy consumption. Economic analysis.

¹Eduardo Pierozan

¹Universidade Federal de Santa Catarina
Araranguá - SC - Brasil

²Taylana Piccinini Scolaro

²Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC - Brasil

³Elise Sommer Watzko

³Universidade Federal de Santa Catarina
Araranguá - SC - Brasil

⁴EneDir Ghisi

⁴Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC - Brasil

Recebido em 15/05/23

Aceito em 21/06/23

Introdução

O setor de edificações é responsável por 34% da demanda global de energia e por cerca de 37% das emissões de CO₂ (UNITED..., 2022). No Brasil, o setor residencial responde por aproximadamente 28% do consumo com eletricidade (EMPRESA..., 2023).

O déficit habitacional em todo o Brasil é estimado em 5,8 milhões de moradias (MINISTÉRIO..., 2022). Com o intuito de reduzir o déficit habitacional no país, foi criado em 2009 o Programa Minha Casa Minha Vida, que posteriormente foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela (BRASIL, 2021). No entanto, o número de habitações construídas é ainda insuficiente para suprir o déficit habitacional existente. Além disso, evidencia-se a necessidade de melhorar o desempenho térmico e energético das edificações do setor de habitação social, tendo em vista a tendência de baixo desempenho dessas edificações (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Globalmente, há uma discussão em andamento sobre as edificações de energia quase zero, *Nearly Zero-Energy Buildings* (NZEB), como alternativa para diminuir a demanda de energia elétrica, especialmente de fontes não renováveis. A Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EUROPEAN..., 2020) define as NZEBs como edificações com desempenho energético muito elevado, cujas necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas devem ser cobertas em grande parte por energia proveniente de fontes renováveis. No Brasil, a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – INI-R (INSTITUTO..., 2021a) conceitua a NZEB como uma edificação energeticamente eficiente, comprovada pela obtenção da classificação A de eficiência energética geral da edificação, cuja geração de energia renovável gerada localmente supra 50% ou mais de sua demanda anual de energia.

O estabelecimento de padrões para a avaliação e classificação de edifícios, em termos de desempenho energético, é uma ferramenta utilizada e reconhecida internacionalmente para reduzir o consumo de energia nas edificações (FOSSATI *et al.*, 2016). Códigos de eficiência energética de edificações são mais amplamente adotados em regiões frias do que em regiões quentes, sendo que a maioria dos países industrializados têm códigos compulsórios. Mesmo entre os países em desenvolvimento, estes códigos prevalecem na Europa Oriental e Leste Asiático, regiões de clima frio que exigem aquecimento das edificações. Nos centros urbanos dos países em desenvolvimento da América Latina e do Caribe os códigos são raros, e mesmo onde estão disponíveis, não costumam ser implementados. Edificações nestas regiões demandam principalmente por resfriamento, com exceção do sul da Argentina e Chile. Por esta razão, muitos países introduziram padrões de eficiência energética para os equipamentos utilizados para fins de resfriamento (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

No Brasil, a INI-R (INSTITUTO..., 2021a) especifica métodos para a classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética. O método de avaliação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) baseia-se no consumo de energia primária, atribuindo às edificações classificações de A a E, nível mais alto e mais baixo de eficiência energética, respectivamente. Para que seja possível a aplicação dos métodos de avaliação das edificações residenciais no território nacional, a INI-R (INSTITUTO..., 2021a) utiliza parâmetros de simulação computacional determinados na NBR 15575-1 (ABNT, 2021) – como padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala), condição de abertura das janelas e *setpoints* de temperatura. Esses parâmetros buscam sintetizar os padrões de interação diversificados entre os ocupantes e a edificação. Entretanto, a estimativa do consumo de energia pode ter diferenças significativas do consumo de energia real.

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

Nesse contexto, esse trabalho pretende identificar os padrões de uso e ocupação da população em um conjunto habitacional de interesse social localizado na Serra Gaúcha, com o intuito de comparar a sua adesão aos padrões normativos. A importância de se realizar uma pesquisa direcionada é reforçada pela hipótese de mudança nos hábitos e estilo de vida da população em geral devido à pandemia de Covid-19. Além disso, busca-se avaliar o consumo de energia do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética que o tornem uma NZEB, em ambos os cenários de uso e ocupação.

Materiais e métodos

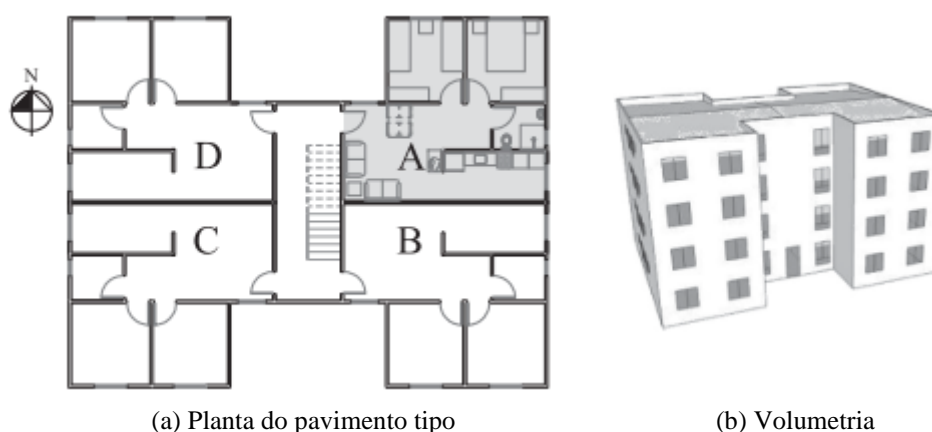
A Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) encontrava-se em consulta pública no período de elaboração deste trabalho, tendo sido utilizado como referência o texto base publicado pelo PBE Edifica por meio da Consulta Pública Nº 18, de 12 de julho de 2021 (PBE..., 2021).

Tipologia da edificação

Foi utilizado um projeto representativo de uma habitação de interesse social do tipo multifamiliar, caracterizado por Triana, Lamberts e Sassi (2015). Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais com 43 m² de área privativa, conforme mostra a Figura 1. As principais características do projeto são apresentadas no Quadro 1.

Na Figura 2 é apresentado o modelo computacional utilizado na avaliação de desempenho térmico. Foi considerada a influência do entorno, a refletância do solo e de edificações vizinhas, de forma semelhante aos conjuntos habitacionais existentes na região.

Figura 1 - Projeto representativo de habitação multifamiliar adotado



Fonte: adaptado de Triana, Lamberts e Sassi (2015).

Quadro 1 - Características do projeto representativo

Componente	Descrição
Paredes	Painel de concreto de 10 cm ($U = 4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, capacidade térmica = 240 kJ/m ² K e absorvância = 0,58).
Cobertura	Telha de fibrocimento com estrutura metálica e sótão com laje de concreto de 10 cm ($U = 2,06 \text{ W/m}^2\text{K}$, capacidade térmica = 233 kJ/m ² K e absorvância = 0,7).
Portas	1,68 m ² de madeira.
Janelas	Sala: 1,60 m ² , 4 mm vidro simples, 2 folhas com deslizamento horizontal com parte fixa embaixo, fator de ventilação 0,375. Cozinha: 1,20 m ² , 4 mm vidro simples, 2 folhas com deslizamento horizontal, fator de ventilação = 0,45. Dormitórios: 1,44 m ² , 4 mm vidro simples, 2 folhas com deslizamento horizontal, fator de ventilação = 0,45. Banheiro: 0,36 m ² , 4 mm vidro simples, basculante.
Piso	Cerâmico.
Pé-direito	2,50 m.
Sistema de aquecimento de água	Ponto único de consumo (chuveiro elétrico).

Figura 2 - Modelo computacional utilizado na avaliação de desempenho térmico



Dados climáticos

O município de Caxias do Sul/RS está inserido na Zona Bioclimática 1 de acordo com o zoneamento estabelecido pela Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005a). Como Caxias do Sul não possui um arquivo climático na base-padrão da Norma NBR 15575-1 (ABNT, 2021), foi utilizado o arquivo climático da cidade de Bento Gonçalves/RS. A cidade possui clima similar ao de Caxias do Sul e foi adotado considerando a distância euclidiana, ponderando latitude, longitude e altitude.

Questionário para identificação dos hábitos de uso e ocupação nas habitações de interesse social

Para o levantamento e definição dos padrões de uso e ocupação foi selecionado um conjunto habitacional no Município de Caxias do Sul, construído no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (BRASIL, 2009). Dessa forma, questionários eletrônicos e impressos foram compartilhados com os moradores do conjunto habitacional. O tamanho desejado da amostra foi determinado em função do tamanho da população do conjunto habitacional selecionado, visando uma margem de erro de 5%, com nível de confiança de 95%. O questionário (Figura 3) incluiu perguntas objetivas – relacionadas ao número de dormitórios, à quantidade de ocupantes das habitações, e aos horários de permanência na habitação – e perguntas subjetivas – relacionadas à percepção do usuário quanto ao conforto térmico.

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

Para a avaliação do consumo de energia do projeto representativo, dimensionamento da fonte de energia renovável e análise de viabilidade econômica foram considerados dois cenários: o primeiro cenário, utilizando os dados de consumo elétrico do projeto representativo com o padrão de uso e ocupação previsto na INI-R (INSTITUTO..., 2021a); o segundo cenário, utilizando os dados de consumo elétrico do projeto representativo com o padrão de uso e ocupação adaptado a partir da pesquisa.

Parâmetros de simulação

Ventilação natural

No cenário de uso e ocupação estabelecido pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a), não foi utilizada ventilação natural, visto que a normativa considera ventilação natural somente para definição de parte dos parâmetros de classificação de eficiência energética da envoltória e não para a determinação do consumo de energia.

Figura 3 - Questionário sobre hábitos de uso e ocupação em habitações sociais

Pesquisa sobre hábitos de uso e ocupação - Residencial Campos da Serra	
<p>Pesquisa para coleta de dados quanto aos hábitos de uso e ocupação em habitações, para fins de simulação de eficiência energética. Tem como objetivo desenvolver edificações mais eficientes em economizar energia elétrica e proporcionar conforto térmico aos seus usuários. Dissertação de mestrado junto ao Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina.</p>	
<u>A sua participação é muito importante!</u>	
<p>1. Qual é o seu nome? [não precisa responder esta pergunta se não quiser]</p> <p>Resposta: _____</p>	
<p>2. Seu apartamento fica em qual andar? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() 1º andar () 2º andar () 3º andar () 4º andar () 5º andar</p>	
<p>3. Em qual parte do dia seu apartamento pega sol? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() Somente pela manhã () Somente pela tarde () Manhã e tarde () Não pega sol</p>	
<p>4. Quantas pessoas (adultos ou crianças) vivem no seu apartamento? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() 1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6 ou mais</p>	
<p>5. Em quais horários em normalmente que há pessoas NOS QUARTOS? [Exemplo.: das 22:00 às 6:00 e das 12:30 às 13:30.]</p> <p>Das ____:____ às ____:____ e das ____:____ às ____:____.</p>	
<p>6. Em quais horários em normalmente que há pessoas NA SALA? [Exemplo: das 11:30 às 12:30 e das 18:00 às 22:00.]</p> <p>Das ____:____ às ____:____ e das ____:____ às ____:____.</p>	
<p>7. Quando você abre as janelas do seu apartamento? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() Abro e fecho as janelas sempre nos mesmos horários, independentemente da temperatura.</p> <p>() Abro as janelas somente quando sinto calor, e fecho quando sinto frio.</p> <p>() Outro (descreva): _____</p>	
<p>8. No INVERNO você sente FRIO no seu apartamento? (quando não há aquecedor ligado) [somente uma alternativa]</p> <p>() Nunca sinto frio.</p> <p>() Poucas vezes sinto frio.</p> <p>() Frequentemente sinto frio.</p> <p>() Sempre sinto frio.</p>	
<p>9. Você usa algum tipo de aquecedor ou estufa no INVERNO? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() Não uso porque não tenho.</p> <p>() Não uso porque não acho necessário.</p> <p>() Uso pouco (somente às vezes)</p> <p>() Uso bastante (todos os dias ou quase todos os dias)</p>	
<p>10. No VERÃO você sente CALOR no seu apartamento? (quando não há ventiladores ligados) [somente uma alternativa]</p> <p>() Nunca sinto calor.</p> <p>() Poucas vezes sinto calor.</p> <p>() Frequentemente sinto calor.</p> <p>() Sempre sinto calor.</p>	
<p>11. Você usa ventilador no VERÃO? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() Não uso porque não tenho.</p> <p>() Não uso porque não acho necessário.</p> <p>() Uso pouco (somente às vezes)</p> <p>() Uso bastante (todos os dias ou quase todos os dias)</p>	
<p>12. O que você faria no seu apartamento para sentir menos frio no inverno e menos calor no verão? [descreva]</p> <p>Resposta: _____</p>	
<p>13. Desde o início da pandemia de Covid-19 você tem passado mais tempo dentro de casa? [somente uma alternativa]</p> <p>() Sim, tenho passado MUITO mais tempo em casa.</p> <p>() Sim, tenho passado POUCO mais tempo em casa.</p> <p>() Não, a pandemia não alterou o tempo que passo em casa.</p> <p>() Tenho passado MENOS tempo em casa.</p>	
<p>14. A despesa com a conta de energia elétrica no seu orçamento é muito alta? [marque somente uma alternativa]</p> <p>() É alta</p> <p>() Não é alta nem baixa, é média</p> <p>() É baixa</p> <p>() Não sei, a conta é paga por outra pessoa</p>	

No cenário de uso e ocupação adaptado, foi considerado o uso de ventilação natural conforme o padrão de abertura e fechamento das janelas verificado nas respostas ao questionário. A ventilação natural é uma estratégia passiva de eficiência energética apropriada para edificações com elevada massa térmica, inseridas em climas com grande amplitude de temperaturas (CAO; DAI; LIU, 2016; PEREIRA; GHISI, 2011; SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011; SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016), como é o caso do clima na região Sul do Brasil.

Carga térmica anual

As cargas térmicas anuais de aquecimento e refrigeração foram calculadas por meio do procedimento de simulação computacional proposto pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021). De acordo com a norma, este critério avalia a carga térmica da unidade habitacional no modelo de simulação sem o uso da ventilação natural, nos períodos em que os ambientes de permanência prolongada (sala e dormitórios) estiverem ocupados e com temperaturas operativas entre 18°C e 26°C, intervalo aplicável na região Sul. Os *setpoints* de refrigeração e aquecimento são de 23°C e 21°C, respectivamente.

A carga térmica anual de aquecimento foi utilizada para determinar o consumo com ar-condicionado no cenário com padrão de uso e ocupação determinado pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a) e consumo com aquecedores elétricos no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado. A carga térmica anual de refrigeração foi utilizada para o cálculo do consumo com refrigeração no cenário com padrão de uso de ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a).

Medidas de eficiência energética da envoltória

O projeto representativo de habitação de interesse social adotado apresenta Classe C de eficiência energética de acordo com a INI-R (INSTITUTO..., 2021a). A fim de atingir a classificação A (INSTITUTO..., 2021a), algumas medidas foram consideradas visando a redução da transmitância térmica da envoltória, diretriz recomendada para os climas frios na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Na cobertura foi utilizada lã de rocha e nas paredes externas, EPS combinado com gesso acartonado (Figura 4). Estes elementos foram considerados em adição aos componentes do projeto representativo original. A camada de EPS foi considerada para o lado de dentro da edificação, cobertas com gesso acartonado para acabamento. Para as janelas foi avaliado o uso de vidros duplos. Em relação à espessura das camadas dos materiais propostos, considerou-se as dimensões comerciais existentes no mercado. Foram mantidos os valores de absorvância das superfícies externas conforme o projeto representativo original.

Nas Tabela 1 são apresentadas as propriedades térmicas das medidas de eficiência energética utilizadas na cobertura e nas paredes externas.

Equipamentos elétricos

Este consumo foi calculado de acordo com o método previsto na INI-R (INSTITUTO..., 2021a), de acordo com a Equação 1, em ambos os cenários. O uso de aquecedores elétricos e ventiladores foi computado separadamente, conforme seção 2.6.

$$C_{EQ} = (44,6 + 26,6 * N_{UH}) * 12 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

C_{EQ} é o consumo médio estimado de equipamentos (kWh/ano); e

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

Aquecimento e refrigeração/ventilação do ambiente

No cenário com padrão de uso e ocupação definido pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a), o consumo de energia para refrigeração e aquecimento foi calculado de acordo com o método descrito no Anexo B.II da INI-R (INSTITUTO..., 2021a), que leva em consideração as cargas térmicas e o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar. Apesar de o projeto representativo não possuir sistema de condicionamento de ar, utilizou-se para fins de aplicação do método de avaliação o coeficiente de eficiência energética de um aparelho Classe A com coeficiente de eficiência energética de 5,3 W/W para refrigeração e 3 W/W para aquecimento (INSTITUTO..., 2021b).

Figura 4 - Representação das medidas de eficiência energética para as paredes externas.

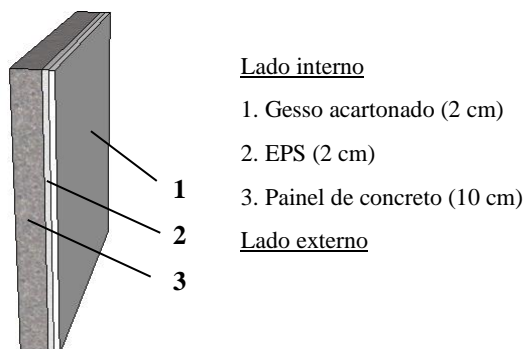


Tabela 1 - Propriedades térmicas das medidas de eficiência energética da cobertura e das paredes externas

Elemento	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Lã rocha (5 cm)	5,00	0,045	96	750
EPS (2 cm)	2,00	0,04	15	1420
Gesso acartonado (2 cm)	2,00	0,35	900	840

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) e Ortiz, Bavaresco (2019).

No cenário com padrão de uso e ocupação adaptado, substituiu-se a parcela de energia consumida com refrigeração por energia consumida com o uso de ventiladores. Foi considerado o uso de um modelo de ventilador cuja eficiência é Classe A e o consumo é de 50 Wh (INSTITUTO..., 2021b) em cada ambiente de permanência prolongada. Para o cálculo da energia consumida pelos ventiladores, multiplicou-se o número de horas ocupadas acima da faixa de temperatura operativa no ano pela potência do aparelho em Watts. Para o cálculo do consumo elétrico com aquecimento, considerou-se o uso de aquecedores elétricos (estufa). Para determinar o consumo elétrico dividiu-se a carga térmica anual de aquecimento dos ambientes de permanência prolongada (sala e dormitórios) pelo coeficiente de eficiência energética para aquecimento de 3 W/W.

Sistema de aquecimento de água

Em ambos os cenários, o sistema de aquecimento de água do projeto representativo foi considerado como inteiramente elétrico.

Para o projeto representativo de Classe A (em ambos os cenários), além das medidas de eficiência energética adotadas para a envoltória, foi considerada a incorporação de um sistema de aquecimento de água por fonte solar térmica devido à representatividade do consumo de energia elétrica para aquecimento de água. Os sistemas de aquecimento solar de água são os mais frequentes em habitações unifamiliares de interesse social (BAVARESCO *et al.*, 2021; MIYAZATO, 2012; VIER *et al.*, 2015). Adicionalmente, este tipo de sistema é obrigatório em empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela (MINISTÉRIO..., 2021).

O cálculo da energia necessária para o aquecimento de água proveniente do sistema de energia solar térmica foi realizado de acordo com o Anexo B.III da INI-R (INSTITUTO..., 2021a). O consumo de energia elétrica para aquecimento de água foi recalculado considerando a contribuição de energia proveniente do sistema de aquecimento solar.

Consumo total de energia primária

Nos dois cenários avaliados, o consumo anual de energia primária de cada unidade habitacional foi calculado por meio da Equação 2.

$$C_{EP} = (CR + CA + C_{AAE} + C_{EQ}) \cdot f_{CE} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

C_{EP} é o consumo anual de energia primária (kWh/ano);

CR é o consumo de energia elétrica para refrigeração (ou ventilação) (kWh/ano);

CA é o consumo de energia elétrica para aquecimento (kWh/ano);

C_{AAE} é o consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica (kWh/ano);

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

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

Fonte local de energia renovável

Como mencionado, o suprimento de pelo menos 50% da demanda anual de energia deve ocorrer por fonte local de energia renovável (INSTITUTO..., 2021a) para que uma edificação com Classe A de eficiência energética seja considerada de energia quase zero. A instalação de sistema fotovoltaico em empreendimentos habitacionais é requisito obrigatório no âmbito da linha de atendimento aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela (MINISTÉRIO..., 2021).

Dessa forma, foi dimensionado um sistema de geração de energia fotovoltaica por meio do Simulador Solar, algoritmo disponibilizado pelo Instituto Ideal que foi criado em parceria com a Cooperação Alemã Para o Desenvolvimento Sustentável, no âmbito do Programa América do Sol (INSTITUTO IDEAL, 2021). Uma vez que a edificação a ser abastecida é hipotética, os dados relativos ao consumo elétrico foram estimados por meio do método da INI-R (INSTITUTO..., 2021a). O custo mensal de energia elétrica foi estimado com base nas tarifas vigentes da Rio Grande Energia, empresa distribuidora no Município de Caxias do Sul pertencente à Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL).

O dimensionado do sistema fotovoltaico por meio do simulador teve como objetivo determinar a potência pico necessária para suprir 50% do consumo elétrico anual da edificação estudo de caso. Esta informação foi utilizada para o orçamento e análise de viabilidade econômica das medidas de eficiência energética. Considerou-se o fator de conversão de energia elétrica para energia primária igual a 1,6 (PBE..., 2021).

Análise de viabilidade econômica

Para determinação dos custos das medidas de eficiência energética, foram utilizadas as tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Aos custos diretos foi acrescido o valor referente a benefícios e despesas indiretas. O custo do sistema fotovoltaico considerou valores de referência por Watt pico (Wp) instalado praticados no mercado, de R\$ 4,20 (KRUMMENAUER, 2021).

A economia proporcionada pela implantação das medidas de eficiência energética foi estimada comparando o consumo elétrico do projeto representativo com o consumo do projeto representativo Classe A. Os dados relativos ao consumo de energia elétrica foram obtidos por meio do método da INI-R (INSTITUTO..., 2021a). Foi utilizada a tarifa de R\$ 0,90 R\$/kWh cobrada pela companhia distribuidora de luz do município de Caxias do Sul para consumidores de baixa renda na bandeira amarela (cenário intermediário entre a bandeira verde e vermelha, que indica o valor da energia em função das condições de geração).

Três indicadores econômicos foram calculados: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* Corrigido. O VPL (Equação 3) foi obtido pela soma de todos os valores de um fluxo caixa, trazidos para a data presente e descontada pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Os valores futuros do fluxo de caixa, bem como a tarifa de energia elétrica, foram reajustados considerando inflação de 6,2% ao ano. O período de análise foi de cinquenta anos, equivalente ao período de vida útil da edificação (ABNT, 2003). Nesta análise não foram consideradas despesas de manutenção das medidas de eficiência energética, tampouco a perda de rendimento do sistema fotovoltaico.

$$VPL = \left[\sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+TMA)^k} \right] - PV \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

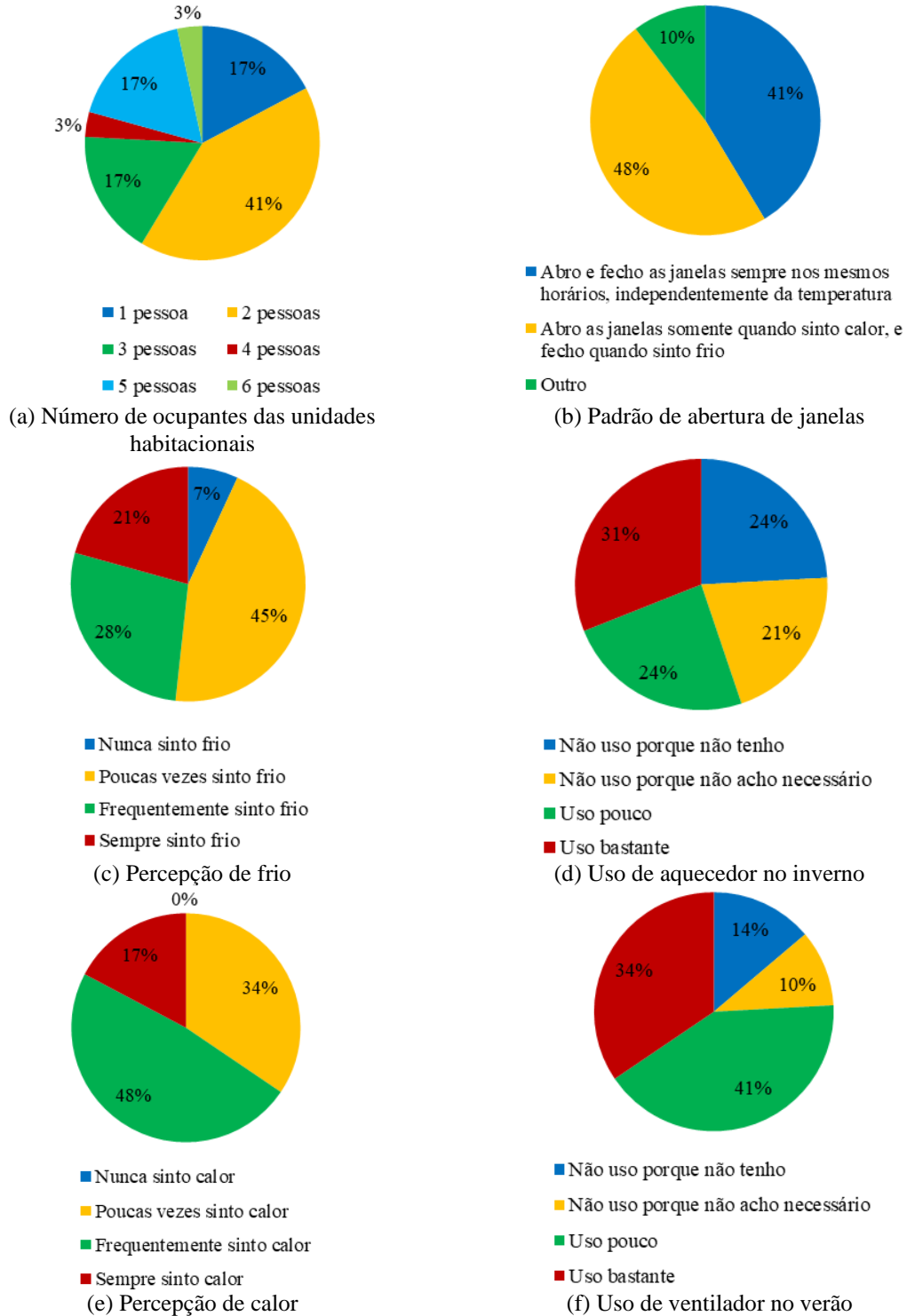
VPL é o valor presente líquido (R\$);

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

n é o período de análise, em anos;

TMA é a taxa mínima de atratividade, baseada na taxa Selic (4,2%); e PV é o investimento inicial na origem ($t = 0$).

Figura 5 - Respostas às perguntas



Resultados e discussões

Identificação dos hábitos de uso e ocupação nas habitações de interesse social

A partir das respostas às perguntas iniciais do formulário, buscou-se estabelecer correlações entre a percepção de conforto térmico dos entrevistados e o pavimento em que residem e a orientação solar da unidade. Entretanto, devido ao baixo número de respostas, não foi possível estabelecer tais correlações.

As respostas às perguntas relativas ao número de ocupantes das unidades habitacionais, ao padrão de abertura de janelas e à percepção de conforto térmico por parte dos ocupantes são apresentadas na Figura 5.

A Figura 6 mostra os horários de ocupação dos ambientes de permanência prolongada determinados pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a). A Figura 7 mostra o padrão obtido neste trabalho, que é significativamente diferente, com frequente ocupação da sala nos horários diurnos.

A fim de investigar a compreensão dos ocupantes quanto às soluções para melhorar o conforto térmico em suas habitações, perguntou-se o que eles fariam no seu apartamento para sentir menos frio no inverno e menos calor no verão. Verificou-se que 75% dos entrevistados apontaram medidas ativas para melhorar o conforto térmico (35% dos entrevistados responderam ar-condicionado e 40% responderam aquecedor e/ ou ventilador), 15% apontaram medidas passivas e 10% não souberam responder. Essa proporção demonstra a falta de conhecimento por parte dos ocupantes sobre formas de melhorar o conforto térmico sem o uso de energia elétrica.

Figura 6 - Padrão de ocupação recomendado pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a)

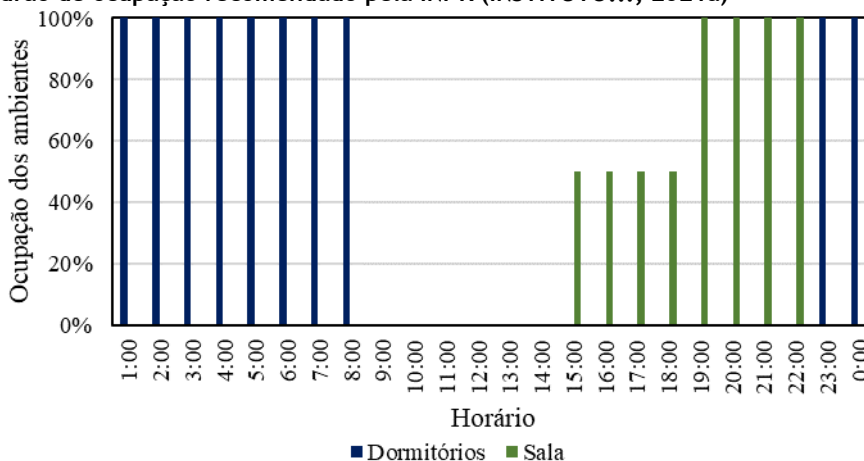
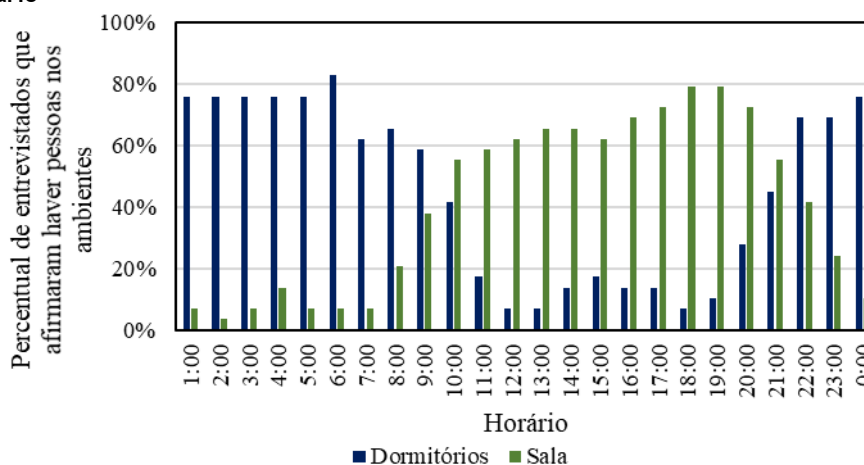


Figura 7 - Períodos de ocupação dos ambientes de permanência prolongada de acordo com as respostas do questionário



Ao serem perguntados sobre o tempo de permanência em casa desde o início da pandemia de Covid-19, a maioria dos entrevistados (69%) respondeu que tem passado muito mais tempo em casa, enquanto 14% afirmaram que tem passado pouco mais tempo em casa. Quatorze por cento dos entrevistados afirmaram que a pandemia não alterou o tempo que passam em casa, e somente 3% afirmaram que passaram a estar menos tempo em casa.

Quanto à representatividade da conta de energia elétrica no orçamento dos entrevistados, a maioria (48%) considerou alta, enquanto 38% consideraram “média”. Somente 10% consideraram baixa e 3% não souberam responder.

Considerando as repostas dos entrevistados ao questionário, pode-se destacar as seguintes considerações:

- (a) a quantidade média de ocupantes das unidades habitacionais do objeto de estudo (2,7 pessoas) é menor do que a quantidade determinada pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a) para uma unidade com o mesmo número de dormitórios (4 pessoas);
- (b) o padrão de ocupação do objeto de estudo é significativamente diferente daquele determinado pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a), sendo que as principais diferenças ocorrem no período diurno. Enquanto na INI-R (INSTITUTO..., 2021a) a habitação é considerada desocupada entre 8:00 e 13:59, mais da metade dos entrevistados declarou haver presença de pessoas em casa neste mesmo período do dia;
- (c) a grande maioria (83%) dos entrevistados declararam passar mais tempo em casa desde o início da pandemia, informação que vem ao encontro do padrão de ocupação com presença de pessoas durante o período diurno;
- (d) a maioria dos entrevistados (48%) afirmou operar as janelas em função da sua percepção de conforto térmico, padrão semelhante àquele determinado pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a) na condição de uso com ventilação natural;
- (e) os entrevistados parecem perceber o desconforto devido ao calor com maior frequência do que o desconforto devido ao frio. Estes resultados podem estar relacionados ao hábito dos ocupantes de usar mais agasalhos no inverno, e por isso não perceber o frio no inverno da mesma maneira como percebem o calor no verão. Outra hipótese é que os moradores não percebam o frio de maneira tão intensa por estarem habituados às condições climáticas locais;
- (f) aquecedores elétricos e ventiladores são amplamente utilizados pelos entrevistados como medida de regulação da temperatura interna e compensação do desconforto térmico (55% dos entrevistados reportaram utilizar aquecedores e 75%, ventiladores). De acordo com a Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial de 2019 (ELETROBRÁS, 2019), o ventilador ou circulador de ar está presente em 54% dos domicílios do Estado do Rio Grande do Sul;
- (g) os entrevistados possuem conhecimento limitado sobre alternativas passivas de conforto térmico, priorizando o uso de equipamentos elétricos (aquecedor e ventilador). Uma parcela significativa (35%) desejaria possuir aparelho de ar-condicionado;
- (h) não foi possível observar uma correlação direta entre pavimento, posição solar das unidades habitacionais e percepção de conforto térmico; e
- (i) Quase a metade dos entrevistados (48%) considera alta a sua conta de energia elétrica, o que indica que se trata de uma despesa significativa em seus orçamentos.

Dados os resultados da pesquisa junto aos moradores do objeto de estudo, o padrão de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) foi adaptado conforme indicado na Tabela 2. Este padrão adaptado foi utilizado para fins de estimativa de consumo de energia elétrica, dimensionamento da fonte de energia renovável e análise de viabilidade econômica do projeto representativo de energia quase zero.

Avaliação dos consumos nos dois cenários

A INI-R (INSTITUTO..., 2021a) determina padrões de uso e ocupação para que seja possível a aplicação dos métodos de avaliação em edificações residenciais de diferentes tipologias, pertencentes a diversas classes sociais e em variados climas do território nacional. Considerando que foram identificadas diferenças importantes nos padrões de uso e ocupação da edificação em que a pesquisa foi aplicada, o consumo elétrico do projeto representativo foi avaliado utilizando as premissas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Mudança dos padrões de uso e ocupação a serem utilizados em relação ao padrão da INI-R (INSTITUTO..., 2021a)

Parâmetro	Cenário de uso e ocupação da INI-R	Cenário de uso e ocupação adaptado
Número de ocupantes por unidade habitacional	4 pessoas	3 pessoas
Horário de ocupação (dormitórios)	22:00 – 7:59 (100% ocupado)	22:00 – 7:59 (100% ocupado)
Horário de ocupação (sala)	14:00 – 17:59 (50% ocupado) 18:00 – 21:59 (100% ocupado)	8:00 – 17:59 (50% ocupado) 18:00 – 21:59 (100% ocupado)
Condição de uso	Ar-condicionado com <i>setpoint</i> de aquecimento de 21°C e <i>setpoint</i> de refrigeração de 23°C. Não é utilizada ventilação natural para estimativa do consumo de energia elétrica (somente para definição de parte dos parâmetros de classificação de eficiência energética da envoltória).	Híbrido: com ventilação natural quando a temperatura operativa interna fosse maior que 19°C; com ventilação natural e o uso de ventilador quando a temperatura operativa interna fosse maior que 26°C; sem ventilação natural e com o uso de aquecedor elétrico quando a temperatura operativa interna fosse menor que 18°C.

Os resultados de consumo em ambos os cenários de padrões de uso e ocupação são apresentados na Tabela 3. A Figura 8 apresenta a representatividade de cada uso final de energia elétrica no projeto representativo sem e com medidas de eficiência energética em ambos cenários de padrão de uso e ocupação.

Consumo com equipamentos elétricos

Em cada um dos cenários, o consumo com equipamentos elétricos é igual para o projeto representativo e o projeto representativo Classe A, uma vez que a única variável da equação é o número de ocupantes por unidade habitacional.

Comparando os dois cenários, o consumo com equipamentos elétricos é 17,6% menor no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado, onde considerou-se 3 pessoas por unidade habitacional ao invés de 4. Neste cenário, considera-se ainda que há presença de pessoas na unidade habitacional em 100% dos horários do dia, diferentemente do cenário com padrões de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a), onde considera-se a habitação desocupada entre 8:00 e 13:59 (Figura 6). Estima-se que o consumo de energia por equipamentos poderia ser maior no cenário adaptado, devido ao maior tempo de interação dos ocupantes com os equipamentos elétricos. No entanto, o método de avaliação não permite a aplicação desta variável. O consumo com equipamentos elétricos representou de 43% a 61% do consumo total nos cenários avaliados.

Consumo com aquecimento e refrigeração/ventilação do ambiente

No cenário com padrão de uso e ocupação adaptado considerou-se que as unidades habitacionais não dispõem de aparelhos de ar-condicionado para refrigeração, e que ao invés, são utilizados ventiladores para compensar o desconforto térmico devido ao calor.

O consumo com ventiladores foi 66,8% menor do que o consumo com refrigeração por ar-condicionado no projeto representativo, e 61,1% menor no projeto representativo Classe A de eficiência energética, na comparação entre cenários. Isso se deve ao fato de que ventiladores são aparelhos de baixo consumo (50 Wh) quando comparados aos aparelhos de ar-condicionado. O maior tempo de ocupação da unidade habitacional no cenário de uso e ocupação adaptado não afetou de forma significativa o consumo. O consumo elétrico com refrigeração representou 2% do consumo total, no cenário de uso e ocupação conforme a INI-R (INSTITUTO..., 2021a). O consumo com ventilação por ventiladores, por sua vez, representou 1% do consumo total no cenário de uso e ocupação adaptado.

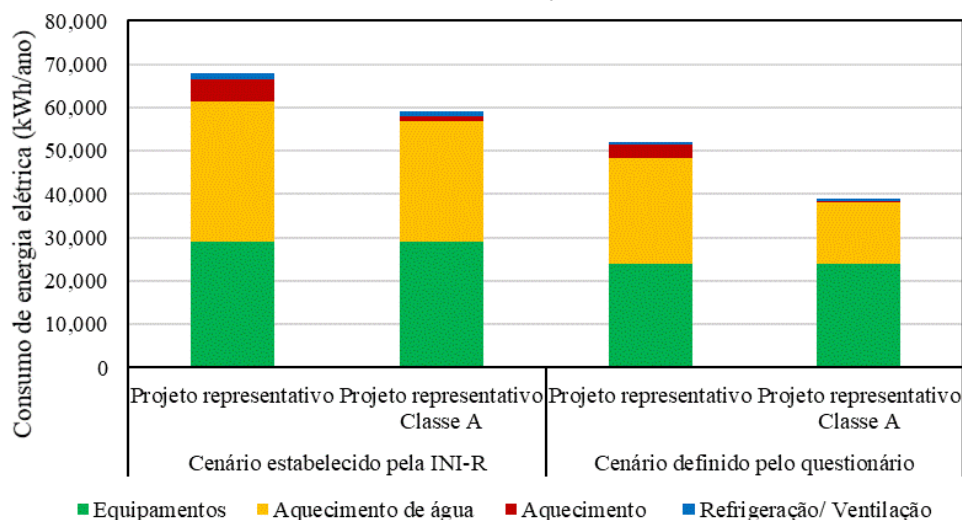
No cenário com padrão de uso e ocupação adaptado considerou-se que as unidades habitacionais não dispõem de aparelhos de ar-condicionado para aquecimento, e que ao invés, são utilizados aquecedores elétricos para compensar o desconforto térmico devido ao frio.

O consumo com aquecimento foi 37,9% menor no projeto representativo, e 58,7% menor no projeto representativo Classe A de eficiência energética, na comparação entre cenários. Uma vez que se considerou o mesmo coeficiente de eficiência energética para os aquecedores (3 W/W), a diferença de consumo entre os cenários é atribuída aos *setpoints* de aquecimento utilizados. No cenário com padrões de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) foi utilizado o *setpoint* de aquecimento de 21°C, enquanto no cenário com padrões de uso e ocupação adaptados foi utilizado o *setpoint* de aquecimento de 18°C. No segundo caso reduziu-se o *setpoint* de aquecimento em função do uso combinado de ventilação natural, onde abrem-se as janelas para ventilação natural quando a temperatura operativa interna é maior do que 19°C. O consumo elétrico com aquecimento representou de 1% a 7% do consumo total nos cenários avaliados.

Tabela 3 - Comparação entre os consumos do projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética, nos diferentes cenários de uso e ocupação

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

Figura 8 - Usos finais de energia elétrica no projeto representativo com e sem medidas de eficiência energética em ambos cenários de padrão de uso e ocupação



Consumo com aquecimento de água

Assim como o consumo com equipamentos elétricos, o consumo de energia elétrica pelo sistema que aquecimento de água é diretamente influenciado pelo número de ocupantes da unidade habitacional. Por este motivo, no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado, o consumo por este uso final foi 25% menor no projeto representativo, na comparação entre cenários. O projeto representativo Classe A teve consumo 49,5% menor na comparação entre cenários. Isso se deve ao fato de que o aquecimento solar de água tem uma contribuição proporcionalmente maior, pois foi mantido o mesmo dimensionamento em ambos os cenários. O sistema de aquecimento de água representou de 36% a 48% do consumo total nos cenários avaliados. A temperatura da água fria no município em questão (17,2°C) é um fator que contribui para o alto consumo do sistema de aquecimento de água, uma vez que esta é uma das variáveis utilizadas para o cálculo.

Consumo total de energia primária

Comparando os dois cenários, observam-se diferenças significativas no consumo. No projeto representativo, o consumo anual de energia primária foi 25.860,6 kWh/ano inferior no cenário de uso e ocupação adaptado, o que representa redução de 23,7% em relação ao cenário de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a). No projeto representativo Classe A, a diferença é ainda maior, sendo o consumo anual de energia primária no cenário de uso e ocupação adaptado 32.378,3 kWh/ano inferior (redução de 34,2%). Em termos absolutos, as maiores diferenças de consumo entre os cenários ocorreram no sistema de aquecimento de água, calculado em função do volume de água quente consumida pelos ocupantes das unidades habitacionais.

Dimensionamento da fonte local de energia renovável

A Tabela 4 apresenta os dados relativos ao sistema de geração local de energia renovável proposto, em ambos os cenários de uso e ocupação.

No cenário de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a), o projeto representativo com medidas de eficiência energética apresentou consumo total de energia primária de 94.574,0 kWh/ano, e considerando o fator de conversão de energia elétrica para energia primária, de 1,6 (PBE..., 2021), seria necessário que a fonte local de energia renovável tivesse uma geração anual de no mínimo 29.554,4 kWh/ano. Dessa forma, seria necessário um sistema fotovoltaico de 23,1 kWp para garantir a geração mínima indicada, conforme dados obtidos por meio do Simulador Solar (INSTITUTO IDEAL, 2021).

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

Tabela 4 - Características e rendimento do sistema de geração local de energia renovável proposto

Parâmetro	Cenário de uso e ocupação da INI-R	Cenário de uso e ocupação adaptado
Potência estimada do sistema fotovoltaico	23,1 kWp	15,3 kWp
Área ocupada	De 159 a 196 m ²	De 105 a 130 m ²
Inclinação aproximada dos módulos	30°	30°
Rendimento anual	1.291 kWh/kWp	1.291 kWh/kWp
Geração fotovoltaica anual	29.830 kWh	19.760 kWh

Fonte: Instituto Ideal (2021).

No cenário de uso e ocupação adaptado, dado que o projeto representativo Classe A apresenta consumo total de energia primária de 62.195,7 kWh/ano, seria necessário que a fonte local de energia renovável tivesse geração anual de no mínimo 19.436,1 kWh/ano. Seria necessário um sistema fotovoltaico de 15,3 kWp para garantir a geração mínima indicada, conforme dados obtidos por meio do Simulador Solar (INSTITUTO IDEAL, 2021) para o Município em questão. Esse sistema respeita o requisito da Portaria 959/2021 (MINISTÉRIO..., 2021), que determina que os sistemas fotovoltaicos instalados nos empreendimentos habitacionais integrantes do Programa Casa Verde e Amarela devem possuir capacidade de geração de energia elétrica mínima correspondente a 1.200 kWh/ano por unidade habitacional.

Para a instalação dos módulos fotovoltaicos seria necessária área de 105 a 130 m². Nesse caso, provavelmente a cobertura comportaria todos os módulos fotovoltaicos do sistema, não sendo necessário utilizar os módulos como cobertura da área de estacionamento.

Análise econômica nos dois cenários

Na Tabela 5 é apresentado o custo das medidas de eficiência energética da edificação de energia quase zero, que foi de R\$ 199.250,24 no cenário de uso e ocupação conforme INI-R (INSTITUTO..., 2021a) e de R\$ 168.050,24 no cenário de uso e ocupação adaptado. Estes valores representam, respectivamente, 11,7% e 9,9% de incremento em relação ao custo do projeto representativo.

O custo das medidas de eficiência energética da envoltória para que o projeto representativo fosse Classe A é o mesmo em ambos os cenários: com padrão de uso e ocupação conforme a INI-R (INSTITUTO..., 2021a) e com padrão de uso e ocupação adaptado. O custo adicional da edificação de energia quase zero no cenário de uso e ocupação conforme a INI-R (INSTITUTO..., 2021a) é maior devido ao sistema fotovoltaico de maior potência.

A economia de energia elétrica devida à utilização das medidas de eficiência energética foi calculada comparando o consumo do projeto representativo com o consumo do projeto representativo Classe A, já descontada a geração local de energia renovável (Tabela 6). No cenário de uso e ocupação conforme a INI-R (INSTITUTO..., 2021a) a diferença de consumo foi de 38.777,6 kWh/ano, enquanto no cenário de uso e ocupação adaptado a diferença de consumo foi de 32.781,2 kWh/ano. Dado o custo da energia elétrica, de R\$ 0,90 por kWh, tem-se a economia financeira anual de R\$ 34.948,01 e R\$ 29.543,79, respectivamente. Nesta análise não foi considerada a perda de rendimento do sistema fotovoltaico.

No cenário de uso e ocupação conforme INI-R (INSTITUTO..., 2021a), o Valor Presente Líquido foi de R\$ 2,5 milhões ao final do período de análise, enquanto no cenário de uso e ocupação adaptado o Valor Presente Líquido foi de R\$ 2,1 milhões (Tabela 7). A Taxa Interna de Retorno foi de 18,7% ao ano no cenário de uso e ocupação conforme INI-R (INSTITUTO..., 2021a), e de 23,7% ao ano no cenário de uso e ocupação adaptado. Por fim, o *payback* descontado foi de aproximadamente 5,7 anos nos dois cenários. Em ambos os cenários o investimento é considerado economicamente viável, dado que o Valor Presente Líquido é positivo e a Taxa Interna de Retorno é maior do que a Taxa Mínima de Atratividade estipulada.

Tabela 5 - Custo das medidas de eficiência energética da edificação de energia quase zero

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

Tabela 6 - Consumo de energia elétrica e economia financeira nos cenários avaliados

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

Nota: Legenda: EE - energia elétrica; e ER - energia renovável.

Tabela 7 - Indicadores econômicos do projeto representativo de energia quase zero

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

Conclusões

A fim de obter os padrões de uso e ocupação de habitações de interesse social na região de estudo, foram aplicados formulários a moradores de um conjunto habitacional de interesse social do Município de Caxias do Sul. Entre os principais resultados identificou-se que: a média de moradores por unidade habitacional é menor do que o padrão definido pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a); os moradores passam mais tempo em casa do que o padrão definido pela INI-R (INSTITUTO..., 2021a); as unidades habitacionais não dispõem de aparelhos de ar-condicionado, e os moradores tentam compensar os períodos em desconforto térmico com o uso combinado de aquecedores elétricos, ventiladores elétricos e ventilação natural.

Considerando os resultados da pesquisa, o padrão de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) foi adaptado, e o consumo elétrico foi estimado em ambos os cenários. No cenário adaptado, o consumo elétrico obtido foi 23,7% menor para o projeto representativo e 34,2% menor para o projeto Classe A, em comparação com a estimativa realizada considerando o padrão de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a). Entre os motivos para a redução do consumo apontou-se que: no método da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) o cálculo do consumo por equipamentos elétricos e pelo sistema de aquecimento de água é influenciado pelo número de ocupantes da habitação, onde considerou-se três ao invés de quatro; o consumo de energia do aparelho de ar-condicionado foi substituído pelo consumo dos ventiladores e aquecedores elétricos, que combinados ao uso da ventilação natural, resultaram em menor demanda por energia elétrica. Por consequência, no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado, o sistema fotovoltaico dimensionado para atender 50% da demanda anual de energia foi 33,8% menor.

O custo das medidas de eficiência energética necessárias para que o projeto representativo fosse considerado de energia quase zero foram estimados em R\$ 199.250,24 no cenário com padrão de uso e ocupação conforme a INI-R (INSTITUTO..., 2021a), e de R\$ 168.050,24 no cenário com padrão uso e ocupação adaptado. A diferença de valores se deu exclusivamente em função do porte do sistema fotovoltaico, que é menor no segundo cenário. A economia anual de energia elétrica, comparando o projeto representativo com o projeto de energia quase zero foi de 38.777,6 kWh/ano no primeiro cenário e de 32.781,2 kWh/ano no segundo cenário. Considerando a estrutura tarifária da distribuidora de energia, a economia anual seria de R\$ 34.948,01 no cenário com padrão de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) e de R\$ 29.543,79 no cenário com padrão de uso e ocupação adaptado.

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

Apesar de o tamanho da amostra da pesquisa com os questionários não ter sido o ideal, considera-se que o padrão de uso e ocupação adaptado representou melhor a realidade do projeto representativo neste trabalho. Pode-se afirmar que o padrão de uso e ocupação da versão INI-R (INSTITUTO..., 2021a) utilizada é generalista, uma vez é aplicável a qualquer edificação residencial, indiferente da sua tipologia, localização ou classe social. Portanto, acredita-se que os resultados do cenário com padrão de uso e ocupação adaptado seriam os mais realistas neste estudo de caso. Caso fossem utilizados os resultados do cenário com padrão de uso e ocupação da INI-R (INSTITUTO..., 2021a), o sistema de geração de energia fotovoltaica seria superdimensionado, o que não representa efetivamente um prejuízo, mas sim uma geração de energia local maior do que 50% da demanda anual de energia.

Quanto ao método de avaliação de eficiência energética da versão da INI-R (INSTITUTO..., 2021a) utilizada, constatou-se que existem limitações que podem afetar negativamente os resultados. Essas limitações estão vinculadas principalmente aos padrões de uso e ocupação definidos, que tendem a sintetizar os padrões de interação altamente diversificados entre os ocupantes e a edificação. Como resultado, a estimativa de consumo de energia poderia ser muito diferente do consumo real. Dentre as variáveis analisadas por este trabalho, verificou-se que o número de ocupantes da unidade habitacional é a variável que exerce maior influência sobre a estimativa de consumo de energia.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: norma de desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: norma de desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: emenda 1: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

BALVEDI, B. F.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. A review of occupant behaviour in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 495–505, 2018.

BAVARESCO, M. V. *et al.* Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 263–292, jan./mar. 2021.

BRASIL. Lei Nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021. Institui o Programa Casa Verde e Amarela. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 jan. 2021.

BRASIL. Lei Nº 11.977, de 7 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 de julho de 2009.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.

ELETRÓBRÁS. **Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial**. 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 21 set. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional**: ano base 2021. Brasília. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Energy performance of buildings directive**. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/;ELX_SESSIONID=FZMjThLLzfxmmMCQGp2Y1s2d3Tjwtd8QS3pqdkhXZbwqGwlgY9KN!2064651424?uri=CELEX:32010L0031. Acesso em: 22 out. 2020.

FOSSATI, M. *et al.* Building energy efficiency: an overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216–1231, 2016.

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

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO. **Proposta de alteração da instrução normativa inmetro para a classificação de eficiência energética de edificações residenciais, aprovada pela Portaria número 18, de 16 de janeiro de 2012**. Brasília, 2021a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002807.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2021

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Informação ao Consumidor**. Tabelas de consumo/eficiência energética. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acesso em: 12 set. 2021b.

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

LIU, F.; MEYER, A. S.; HOGAN, J. F. **Mainstreaming building energy efficiency codes in developing countries**: global experiences and lessons from early adopters. World Bank Working Paper, Washington, 2010.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Dados revisados do déficit habitacional e inadequação de moradias nortearão políticas públicas**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/dados-revisados-do-deficit-habitacional-e-inadequacao-de-moradias-nortearao-politicas-publicas>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Portaria no 959, de 18 de Maio de 2021**. Dispõe sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde Amarela. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-959-de-18-de-maio-de-2021-320687425>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MIYAZATO, T. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

ORTIZ, H.; BAVARESCO, M. **Metodologia para elaboração do “mapa de tipologias e sistemas construtivos”**. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/biblioteca_snh/P2_GIZ-EEDUS_Metodologia-Mapa-Tipologias_Relatorio-Final_V0.pdf. Acesso em: 18 abr. 2023.

PBE EDIFICA. **Fatores de energia primária**. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/node/134>. Acesso em: 22 mar. 2021.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3391–3399, 2011.

SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive building energy savings: a review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3617–3631, 2011.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1–13, 2016.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524–541, dez. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **2022 Global Status Report for Buildings and Construction**. 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 20 abr. 2023.

VIER, L. C. *et al.* **Aquecimento Solar em Habitações de Interesse Social**: um estudo de caso em Santa Rosa – RS. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 4., Passo Fundo, 2015. **Anais [...]** Passo Fundo: ANTAC, 2015.

YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC annex 53: total energy use in buildings, analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124–136, out. 2017.

Eduardo Pierozan

Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original.

Departamento de Energia e Sustentabilidade | Universidade Federal de Santa Catarina | Rua Pedro João Pereira, 150, Mato Alto | Araranguá - SC - Brasil | CEP 88905-120 | Tel.: (48) 3721-6416 | E-mail: epierozan@gmail.com

Taylana Piccinini Scolaro

Redação do manuscrito original, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | Rua João Pio Duarte Silva, s/n, Córrego Grande | Florianópolis - SC - Brasil | CEP 88040-900 | Tel.: (48) 3721-5544 | E-mail: taylanaps@gmail.com

Elise Sommer Watzko

Conceitualização, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Energia e Sustentabilidade | Universidade Federal de Santa Catarina | E-mail: elise.sommer@ufsc.br

Enedir Ghisi

Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | Tel.: (48) 3721-2115 | E-mail: enedir.ghisi@ufsc.br

Editora do artigo: **Luciana Inês Gomes Miron**

Editoras de seção: **Ercília Hitomi Hirota e Juliana Parise Baldauf**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.