

FACULDADE MERIDIONAL – IMED
Mestrado de Arquitetura e Urbanismo

Moradia Mínima em Contêiner: Análise de Desempenho Térmico conforme a
NBR15575/2021

Cinthyra Nara Piana

Passo Fundo – RS
2022

Cinthya Nara Piana

**Moradia Mínima em Contêiner: Análise de Desempenho Térmico conforme a
NBR15575/2021**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu de Arquitetura - PPG_MEARQ da Faculdade Meridional – IMED como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Arquitetura.

Linha de Pesquisa

Tecnologia, Projeto e Gestão do Ambiente Construído

Orientação

Prof. Dr. Lauro André Ribeiro

Coorientação

Prof. Dra. Caliane Christie Oliveira de Almeida Silva

CIP – Catalogação na Publicação

P581m PIANA, Cinthya Nara

Moradia Mínima em Contêiner: análise de desempenho térmico conforme a NBR15575/2021 / Cinthya Nara Piana. – 2022.

93 f., il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade IMED, Passo Fundo, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Lauro André Ribeiro.

Coorientador: Prof.^a Dr.^a Caliane Christie Oliveira de Almeida Silva.

1. Arquitetura sustentável. 2. Moradia em contêiner. 3. Arquitetura – Desempenho termoenergético. I. RIBEIRO, Lauro André, orientador. II. SILVA, Caliane Christie Oliveira de Almeida, coorientadora. III. Título.

CDU: 72

Catalogação: Bibliotecária Angela Saadi Machado - CRB 10/1857

Autor: Cínthya Nara Piana

Título: Moradia Mínima em Contêiner: Análise de Desempenho Térmico conforme a NBR15575/2021

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu de Arquitetura - PPG_MEARQ com área de concentração em Tecnologia, Projeto e Gestão do Ambiente Construído da Faculdade Meridional – IMED para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura.

Passo Fundo, Abril de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lauro André Ribeiro (PPGARQ-IMED) - Presidente

Prof^ª. Dr^a. Caliane Christie Oliveira de Almeida Silva (PPGARQ-IMED) - Coorientadora

Prof^ª. Dr^a. Grace Tibério Cardoso (PPGARQ-IMED) - Membro

Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha (UFPEL) – Membro

Prof^ª. Dr^a. Bianca Carla Dantas de Araújo (UFRN) – Membro

Cínthya Nara Piana – Examinada

Dedico esta pesquisa àqueles que amo e que acreditam na evolução do conhecimento.

RESUMO

A presente pesquisa se insere na temática de projeto arquitetônico de moradia mínima com enfoque no desempenho térmico de edificações utilizando contêineres. Este estudo busca a avaliação e de uma unidade habitacional utilizando apenas um contêiner adaptada ao clima da região norte do Rio Grande do Sul, conjuntamente com sua otimização de desempenho térmico baseada nos requisitos e diretrizes de simulação da NBR15575/2021. Tendo como base a importância da busca por novos materiais na construção civil, sobretudo a popularização do uso de contêineres neste setor, delimita-se como objetivo geral da presente pesquisa: Analisar o desempenho térmico de uma moradia mínima utilizando apenas um contêiner, implantada na região norte do Rio Grande do Sul considerando os aspectos climáticos do local aliado à estratégia de simulação definida pela atualização da normativa NBR15575 (ABNT, 2021) para aperfeiçoamento da unidade habitacional quanto aos aspectos de desempenho térmico exigidos pela normativa. A pesquisa traz resultados quantitativos e apresenta caráter aplicado, pois utiliza multimétodos: experimental, documental e bibliográfico. Contempla diversas etapas como: revisão bibliográfica, análise de normativas de desempenho térmico, simulações computacionais e análise de simulações, sobretudo verificando alternativas que melhor se adequam à tipologia, conforme o nível alcançado pela edificação. Por conseguinte, objetiva um modelo de edificação em contêiner que atende de forma racional aos critérios exigidos para o nível superior da norma NBR15575 (ABNT,2021), sem grandes alterações na sua estrutura, utilizando materiais acessíveis e visando o mínimo de interferências na edificação original.

Palavras-chave: Moradia. Contêiner. Desempenho Termoenérgico. NBR15575/2021.

ABSTRACT

The present research takes place in architectural design of minimal housing with focus on the thermal performance of buildings made of containers. The study seeks to evaluate a housing unit using only a container adapted to the climate of northern region of Rio Grande do Sul, along with its thermal performance optimization based on the requirements and simulation guidelines of NBR15575/2021. Focusing on the importance of the search for new materials in civil construction, especially popularization of container usage in this sector, the general objective of the research is defined as: To analyze the thermal performance of a minimal housing using only one container, placed at the region north of Rio Grande do Sul considering the local climatic combined with the simulation strategy defined by the update of the NBR15575 regulation (ABNT, 2021) improving the housing unit regarding the aspects of thermal performance required by the normative. The research brings quantitative results and presents an applied character, as it uses multimethods: experimental, documentary and bibliographic. It includes several steps such as: bibliographic review, analysis of thermal performance regulations, computer simulations and analysis of acquired data, especially verifying alternatives that best suit the typology, according to the level reached by the building. Therefore, it aims at a container building model that rationally meets the criteria required for the higher level of the NBR15575 standard (ABNT, 2021), without major changes in its structure, using accessible materials and aiming at minimal interference in the original building.

Keywords: Housing. Container. Thermoenergetic Performance. NBR1555/2021.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das Etapas na Simulação Computacional	17
Figura 2 - Composição das Faces do Contêiner em Perspectiva Explodida	22
Figura 3 - Estrutura Primária do Contêiner	22
Figura 4 - Linha do Tempo das Normativas Mais Importantes no Contexto Brasileiro Quanto a Desempenho Térmico das Edificações.....	29
Figura 5 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	31
Figura 6 - Fluxograma das Principais Características dos Procedimentos de Avaliação em Desempenho Térmico.....	34
Figura 7 - ENCE da Unidade Habitacional Autônoma para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4 - Inclui a Eficiência da Envoltória para Verão e Inverno.....	38
Figura 8 - Faixa de Temperatura Operativa aceitáveis para ambientes naturalmente condicionados conforme a ASHRAE 55	40
Figura 9 - Carta Psicrométrica para Passo Fundo-RS (Os Pontos Representam a Temperatura e a Umidade de cada uma das 8.760 Horas por Ano).....	42
Figura 10 - Carta Psicrométrica para Passo Fundo-RS com as Principais Diretrizes Projetuais	43
Figura 11 - Principais Diretrizes Projetuais para Passo Fundo Detalhadas.....	44
Figura 12 - Ilustração de Contêiner High-Cube 40'	47
Figura 13 - Compartimentação Interna da Residência em Contêiner.....	50
Figura 14 - Proposição Simplificada de Mobiliário Doméstico da Residência em Contêiner	50
Figura 15 - Áreas dos Cômodos da Residência em Contêiner	52
Figura 16 - Localização das Regiões Fisiográficas do Rio Grande do Sul em Relação ao Brasil	53
Figura 17 - Modelagem da Residência em Contêiner no EnergyPlus.....	55
Figura 18 - Zonas Térmicas da Residência em Contêiner.....	56
Figura 19 - Características do Material Original da Envoltória do Contêiner no EnergyPlus	57
Figura 20 - Modelagem da Residência em Contêiner Modelo Real Inicial no EnergyPlus	60
Figura 21 - Modelagem da Residência em Contêiner Modelo Referência no EnergyPlus	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos Contêineres Comerciais	23
Tabela 2 - Indicadores Construtivos de Residência Contêiner x Residência Concreto Armado	24
Tabela 3 - Resumo de Vantagens e Desvantagens do Uso do Contêiner como Edificação	25
Tabela 4 - Composição da NBR15220.....	30
Tabela 5 - Diretrizes Construtivas para Zona Bioclimática 2	32
Tabela 6 - Detalhamento de Estratégias de Condicionamento Térmico para Passo Fundo/RS	32
Tabela 7 - Subdivisões da NBR15575.....	33
Tabela 8 - Classificação do Nível de Eficiência de Acordo com a Pontuação Obtida.....	37
Tabela 9 - Índices de Conforto da Ventilação Natural Utilizados para Passo Fundo-RS	41
Tabela 10 - Principais diretrizes Projetuais para Passo Fundo-RS.....	43
Tabela 11 - Informações de Medidas Contêiner High Cube Dry	47
Tabela 12 - Densidade de Massa Aparente(r), Condutividade Térmica (l) e Calor Específico (c) dos Materiais do Contêiner.....	48
Tabela 13 - Móveis e Equipamentos Padrão a Serem Utilizados em uma Moradia para Casal	49
Tabela 14 - Exigências e Sugestões Normativas para Aberturas	51
Tabela 15 - Cálculo de Áreas para Aberturas.....	52
Tabela 16 - Normais Climatológicas da cidade de Passo Fundo-RS (1961 a 1990).....	54
Tabela 17 - Padrões de Ocupação Diários para Ambientes de Permanência Prolongada e Uso Misto.....	58
Tabela 18 - Padrões de Uso do Sistema de Iluminação Artificial em Ambientes de Uso Misto	58
Tabela 19 - Período de Uso, Densidade de Cargas Internas e Fração Radiante para Equipamentos dos Ambientes de Permanência Prolongada.....	58
Tabela 20 - Taxas Metabólicas e Fração Radiante para os Usuários em Ambientes de Uso Misto	59
Tabela 21 - Propriedades dos Materiais	60
Tabela 22 - Propriedades Térmicas de Paredes e Pisos para Modelo de Referência	61
Tabela 23 - Propriedades Térmicas da Cobertura para o Modelo de Referência	61
Tabela 24 - Características dos Perfis das Esquadrias para o Modelo de Referência	62

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1. CONTÊINERES E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	19
1.1 Contêineres na Construção Civil.....	19
1.1.1 Características do Contêiner	21
1.1.2 Vantagens e Desvantagens do Uso de Contêineres para Residências.....	24
2. DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	26
2.1 Normativas de Desempenho Térmico.....	28
2.1.1 NBR 15.220:2005 - Desempenho Térmico de Edificações	30
2.1.2 NBR 15.575:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho	33
2.1.3 Regulamento Técnico de Qualidade dos Edifícios Residenciais (RTQ-R).....	36
2.1.5 Norma ASHRAE 55 - Condições Ambientais Térmicas Para Ocupação Humana.....	38
<i>2.1.5.1 Programa para auxílio de interpretação da ASHRAE 55 Modelo Adaptativo: Climate Consultant.....</i>	<i>40</i>
3. METODOLOGIA.....	46
3.1. Caracterização do Objeto de Estudo.....	47
3.1.1 Definição de Planta	48
3.2 Caracterização do Clima Local.....	53
3.3 Modelagem do Caso Base	55
3.3.1 Arquivo Climático	56
3.3.2 Configuração do Modelo	57
3.3.3. Modelo de Edificação Real	59
3.3.4. Modelo de Edificação de Referência	60
3.4. Simulação Com Uso de Ventilação Natural.....	63
3.5. Simulação Sem Uso de Ventilação Natural.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa se insere na temática de “Projeto Arquitetônico de Moradia Mínima” e “Tecnologia”, com enfoque em um modelo de habitação reduzida em contêiner¹, adaptada para a região norte do Rio Grande do Sul juntamente com sua análise de desempenho térmico baseada em simulações e diretrizes da NBR 15575 (ABNT, 2021) e complementarmente pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível e Eficiência de Edificações Residenciais (INMETRO, 2012).

Recentemente, a preocupação com os impactos gerados pela construção de novas edificações por todo o mundo tem se tornado um tema de extrema importância nos meios científicos e acadêmicos. Sendo cada vez mais necessário a elaboração de diretrizes e normas de avaliação do desempenho ambiental dos edifícios e incentivando o uso de estratégias bioclimáticas, desenvolvimento de projetos mais eficientes e com desempenho físico pleno (VILLA e ORNSTEIN, 2013).

O conceito de moradia mínima deriva da iniciativa de produzir residências com metragens reduzidas, as quais buscam, principalmente, o consumo sustentável evitando o desperdício. Acrescenta significação ao projeto, exigindo um olhar mais criterioso quanto à seleção dos materiais utilizados, das técnicas construtivas que podem ser empregadas e dos elementos que compõem do projeto. Essa ideia aporta-se no objetivo de reduzir o impacto das residências ao meio ambiente, aperfeiçoando o desempenho ambiental utilizando diferentes materiais que geram menor volume de resíduos (CARVALHO et al. 2008).

Este estudo mostra-se intrinsecamente relacionado à linha de pesquisa de Tecnologia, Projeto e Gestão do Ambiente Construído, pois, busca desenvolver análises de desempenho térmico que contemplem os materiais, formas e configurações desses espaços residenciais através de simulações computacionais que melhorem sua habitabilidade. Desse modo, o reconhecimento de novas tecnologias, aliado à produção arquitetônica e estratégias bioclimáticas busca, por consequência, a redução de custos, mitigação de impactos ambientais e, se possível, a democratização do acesso à moradia de qualidade (CARVALHO et al., 2008).

¹ Carbonari (2015) conceitua os *contêineres* como construções metálicas, pré-fabricadas, formadas por perfis e chapas de aço patinável, comumente conhecido como aço Corten, que apresentam alta resistência a corrosão. São utilizados para acomodar e transportar as cargas em longas distâncias, por diversos sistemas de transporte, garantindo a segurança, inviolabilidade e rapidez de manuseio. No mercado são encontrados diversos tipos sendo aplicados em diferentes situações (PFÜTZENREUTER e ARAÚJO, 2019).

No contexto habitacional, pode-se observar uma crescente popularização do uso de materiais não convencionais como, por exemplo, os contêineres. Os contêineres de transporte passaram a ser mais utilizados como elementos construtivos desde os anos de 1990, sendo suas aplicações diversas, como habitações estudantis, hotéis, escritórios, e residências, entre outros (OCCHI e ALMEIDA, 2016). Segundo Pfützenreuter e Araújo (2019), os contêineres têm um grande potencial de aplicação na indústria da construção civil, tanto em obras permanentes quanto temporárias, compondo edifícios residenciais e/ou construções de apoio em canteiros de obra. Contudo, há que se observar que, em virtude de sua utilização transportando substâncias tóxicas, culminou em ser proibido o seu reaproveitamento no Brasil, conforme a Norma Regulamentadora nº 18, permitindo sua reutilização exclusivamente em canteiros de obras por no máximo 24 meses (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2020). Sendo assim, o uso dos contêineres como moradia no Brasil se delimita em materiais novos, que ainda não foram utilizados para transporte.

Cabe salientar, a intenção de buscar o caráter sustentável de sua aplicação, que pode ser percebido no fato de que com a utilização dos contêineres reduz-se o emprego de materiais e recursos naturais que são muito utilizados na construção convencional (como tijolo, areia, cimento, entre outros), gerando uma obra mais limpa e com menos entulho (PFÜTZENREUTER e ARAUJO, 2019). Devido às limitações físicas de se utilizar apenas um contêiner, é necessário entender que suas metragens reduzidas são condicionantes do projeto, podendo impactar diretamente no modo de vida e características familiares de quem o ocupa. Outro importante ponto a ser considerado refere-se aos limitantes de desempenho térmico que este material apresenta, sobretudo a transmitância térmica do material de que é composto, verificando como as suas potencialidades e deficiências influenciam termicamente a edificação quando adaptado às características climáticas da região de Passo Fundo/RS (SHAFER, 2009; SILVA et al., 2018; ROMANO et al., 2014; JUSTINO et al., 2021; OCCHI E ALMEIDA, 2016; FRANÇA JÚNIOR, 2017).

Ao pensar na utilização de apenas um único contêiner como moradia, é possível relacioná-lo diretamente com a ideia de composição de uma moradia mínima. De certo modo, essa iniciativa pela busca de novas formas de morar acaba por permear conceitos que já foram discutidos em outros momentos da evolução da sociedade e ainda assim estão presentes. Com base nesse pensamento, buscando compreender melhor a evolução das moradias mínimas no contexto social, podemos observar alguns momentos marcantes historicamente. Um marco para a consolidação da moradia mínima aconteceu pode ser percebido a partir do pensamento

racionalista que deriva da Revolução Industrial europeia e, principalmente, com as moradias dos trabalhadores no âmbito do Movimento Arquitetônico Moderno (SILVA, 2006). Uma importante referência de sua aplicação – e bastante lembrada - acaba sendo mais recente, as *tiny houses* americanas. O Movimento *Tiny House* vem se popularizando nos Estados Unidos nos últimos anos, principalmente como uma alternativa sustentável de residência. Estas *tiny houses* se mostram como uma solução potencialmente viável para reduzir o desperdício e o consumo excessivo de materiais de construção e, do mesmo modo, contrariam as tendências das habitações americanas das últimas décadas com grandes metragens (SAXTON, 2019; SHAFER, 2009).

Ao adotar um estilo de vida de moradia mínima, o morador é compelido a racionalizar seu cotidiano, reduzindo o acúmulo de materiais e - consequentemente - seu consumo, além de empregar menor quantidade de recursos, tanto para a construção quanto para a manutenção da *tiny house* (SHAFER, 2009; MORRISON, 2017; FORD E GOMEZ-LANIER, 2017). Quanto à definição de tamanho, para Saxton (2019), apesar de serem moradias tipicamente reduzidas, não existe um senso comum para definir o tamanho exato de uma *tiny house*, configurando, de maneira geral, espaços pequenos e eficientes. Tipicamente, estes espaços têm entre 400 a 500 pés quadrados (em torno de 40m²), o que permite que os proprietários vivam em um estilo de vida ambientalmente mais consciente do que o tradicional e minimalista (SAXTON, 2019).

O aprofundamento do estudo quanto ao desempenho de moradias mínimas em contêineres, aliado a novas tecnologias, pode suscitar justificativas de como os modos de morar que divergem da habitação tradicional podem ou não melhorar a habitabilidade da residência. E, através da reflexão a respeito das inovações na habitação surgem as questões: como uma moradia mínima em contêiner, no contexto atual, pode ser uma alternativa viável? Simulações computacionais podem auxiliar a melhoria de seu desempenho térmico? É possível adaptar o uso de um contêiner em um projeto residencial de maneira termicamente adequada para o clima da região Norte do Rio Grande do Sul com condicionamento passivo?

O interesse em desenvolver esta pesquisa surgiu a partir da percepção da popularização no uso de contêineres na construção civil nas últimas décadas e na iniciativa de se adaptar este uso aliado à ideia de moradia mínima sem deixar de lado as exigências para avaliação do desempenho atualizadas recentemente pela NBR15575 (ABNT,2021). Debates em torno da

habitação buscando o “mínimo para a existência” (como o *Existenzminimum*²) são discutidas desde o século XIX, sendo intensificados nos primeiros Congressos de Arquitetura Moderna³ (ALMEIDA, 2007; SILVA, 2006) e se mostram mais atuais do que nunca, se vistas com o enfoque sustentável e político. Para além desse aspecto, o direito à habitação é considerado “mínimo existencial⁴” na Constituição da República Federativa Brasileira e a moradia salubre – atendendo ao mínimo de habitabilidade – é de suma importância para o desenvolvimento da sociedade.

Considerando como matéria prima um contêiner, temos uma estrutura leve em formato de caixa de aço extremamente forte, resistente a mudanças climáticas, com tamanho comumente utilizado na construção civil de 20 pés (6,00 x 2,43 x 2,60m) ou de 40 pés (12,00 x 2,43 x 2,60m). Para sua utilização na construção civil tornam-se necessárias algumas adequações, tais como pintura própria para o aço, instalações hidráulicas e elétricas, e o uso de isolante térmico e acústico. Dessa maneira, apresenta-se o questionamento: como podemos avaliar e aperfeiçoar o desempenho térmico uma moradia mínima utilizando um contêiner, sobretudo no clima do norte do Rio Grande do Sul?

Tendo como base a relevância da habitação na vida da população, delimita-se como objetivo geral da presente pesquisa: Avaliar o desempenho térmico de um contêiner, considerando os aspectos climáticos da região norte do Rio Grande do Sul e os métodos de simulação propostos pela NBR 15575, visando a sua otimização como residência. A partir desta compreensão, constitui-se como objetivos específicos:

- Analisar o desempenho térmico de uma habitação mínima utilizando contêiner através de simulações computacionais;
- Otimizar o desempenho térmico da edificação em contêiner, conforme os dados climáticos da região norte do Rio Grande do Sul, através das simulações;

² Ideia de que os ambientes da arquitetura entendidos como mínimos funcionais e existenciais formando séries de elementos que permitem aplicar diversas combinações à arquitetura que ganhou corpo a partir do movimento moderno (PEREIRA, 2010).

³ Os primeiros Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna (CIAM) aconteceram na Europa entre 1928 até 1956 e almejavam, de maneira geral, a definição de uma unidade de habitação mínima, a busca por novos modelos e métodos construtivos para a dinamização e economia da construção e a reorganização do espaço urbano (AYMONINO, 1973 apud ALMEIDA, 2007).

⁴ Mínimo existencial está vinculado aos direitos sociais presentes no artigo 6º da Constituição Federal Brasileira que prevê, dentre outros, a moradia: “São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição” (CF, 1988).

- Analisar os resultados das simulações utilizando as instruções estabelecidas pela Parte 1 da atualização da normativa NBR15575/2021, de modo a alcançar o nível de desempenho superior para a edificação;

A importância desta dissertação está em trazer novos dados sobre o modo de morar contemporâneo e a inserção de materiais alternativos, como o contêiner, contribuindo para o debate em torno de moradias com materiais diversificados e como a legislação de desempenho pode facilitar a sua melhor aplicação. Do mesmo modo, contribuir com a aperfeiçoamento do conhecimento a respeito do uso de contêineres na construção civil, sobretudo considerando os aspectos climáticos da região bioclimática a que o norte do Rio Grande do Sul se insere.

Em linhas gerais, esta dissertação está organizada a partir dos seguintes capítulos:

O primeiro capítulo versa sobre os contêineres, suas características compositivas e dimensões. Nesta primeira parte, são apresentados os aspectos valorativos de sua utilização, revisitando as vantagens e desvantagens de sua utilização na construção civil. Com base nas suas características, é possível trazer à tona a discussão de sua utilização ter conservado a sua sustentabilidade mesmo não sendo permitido o seu reaproveitamento após a utilização para transporte marítimo no Brasil.

O segundo capítulo revisita as diversas normativas que envolvem a implantação de residência na cidade de Passo Fundo, bem como a evolução das normativas de desempenho térmico residencial brasileiras. Conjuntamente, introduz-se um breve histórico das publicações envolvendo o desempenho térmico de edificações residenciais e as legislações que envolvem a simulação computacional para avaliação das residências.

Já o terceiro capítulo contempla o método da simulação que será aplicado nesta pesquisa. Nele estão descritos os dados e características da construção que são necessários para modelar a edificação no programa de simulação. Aqui apresenta-se os dados que são necessários para a obtenção e análise dos resultados simulacionais de acordo com a Parte 1 da NBR15575 (ABNT, 2021), a qual define um método avaliativo para o desempenho térmico através de simulações computacionais. De modo complementar, quando realizadas as simulações necessárias para a evolução das análises, o terceiro e quarto capítulos mostram os resultados das simulações e a evolução das estratégias para do contêiner habitacional visando alcançar o nível máximo de forma mais eficiente e com baixo consumo energético.

Conclusivamente, o quinto capítulo, compila os resultados fornecidos pelos capítulos anteriores, analisando as informações da otimização da edificação com vistas a entender o desempenho térmico da edificação em contêiner. A proposição do estudo de desempenho

térmico da edificação aliado a ideais de moradia mínima em contêiner tem como principal objetivo incentivar a racionalidade no consumo no Brasil, sem, contudo, deixar de analisar o desempenho térmico da edificação, visando o menor consumo energético com climatização.

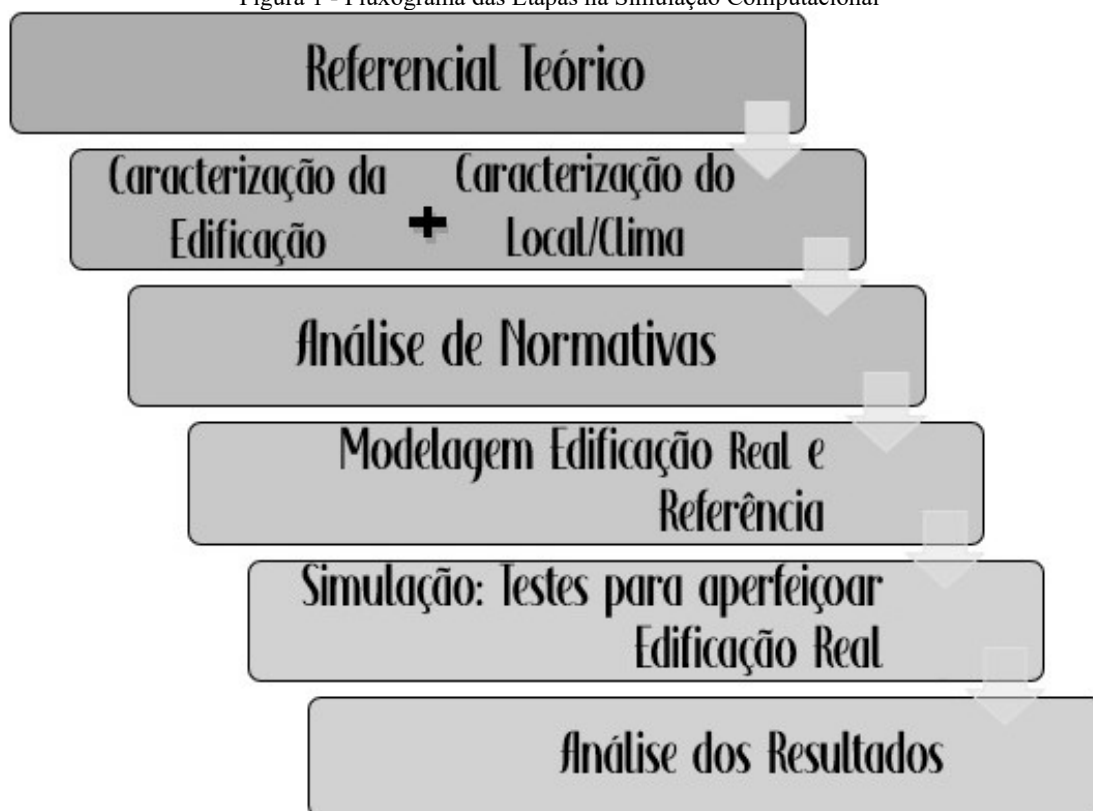
Para o alcance dos objetivos propostos neste estudo considerou-se duas etapas de revisão bibliográfica: pesquisa bibliográfica que trará contribuições de outros autores sobre os temas que envolvem a pesquisa somada à pesquisa das normativas aplicáveis ao projeto residencial e avaliação do desempenho térmico da edificação, os quais embasam as diretrizes e limitações do projeto que será simulado computacionalmente. Por fim, reforça-se que o reconhecimento do clima local em conjunto com o ambiente construído, buscando contemplar o aperfeiçoamento das edificações em conjunto com as diretrizes normativas, sobretudo com diferentes formas de construir e diferentes estilos de moradia.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa é de abordagem predominantemente quantitativa do tipo aplicada, pois considera as informações quanto à avaliação do desempenho térmico de edificações, sobretudo envolvendo contêineres. Usa-se da análise exploratória do referencial teórico quanto à relação da edificação em contêiner com os aspectos sustentáveis conjuntamente com a abordagem das principais bases normativas vigentes no Brasil. Por ser de caráter aplicado, visa simular a realidade climática do local e as características da edificação, buscando soluções práticas aos desafios do desempenho térmico do projeto. Quanto aos procedimentos de pesquisa, utiliza multimétodos, fazendo uso de pesquisa experimental, documental, bibliográfica.

De maneira geral, as etapas da pesquisa foram divididas em macro temas (representados na Figura 1) com enfoque principal na etapa de Simulação Computacional. Nesta etapa, o referencial teórico, a caracterização da edificação e do clima local foram utilizados como base para o desenvolvimento das simulações considerando as instruções normativas analisadas nas etapas anteriores. Complementarmente à divisão inicial em etapas, o capítulo 3 mostra de forma mais detalhada a metodologia de simulação utilizada na pesquisa, conectando as fases com as exigências da normativa NBR15575 (ABNT, 2021).

Figura 1 - Fluxograma das Etapas na Simulação Computacional



Fonte: A autora.

A primeira etapa da pesquisa é composta pela Pesquisa Bibliográfica Geral quanto à utilização de contêineres para habitações e seus aspectos sustentáveis, bem como legislações de desempenho térmico e estratégias de arquitetura bioclimática voltadas para o local de estudo. Para se estabelecer as soluções projetuais e técnicas empregadas na elaboração de um modelo simulado da edificação em contêiner adaptado às características climáticas de Passo Fundo-RS, realizou-se uma revisão bibliográfica das normativas sobre tema desempenho térmico. A fase de análise de normativas compreende, conjuntamente, a sistematização, fundamentação teórica/revisão bibliográfica sobre a legislação necessária para a composição do modelo, considerando a temática e conceitos relacionados. Utilizou-se consultas a livros, publicações de artigos, teses e dissertações e *webinars* disponíveis da base de dados do Google Acadêmico e Periódicos Capes e demais sites pertinentes, sendo complementado ao longo do desenvolvimento da dissertação através de outros repositórios.

Dando seguimento, define e caracteriza a edificação a ser estudada apresentando os softwares a serem utilizados conforme as observações da NBR15575 (ABNT, 2021). A análise das características principais do material a ser utilizado, juntamente com as características

climáticas do local subsidiarão as simulações fornecendo alguns dos dados primários necessários para a modelagem, bem como o passo a passo da metodologia utilizada para a simulação no Energy Plus. Com as características e dados básicos, promove-se a estruturação necessária para as simulações de desempenho térmico que derivam da definição da edificação a ser analisada.

Com base na legislação aplicada e nas definições das simulações, inicia-se as simulações conforme parâmetros de desempenho térmico estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021) e ASHRAE 55 (2020), modelando a Edificação com o programa EnergyPlus v8.7 para a avaliação dos índices de desempenho atingidos e proposição de novas estratégias arquitetônicas.

Por fim, na última etapa têm-se as análises e sistematização dos resultados decorrentes das simulações e as estratégias arquitetônicas utilizadas. Após a análise da edificação e proposição de estratégias para alcançar o nível superior conforme a NBR15575 (ABNT, 2021), as informações obtidas pelas simulações serão comparadas e analisadas criticamente, demonstrando se a residência em contêiner pode ser adaptada ao clima da região norte do Rio Grande do Sul, de maneira eficiente e contemplando as exigências normativas pertinentes.

1. CONTÊINERES E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Enquanto a discussão sobre o desenvolvimento sustentável ganha corpo e importância em âmbito nacional e internacional, salienta-se a necessidade de estratégias inovadoras, inclusive no escopo da construção civil, através do uso de diferentes materiais e consumo racional. Tendo como partida a utilização de materiais não convencionais, a preocupação com o desempenho termo energético da edificação não pode ser deixada de lado, visto que, a observância dos aspectos térmicos é um desafio importante a ser considerado para a compatibilização de diversos materiais em projetos de moradia.

O início desta pesquisa se deu em um contexto de crescente popularização do reaproveitamento de contêineres na construção civil sendo visualizadas muitas obras com contêineres sendo realizadas para uso de moradias e de comércios no Brasil. Contudo, é imprescindível considerar a Norma Regulamentadora 18, portaria nº 3.733 do dia 10/02/2020 (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2020), a qual estabelece: diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na indústria da construção e, ainda, salienta que “...é proibido reutilizar contêiner originalmente utilizado para transporte de cargas em área de vivência” (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2020, p. 21), limitando o uso em canteiros de obras, em 24 meses.

Com base nas normativas vigentes no Brasil, o reaproveitamento de contêineres na construção civil, sobretudo para o uso residencial não é viável, gerando a necessidade de se utilizar um contêiner novo para construir a edificação residencial.

1.1 Contêineres na Construção Civil

O transporte de mercadorias em longas distâncias sempre foi um desafio para o homem. Para França Júnior (2017), as tentativas de padronizar o formato de transporte de cargas de maneira internacionalizada começaram a se desenvolver mais significativamente a partir do início do século XX. Partindo dessa premissa, somente a partir da década de 1930 a observação das empresas estadunidenses do setor logístico voltou-se para desenvolvimento de um método mais eficiente de transporte de mercadorias. E, em 1955, o caminhoneiro Malcolm McLean desenvolveu sua forma mais econômica de carregar 58 volumes de reboque até um navio petroleiro, iniciando o processo conhecido hoje como “containerização” (IICL, 2021; LEVINSON, 2006; FRANÇA JÚNIOR, 2017).

Segundo Norris (2015), desde o design original de contêiner de transporte criado por Malcolm McLean, houveram mudanças para alcançar um padrão internacional. Na década de 1970, estabeleceu-se as diretrizes do modelo normativo para contêineres da ISO (*International Standardization of Organization*) (FRANÇA JUNIOR, 2017). Esse refinamento no design dos contêineres, tornou-os mais fortes, mais leves, com fabricação mais econômica e mais resistentes, economizando tempo e dinheiro (NORRIS, 2015). Para Justino et al. (2021), foi a eficiência da “contêinerização” que facilitou o desenvolvimento e crescimento do transporte comercial no mundo, tornando o contêiner “o centro de um sistema altamente automatizado para mover mercadorias de qualquer lugar para qualquer lugar, com um mínimo de custo e complicações no caminho.” (LEVINSON, 2006, p.29).

Apesar das origens um pouco nebulosas da aplicação dos contêineres como habitação, Dillashaw (2014), aponta como sendo os militares os primeiros a adaptar o uso de contêineres de transporte marítimo como residências, sendo a Marinha e a Força Aérea dos Estados Unidos a precursora a utiliza-los para abrigo de marinheiros e aviadores das bases americanas no exterior de maneira transitória. Já para Saywers (2008) apud Oliveira et al. (2020), o primado no uso dos contêineres para moradia fica a cargo dos fazendeiros estadunidenses que reaproveitaram as caixas de carga para a nova função.

De fato, conforme Norris (2015), apenas mais recentemente o potencial do contêiner na construção civil pode ser mais percebido. Com o registro de patente de Phillip C. Clark para o “Método para converter um ou mais contêineres de aço em um prédio habitável em um canteiro de obras e o produto dele” em 1989 difundiu-se esse uso, sobretudo a partir dos anos 1990, salientando questões de economia, eficiência e proteção ao meio ambiente (OCCHI e ALMEIDA, 2016; OLIVEIRA et al., 2020).

A discussão sobre a sustentabilidade do uso de contêineres como moradia ganha mais corpo, sobretudo no Brasil, considerando o fato de as casas de contêineres de transporte constantemente serem apontadas como uma forma sustentável de construir, sem levar em conta a possibilidade de não serem inerentemente sustentáveis (NORRIS, 2015). Já que, para Norris (2005), em virtude de sua fabricação em aço - um dos materiais com maior consumo de energia para sua fabricação - há grande o peso de energia incorporada na produção. Desse modo, cabe aos profissionais que utilizam o material em seus projetos lançar mão de estratégias para que a edificação atenda aos requisitos de desempenho de modo a compensar a energia incorporada utilizada na sua fabricação. Buscando manter o ciclo da construção com menos resíduos e uma edificação eficiente, é possível alcançar uma residência adaptada de forma sustentável ao clima

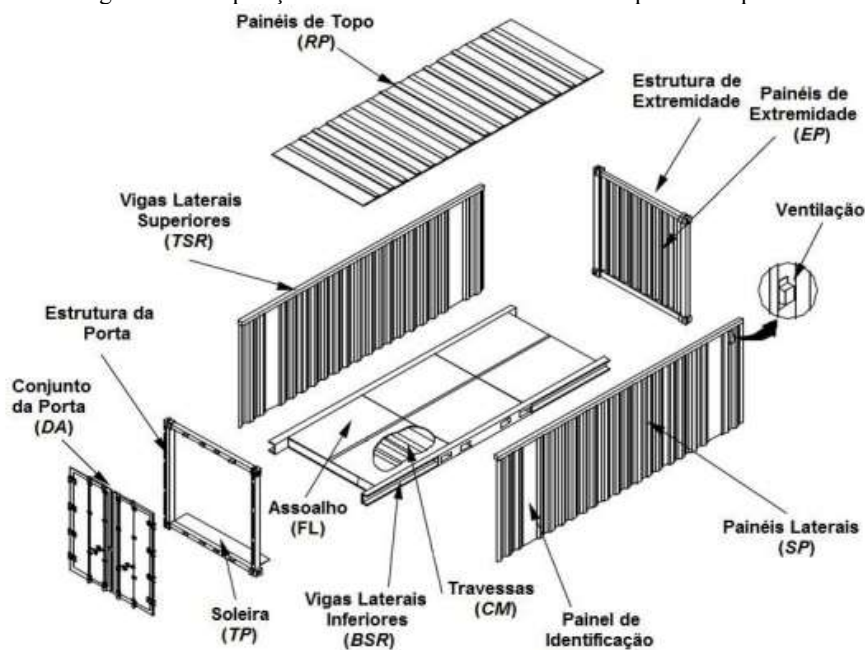
local. Aperfeiçoando as estratégias o projeto pode-se aperfeiçoar o desempenho térmico da edificação de forma predominantemente passiva, diminuindo o consumo de energia que seria dispendida para a sua climatização ao longo do uso da residência, agregando, conjuntamente ao desempenho térmico, economia no consumo de energia.

1.1.1 Características do Contêiner

O contêiner, denominado como modelo ISO, é utilizado mundialmente para transportar cargas e mercadorias e recebe essa definição quando atende as normas da *International Organization for Standardization* conforme a norma NBR ISO 668 (ABNT, 2000). Seu material é composto, na sua maioria, de uma liga de aço Corten 75% mais resistente que o aço comum, conferindo maior resistência e durabilidade através de tratamentos que melhoram o desempenho frente às condições climáticas extremas (CARBONARI E BARTH, 2015). O aço anticorrosivo que é utilizado na fabricação do contêiner permite seções esbeltas, bem como conferem uma melhor resistência aos efeitos da corrosão atmosférica, permitindo disposição a céu aberto (FRANÇA JR, 2017).

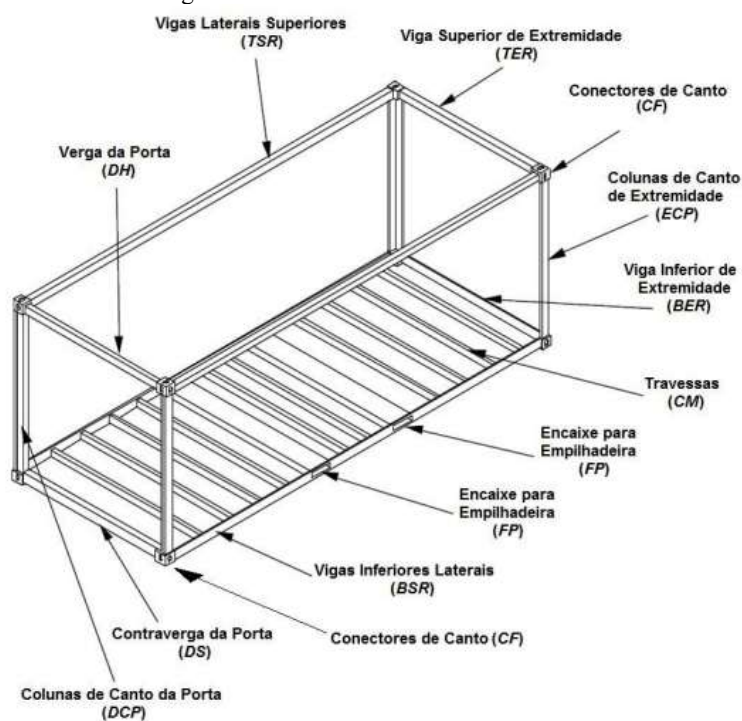
A durabilidade do contêiner pode ser estimada em até 100 anos, entretanto, como equipamento de transporte, seu uso é um pouco mais restrito - cerca de 10 a 16 anos (SILVA et al., 2018). Possui formato quadrangular regular com 6 faces estruturadas em quadros enrijecidos em uma estrutura estável de perfis metálicos e chapas de aço patinável (ver Figura 2). As quatro vigas inferiores e superiores de perfis de aço com seções não convencionais se amarram por meio de pilares dispostos nos cantos, formando uma caixa intertravada e rígida, como pode ser vista na Figura 2 e 3 (FRANÇA JUNIOR, 2017).

Figura 2 - Composição das Faces do Contêiner em Perspectiva Explodida



Fonte: FRANÇA JR (2017)

Figura 3 - Estrutura Primária do Contêiner



Fonte: FRANÇA JR (2017).

As propriedades físicas e geométricas dos contêineres ISO permitem o seu empilhamento seguro durante as trajetórias marítimas comerciais e suporta agrupamentos

estáticos de até oito unidades, verticalmente, e de três, lateralmente. (SOUZA E PINHO, 2019; CARBONARI E BARTH, 2015).

Uma das características mais importantes dos contêineres de transporte, conforme Norris (2015), é sua unidade estrutural contígua e independente, conhecida como corpos monocoque. Já o revestimento de aço corrugado age em harmonia com a estrutura estrutural para dar ao contêiner resistência, rigidez e capacidade de transportar cargas. No entanto, se perfuradas suas laterais para a instalação de esquadrias, pode haver comprometimento da integridade estrutural do contêiner. Estas modificações devem ser muito bem pensadas para não acabar sendo necessário adicionar trabalho de aço ou estrutura adicional para suportar a carga (NORRIS, 2015).

As dimensões dos contêineres, mesmo que padronizadas pela ISO, podem variar conforme o padrão de modelo. Do mesmo modo, conforme o produto que é transportado (sendo perecível ou não) as características físicas do contêiner também alteram: para as cargas secas e não perecíveis o contêiner modelo *Dry* (seco), e para carga que necessita de controle de temperatura, o modelo *Reefer* (refrigerado) (JUSTINO, 2021).

Quando se busca utilizar contêineres em construções, os modelos selecionados devem levar em conta alguns pré-requisitos: Souza e Pinho (2019) apresentam o modelo *High Cube*, seja ele *Reefer* ou *Dry* (ver Tabela 1) como o mais indicado, sobretudo porque apresentam a maior altura da categoria - acima de 2,50 m – característica necessária para atender as exigências normativas para habitações da NBR 15575 (ABNT, 2021). Na Tabela 1 é possível ver o comparativo das dimensões dos contêineres selecionados por Souza e Pinho (2019) como possíveis usos para residências.

Tabela 1 - Dimensões dos Contêineres Comerciais

	Modelo	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Dimensões Internas Contêiner Reefer (Refrigerado)	20' Standard	5,456	2,294	2,273	12,52
	40' Standard	11,590	2,294	2,273	26,59
	40' High Cube	11,590	2,294	2,545	26,59
Dimensões Internas Contêiner Dry (seco)	20' Standard	5,898	2,352	2,393	13,87
	40' Standard	12,032	2,352	2,393	28,30
	40' High Cube	12,032	2,352	2,698	28,30

Fonte: Souza e Pinho (2019) adaptado pela autora.

Com base nas análises de Souza e Pinho (2019) e observando a altura necessária para habitação, depreende-se o modelo de Contêiner *High Cube Dry 40'* como modelo mais apto

para a moradia mínima, tendo como base o seu espaço interno e altura diferenciados, bem como estrutura simplificada e custo reduzido em comparação aos modelos refrigerados.

1.1.2 Vantagens e Desvantagens do Uso de Contêineres para Residências

Conforme Justino et al. (2021), para uma adequada utilização dos contêineres na arquitetura é necessário conhecimento prévio dos materiais de que são compostos, do comportamento estrutural destes módulos e os principais detalhes construtivos necessários para a adaptação na construção civil.

É comum para diversos autores, como Silva et al. (2018); Souza e Pinho (2019); Justino et al. (2021); Oliveira et al. (2020); entre outros, o uso do contêiner mostrado como uma oportunidade inovadora e sustentável de residência. Do mesmo modo, os estudos feitos a partir de comparativos de viabilidade financeira da utilização de contêineres na construção civil brasileira, em comparativo a técnicas de alvenaria utilizadas convencionalmente, têm trazido resultados positivos. A exemplo dos estudos de Oliveira et. al. (2020) e que comprovam que o custo global da obra em contêiner se mostra mais acessível, com uma economia global na construção de 26%, levando em conta o local de estudo.

Amorim et al. (2018) também apresentam, em sua pesquisa direcionada à experiência de uma construtora através da adaptação de um contêiner modelo *High Cube* de 40 pés de 29,74m², indicadores construtivos positivos, tais como: redução na quantidade de resíduos gerado, redução do tempo dispendido para obra e menor custo econômico, conforme visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Indicadores Construtivos de Residência Contêiner x Residência Concreto Armado

	Residência Contêiner	Residência Concreto Armado
RESÍDUO PRODUZIDO (m³/m²)	0,605	1,428
TEMPO (dias/m²)	2,757	3,985
CUSTO (R\$/m²)	1560,13	1988,10

Fonte: Dados extraídos de gráfico elaborado por Amorim et al. (2018) e adaptado pela autora.

Avaliando os dados apresentados na tabela acima, percebe-se a redução significativa dos três critérios quando se compara o uso da técnica construtiva de concreto com uma residência elaborada em um contêiner. O setor da construção civil, por sua vez, se beneficia também pela diminuição da produção de resíduos construtivos, visto que o contêiner substitui grande parte dos materiais usados convencionalmente, como os blocos cerâmicos e o concreto, bem como a mão de obra (JUSTINO, 2021).

Occhi e Almeida (2016) consideram que os principais fatores que têm maior impacto nos gastos de uma obra convencional de alvenaria, são os materiais e mão de obra. Desse modo, a construção com uso de Contêiner acaba por minimizar estas etapas comparadas, gerando vantagens sobre a alvenaria convencional.

Após verificados os modelos mais aptos para a utilização na construção civil, podemos elencar as vantagens e desafios de sua utilização na construção civil através da Tabela 3 (JUSTINO, 2021; OCCHI E ALMEIDA, 2016).

Tabela 3 - Resumo de Vantagens e Desvantagens do Uso do Contêiner como Edificação

VANTAGENS	DESVANTAGENS
1. Economia; 2. Rapidez na execução; 3. Praticidade e Versatilidade do material; 4. Caráter sustentável da obra (redução de resíduos, do consumo de materiais); 5. Facilidade de transporte e possibilidade de mudança da edificação pronta. 6. Adaptação a outros materiais 7. Dimensões Padronizadas (modularidade) 8. Robustez estrutural 9. Resistência à corrosão atmosférica	1. Tratamento contra ferrugem, se necessário; 3. Necessária mão de obra especializada e guindastes; 4. Gasto com combustível no transporte; 5. Alta condutibilidade térmica e baixa absorção de ruído do envoltório não isolado. 6. Possíveis restrições normativas de aprovação da construção.

Fonte: SILVA et al. (2018); ROMANO et al. (2014); OLIVEIRA (2020); JUSTINO (2021); OCCHI E ALMEIDA (2016); FRANÇA JÚNIOR (2017), adaptado pela autora.

Conforme o compilado de vantagens e desvantagens é possível salientar a prevalência das potencialidades frente aos desafios, bem como a importância de se buscar uma solução para as deficiências apresentadas que podem ser solucionadas com a estratégia adequada. Sobretudo, conforme salientado por Occhi e Almeida (2016), o isolamento térmico, que se mostra imprescindível na construção em contêiner, pois o aço, material principal do composto, é um ótimo condutor térmico. O uso de estratégias de isolamento acaba por agregar um custo extra à obra, todavia, este pode ser revertido em economia de energia no sistema de condicionamento de ar (OCCHI e ALMEIDA, 2016).

O sentido de se abordar a utilização de um material diferenciado é buscar o seu aperfeiçoamento e agregar um diferencial ao projeto. Para isso, torna-se necessária uma avaliação prévia do contêiner, suas qualidades e defeitos que vão definir a real potencialidade de sustentabilidade e economia, evitando, assim gastos desnecessários ao se adaptar o material ao novo uso de forma eficiente (ROMANO et al., 2014).

Concomitantemente com o estudo do material a ser empregado, há que se considerar o local a ser implantado. Elencando a região norte do Rio Grande do Sul como local de estudo

surgem complexidades climáticas que englobam uma alta amplitude térmica a ser considerada. As estações bem definidas com invernos de temperaturas mínimas abaixo de zero são um condicionante importante para as estratégias de isolamento da envoltória da edificação, mostrando-se um desafio a ser solucionado.

Por fim, com a estratégia projetual necessária para o bom desempenho térmico da edificação, busca-se demonstrar como ainda é vantajoso utilizar contêineres como uma moradia diferenciada do convencional, confortável termicamente e com um pensamento focado no desenvolvimento sustentável e baixo consumo energético.

2. DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Nesta pesquisa, com o enfoque nos aspectos térmicos, busca-se aperfeiçoar o desempenho térmico da edificação em contêiner, com a perspectiva que a inércia térmica é um dos principais desafios que o metal que o compõe apresenta.

Conforme a NBR15575 (ABNT, 2021), o desempenho térmico de habitações está ligado aos seus componentes, sobretudo as paredes e coberturas. As áreas envidraçadas e de ventilação, as cargas térmicas internas (pessoas, iluminação e equipamentos), e a maneira como se operam as aberturas e o clima da cidade também determinam o fator de desempenho da edificação. Tendo em vista as diversas variações no clima do Brasil, há a possibilidade de se empregar algumas estratégias bioclimáticas que permitam que as habitações troquem calor com o exterior sem depender exclusivamente de equipamentos de condicionamento artificial (ABNT, 2021).

O conforto térmico está muito atrelado à ideia de desempenho térmico da edificação, sendo o conforto ambiental entendido, conforme a definição de Lamberts et al. (2014, p.43), “... como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo”. Do mesmo modo, pode-se dizer que, conforme Corbella (2011), a pessoa está confortável em relação ao ambiente quando o percebe sem incômodo e tem uma sensação neutra relacionada a ele e, assim, a sensação de conforto no interior de um cômodo dependerá de parâmetros do meio ambiente.

Uma edificação com bom desempenho térmico, busca propiciar o estado e conforto térmico aos seus usuários, e este pode ser entendido pela ASHRAE (2020) como o estado da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda de maneira subjetiva, com a seguinte definição: estado de conforto térmico está quando o balanço de todas

as trocas de calor que um corpo é submetido é nulo, fazendo com que a temperatura da pele e o suor se mantenham dentro de certos limites. Ou seja, quando todos os ganhos são iguais às perdas, então podemos dizer que o corpo se encontra em equilíbrio térmico, caso isso não aconteça, estará se aquecendo ou resfriando através de seu sistema termorregulador (CORBELLA, 2011). Sendo assim, quanto menos exigido é o sistema termorregulador pelo meio, menor o esforço para atingir o equilíbrio térmico e o ambiente se aproxima do limiar de conforto, conforme Corbella (2011).

A percepção do ser humano em relação ao ambiente pode apresentar-se de forma relativa, influenciada por diferentes variáveis, sendo elas clima, vestimenta, atividade desenvolvida, idade e sexo, entre outras e, por esse motivo, torna-se complicado estipular as condições que atendam às exigências das mais diversas pessoas que podem ocupar o espaço construído (KNOP, 2012). Desse modo, podemos perceber o conforto térmico como “a situação de satisfação psicofisiológica com as condições térmicas de um ambiente onde a manutenção da homeostase humana é obtida”. (BITTENCOURT, 2015, p.13).

Bittencourt (2015) salienta que a variabilidade e duração, por curtos períodos de tempo, de condições desconfortáveis, parece não constituir um grave distúrbio para a maioria das pessoas, graças à flexibilidade do sistema fisiológico humano. Do mesmo modo, cabe salientar, sob o ponto de vista fisiológico, que o conforto noturno tende a ser mais preponderante ao conforto diurno, pois, indivíduos com sono profundo e sossegado toleram melhor eventuais condições desfavoráveis de calor diurnas – visto que recuperam as energias dispendidas e não acumulam fadiga (BITTENCOURT, 2015).

Embora o conforto térmico sempre tenha sido um conceito subjetivo, as condições ambientais de conforto, por serem entendidas como aquelas que proporcionam bem-estar ao maior número de pessoas possíveis, fazem com que pesquisadores busquem enquadrar este conceito de uma forma mais simplificada e de fácil compreensão (RUAS, 1999 apud KNOP, 2012; LAMBERTS et al., 2014). Sendo assim, desenvolvem-se e estabelecem-se índices, tabelas e escalas com variáveis aceitáveis a uma grande parcela de usuários.

As condições de conforto térmico são, portanto, produto de uma série de variáveis. Para avaliar as condições térmicas, o indivíduo deve estar vestido adequadamente e ausentes problemas de saúde e aclimação, conforme salienta Frota (2015). Visto que as condições de conforto não são as mesmas dependendo do clima, é a partir das variáveis climáticas de conforto térmico somada às demais variáveis (como vestimenta, atividade desenvolvida, etc.) que são desenvolvidos estudos para determinar os graus de conforto térmico. A ASHRAE 55 (2020)

considera a temperatura operativa neutra através da equação: $T_{On} = 18,5 + (0,31 \cdot T_{Me})$, onde: T_{On} = Temperatura Operativa Neutra; T_{Me} = temperatura média externa em °C. Já a NBR 15575 (ABNT, 2021) utiliza como parâmetro de Temperatura Operativa para a Zona Bioclimática 2⁵ a variação de 18 °C à 26 °C.

A ventilação natural também é importante, pois quando corretamente utilizada, pode influenciar significativamente no desempenho térmico e melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios. Esta estratégia bioclimática vem sendo aplicada de diferentes formas desde o início da história da arquitetura, buscando amenizar as altas temperaturas internas, em regiões de clima quente. Na arquitetura, é possível tomar partido desse recurso para aperfeiçoar o desempenho e habitabilidade da residência (LABEEE, 2021).

Conforme Frota (2015), a ventilação natural atua com grande importância na higiene geral e conforto térmico de verão, pois proporciona a renovação no ar nos ambientes internos da edificação e a dissipa calor, vapores, fumaça, poluentes entre outros. Esta função também pode ser desempenhada pela ventilação mecânica, todavia, nas simulações, somente a estratégia de ventilação natural será considerada.

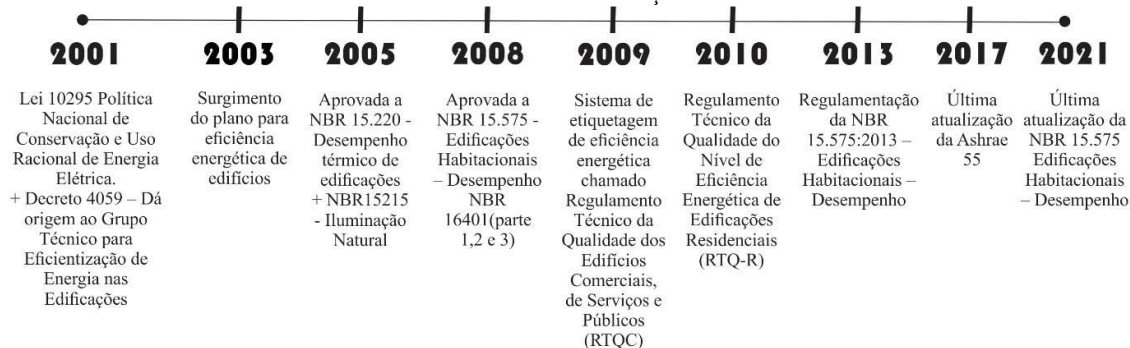
2.1 Normativas de Desempenho Térmico

Os processos de certificação, bem como o atendimento a normas específicas, segundo observações de Villa e Ornstein (2013), somente têm sido adotados pelo setor da construção civil brasileiro recentemente. Podendo-se utilizar como marco referencial a criação do código de defesa do consumidor (década de 1990) que, embora não tenha relação direta com a eficiência do edifício, aborda a relação de consumo que engloba as propriedades imobiliárias. Já as primeiras certificações para empresas da construção civil, no que concerne a gestão da qualidade, ocorreram em meados da década de 1990 (VILLA e ORNSTEIN, 2013).

A busca por procedimentos para maior competitividade por parte do segmento de edificações suscitou o desenvolvimento das primeiras certificações baseadas em normas da série ISO 9000 (ABNT, 2005a) no fim de 1993. Abordagens complementares foram sendo incorporadas a esse escopo ao longo dos anos com algumas publicações importantes, como podemos observar na Figura 4, enfatizando a melhoria continuada dos processos.

⁵ A cidade de Passo Fundo/RS, que é a região estudada nessa pesquisa, está contida na Zona Bioclimática 2 (ZB2) de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro definido pela NBR 15220 (ABNT, 2005), o qual traz algumas diretrizes construtivas.

Figura 4 - Linha do Tempo das Normativas Mais Importantes no Contexto Brasileiro Quanto a Desempenho Térmico das Edificações



Fonte: LAMBERTS et al., 2014; LIMA, 2020, adaptado pela autora.

Com base no consumo eficiente, percebe-se o desenvolvimento de algumas normativas brasileiras importantes voltadas para melhoria do desempenho térmico das edificações. Entretanto, Meyer e Haddad (2004) apud Villa e Ornstein (2013), salientam as inadequações das práticas usuais dos promotores imobiliários, observando que as ações imobiliárias adequadas são escassas ou baseadas em certo empirismo, com baixo nível de interesse pela literatura especializada. Apesar de se observar uma conduta antiga em relação ao produto ofertado pelo mercado brasileiro, baseado muitas vezes em velhos hábitos de busca por liquidez em detrimento da qualidade arquitetônica e ambiental, há que se desenvolver o olhar mais criterioso quanto ao desempenho das edificações (VILLA e ORNSTEIN, 2013).

Salienta-se, com essa pesquisa, a necessidade de cumprimento das legislações apresentadas principalmente pelo governo brasileiro. Sudbrack (2017) aponta quais normativas estão em vigor atualmente, tratando de desempenho térmico para edificações: a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2021). Tais normas de desempenho estabelecidas pela ABNT, buscam estabelecer como atender os requisitos dos usuários, de forma que

as normas prescritivas estabelecem requisitos com base no uso consagrado de produtos ou procedimentos, buscando o atendimento aos requisitos dos usuários de forma indireta. Por sua vez, as Normas de desempenho traduzem os requisitos dos usuários em requisitos e critérios, e são consideradas complementares às Normas prescritivas, sem substituí-las. A utilização simultânea delas visa atender aos requisitos do usuário com soluções tecnicamente adequadas. (ABNT, 2013, p.3).

Recentemente, algumas revisões e atualizações de normativas de desempenho estão em desenvolvimento através das pesquisas do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina, a exemplo da formação da Base Brasileira de Dados de Conforto Térmico, a Revisão da NBR 16.401-2: Conforto Térmico, bem como estudos sobre conforto térmico e utilização do ar-condicionado no setor residencial, indicando uma potencial incidência de melhoria quanto ao conforto térmico dos futuros projetos habitacionais (LABEEE, 2021).

Sendo assim, as novas e crescentes demandas ambientais e normativas em curso no país tem por onde despertar o intento de pesquisa e criação de novos bancos de dados para que a relação usuário/ambiente construído seja aprimorada, juntamente com a formação de profissionais mais bem preparados e projetos com qualidade superior (VILLA e ORNSTEIN, 2013).

2.1.1 NBR 15.220:2005 - Desempenho Térmico de Edificações

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) traz a norma sobre o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, composta por 5 partes, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Composição da NBR15220

Parte 1	Definições, símbolos e unidades;
Parte 2	Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar dos componentes da edificação;
Parte 3	Zoneamento bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
Parte 4	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
Parte 5	Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método do fluxímetro.

Fonte: ABNT, 2005.

A primeira parte da NBR15220 estabelece algumas definições, símbolos e unidades que servirão de base e serão úteis ao interpretar o restante da norma. A segunda parte apresenta propriedades térmicas de materiais importantes que vão ser usadas, posteriormente, na simulação computacional de desempenho térmico de edificações. Já a parte 3 apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o país em 8 zonas distintas com as diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo que devem ser usadas de acordo com a localização da edificação no território brasileiro, da qual extrairemos as informações usadas para a fase de projeto. Na quarta parte há explicações sobre medições de resistência e condutibilidade térmicas utilizando o princípio da placa quente protegida. E, por fim, a quinta parte apresenta a medição da resistência e condutibilidade térmicas utilizando fluxímetro. Dentre estas, as mais importantes para a pesquisa são a parte 2 e 3, pois fornecem insumos e definições para as posteriores simulações (ABNT, 2005).

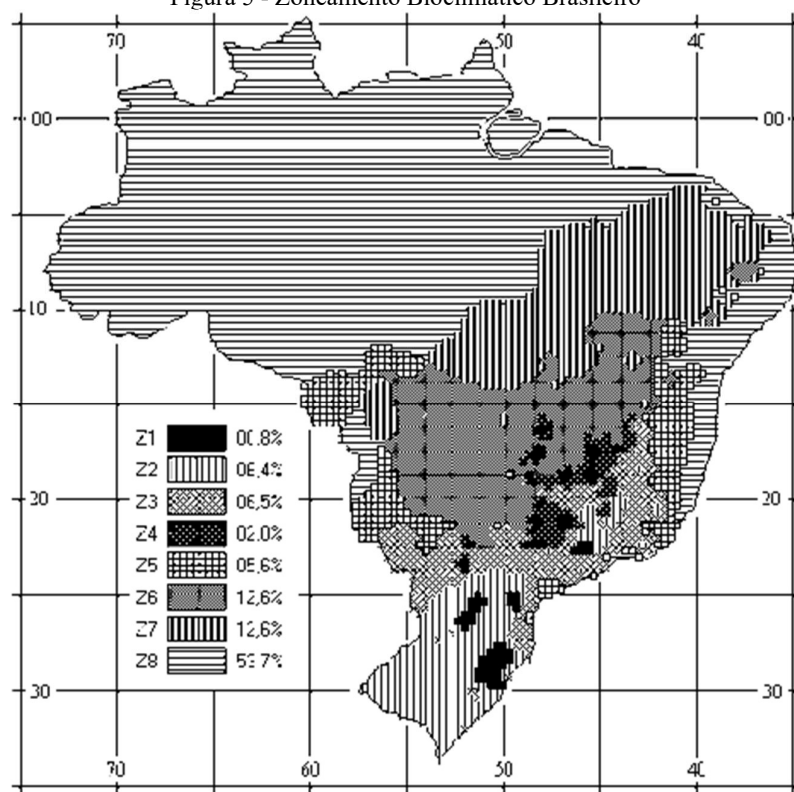
Em conformidade com a NBR15220 (ABNT, 2005), a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto quanto com a obra pronta, todavia, na fase projetual pode ser por simulação computacional ou averiguação do cumprimento das

normas. Frota (2015) define um encaminhamento para a produção de uma arquitetura apropriada ao clima da implantação, seguindo:

1. Conhecimento do clima local, principalmente em termos das variáveis de que é função o conforto térmico (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e ventos); 2. Escolha dos dados climáticos para o projeto do ambiente térmico; 3. Adoção do partido arquitetônico cujas características sejam adequadas ao clima e às funções do edifício; 4. Então, tomadas as decisões de projeto que digam respeito às suas especificidades, é necessário que seja efetuada uma avaliação quantitativa do desempenho térmico que o edifício poderá ter (FROTA, 2015, p.139).

Conforme o zoneamento bioclimático apresentado na parte 3 da NBR15220 (Figura 5), o qual divide o território brasileiro em zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, depreende-se que a região do Alto-Uruguaí gaúcho pertence à Zona Bioclimática 2 (ZB2).

Figura 5 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR15220, ABNT (2005).

Adotando-se a ZB2 como análise, têm-se algumas recomendações técnico-construtivas que estão apresentadas na Tabela 5. Estas recomendações foram elaboradas considerando os parâmetros de: “a) tamanho das aberturas para ventilação; b) proteção das aberturas; c) vedações externas (parede e cobertura); d) estratégia de condicionamento térmico passivo.” (ABNT, 2005, parte 3, p.2) e visando a melhor adequação climática das edificações unifamiliares (ABNT, 2005).

Tabela 5 - Diretrizes Construtivas para Zona Bioclimática 2

Aberturas para ventilação	<u>Médias</u> (entre 15% a 25% da área do piso)
Sombreamento de aberturas	Permitir sol durante o inverno
Vedações externas	<u>Parede leve</u> (Transmitância térmica $\leq 3,00$ W/m ² . K; Atraso térmico $\leq 4,3$ h; Fator solar $\leq 5,0\%$) <u>Cobertura leve isolada</u> (Transmitância térmica $\leq 2,00$ W/m ² . K; Atraso térmico $\leq 3,3$ h; Fator solar $\leq 6,5\%$)
Condicionamento térmico passivo	<u>Verão</u> : Ventilação Cruzada <u>Inverno</u> : Aquecimento solar da edificação; Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: NBR15220, ABNT (2005).

Quando analisamos mais especificadamente a relação de 330 cidades com climas classificados na normativa 15220 (ABNT, 2005) e, elencando a cidade de Passo Fundo/RS como referência, temos como estratégias de condicionamento descritas como: ABCFI, que serão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Detalhamento de Estratégias de Condicionamento Térmico para Passo Fundo/RS

A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período de frio, através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de partes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através o uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em se interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: NBR15220-3, ABNT (2005, p. 11 e 12).

Estas sugestões de estratégias bioclimáticas devem ser levadas em conta quando se busca desenvolver um projeto, sobretudo no contexto de interesse social, mais adequado ao local analisado. Na sequência será abordada NBR 15575 (ABNT, 2021), pois as diretrizes construtivas da NBR 15220 (ABNT, 2005) são voltadas para habitações unifamiliares de

interesse social, e a NBR 15575 (ABNT, 2013) é mais abrangente, pois aborda todo tipo de edificação residencial (LIMA, 2020). Conforme Lima (2020), as normas NBR 15575 e NBR 15220 apresentam diferenças no percentual de abertura para ventilação dos ambientes de permanência prolongada nos limites das propriedades térmicas dos componentes construtivos de paredes e coberturas, incentivando testes de simulações para melhor avaliação caso a caso.

2.1.2 NBR 15.575:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho

A norma brasileira de desempenho de edificações residenciais, NBR 15575 (ABNT, 2013), entrou em vigor em 2013, com o objetivo de estabelecer os requisitos dos usuários para os ambientes habitacionais. Sendo, dentre os requisitos de habitabilidade considerados, o desempenho térmico com papel salutar para garantir ao usuário condições térmicas adequadas para o desenvolvimento das suas atividades no interior da residência (LABEEE, 2021).

Após proposta de revisão, a normativa sofreu alterações em 2021, as quais atualizaram alguns aspectos, sobretudo com emendas nas partes 1, 4 e 5. O desempenho térmico das Edificações Residenciais/Unidades Habitacionais é definido em três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Sendo obrigatório o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para o nível de desempenho mínimo e facultado os de desempenho intermediário e superior (ABNT, 2021).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) tem seu enfoque em edificações residências e está subdividida em 6 partes conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Subdivisões da NBR15575

Parte 1	Requisitos gerais
Parte 2	Sistemas estruturais
Parte 3	Sistemas de pisos
Parte 4	Sistemas de vedações verticais internas e externas
Parte 5	Sistemas de coberturas
Parte 6	Sistemas hidrossanitários

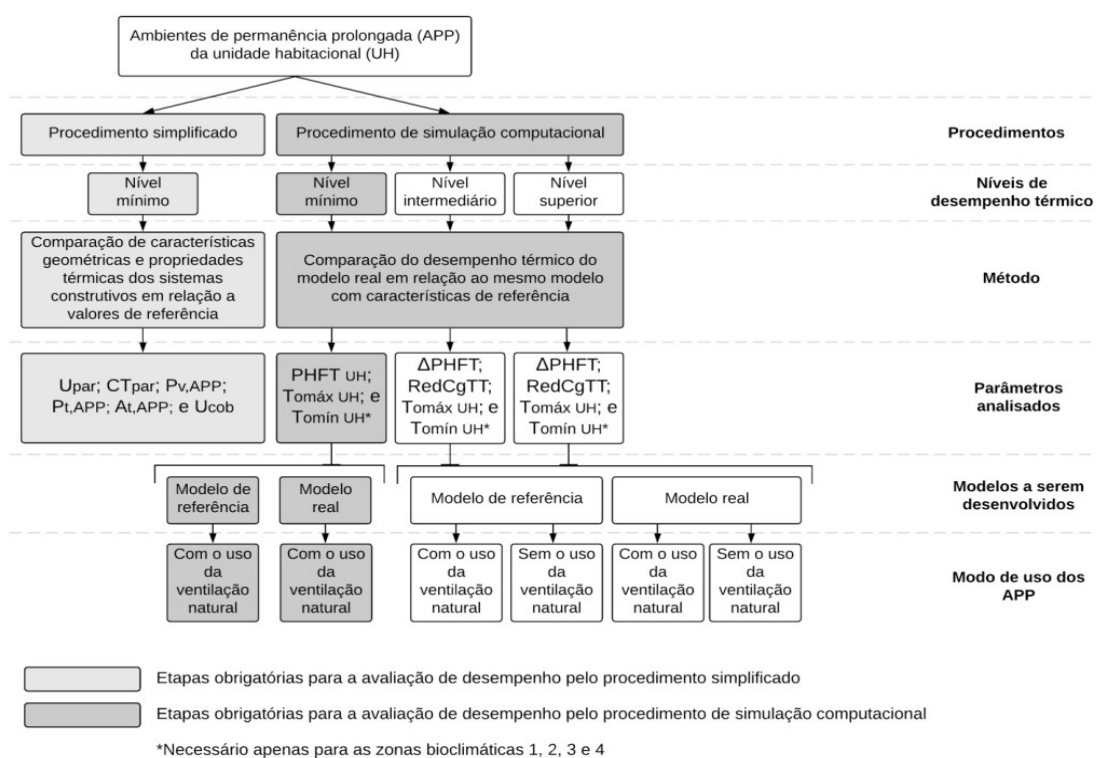
Fonte: NBR15575, ABNT (2021).

Como conteúdo da norma, voltado ao desempenho térmico, a NBR15575 (ABNT, 2021) apresenta dois procedimentos, levando em conta cada Zona Bioclimática em que a edificação estiver inserida: Procedimento Simplificado e Procedimento de Simulação Computacional. O Simplificado, como o nome já denota, é mais simples permite avaliar apenas o mínimo obrigatório. Sendo assim, avalia o desempenho térmico através da comparação dos valores de referência com os das características geométricas do Ambiente de Permanência Prolongada e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos. Já o Procedimento de Simulação

Computacional estabelece as condições para desenvolvimento dos modelos real e de referência, para uma comparação mais precisa. Portanto, avalia o desenvolvimento térmico e atendimento dos níveis mínimo, intermediário e superior através de um programa computacional (ABNT, 2021)

Com base nas orientações para o procedimento de simulação da norma – mais completo e objeto de enfoque desta pesquisa - temos um fluxograma de como atender os diferentes níveis, independente da forma da edificação estudada e conforme as diversas zonas bioclimáticas brasileiras de forma resumida (Figura 6).

Figura 6 - Fluxograma das Principais Características dos Procedimentos de Avaliação em Desempenho Térmico



Upar: Transmitância Térmica de paredes externas
 CTpar: Capacidade Térmica de paredes externas
 Pv,APP: Percentual de aberturas para ventilação
 Pt,APP: Percentual de elementos transparentes
 At,APP: Área de superfície dos elementos transparentes do Ambiente de Permanência Prolongada
 Ucob: Transmitância térmica de coberturas
 PHFT_{UH}: Percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa da Unidade Habitacional
 Tomáx_{UH}: Temperatura Operativa Máxima da Unidade Habitacional
 Tomín_{UH}: Temperatura Operativa Mínima da Unidade Habitacional
 ΔPHFT: Incremento do percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa
 RedCgTT: Redução da carga térmica total

Fonte: ABNT, 2021, p.17, adaptada pela autora.

Com o procedimento de simulação computacional será avaliado o desempenho térmico anual da envoltória da edificação em relação à envoltória com características de referência. Neste procedimento devem ser elaborados dois modelos: um modelo real (com as características e propriedades térmicas da Unidade Habitacional) e outro modelo de referência (que representa a edificação avaliada, mas com características de referência). Para o nível mínimo os modelos real e de referência devem ser simulados considerando somente o uso da ventilação natural. Para a obtenção dos níveis intermediário e superior, os modelos real e de referência devem ser simulados em duas condições de utilização: Com o uso da ventilação natural e sem o uso da ventilação natural (ABNT, 2021).

O programa de simulação computacional utilizado precisa estimar as variações da temperatura operativa, das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento e do uso da ventilação natural, respectivamente nas 8760 horas anuais. Estas estimativas consideram as variações de ocupação, de potência de iluminação e de equipamentos (ABNT, 2021). O programa de simulação computacional deve, ainda:

- a) estar de acordo com a ASHRAE 140, segundo o procedimento de teste da Classe I;
- b) modelar efeitos de inércia térmica; c) modelar trocas de calor entre a edificação e o solo; d) calcular cargas térmicas latente e sensível; e) ser capaz de simular o sombreamento proveniente de elementos externos às zonas térmicas, como brises, sacadas e entorno; f) ser capaz de simular os efeitos da ventilação cruzada em um ambiente, ou entre dois ou mais ambientes. (ABNT, 2021, p.20).

Conforme as instruções previstas na NBR 15575 (ABNT, 2021), a realização da simulação requer a modelagem de toda a Unidade Habitacional (UH), incluindo tanto os ambientes de permanência prolongada (APP) quanto ambientes de permanência transitória (APT)(ABNT, 2021). Todavia, a análise mais apurada se dá com os dados oriundos das simulações somente de ambientes de permanência prolongada, sendo apenas influenciados pelos demais ambientes da Unidade Habitacional.

O procedimento de análise do desempenho térmico da UH, exige a elaboração de dois modelos computacionais da edificação: a) modelo real; b) modelo de referência.

O modelo real deve representar a edificação a ser analisada, conforme as suas características volumétricas, percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, propriedades térmicas dos sistemas construtivos e presença de elementos de sombreamento externos fixos na fachada, quando existentes (por exemplo, brises, beirais e venezianas). O modelo de referência deve representar a edificação a ser analisada, adotando-se características de referência. Este modelo deve manter a volumetria do modelo real, alterando os percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, bem como as propriedades térmicas dos sistemas construtivos. (ABNT, 2021, p. 25)

Já o modelo de referência não considera os elementos de sombreamento da fachada, nem as sacadas. Ambos devem considerar a modelagem de janelas e portas com elementos

transparentes representadas conforme as áreas de superfície com transparência e devem preservar as características de volume interno, as áreas de superfícies expostas ao exterior, o norte geográfico e a área de piso total dos ambientes da edificação projetada. Os dois modelos devem possuir a mesma divisão de ambientes. Quando houver cozinhas e salas conjugadas, modela-se os dois espaços internos no mesmo ambiente, considerando as especificações para o ambiente da sala. O modelo real e o modelo de referência devem manter a mesma condição de contato com o solo (ABNT, 2021).

Do mesmo modo, o modelo real e o modelo de referência devem ser simulados utilizando o mesmo programa de simulação computacional, na mesma versão e com o mesmo arquivo climático. Sendo desconsiderada a ocorrência de precipitação de chuva nos modelos real e de referência (ABNT, 2021).

Apesar desta pesquisa ser focada em atender os critérios de desempenho exigidos pela NBR15575 (ABNT, 2021) com sua atualização mais recente, temos outros regulamentos complementares que também terão alguns de seus parâmetros considerados na modelagem da edificação estudada de modo a agregar qualidade ao projeto simulado - a exemplo do Regulamento Técnico de Qualidade dos Edifícios Residenciais (RTQ-R-INMETRO, 2012).

2.1.3 Regulamento Técnico de Qualidade dos Edifícios Residenciais (RTQ-R)

O Regulamento Técnico de Qualidade dos Edifícios Residências (RTQ-R – INMETRO, 2012) especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética de maneira a criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. Através de um procedimento diferenciado de classificação de acordo com o modelo da habitação, o regulamento classifica o nível de eficiência subdividindo em: Unidades Habitacionais Autônomas, Edificações Unifamiliares, Edificações Multifamiliares e Áreas de Uso Comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais (INMETRO, 2012). Quando se busca níveis de eficiência mais elevados, de acordo com o RTQ-R, deve-se atender os pré-requisitos dos sistemas analisados somado às bonificações que acrescenta pontos extras incentivando a implementação de estratégias mais eficientes (ELETROBRAS/PROCEL, 2012).

O próprio manual do RTQ-R salienta a importância da participação dos usuários no resultado final de eficiência da edificação, pois

...uma edificação eficiente com usuários ineficientes pode tornar-se uma edificação ineficiente. Da mesma forma, edificações ineficientes podem aumentar de forma considerável a sua eficiência se houver um empenho dos seus usuários nesse sentido. (ELETROBRAS/PROCEL, 2012, p.6)

Como o foco desta pesquisa está delimitado em uma Unidade Habitacional Autônoma, observa-se que o RTQ-R (INMETRO, 2012) avalia requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, à eficiência do(s) sistema(s) de aquecimento de água e a eventuais bonificações. Ao final, de acordo com a pontuação final obtida é atribuída uma classificação que varia do nível A (mais eficiente) ao E (menos eficiente), conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação do Nível de Eficiência de Acordo com a Pontuação Obtida

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: INMETRO, 2012, p.6.

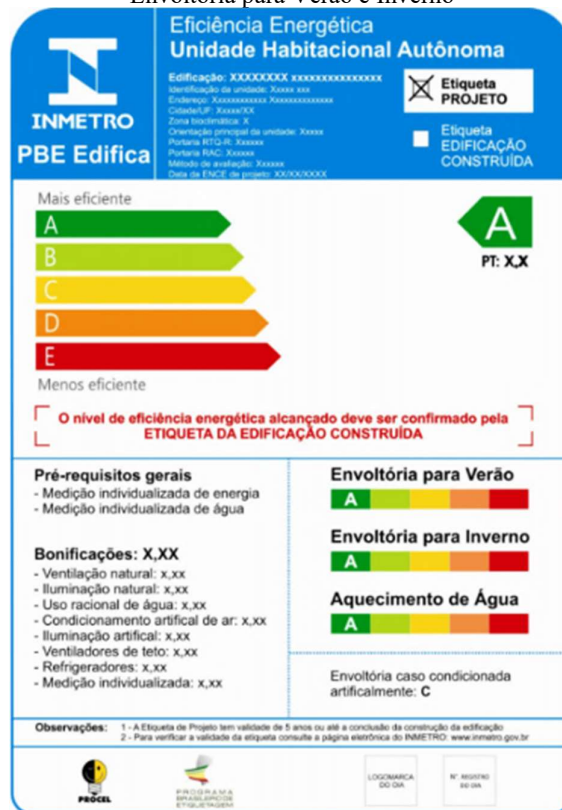
O mesmo regulamento também pondera que todos os envolvidos nos diferentes usos das edificações e seus sistemas podem colaborar para melhorar e conservar sistemas energeticamente eficientes, do mesmo modo que

...a regulamentação por si não garante qualidade em níveis de eficiência em uma edificação. Maiores níveis de eficiência podem ser alcançados por meio de estratégias de projeto e por iniciativas e cooperação dos diversos agentes envolvidos na construção. (ELETROBRAS/PROCEL, 2012, p.5).

A obtenção de uma etiqueta de eficiência não é definitiva e pode ser continuamente melhorada com inovações tecnológicas ao longo dos anos, criando o hábito do aprimoramento constante em eficiência energética (ELETROBRAS/PROCEL, 2012).

Juntamente com o RTQ-R (INMETRO, 2012), têm-se outras normativas complementares do programa PBEEdifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem) como é o caso do RAC (Requisitos de Avaliação de Conformidade para Eficiência Energética de Edificações) criado através da portaria nº 50/2013 (INMETRO, 2013). O RAC é um mecanismo de Inspeção com foco na Eficiência Energética que utiliza os requisitos técnicos e métodos para classificação de edificações quanto à eficiência energética previstos nos RTQs para o objeto. A inspeção objetiva a concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (Figura 7), de acordo com os Regulamentos Técnicos da Qualidade para este objeto, visando estimular a concepção de edificações mais eficientes.

Figura 7 - ENCE da Unidade Habitacional Autônoma para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4 - Inclui a Eficiência da Envolória para Verão e Inverno



Fonte: INMETRO, 2013.

Estas ENCES são divididas em seis tipos, três (Unidade Habitacional Autônoma, Edificação Multifamiliar e Áreas de Uso Comum) para cada etapa do projeto (Etiqueta Projeto e Etiqueta Edificação Construída). Sendo que para a obtenção da etiqueta é necessário o cumprimento das diversas etapas de inspeção previstas nesta norma.

Nesta pesquisa, foram utilizados parâmetros para aberturas sugeridos pelo RTQ-R para estabelecer o percentual mínimo de iluminação e ventilação conjuntamente com outras normativas como a NBR 15575(ABNT, 2021) e o Código de Obras de Passo Fundo (LC399, 2016). A avaliação da etiquetagem não foi utilizada para avaliar a edificação pois esta normativa está em processo de atualização e não era o foco da pesquisa.

2.1.5 Norma ASHRAE 55 - Condições Ambientais Térmicas Para Ocupação Humana

Para Rupp e Ghisi (2019), esta normativa é referência internacional quando se trata da avaliação de conforto térmico em espaços internos e apresenta dois procedimentos de avaliação: Um se baseia no modelo analítico de Fanger (1970), por meio dos índices PMV (*Predicted*

Mean Vote) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), derivados de experimentos em câmaras climáticas. Assim, restringe-se as condições de conforto dentro e uma variação de 0,5 para mais e para menos, de modo que, estabelecendo esta tolerância, há uma variação significativa no consumo de ar condicionado e não necessariamente no conforto; O outro procedimento envolve o conforto térmico adaptativo, relacionando a temperatura de conforto interna à edificação com a do ar externo, sendo este utilizado para ventilação natural, somente (RUPP E GHISI, 2019; ASHRAE, 2020).

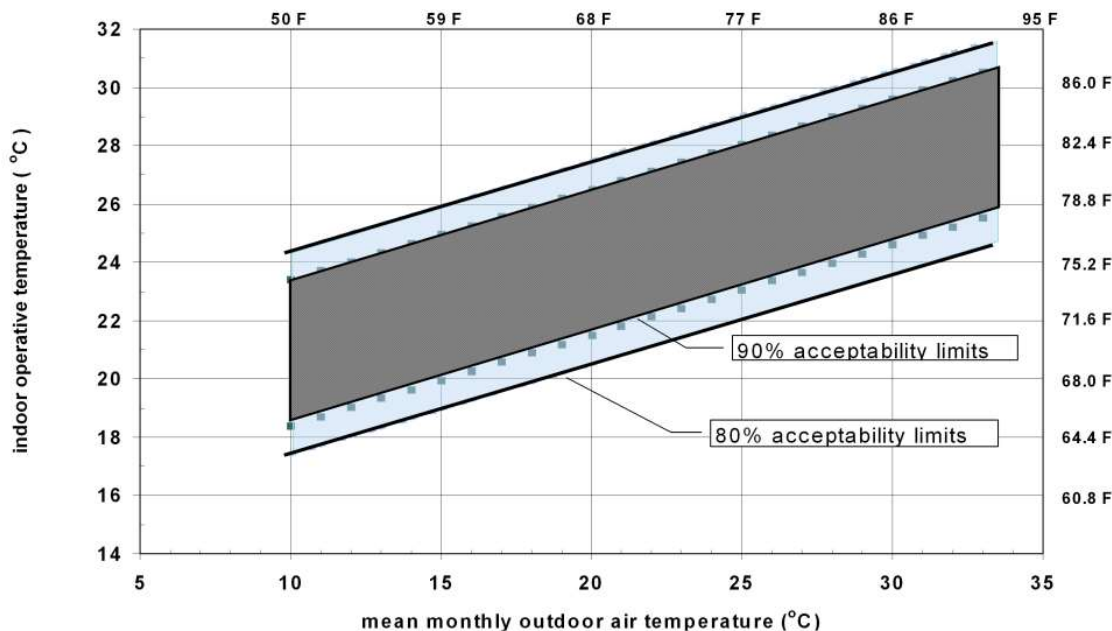
Conforme o estudo de Lima (2020), a normativa norte-americana ASHRAE STANDARD 55 foi publicada pela primeira vez em 1966, e republicada nos anos de 1974, 1981 e 1992. Sendo, a partir de 2004, de acordo com Sudbrack (2017) atualizada, até a versão mais atual de 2017. O objetivo principal desta normativa é especificar os fatores ambientais térmicos e fatores pessoais e subjetivos que influenciam nas condições ambientais consideradas favoráveis à maioria dos ocupantes de um ambiente, sendo também empregada para a avaliação do conforto térmico em edificações (LIMA, 2020).

Apesar de a ASHRAE 55 apresentar dois métodos avaliativos de conforto térmico em edificações (o método estático e o método adaptativo), o Adaptativo será utilizado nas avaliações realizadas nesta pesquisa pois permite uma maior flexibilidade de temperaturas. Este método considera o homem como agente ativo, que interage com o meio de acordo com suas sensações e preferências térmicas (ASHRAE, 2020). Permitindo assim, que o usuário opere as aberturas da edificação para controle da temperatura.

Em espaços ventilados naturalmente onde é possível a operação das janelas pelos ocupantes (fechar e abrir), a resposta térmica do ambiente dependerá em parte do clima externo e poderá ter uma faixa de conforto mais ampla devido a adaptação do espaço. Este modelo assume que os ocupantes adaptam suas roupas às condições térmicas e são sedentários (1,0 a 1,3 metros). Não deve haver nenhum sistema de resfriamento mecânico, mas este método não se aplica se um sistema de aquecimento mecânico estiver em operação (MILNE, 2009).

Conforme a ASHRAE 55, as respostas térmicas dos ocupantes dependem também, em parte, da temperatura externa em ambientes, quando os ambientes não são climatizados artificialmente. Nos espaços que atendem os critérios da norma, há dois limites operacionais de temperatura: um com 80% de aceitabilidade e outro com 90% de aceitabilidade. Para estabelecer 90% de aceitabilidade, a temperatura operativa interna pode oscilar em $+2,5^{\circ}\text{C}$ ou $-2,2^{\circ}\text{C}$ da temperatura calculada. Para 80% de aceitabilidade, os limites podem variar de $+3,5^{\circ}\text{C}$ ou $-3,2^{\circ}\text{C}$, de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Faixa de Temperatura Operativa aceitáveis para ambientes naturalmente condicionados conforme a ASHRAE 55



Fonte: ASHRAE (2020).

Estes limites do modelo adaptativo de conforto térmico derivam de banco de dados global, determinando a temperatura operativa interna conforme a temperatura média mensal externa (ASHRAE, 2020). Para a aplicação destes limites, as temperaturas médias mensais externas à edificação não podem ser menores de 10°C ou maiores de 33,5°C.

2.1.5.1 Programa para auxílio de interpretação da ASHRAE 55 Modelo Adaptativo: Climate Consultant

Este programa de interface computacional, segundo Milne (2009), foi desenvolvido para auxiliar no entendimento do clima conforme o local. Possui interface relativamente simples e utiliza dados climáticos em formato EPW de 8760 horas que são disponibilizados gratuitamente pelo Departamento de Energia para milhares de estações meteorológicas em todo o mundo (mesmos utilizados no programa Energy Plus). É importante considerar que os dados do vento nos arquivos EPW são geralmente registrados no topo de um edifício alto ou em uma grande área desobstruída como um aeródromo. Desse modo, em ambientes urbanos mais densos as velocidades do vento serão muito mais baixas (MILNE, 2009).

O Climate Consultant tem por objetivo traduzir dados climáticos brutos em diferentes gráficos que representam e organizam estas informações climáticas juntamente com o respectivo impacto na forma construída de acordo com o lugar específico do planeta. Ele

também cria automaticamente uma lista de diretrizes projetuais com base nos atributos de cada clima local e, em seguida, exibe um esboço ilustrando como cada diretriz se aplica (MILNE, 2009). Nesta pesquisa, o Climate Consultant será utilizado para gerar as principais diretrizes projetuais para residências a partir dos dados climatológicos da cidade de Passo Fundo – RS extraídos do site Climate.onebuilding.org (BRA_RS_Passo.Fundo.AP.839140_TMYx.2004-2018.epw), considerando os mais recentes disponíveis (2004 a 2008).

Na interface do programa é possível optar por uma das quatro definições de conforto: Modelo de Conforto do Código de Energia da Califórnia, 2013 (PADRÃO); Padrão ASHRAE 55 e Manual Atual do Modelo Fundamental; Manual ASHRAE de modelo de conforto básico até 2005; ou Modelo Adaptivo de Conforto da ASHRAE Standard 55-2010. Cada modelo apresenta sua própria tela de critérios e modifica a forma como o conforto é mostrado na carta psicrométrica e em demais gráficos. Nesta pesquisa foi utilizada a versão mais recente da Ashrae 55 disponível no aplicativo, que é o Modelo Adaptivo de Conforto da ASHRAE Standard 55-2010 (*Adaptative Confort Model in ASHRAE Standart 55-2010*). Para a configuração da ventilação natural, foram utilizadas as definições conforme a Tabela 10 a seguir.

Tabela 9 - Índices de Conforto da Ventilação Natural Utilizados para Passo Fundo-RS

Conforto Adaptativo de Ventilação Natural	
90%	Limite de Aceitabilidade (80% ou 90%)
11.8	Temperatura Média Mensal Mínima do Banco de Dados Externo (10° C ou menos)
23.7	Temperatura Média Mensal Máxima do Banco de Dados Externo (33.5° C ou menos)
19.0	Conforto Abaixo – Mínimo de Temperatura Operativa neste Clima
27.7	Conforto Acima – Máximo de Temperatura Operativa neste Clima
A velocidade do ar é controlada pela abertura e fechamento das janelas.	

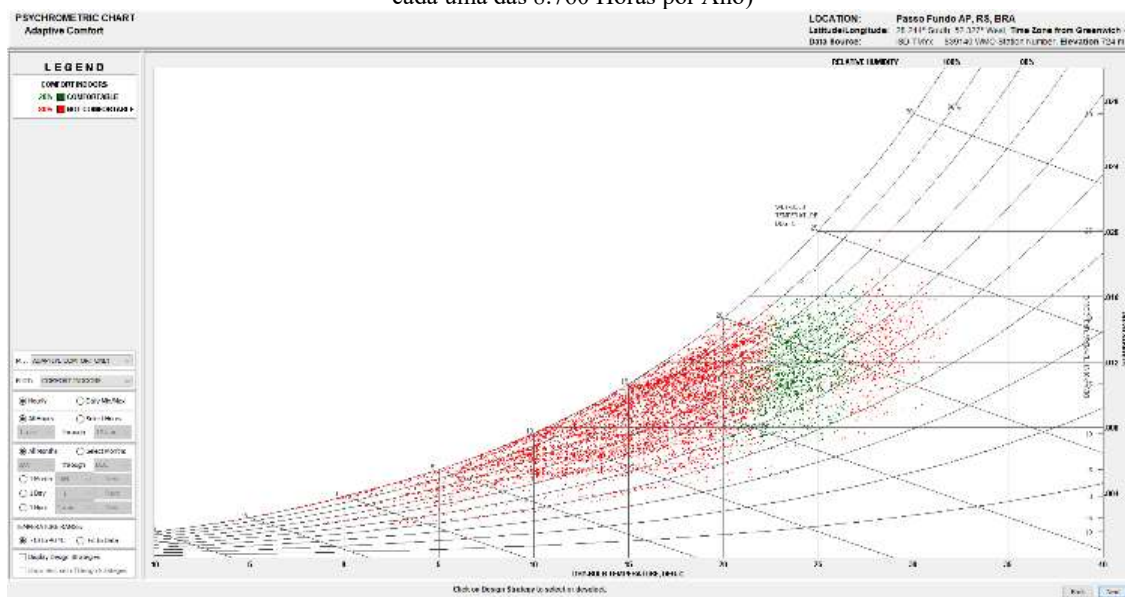
Fonte: Aplicativo *Climate Consultant 6.0*, adaptado pela autora.

Muitas das estratégias geradas pelo programa Climate Consultant podem ser usadas simultaneamente, a exemplo da “*Sun Shading*” (Proteção Solar) que funciona com todas as outras estratégias de resfriamento. Algumas estratégias, porém, podem entrar em conflito umas com as outras, por exemplo: a Ventilação Natural geralmente implica baixa massa de construção com grandes aberturas durante o dia, enquanto a Construção de Alta Massa Térmica geralmente é fechada durante o dia para manter o “frio” da noite anterior nas paredes e pisos de alta massa. Assim, geralmente é melhor incorporar na construção uma estratégia de refrigeração ou a outra, usando aquela que possui respectivo percentual de horas superior e é mais compatível com a estratégia de aquecimento passivo que foi selecionada para o projeto (MILNE, 2009).

Assim, cada lista de diretrizes é diferente de acordo com cada clima diferente, respondendo à pergunta de como este clima local específico implica em uma forma arquitetônica específica. Sendo que, esta lista de diretrizes de design será revisada automaticamente sempre que qualquer uma das estratégias projetuais for eliminada da Carta Psicrométrica. Por exemplo, se a casa não for usar resfriamento evaporativo, basta clicar na linha da Estratégia correspondente e ela será eliminado, gerando uma nova lista revisada das 20 principais estratégias dentre as 68 inseridas no programa (MILNE, 2009).

Conforme os dados de entrada que foram inseridos no programa, é possível observar o alcance apenas 20% das horas anuais em conforto utilizando apenas a estratégia de Conforto Adaptativo (ver Figura 8). Porém, se geradas as estratégias utilizando os parâmetros ASHRAE 55 (2020) que o Climate Consultant 6.0 dispõe, é possível alcançar 100% das horas anuais em conforto, segundo o programa (Ver Figura 9).

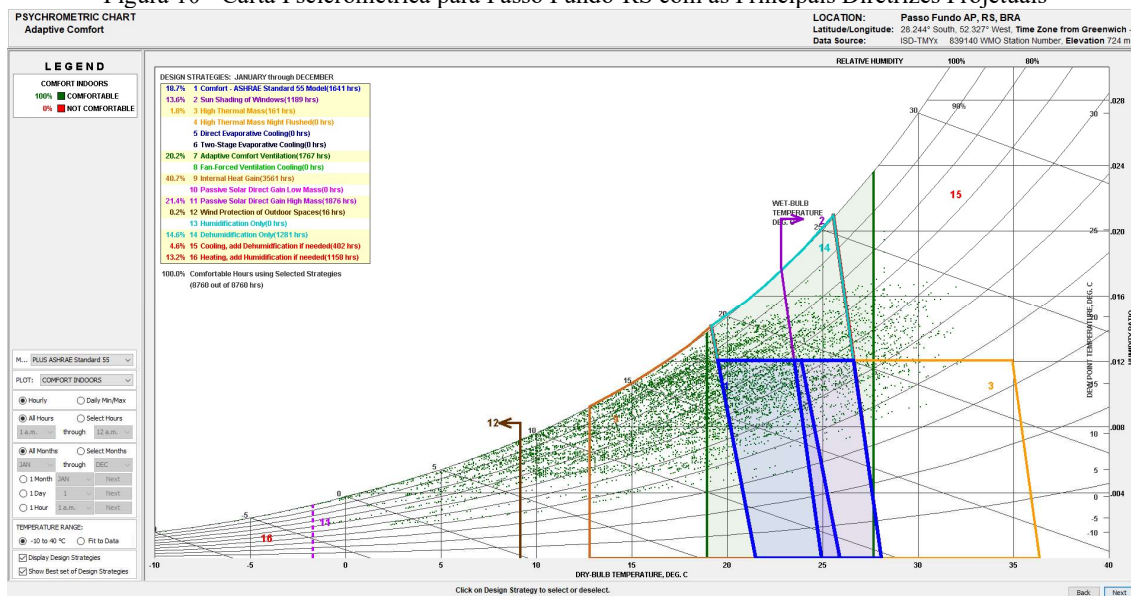
Figura 9 - Carta Psicrométrica para Passo Fundo-RS (Os Pontos Representam a Temperatura e a Umidade de cada uma das 8.760 Horas por Ano)



Fonte: Aplicativo *Climate Consultant 6.0*, adaptado pela autora.

Quando se utiliza os parâmetros da ASHRAE 55 (2020) para gerar a carta psicrométrica para residências em Passo Fundo – RS (Figura 9), é possível gerar conjuntamente a lista de diretrizes e percentuais de horas relativas de desempenho térmico adequado da edificação, conforme observa-se na Tabela 11.

Figura 10 - Carta Psicrométrica para Passo Fundo-RS com as Principais Diretrizes Projetuais



Fonte: Aplicativo *Climate Consultant 6.0*, adaptado pela autora.

Esta lista mostra a porcentagem de horas que se enquadra em cada uma das 14 diferentes Zonas de Estratégias Projetuais e dá uma ideia relativa de qual estratégia para o aquecimento ou resfriamento passivo é mais eficaz (Tabela 11).

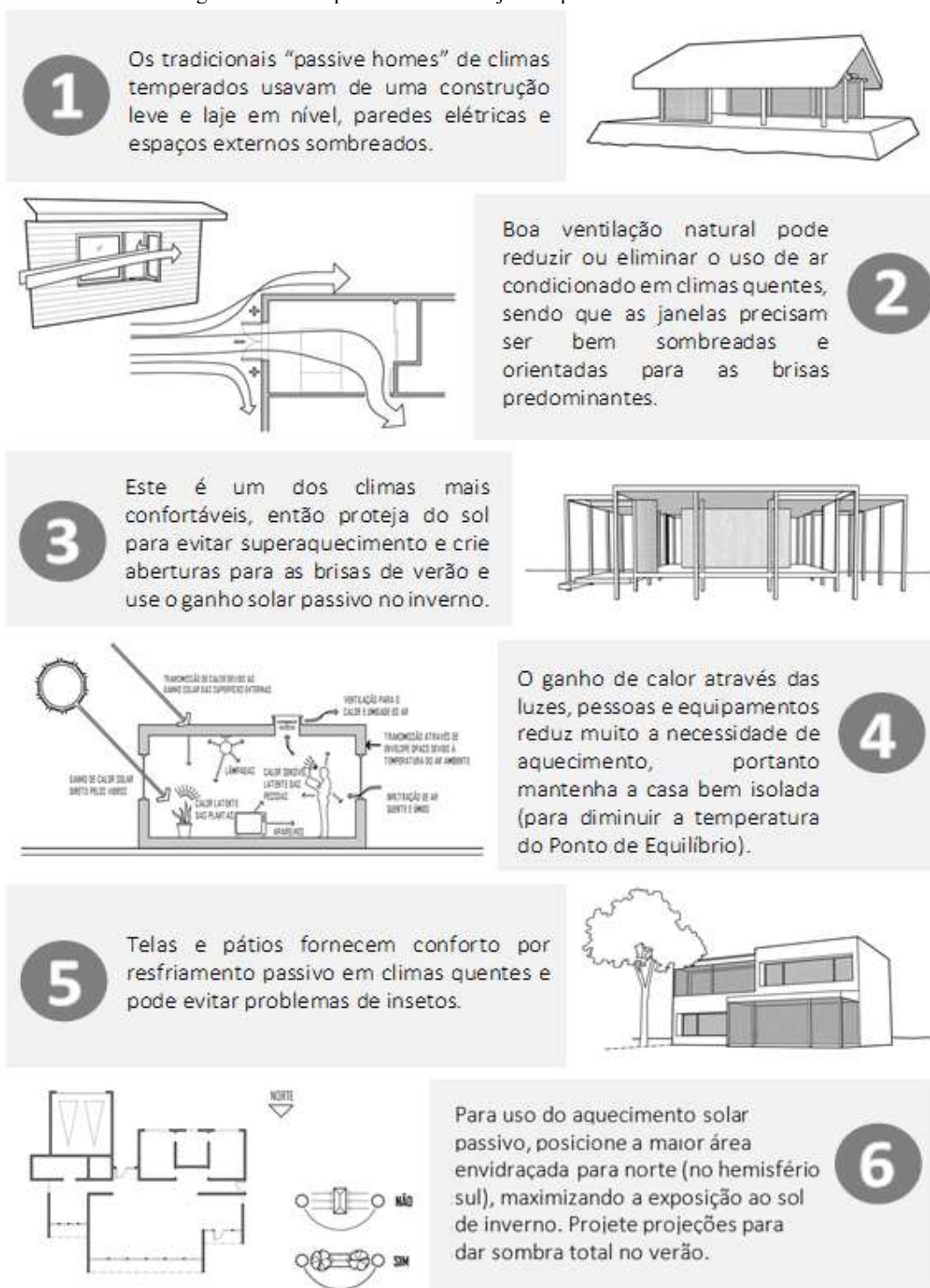
Tabela 10 - Principais diretrizes Projetuais para Passo Fundo-RS

Porcentagem de Horas Anuais	Estratégia Sugerida
18,7%	1.Conforto – Modelo ASHRAE 55 Standart (1641 horas)
13.6%	2.Proteção Solar das Janelas (1189 horas)
1.8%	3.Alta Massa Térmica (161 horas)
20.2%	7.Ventilação de Conforto Adaptativo (1767 horas)
40.7%	9.Ganho de Calor Interno (3561 horas)
21.4%	11.Ganho Solar Passivo de Alta Massa (1876 horas)
0.2%	12.Proteção contra o Vento em Espaços Abertos (16 horas)
14.6%	14.Somente Desumidificação (1281 horas)
4.6%	15.Resfriamento, adicione desumidificação se necessário (402 horas)
13.2%	16.Aquecimento, adicione desumidificação se necessário (1158 horas)

Fonte: Aplicativo *Climate Consultant 6.0*, adaptado pela autora.

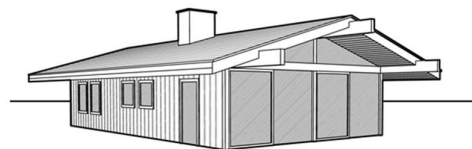
A tabela de percentuais apresentada pelo programa se desdobra em um conjunto de Estratégias de Design Passivo selecionadas na Carta Psicrométrica e uma lista de Diretrizes de Projeto complementar. Estas estratégias bioclimáticas serão consideradas no processo de simulação do container (Figura 10).

Figura 11 - Principais Diretrizes Projetuais para Passo Fundo Detalhadas



7

Telhados de baixa inclinação e com grandes beirais funcionam bem em climas temperados



8

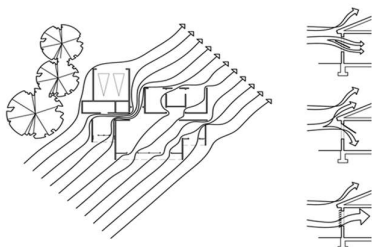
Utilizar vidros duplos de alto desempenho e baixa transmitância na fachada oeste, norte e leste. Porém, duplos de maior transmitância na fachada sul para ganho de aquecimento solar passivo.

9

A planta baixa longa e estreita da construção pode ajudar a maximizar a ventilação cruzada em climas temperados quentes e úmidos.

10

“Passive Homes” em locais quentes e úmidos utilizam mansardas e janelas altas operáveis (francesas) protegidas por saliências profundas e varandas.

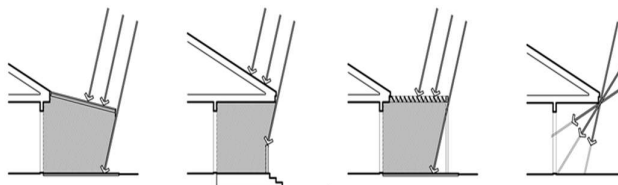


Para facilitar a ventilação cruzada, localize as aberturas de portas e janelas nos lados opostos da edificação, com aberturas maiores voltadas para cima, se possível.

11

12

Beirais de janela (projetados conforme a latitude da edificação) ou guarda-sóis operáveis (toldos que se estendem no verão) podem reduzir ou eliminar o consumo de ar condicionado.



13

Para capturar a ventilação natural, a direção do vento pode ser de até 45 graus em relação à edificação.

Reduza a temperatura de conforto do termostato à noite para reduzir o consumo de energia com aquecimento.

14

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados os aspectos que envolvem a metodologia utilizada para simulação de desempenho térmico, verificando as diretrizes para o procedimento de simulação computacional e estabelecendo etapas que serão seguidas na modelagem para alcançar os resultados da edificação em estudo. O capítulo, conjuntamente com os métodos, já apresenta também as características fixas da tipologia de residência a ser estudada, como por exemplo, o material do contêiner, suas dimensões, uso e localização de modo que servirão condicionantes de projeto para as análises computacionais.

Para Frota (2015), os softwares são ferramentas de grande valia e recursos indispensáveis completos para fornecer diretrizes de projeto tanto para espaços urbanos quanto para edificações. Para a realização de simulações há diversos programas que podem ser utilizados: o site do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCELINFO, 2020) reúne opções de 37 simuladores de projetos de eficiência energética com opções de *download*. A escolha o programa a ser utilizado considerou também as exigências do RTQ-R (INMETRO, 2012), que define que o programa computacional utilizado para a simulação termo energética deve possuir, no mínimo, as seguintes características:

1. ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
2. ser verificado de acordo com testes propostos pela ASHRAE Standard 140 - -2004: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.;
3. modelar 8.760 horas por ano;
4. modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
5. modelar efeitos de inércia térmica;
6. modelar efeitos de multi-zonas térmicas;
7. ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
8. determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
9. produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações;
10. produzir relatórios horários do uso final de energia. (INMETRO, 2012, p.64).

A partir da observação das diversas opções de programas computacionais nacionais e internacionais que estão sendo desenvolvidas para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de desempenho térmico de edificações, percebe-se que, atualmente, existem variadas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações e a sua escolha vai depender da aplicação (LABEEE, 2021). Nesta pesquisa, será adotado o software EnergyPlus 8.7.0, um software de simulação de carga térmica e análise energética desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos a partir de dois outros softwares, o BLAST e o DOE-2. Este programa foi adotado em virtude de seu amplo

uso em pesquisas sobre o tema e por possibilitar simulações confiáveis de diversas tipologias arquitetônicas, avaliando a carga térmica da edificação (LABEEE, 2021).

3.1. Caracterização do Objeto de Estudo

Esta etapa da pesquisa apresenta o objeto de estudo como sendo uma proposta de moradia mínima utilizando um Contêiner (Figura 10). A definição do modelo de contêiner utilizado decorre de suas características que não contam, inicialmente, com nenhuma estratégia de isolamento térmico somado ao seu dimensionamento que se adequa às exigências das normas quanto ao uso residencial. O local de implantação adotado é a região Norte do Rio Grande do Sul, utilizando-se como cidade representativa Passo Fundo/RS.

Figura 12 - Ilustração de Contêiner High-Cube 40'



Fonte: MIRANDA, 2020.

Para as análises realizadas, foi estabelecido o contêiner modelo High Cube Dry 40' (Figura 10) que é composto por chapas de aço ondulado de 14mm, equipado internamente com piso de compensado naval 30mm de espessura e possui medidas gerais conforme a Tabela 13, totalizando área interna sem intervenções de 28,27m² (PORTO, 2020; MIRANDA, 2020).

Tabela 11 - Informações de Medidas Contêiner High Cube Dry

	Medidas Internas	Medidas Externas
Comprimento	12,03m	12,19m
Largura	2,35m	2,44m
Altura	2,69m	2,90m

Fonte: PORTO, 2020.

Quanto aos aspectos relacionados ao desempenho térmico da edificação, a transmitância térmica do metal do envoltório dos contêineres se mostra o desafio mais considerável, observado por Romano et al. (2014), tornando-se importante o desenvolvimento de novos

métodos e seleção de materiais inovadores a serem aplicados para mitigar a transferência da temperatura do material. Desse modo, a Tabela 14 apresenta as propriedades básicas do contêiner que representarão condicionantes iniciais para o desempenho da edificação.

Tabela 12 - Densidade de Massa Aparente(r), Condutividade Térmica (l) e Calor Específico (c) dos Materiais do Contêiner

Materiais	Aço	Aberturas de vidro comum	Compensado Naval	Pintura externa
Rugosidade	Medianamente Suave	Suave	Medianamente Rugoso	Suave
Espessura	0,14	0,003	0,03	0,01
Condutibilidade Térmica (W/(m.K))	55	1,0	0,15 a 0,12	-
Densidade (Kg/m³)	7800	2500	500	-
Calor Específico (J/Kg-K)	460	840	2300	-

Fonte: NBR 15.220-02 (ABNT, 2005)

A partir da presença destes materiais, desenvolver-se-á formas de alcançar a melhoria do desempenho térmico através de todo um conjunto de configurações e materiais que compõe a edificação.

3.1.1 Definição de Planta

Ao adotar o modelo de contêiner a ser simulado (High Cube 40' Dry), propôs-se a disposição interna dos espaços de forma simplificada para que atenda de maneira genérica à diferentes formas de uso residencial. As compartimentações internas foram dispostas de modo a minimizar o uso de paredes, gerando uma espécie de loft aberto que pode ou não ser compartimentado conforme a necessidade do morador. Essa compartimentação inicial em dois ambientes (Sala/cozinha/dormitório contíguos no mesmo espaço e 1 banheiro separado por parede dry-wall) se deu considerando as diretrizes propostas pela NBR15575 (ABNT, 2021) que prevê que as residências unifamiliares devem ter, no mínimo, ambientes para estar, repouso, preparo de alimentos e higiene – ver Tabela 15. As dimensões dos cômodos levaram também em consideração o dimensionamento mínimo previsto no Código de Obras de Passo Fundo- RS (LC 399, 2016) - cidade adotada como base para representar a Região Norte do Rio Grande do Sul.

Tabela 13 - Móveis e Equipamentos Padrão a Serem Utilizados em uma Moradia para Casal

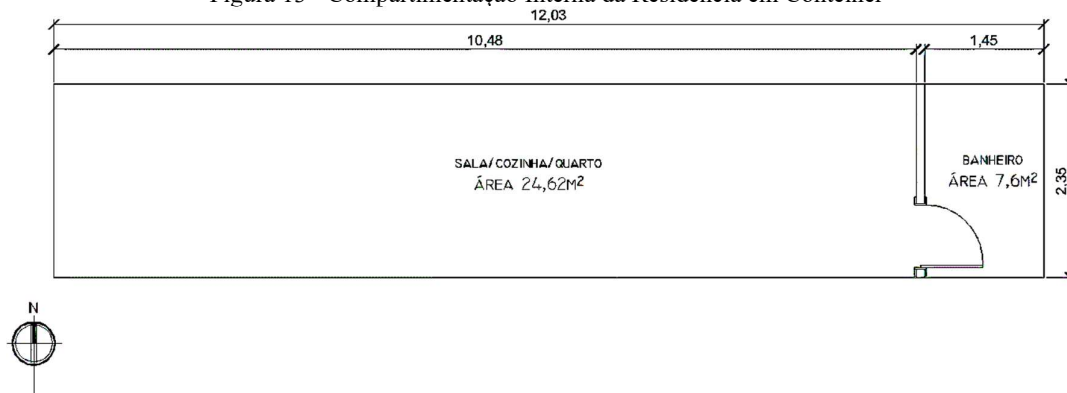
Ambiente	Móvel	Dimensões (m)		Circulação	Observações
		Larg.	Prof.		
Sala de estar (sofá de 2 lugares + estante + poltrona)	Sofá de dois lugares sem braço	1,00	0,70	Prever espaço de 0,50 m na frente do assento, para sentar, levantar e circular	A largura mínima da sala de estar deve ser de 2,40 m. Número mínimo de assentos determinado pela quantidade de habitantes da unidade, considerando o número de leitos.
	Estante/armário para TV	0,80	0,50	0,50 m	Espaço para o móvel obrigatório
Sala de estar/copa/cozinha (para alimentar, mesa com 4 cadeiras)	Mesa redonda para quatro lugares	0,95 (diam.)	-	Circulação mínima de 0,75 m a partir da borda da mesa (espaço para afastar a cadeira e levantar)	A largura mínima da sala de estar/jantar e da sala de jantar (isolada) deve ser de 2,40 m. Mínimo: uma mesa para quatro pessoas. É permitido leiaute com o lado menor da mesa encostado na parede, desde que haja espaço para seu afastamento, quando da utilização.
Cozinha (Fogão + Geladeira + Pia + armário sob a pia + gabinete + apoio refeição para duas pessoas)	Pia	1,20	0,50	Circulação mínima de 0,85 m frontal à pia, fogão e geladeira	Largura mínima da cozinha: 1,50 m Mínimo: pia, fogão e geladeira e armário
	Fogão	0,55	0,60		
	Geladeira	0,70	0,70		
	Armário pia e gabinete	-	-	-	Espaço obrigatório para móvel
	Apoio para refeição	-	-	-	Espaço opcional para móvel
Dormitório casal (Cama casal + guarda-roupa + criado-mudo)	Cama de casal	1,40	1,90	Circulação mínima entre o mobiliário e/ou paredes de 0,50 m	Mínimo: uma cama, dois criados-mudos e um guarda-roupa. É permitido somente um criado-mudo, quando o 2º interferir na abertura de portas do guarda-roupa
	Criado-mudo	0,50	0,50		
	Guarda-roupa	1,60	0,50		
Banheiro (Lavatório + chuveiro + vaso sanitário)	Lavatório	0,39	0,29	Circulação mínima de 0,4 m frontal ao	Largura mínima do banheiro: 1,10 m, exceto no box. Mínimo: um lavatório, um vaso e um box.
	Vaso sanitário (caixa acoplada)	0,60	0,70		

	Box retangular	0,70	0,90	lavatório e vaso	
Área de serviço (Tanque (externo para unidades habitacionais térreas) + máquina de lavar roupa)	Tanque	0,52	0,53	Circulação mínima de 0,50 m frontal ao tanque e máquina de lavar	Mínimo: um tanque e uma máquina (tanque de no mínimo 20 L)
	Máquina de lavar roupa	0,60	0,65		

Fonte: NBR15575 (ABNT, 2021), adaptado pela autora.

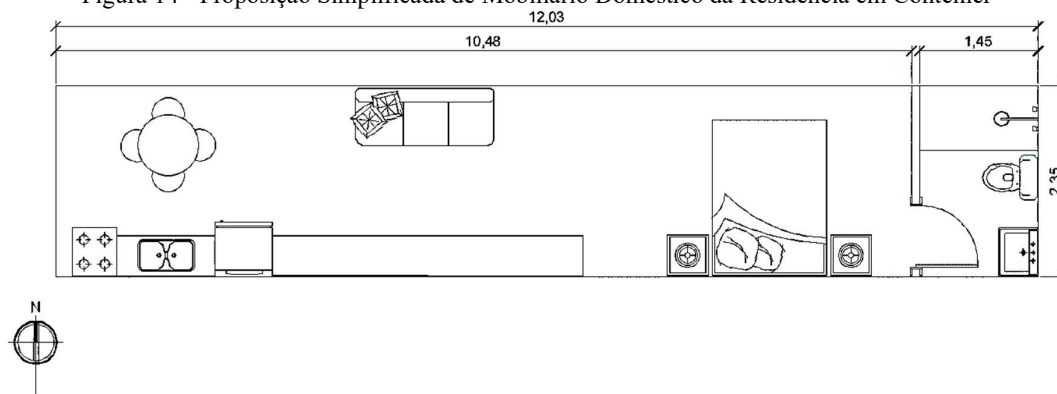
A NBR 15575 (ABNT, 2021) não estabelece as dimensões mínimas para cada cômodo, considerando de responsabilidade dos projetistas a incumbência de projetar os espaços da habitação conforme o mobiliário mínimo adequado e buscando evitar conflitos com os demais regulamentos estaduais e municipais. Assim, buscou-se desenvolver a compartimentação com base nas exigências mínimas e necessidades básicas para uma residência no contêiner conforme representado nas Figuras 11 e 12.

Figura 13 - Compartimentação Interna da Residência em Contêiner



Fonte: A autora.

Figura 14 - Proposição Simplificada de Mobiliário Doméstico da Residência em Contêiner



Fonte: A autora.

Do mesmo modo, para a disposição das aberturas foram adotadas as medidas mínimas previstas nas normativas aplicáveis, buscando contemplar as diversas normas, compilou-se esse comparativo na Tabela 16.

Tabela 14 - Exigências e Sugestões Normativas para Aberturas

	Código de Obras (LC399, 2016)	RTQ-R (INMETRO, 2012)	NBR 15575(ABNT, 2021)
Portas	Mínimo 2,10m de altura Mínimo 0,90m de largura para acesso à Unidades Autônomas Mínimo 0,80 de largura para demais portas internas Iluminação: 1/6 da área do piso Ventilação: 1/12 da área do piso	Ventilação: Acima de 8% da área do piso (ZB2), passíveis de fechamento. Iluminação: A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente (descontado as esquadrias)	Durante o dia, as dependências da edificação habitacional (sala, dormitório, cozinha e área de serviço) devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes maior ou igual a 60 lux. Recomenda-se que a iluminação natural das salas de estar e dormitórios seja provida de vãos de portas ou de janelas. No caso das janelas, recomenda-se que a cota do peitoril esteja posicionada no máximo a 100 cm do piso interno, e a cota da testeira do vão no máximo a 220 cm a partir do piso interno. Ventilação: Ambientes de permanência prolongada ⁶ (dormitórios e salas de estar) devem prever aberturas acima de 7% da área do piso.
Janelas	Iluminação: 1/6 da área do piso Ventilação 1/12 da área do piso		
Circulações	Mínimo 1,0m	-	-

Fonte: INMETRO (2012); LC399 (2016); ABNT (2021), adaptado pela autora.

Somado às exigências dimensionais apresentadas na tabela acima, o RTQ-R (INMETRO, 2012) também prevê que para as edificações da Zona Bioclimática 2 é necessário o uso de

...ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas compreendido pelas aberturas externas e internas. Portas de acesso principal e de serviço não serão consideradas como aberturas para ventilação. O projeto de ventilação natural também deve promover condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações da edificação, permitindo o fluxo de ar necessário para atender condições de conforto e higiene (INMETRO, 2012, p.27 e 28).

⁶ Ambientes de permanência prolongada são aqueles de ocupação contínua por um ou mais indivíduos, incluindo sala de estar, sala de jantar, sala íntima, dormitórios, escritório, sala de TV ou ambientes de usos similares. Não são considerados ambientes de permanência prolongada: cozinha, lavanderia ou área de serviço, banheiro, circulação, varanda aberta ou fechada com vidro, *solarium*, garagem, dentre outros que sejam de ocupação transitória (Portaria nº. 18/2012 – RTQ-R).

Quanto ao acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada, este deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior e, em casos de cálculo de área útil do ambiente para dimensionamento de percentual de iluminação, a área de corredor deve ser desconsiderada do cálculo, mesmo se o corredor for contíguo a algum ambiente (INMETRO, 2012). O dimensionamento das aberturas foi baseado nas metragens definidas pelos Código de Obras de Passo Fundo, comparadas com as diretrizes descritas no RTQ-Q, pois ambas apresentam porcentagens mínimas, considerando como critério de aplicação no anteprojeto o maior valor em metros quadrados, conforme os cálculos da Tabela 17.

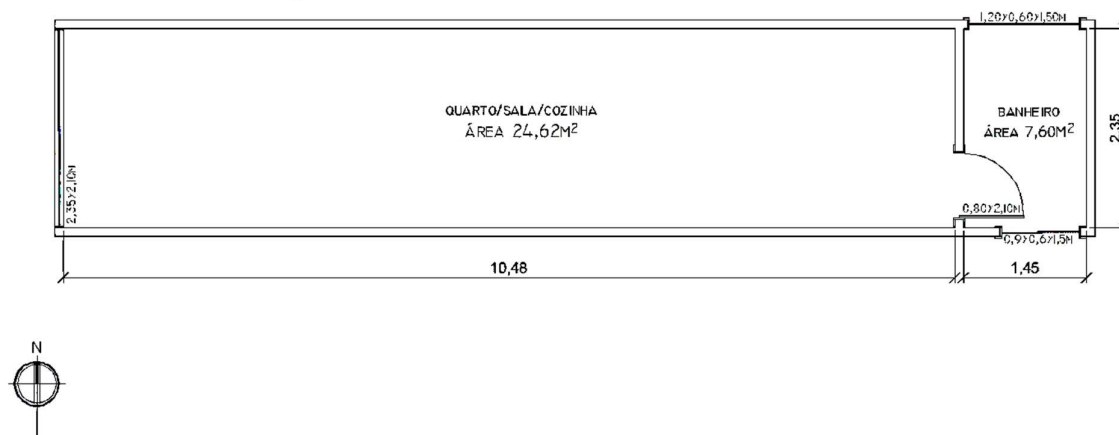
Tabela 15 - Cálculo de Áreas para Aberturas

	Área do piso	LC 399(2016)		RTQ-R (2012)	
		Ventilação	Iluminação	Ventilação	Iluminação
Banheiro	7,60m ²	1/12= 0,63m ²	1/6= 1,26m ²	8%=0,60m ²	12,5%=0,95m ²
Quarto/Sala/Cozinha	24,62m ²	1/12= 2,05m ²	1/6= 4,10m ²	8%=1,96m ²	12,5%=3,07m ²

Fonte: Adaptado pela autora.

Somado ao comparativo quanto ao dimensionamento mínimo de ventilação e iluminação, buscou-se também contemplar a exigência da NBR 15575 (ABNT, 2013) quanto altura mínima de pé-direito dos ambientes para habitação compatíveis com as necessidades humanas, mantendo não inferior a 2,50 m. Já o Código de Obras de Passo Fundo (LC399, 2016), no que concerne os residenciais multifamiliares, apresenta a área útil mínima da unidade residencial autônoma que deverá ser de 25,00m². Após a verificação dos requisitos apresentados formulou-se a proposição de planta-baixa para a edificação residencial, conforme a Figura 13.

Figura 15 - Áreas dos Cômodos da Residência em Contêiner



Fonte: A autora.

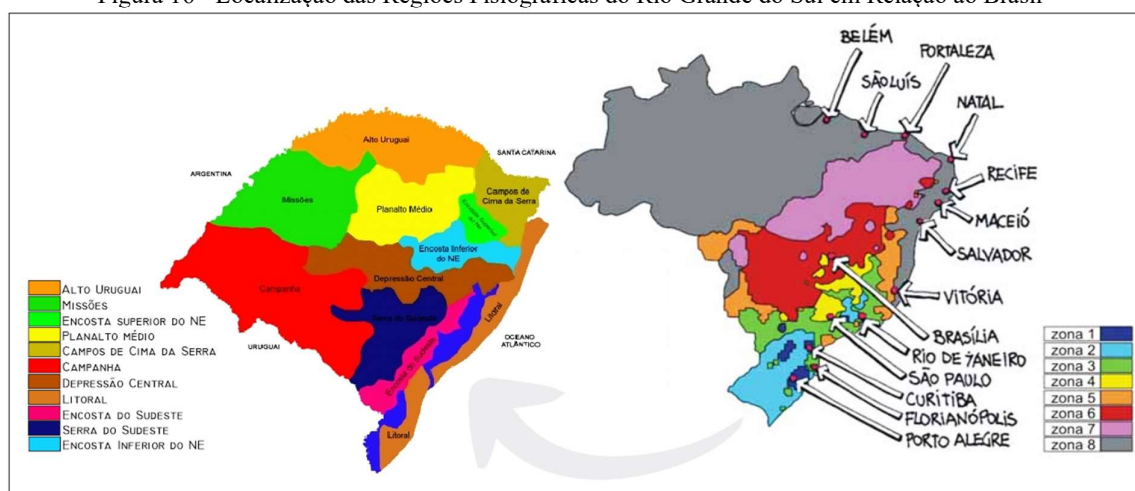
A proposição e disposição do layout foi desenvolvida de maneira exemplificativa de modo a ilustrar que é possível contemplar todas as exigências legais para espaços residenciais,

sendo que a abordagem do projeto de interiores não é o foco da pesquisa. Por se tratar de um espaço multiuso sem divisões, permite diferentes disposições de mobiliário para diferentes estilos de vida dos usuários, assunto que pode ser abordado mais profundamente em pesquisas futuras.

3.2 Caracterização do Clima Local

Para este estudo, delimitou-se a região Norte do Rio Grande do Sul (Regiões Fisiográficas do Alto Uruguai e Planalto Médio), que pertencentes à ZB2 (Figura 14), utilizando a cidade de Passo Fundo-RS (Latitude 28° Sul e Longitude 52° Oeste), sobretudo, como base para as simulações.

Figura 16 - Localização das Regiões Fisiográficas do Rio Grande do Sul em Relação ao Brasil



Fonte: LAMBERTS et al. (2014); IFCRS (2020); adaptado pela autora.

A cidade de Passo Fundo-RS apresenta a cota média 687m e clima mesotérmico úmido (temperado) e, conforme os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), a menor temperatura registrada no município é de -3,5°C e a maior 36,3 °C como referência à normais climatológicas (Tabela 18). Segundo site da Embrapa (EMBRAPA, 2020), o clima local é descrito como subtropical úmido (Cfa), com chuva bem distribuída durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. Os maiores números de “horas de frio”⁷ abaixo de 10°C” se apresentam nos meses de abril a outubro, configurando uma média de 1000 horas anuais conforme medições de 1979 a 1992, sendo que os ventos predominantes são de direção Nordeste (EMBRAPA, 2020). No Rio Grande do Sul temos Estações do ano bem

⁷ O número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de uma dada temperatura base constitui um índice agroclimático denominados horas de frio. (EMBRAPA, 2020)

caracterizadas - com verão quente, inverno frio e outono mais frio do que a primavera -, uma variação entre 2.200 a 2.500 horas de sol por ano e umidade relativa do ar em torno de 75% e 85%.

Tabela 16 - Normais Climatológicas da cidade de Passo Fundo-RS (1961 a 1990)

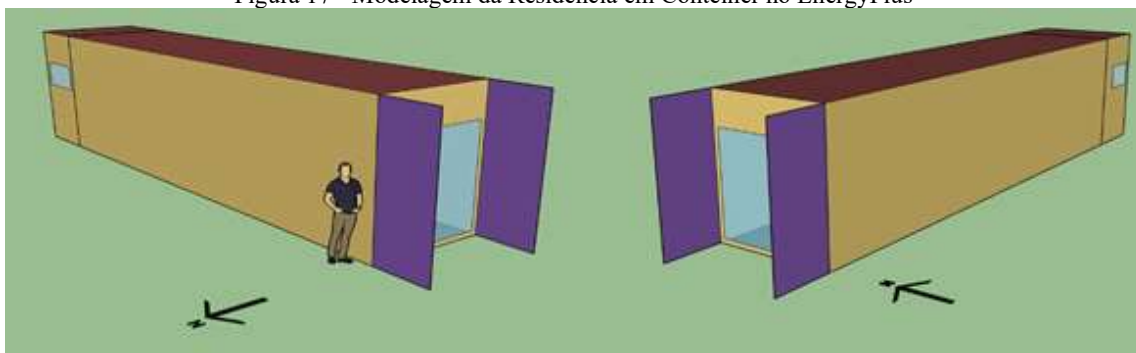
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Pressão Atmosf. (mb)	934,8	935,6	936,7	938,2	939,2	939,9	940,4	939,3	938,7	936,9	935,1	934,4	937,4
Temp. média (°C)	22,1	21,9	20,6	17,6	14,3	12,7	12,8	14,0	14,8	17,7	19,8	21,5	17,5
Temp. máx. (°C)	28,3	28	26,7	23,7	20,7	18,4	18,5	19,9	21,2	23,8	26	27,8	23,6
Temp. mín. (°C)	17,5	17,5	16,3	13,5	10,9	8,9	8,9	9,9	11	12,9	14,8	16,5	13,2
Temp. máx. Absoluta (°C)	35,6	35,7	34,2	33,1	30,6	27,2	28,4	31,4	33	34,5	38,3	37,1	38,3
Temp. mín. Absoluta (°C)	9,5	7,2	5,1	1,6	-1,4	-2,5	-3,8	-2,9	-0,9	2,8	4	6,5	-3,8
Precipitação Total (mm)	143,4	148,3	121,3	118,2	131,3	129,4	153,4	165,7	206,8	167,1	141,4	161,5	1787,8
Umidade R. (%)	71	74	75	74	75	76	75	73	72	69	67	67	72
Insolação (horas)	238,8	208,1	207	185,2	181,1	15,7	162,6	161,1	154,9	202,3	220,6	254,2	2329,6
Nebulos. (0-10)	5,2	5,3	4,9	4,7	4,7	5,2	5,1	5,4	5,9	5,4	5,3	5,0	5,2

Fonte: EMBRAPA, 2020.

Complementarmente, para efeitos de simulação, estabeleceu-se um terreno hipotético plano sem intervenções de vegetação ou edificações próximas. Quanto às definições de orientação solar, conforme estudos de Cunha (2006), a melhor orientação quanto ao desempenho térmico será aquela que proporciona máxima radiação durante o período frio e a mínima durante o período quente. Com base nessas orientações, estabeleceu-se a posição inicial da edificação com face longitudinal voltada para o norte⁸. Como o ambiente de maior permanência tem a maior face lateral voltada para o norte, há a possibilidade de maior insolação durante todo o ano, priorizando a incidência solar nos dias frios, bem como a possibilidade de ventilação natural (Figura 15).

⁸ Fachada norte é aquela cuja normal à superfície está voltada para a direção de 0° a partir do Norte geográfico, podendo ser também consideradas fachadas cuja orientação variarem de - 45° a + 45° em relação a essa orientação (INMETRO, 2012)

Figura 17 - Modelagem da Residência em Contêiner no EnergyPlus



Fonte: A autora.

Tomando como partido a complexidade climática da implantação do estudo, a determinação dos princípios de desenho do edifício e escolha dos materiais empregados precisam ser feitas de modo a associar soluções para vários climas, as quais devem ser utilizadas de forma parcimoniosa e com eventuais ajustes (CUNHA, 2006).

3.3 Modelagem do Caso Base

Para simulação computacional realizada, com enfoque no desempenho termoenergético do Contêiner *High Cube Dry 40'*, foi utilizado o software Sketchup Make 2017 com plug-in EnergyPlus 8.7.0 e extensão Euclid 0.9.3.

O processo de simulação computacional foi realizado a partir de uma modelagem detalhada da edificação no programa definido. Nessa fase de modelagem todas as informações predeterminadas para a residência são representadas de maneira a corresponder com a forma mais próxima à realidade, mesmo que simplificada. Selecionando as diretrizes de modelagem de envoltória previstas no RTQ-R (INMETRO, 2012) aplicáveis a edificação residencial estudada, temos que: cada ambiente deve ser modelado como uma única zona térmica, modelado através de seu desenho em planta e extrudado conforme o pé-direito da edificação.

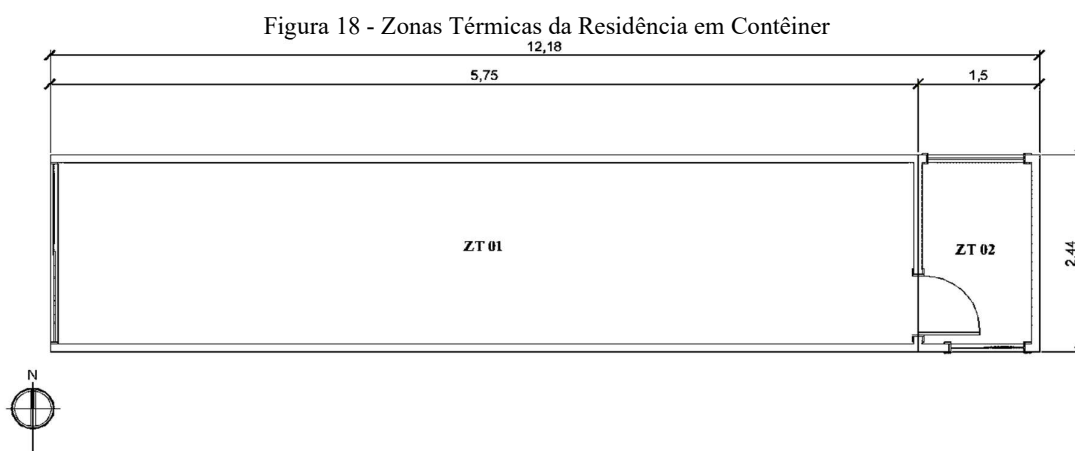
Segundo o LABEEE (2021), para realizar-se uma simulação no EnergyPlus é necessário, inicialmente, modelar a geometria - através de coordenadas cartesianas - e os componentes construtivos - tratados como *layers*, criando cada camada constituinte. Desse modo, a maioria das informações necessárias para o cálculo do fluxo de ar é automaticamente extraída da descrição da edificação para a modelagem térmica.

O modelo gerado conterá suas características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto especificado, sendo assim, cada cômodo da Unidade Habitacional, que constitui uma zona térmica, terá características específicas. A partir do volume geométrico, insere-se as aberturas de portas e janelas

correspondentes, bem como a representação dos planos para sombreamento da edificação (brises e coberturas). Toda a fase de modelagem e representação em 3 dimensões do EnergyPlus é feita através da interface do SketchUp com o uso de comandos próprios do programa EnergyPlus, além de alguns compartilhados da interface do SketchUp.

Como o formato da envoltória da edificação a ser pesquisada já se apresentava definido com a adoção do contêiner como base de projeto, um quadrilátero com as medidas apresentadas na Tabela 10 (página 44), não será necessário testes com variação de formato externo. Já a compartimentação interna se fez necessária previamente para que se pudesse definir as zonas térmicas e as aberturas a serem adotadas para a simulação.

Na modelagem do Contêiner com a interface do EnergyPlus foram definidas 2 zonas térmicas de acordo com os ambientes da unidade habitacional, onde cada cômodo separado por paredes é uma zona térmica. Para o dimensionamento das zonas térmicas considera-se de eixo a eixo das paredes internas até a face externa da parede externa (Figura 16).



Fonte: A Autora.

A zona térmica 01 (ZT01) corresponde à área de permanência prolongada na simulação, nela se concentram os ambientes de cozinha, dormitório e sala de estar e corresponde à maior parte do contêiner. Já a zona térmica 02, correspondente ao banheiro, não será considerada como área de permanência prolongada, porém precisa ser simulada pois influencia no desempenho térmico da ZT01. Os dimensionamentos foram modelados respeitando as dimensões do contêiner *high cube dry* 40' e conforme as diretrizes da NBR 15575 (ABNT, 2021)

3.3.1 Arquivo Climático

Para uma simulação próxima à realidade climática, é preciso fazer uso de um arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) a ser inserido no programa utilizado. Este arquivo contém

as informações climáticas de uma determinada região para que a simulação seja o mais aproximado do clima local (MOTA, 2016; BENDER et al., 2020). Segundo o RTQ-R (INMETRO,2012), as características exigidas são:

fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar; os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto sob avaliação será locado e, caso o local do projeto não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes; devem ser utilizados arquivos climáticos disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (www.eere.energy.gov) ou os arquivos climáticos publicados no sítio www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios, em formatos tais como TRY e TMY (INMETRO, 2012, p.64 e 65).

Ao realizar a simulação do contêiner para a região norte do Rio Grande do Sul, utilizou-se como base o arquivo climático mais recente para cidade de Passo Fundo – RS (RS_Passo_Fundo.epw).

3.3.2 Configuração do Modelo

Além da construção e atribuição de informações de acordo com as características construtivas da edificação, faz-se necessário configurar os demais elementos do modelo, ou seja, outros materiais empregados e descrever como a edificação é utilizada, tais dados serão descritos a seguir.

Considerando o material do contêiner que, inicialmente, é apenas aço, essas propriedades devem ser inseridas na envoltória na fase de configuração conforme informações da NBR15220 (ABNT,2005) e representado na Figura 17.

Figura 19 - Características do Material Original da Envoltória do Contêiner no EnergyPlus

Field	Units	Obj1
Name		aco
Roughness		MediumSmooth
Thickness	m	0,014
Conductivity	W/m-K	55
Density	kg/m3	7800
Specific Heat	J/kg-K	460
Thermal Absorptance		0,25
Solar Absorptance		0,4
Visible Absorptance		0,4

Fonte: A autora

A ocupação dos edifícios por pessoas, máquinas e equipamentos, juntamente com a radiação solar, resultam no ambiente interno temperaturas superiores às do ar externo e devem ser consideradas para estabelecimento de condições de desempenho da edificação (FROTA, 2015). Quando um Ambiente de Permanência Prolongada for utilizado como sala e dormitório (quitinetes, lofts, etc.) este deve ser modelado como uso misto e o padrão de ocupação

corresponde à união dos valores correspondentes aos ambientes de sala e dormitório, conforme Tabela 19 (ABNT, 2021).

Tabela 17 - Padrões de Ocupação Diários para Ambientes de Permanência Prolongada e Uso Misto

Horário	Uso Misto (%)
00:00 – 07:59	100
08:00 – 13:59	0
14:00 – 17:59	50
18:00 – 23:59	100

Fonte: ABNT (2021), adaptado pela autora.

Considerando a ocupação de 2 pessoas para ambientes mistos, a NBR 15575 (ABNT, 2021) determina considerar as cargas internas referentes à ocupação dos usuários nos Ambientes de Permanência Prolongada (Tabela 19), bem como o uso de iluminação artificial (Tabela 20) e de equipamentos (Tabela 21) tanto para o modelo real, quanto ao modelo de referência.

Tabela 18 - Padrões de Uso do Sistema de Iluminação Artificial em Ambientes de Uso Misto

Hora	Uso Misto (%)
00:00 – 05:59	0
06:00 – 07:59	100
08:00 – 15:59	0
16:00 – 23:59	100

Fonte: ABNT (2021), adaptado pela autora.

A Norma 15575 (ABNT, 2021) traz um padrão de potência das cargas internas de equipamentos que deve ser considerada para ambientes de uso misto a ser considerada, do mesmo modo para todos os dias do ano (Tabela 21).

Tabela 19 - Período de Uso, Densidade de Cargas Internas e Fração Radiante para Equipamentos dos Ambientes de Permanência Prolongada

Ambiente	Período de Uso	Potência (W)	Fração Radiante
Uso Misto	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: ABNT (2021), adaptado pela autora

A definição do fator de influência do metabolismo humano na ocupação da residência é definida em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente e deve-se adotar uma taxa metabólica para cada atividade (INMETRO, 2012). Tanto o RTQ-R (INMETRO, 2012) quanto a NBR 15575 (ABNT, 2021) consideram a área de pele média de 1,80 m² - equivalente à área de pele de uma pessoa média (Tabela 22).

Tabela 20 - Taxas Metabólicas e Fração Radiante para os Usuários em Ambientes de Uso Misto

Ambiente	Período de Uso	Atividade Realizada	Calor Produzido para área de superfície corporal W/m ²	Calor produzido por uma pessoa com 1,80m ² de área de superfície corporal W	Fração Radiante
Uso Misto	00:00 – 07:59	Descansando ou dormindo	45	81	0,30
	22:00 – 23:59				
	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: ABNT (2021), adaptado pela autora.

Para realizar a análise do desempenho térmico da Unidade Habitacional devem ser elaborados dois modelos computacionais da edificação, o modelo real e o modelo de referência, conforme a aplicação que veremos a seguir.

3.3.3. Modelo de Edificação Real

Inicialmente modelou-se uma simulação do que seria a edificação inicial, nomeada pela NBR15575 (ABNT, 2021) como Edificação Real. Essa modelagem consiste em uma residência em contêiner *High Cube Dry* 40' sem o emprego de materiais isolantes e considerando apenas os mínimos de aberturas para ventilação e iluminação estabelecidos pelas normativas que foram resumidos na Tabela 16. Nesta modelagem foram mantidas as portas de metal originais do contêiner de transporte funcionando como sombreamento da maior abertura voltada para leste, seguindo as seguintes instruções da NBR15575:

O modelo real deve representar a edificação a ser analisada conforme suas características volumétricas, percentuais de elementos transparentes e de aberturas para a ventilação, propriedades térmicas dos sistemas construtivos e presença dos elementos de sombreamento externos fixos na fachada, quando existentes (ABNT, 2021, p.25).

Para a modelagem da Edificação Real não foram utilizadas estratégias de isolamento (apenas estrutura original do contêiner em aço), dimensionando minimamente as aberturas conforme as normativas (Tabela 16) e utilizando vidro simples e esquadrias com percentual de ventilação 0,45%. A edificação é composta por: 1 espaço de permanência prolongada em volume quadrangular regular com esquadria operável (2,10 x 2,24m) na face leste, aproveitando o espaço já perfurado para a porta do contêiner; 1 banheiro de permanência transitória adjacente à face oeste com 2 janelas nas faces norte e sul (0,60 x 1,20m e 0,60 x 0,90m respectivamente), permitindo a disposição do layout mínimo necessário; divisória entre ambientes com placas de gesso e câmara de ar interna (Resistencia térmica = 0,34m².k/W) juntamente com uma porta de madeira conectando os dois ambientes; forro em gesso e câmara de ar (Resistencia térmica

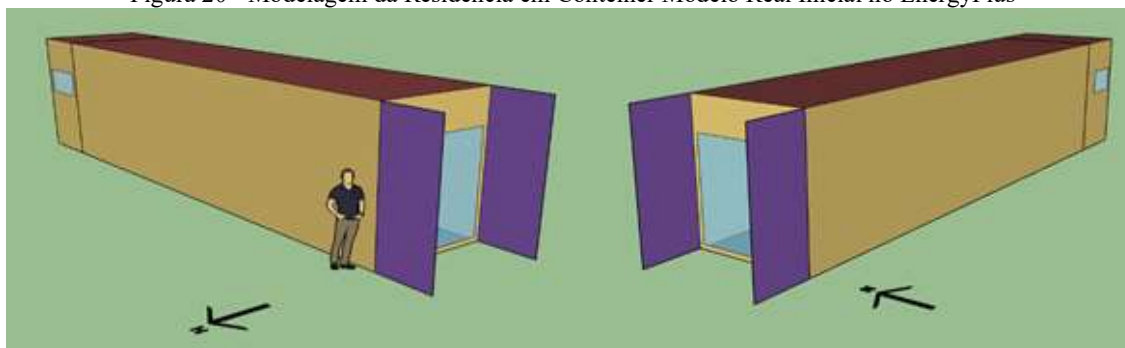
= 0,61m².k/W) abaixo de todo o teto de aço; Esquadrias em vidro simples 3mm. Ver Tabela 21 e Figura 18.

Tabela 21 - Propriedades dos Materiais

Materiais	Aço	Aberturas de vidro comum	Compensado Naval	Argamassa	Porta Madeira	Gesso	Piso cerâmico
Rugosidade	Médio Suave	Suave	Médio Rugoso	Médio Rugoso	Médio Rugoso	Médio Suave	Muito Suave
Espessura (m)	0,014	0,003	0,03	0,05	0,04	0,0125	0,01
Condutibilidade Térmica (W/(m.K))	55	5,7	0,15	0,01	0,17	0,35	0,9
Densidade (Kg/m ³)	7800	-	500	2000	700	850	2000
Calor Específico (J/Kg-K)	460	-	2300	1000	2300	840	920
Absortância Térmica	0,25	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância à radiação solar	0,4	-	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4

Fonte: A autora.

Figura 20 - Modelagem da Residência em Contêiner Modelo Real Inicial no EnergyPlus



Fonte: A autora.

A simulação deste modelo produziu dados referentes às temperaturas internas da edificação, hora a hora, durante todo o ano. Estes dados serão utilizados, juntamente com os obtidos na simulação da Edificação de Referência, no cálculo que define o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa e do nível de desempenho da edificação.

3.3.4. Modelo de Edificação de Referência

Já o modelo de referência será modelado no Energy Plus utilizando as dimensões do modelo real, porém respeitando as modificações exigidas pela norma NBR15575 (ABNT, 2021).

O modelo de referência deve representar a edificação a ser analisada, adotando as características de referência. Este modelo deve manter a volumetria do modelo real,

alterando os percentuais de elementos transparentes e de aberturas para a ventilação, bem como as propriedades térmicas dos sistemas construtivos. No modelo de referência não são considerados os elementos de sombreamento externos fixos na fachada, como brises e venezianas, assim como não é considerada a presença de sacadas. (ABNT, 2021, p.25).

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021), este modelo deve adotar paredes e pisos referentes a um elemento de vedação com 100mm de espessura, com as propriedades da Tabela 23.

Tabela 22 - Propriedades Térmicas de Paredes e Pisos para Modelo de Referência

Elemento	Condutividade térmica W/ (m.K)	Calor Específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade Kg/m ³
Paredes Externas	1,75	1000	0,58	0,90	2200
Paredes Internas	1,75	1000	Mesmo valor do modelo real	Mesmo valor do modelo real	2200
Pisos	1,75	1000	Mesmo valor do modelo real	Mesmo valor do modelo real	2200

Fonte: ABNT (2021).

O modelo de referência também deve adotar como cobertura externa telhas de 6mm de espessura, câmara de ar com resistência térmica de 0,21 (m².k)/W e laje de 100mm de espessura, conforme Tabela 24.

Tabela 23 - Propriedades Térmicas da Cobertura para o Modelo de Referência

Elemento	Condutividade térmica W/ (m.K)	Calor Específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade Kg/m ³
Telha 6mm de espessura	0,65	840	0,65	0,90	1700
Laje com 100mm de espessura	1,75	1000	Mesmo valor do modelo real	Mesmo valor do modelo real	2200

Fonte: ABNT (2021).

A representação dos elementos transparentes no modelo de referência deve atender ao percentual especificado para elementos transparentes da norma NBR15575 (ABNT, 2021) e o posicionamento deve respeitar os mesmos centros geométricos dos respectivos elementos transparentes previstos no modelo real. Conforme proposto pela NBR15575 (ABNT, 2021), o percentual de elementos transparentes da envoltória deve ser 17% da área do piso do ambiente com fator solar de 0,87 e transmitância térmica de 5,70 W/(m².K).

Ao aplicar a determinação das aberturas à área do Ambiente de Permanência Prolongada (que possui 24,62m²), temos o valor de aproximadamente 4,2m² de áreas envidraçadas. Já o fator de ventilação de 45% permite calcular o percentual de abertura para ventilação, expresso pelo cálculo a seguir (ABNT, 2021):

$\text{Percentual de elementos transparentes} = 100 \times \frac{\text{Área total de elementos transparentes (\%)}}{\text{Área piso do amb. de perm. prolongada}}$
$\text{Percentual de elementos transparentes} = 100 \cdot (4,2/24,62) = 20,3\%$

Fonte: ABNT, 2021, adaptado pela autora.

Do mesmo modo, o modelo de referência deve preservar o Percentual de Elementos Transparentes de 17% e considerar os perfis de esquadria ao redor de cada elemento transparente conforme a Tabela 25.

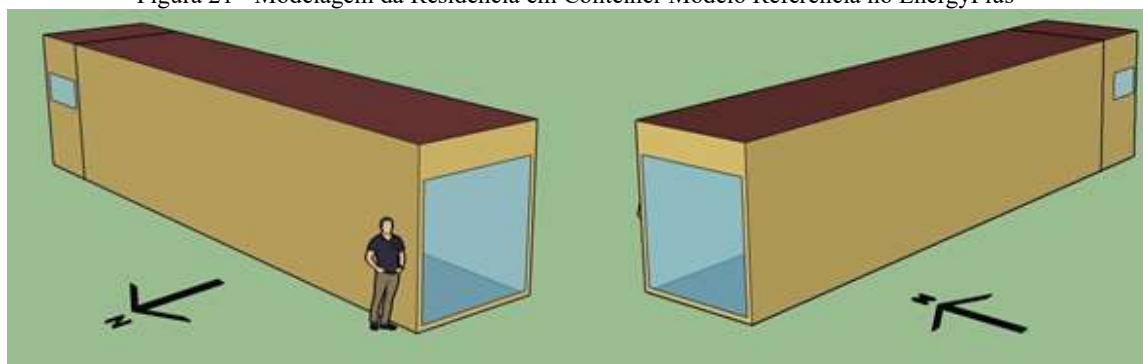
Tabela 24 - Características dos Perfis das Esquadrias para o Modelo de Referência

Elemento	Absortância à radiação solar dos perfis	Emissividade de onda longa dos perfis	Condutância térmica $W/(m^2.K)$	Largura dos perfis da esquadria
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56	50

Fonte: ABNT, 2021.

Como resultado da modelagem da edificação de referência no Energy Plus (Figura 19), temos: Propriedades dos materiais alteradas conforme as tabelas acima citadas respeitando a mesma volumetria da edificação real; Aumento da janela leste para 2,25 x 2,24m; Retirada dos elementos de sombreamento; Os demais dados que não foram abordados serão considerados os mesmos do modelo real, em consonância com a NBR15575 (ABNT, 2021).

Figura 21 - Modelagem da Residência em Contêiner Modelo Referência no EnergyPlus



Fonte: A autora.

A representação em imagem no plug-in do Energy Plus se mostra bastante parecida quanto à volumetria, entretanto todas as características dos materiais são inseridas na parte gráfica do programa. As simulações foram feitas com as janelas fechadas e com as janelas operáveis pelo usuário isoladamente e os dados resultantes de temperaturas internas anuais e cargas térmicas de aquecimento e de resfriamento serão utilizadas para os cálculos de

percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa e do nível de desempenho da edificação, juntamente com os resultados da Edificação Real.

3.4. Simulação Com Uso de Ventilação Natural

Quanto a análise da ventilação natural da residência, a NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta alguns requisitos que o sistema deve observar:

Para o modelo simulado com o uso de ventilação natural, deve-se permitir a abertura das janelas apenas quando o Ambiente de Permanência Prolongada estiver ocupado, de acordo com os critérios de temperatura

- Quando a temperatura de bulbo seco interna do APP for igual a 19°C; e
- Quando a temperatura de bulbo seco interna for superior à temperatura de bulbo seco externa.

... Para os APT destinados a banheiros, devem-se considerar as janelas sempre abertas, com percentual de abertura para ventilação igual ao estabelecido no projeto. (ABNT, 2021, p.34).

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

1. o percentual de horas de ocupação do ambiente de permanência prolongada dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFTAPP). Esta faixa de temperatura operativa de acordo com o clima local, sendo, no caso da unidade habitacional em estudo, de 18 °C a 26 °C;

2. a temperatura operativa anual máxima (TomáxAPP) do ambiente de permanência prolongada, considerando apenas os períodos em que estiver ocupado conforme a agenda de uso estabelecida pela NBR15575.

3. por se localizar na zona bioclimática 2, também deve ser determinada a temperatura operativa anual mínima (TomínAPP) do ambiente de permanência prolongada, considerando apenas os períodos de ocupação (ABNT, 2021).

3.5. Simulação Sem Uso de Ventilação Natural

O modelo sem a ventilação natural será utilizado para obtenção dos dados de carga térmica tanto para o Modelo Real, quanto para o Modelo de Referência.

Segundo a NBR 155775 (ABNT,2021), a partir da simulação sem o uso da ventilação natural devem ser determinados:

1. o somatório anual dos valores horários da carga térmica de refrigeração (CgTRAPP);
2. o somatório anual dos valores horários da carga térmica de aquecimento (CgTAAPP); ambos são referentes aos ambientes de permanência prolongada, sendo que, a carga térmica de aquecimento somente é exigida para edificações localizadas em climas que se enquadrem no Intervalo 1, ou seja, que possuam média anual da temperatura externa de bulbo seco inferior a 25 °C (ABNT, 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas NBR 15575. Edificações Habitacionais – Desempenho, 2021.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10520. Informação e Documentação – Citações – Apresentação, 2002.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 14724. Informação e Documentação – Trabalhos Acadêmicos - Apresentação, 2011.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6023. Informação e Documentação – Referencias - Elaboração, 2002.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6027. Informação e Documentação – Sumário – Apresentação, 2012.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6028. Informação e Documentação – Resumo – Apresentação, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401. Instalações de Ar-Condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 9000: Sistemas de Gestão de Qualidade – Fundamentos e Vocabulário. Rio de Janeiro, 2005^a.

ALMEIDA, Caliane Christie Oliveira de. Habitação Social: Origens e Produção (Natal, 1889-1964). 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e do Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos - SP. Acesso em: Junho de 2020.

ALMEIDA, Reginaldo Magalhães de. ‘Uma Cidade Industrial’ de Tony Garnier: repensando a gênese do urbanismo progressista, no centenário de sua publicação. 2017. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Frevistademorfologiaurbana.org%2Findex.php%2Frmu%2Farticle%2Fdownload%2F6%2F5%2F&psig=AOvVaw3jyyN0ZeFwoTIqMieKlwKH&ust=1604152119590000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxFwoTCNCP4eC63OwCFQAAAAAdAAAAABAU>. Acesso em: Outubro de 2020.

AMORIM, Enderson Luís; OLIVEIRA, Gescica Kiara de; COSTA, Jocilene Ferreira da; FERREIRA, Joubert Paulo. Reutilização De Containers Marítimos Na Construção De Residências: Benefícios No Consumo Dos Recursos E Geração De Resíduos Sólidos. 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade - CONRESOL. Gramado/RS. 2018.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy. ISSN 1041-2336. Atlanta, 2020.

ATAÍDE, Sara Vaz Serra Brito. Tecnologia no Doméstico: Habitar a Cápsula. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009. Disponível em: https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/11572/1/sara_ataide.pdf. Acesso em: Junho de 2020.

AYMONINO, C. La Vivenda Racional: Ponencias de los congresos CIAM 1929-1930. Barcelona, 1973.

BENDER, L. V.; LEITZKE, R. K.; FREITAS, J. R. de; CUNHA, E. G. da; SALAMONI, I. T. Estudo da paridade Econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 489-508, out./dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400484>. Acesso em: Outubro de 2020

BENEVOLO, Leonardo. História da Arquitetura Moderna – São Paulo: Perspectiva, 2016.

BIAGIONI, Bruna Maria. Os limites do mínimo: discussão sobre o modelo de moradia destinado ao povo. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. doi:10.11606/D.102.2018.tde-12012018-110236. Acesso em: Maio de 2020. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-12012018-110236/en.php>.

BITTENCOURT, Leonardo. Introdução à Ventilação Natural/ Leonardo Bittencourt, Christhina Cândido. – Maceió: EDUFAL, 2015.

BOGO, Amilcar; PIETROBON, Claudio E.; BARBOSA, Miriam Jeronimo; GOULART, Solange; PITTA, Telma; LAMBERTS, Roberto. Bioclimatologia Aplicada ao projeto de edificações visando o Conforto Térmico. Relatório Interno – 02/94. Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina. 1994. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf. Acesso em: Novembro de 2020.

BONDUKI, Nabil. Origens da Habitação Social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria – 7ª Ed. – São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 2017.

BORTOLI, Karen Carrer Ruman De; VILLA, Simone Barbosa. Conforto Ambiental Como Atributo Para A Resiliência Em Habitações De Interesse Social Brasileiras. Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente, v. 5, n. 3. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/20077>. Acesso em: Novembro de 2020.

CABRAL, Piantá Costa Cabral. Grupo Archigram, 1961-1974: Uma fábula técnica. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior d' Arquitectura de Barcelona, ETSAB, Barcelona, 2001. Disponível em:

CARBONARI, Luana Toralles; BARTH, Fernando. Reutilização de contêineres padrão ISO na construção de edifícios comerciais no sul do Brasil. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, 2015. Disponível em: <https://doaj.org/article/9f74b140243c452e8d80a00239aae0ad>. Acesso em: Junho de 2020.

CARVALHO, Nyany Cardim de; GUIMARÃES, Mabel Gomes; CASTILHO, Leonardo Augusto Gómez. Desenvolvimento de Alternativas Sustentáveis Para Habitação de Baixa Renda. 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo – SP. 2008. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/17382/17382.PDF>. Acesso em: Maio de 2020.

CF/88. Constituição Federativa do Brasil. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: Junho de 2020.

CHALK, Warren. 1964. fotografia. Casas cápsulas, torres e torres, planos e detalhes. Disponível em: <http://archigram.net/portfolio.html>. Acesso em: Novembro 2020.

CHING, Francis D. K. História Global da Arquitetura. Bookman, Grupo A, 3ª Ed. 2019.

CLARK, John. Shipping Container Homes:How To Build A Shipping Container Home For Cheap And Live Mortgage-Free For Life. Published of United States of America, 2015.

COHEN, S.C.; KLIGERMAN, D. C.; MONTEIRO, S. C. F.; CARDOSO, T. A. O.; BARCELOS, M. R. B. Habitação saudável como determinante social da saúde: experiências internacional e nacional. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca / Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ - Rio de Janeiro (RJ) – Brasil.2010. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/RBPS/article/view/2068>. Acesso em: Junho de 2020.

CONTROVÉRSIA, Site. 19 de Fevereiro de 2020. 1 fotografia. Disponível em: <https://controversia.com.br/2020/02/19/o-capitalismo-deu-certo-e-o-socialismo-e-um-fracasso-a-historia-nos-ajuda-a-responder/>. Acesso em: Novembro 2020.

CORBELA, Oscar. Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para a redução de consumo energético/ Oscar Corbela e Viviane Corner. – Rio de Janeiro: Revan, 2011.

CORRAL-VERDUGO, Víctor. Psicologia Ambiental: objeto, "realidades" sócio-físicas e visões culturais de interações ambiente-comportamento. Psicologia USP, vol. 16, núm. 1-2, 2005. Instituto de Psicologia São Paulo, Brasil. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3051/305123708009.pdf>. Acesso em: Novembro de 2020.

CORREIO, Brasiliense. Nota: 33 milhões de brasileiros não têm onde morar, aponta levantamento da ONU. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2018/05/03/interna-brasil,678056/deficit-de-moradias-no-brasil-chega-a-6-3-milhoes-sp-tem-a-maior-defa.shtml>. Acesso em: Junho de 2020.

COSTA, Ennio Cruz da. Física Aplicada à Construção: Conforto Térmico. - São Paulo: Blucher, 1991.

CUNHA, Eduardo Grala da. Elementos de Arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência nas edificações. – Porto Alegre: Masquatro Editora, 2006.

CURTIS, William J. R. Arquitetura Moderna desde 1900 – 3ª Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2008.

DIÁLOGO entre arquiteturas. Tony Garnier e a cidade industrial. 7 de Julho de 2016. fotografia. Disponível em: <https://dialogoentrearquiteturas.wordpress.com/2016/07/07/tony-garnier-e-a-cidade-industrial/>. Acesso em: Novembro 2020.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, Seção 1. PORTARIA Nº 3.733, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2020. Nova redação da Norma Regulamentadora nº 18 - Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. 2020. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=11/02/2020&jornal=515&pagina=21>

DILLASHAW, Christopher. Tiny House Living: Build the perfect tiny house. Published of United States of America. 2014.

DOMINGO, Yolanda Martínez. La caducidad de la torre Nakagin. International Conference Intervention Approaches for the 20th Century Architectural Heritage, Madrid, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299246976_La_caducidad_de_la_torre_Nakagin_The_expiry_of_Nakagin_tower. Acesso em Novembro de 2020.

ELETROBRAS/PROCEL. Manual para a Aplicação do RTQ-R, 2012. Disponível em: https://www.pbefidifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf. Acesso em: Novembro de 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima de Passo Fundo. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/Clima_de_Passo_Fundo.pdf. Acesso em: Novembro de 2020.

ENGBERG, Joshua and Shelley. Tiny House Basics: Living the Good Life in Small Spaces. - United States of America: Mango Publishing Group, a division of Mango Media Inc, 2017.

FOLZ, Rosana Rita, MARTUCCI, Ricardo. Habitação mínima: discussão do padrão de área mínima aplicado em unidades habitacionais de interesse social. 2007. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/view/2187> Acesso em: Junho de 2020.

FOLZ, Rosana Rita. Industrialização da habitação mínima: Discussão das primeiras experiências de arquitetos modernos – 1920-1930. Publicado em 20-10-2009. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/view/777>. Acesso em: Maio de 2020.

FOLZ, Rosana Rita. Projeto tecnológico para produção de habitação mínima e seu mobiliário. 2008. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. doi:10.11606/T.18.2008.tde-06082008-100756. Acesso em: Maio de 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-06082008-100756/pt-br.php>.

FONSECA, Nadja Maria Ribeiro. Habitação mínima: o paradoxo e o bem-estar. Dissertação (Mestrado integrado em Arquitetura), Coimbra, 2011. Dissertação de mestrado. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/18413>, acesso 29/05/2020.

FORD, Jasmine; GOMEZ-LANIER, Lilia Gomez. Are Tiny Homes Here to Stay? A Review of Literature on the Tiny House Movement. *Fam Consum Sci Res J*. University of Georgia. 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/fcsr.12205>. Acesso em: Setembro de 2020.

FRAMPTON, Kenneth. História Crítica da Arquitetura Moderna, 4ed.- São Paulo. Martins Fontes, 2015.

FRANÇA JÚNIOR, A. M.de. (2017). Análise Estrutural de Contêineres Marítimos Utilizados em Edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/9986/1/DISSERTAÇÃO_AnáliseEstruturalContêineres.pdf.

FROTA, Anésia Barros. Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo/ Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. – São Paulo: Estúdio Nobel, 2003.

GIANNINI, Fabio dos Santos. Tensão entre a forma e função na habitação: possibilidades e Restrições – São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/450>. Acesso em: Maio de 2020.

GIVONI, B. Building design principles for hot humid regions. *Renewable Energy*. Vol.5, Part II, pp. 906-916, 1994. Elsevier Science Ltd. doi:10.1016/0960-1481(94)90111-2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0960148194901112>. Acesso em: Outubro de 2020.

GREENE, David. LIVING-POD [1961]. fotografia. Disponível em: http://www.nomads.usp.br/pesquisas/cultura_digital/complexidade/CASOS/LIVING%20POD/LIVINGPOD.htm. Acesso em: Novembro 2020.

GROPIUS, Walter. Bauhaus: nova arquitetura. – São Paulo: Perspectiva, 2015.

GUARD, Analytics. Introduction to EnergyPlus - Material prepared by GARD Analytics, Inc. under contract to the U.S. Department of Energy. All material Copyright 2002-2012 U.S. Department of Energy and GARD Analytics, Inc. All rights reserved. October 2012, EnergyPlus v7.2.0. Disponível em: <http://www.gard.com/wp/wp-content/uploads/EPlus-Intro-2Day-Color-01to12-v7.2.0.pdf>. Acesso em: Outubro de 2020.

HABITATBRASIL. Nossa Causa. 2020. Disponível em: <https://habitatbrasil.org.br/impacto/nossa-causa/>. Acesso em: Novembro 2020.

HARBINSON, Willian. Nakagin Capsule Tower – Toquio. Analisis by Willian Harbinson. 2020. Disponível em: <http://wharbison.blogspot.com/>. Acesso em: Maio de 2020.

HODECKER, Maísa; Santos, Igor Schütz dos; Felipe, Maíra Longhinotti; Schneider, Daniela Ribeiro; Kuhnen, Ariane. Uma Sistematização dos Estudos Nacionais em Psicologia Ambiental. PSI UNISC, 2019. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/psi/article/view/12827>. Acesso em: Novembro de 2020.

<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/papers/ASES09-Milne.pdf>. Acesso em: Abril de 2021.

IFCRS, Inventário Florestal Contínuo do RS. UFSM. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/fisiografia.htm#supnordeste>. Acesso em: Novembro de 2020.

IICL. History of Containerization. 2019. Disponível em: <https://www.iicl.org/about-the-industry/history-of-containerization/>. Acesso em: Abril de 2021.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normal Climatológica do Brasil 1981-2010. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: Novembro de 2020.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R. Portaria nº18/2012.

ISO 7730: Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. 3 ed. Geneve, 2005.

JORGE, Liziane de Oliveira. Estratégias de flexibilidade na arquitetura residencial multifamiliar. 2012. Tese (Doutorado em Projeto de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-15062012-162419/en.php>. Acesso em: Maio de 2020.

JORGE, Liziane de Oliveira; JESUS, Luciana Aparecida Netto de. Habitação Social Flexível. A Expansão Da Casa Mínima Como Exercício De Projeto. Seminário Internacional de Arquitetura, Tecnologia e Projeto. Goiânia, GO. 2014. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/siarq/article/view/4605>. Acesso em Junho de 2020.

JUSTINO, Bárbara Maria de Paula; PINHO, Giusilene Costa de Souza; ANDRADE, Rodolfo Giacomim Mendes de; BARROCA, Denise Aparecida de Souza. Contêiner: do descarte portuário à aplicação arquitetônica. Brazilian Journal of Development ISSN: 2525-8761. Publicação: 10/02/2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24537/196>. Acesso em: Abril de 2021.

KNOP, Stifany. COMPORTAMENTO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA COM NOVO USO NA CIDADE DE PELOTAS: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, Pelotas, 2012. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/5170>, Acesso em: Outubro de 2020.

KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz; CELANI, Maria Gabriela Caffarena; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PINA, Silvia Aparecida Mikami G.; RUSCHEL, Regina Coeli; SILVA, Vanessa Gomes da; LABAKI, Lucila Chebel; PETRECHE, João Roberto D.. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, 2006.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Site. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br>. Acesso em Dezembro de 2021.

LAMBERTS, Roberto. Aulas de Conforto Térmico. 2020. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Conforto%20termico.pdf>. Acesso em: Novembro de 2020.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3a edição. São Paulo: Eletrobrás/PROCEL, 2014.

LC 399, LEI COMPLEMENTAR Nº 399: Código de Obras de Passo Fundo -RS. Instituída 07 de Novembro de 2016. Disponível em: www.LeisMunicipais.com.br. Acesso em: Outubro de 2020.

LESLIE, Thomas. Just What Is It That Makes Capsule Homes So Different, So Appealing? Domesticity and the Technological Sublime, 1945 to 1975. *Space and Culture*, 2006. Disponível em: <http://sac.sagepub.com/cgi/content/abstract/9/2/180>. Acesso em: Novembro de 2020.

LEVINSON, Marc. The Box: How the shipping container made the world smaller and the word economy bigger. Princeton University Press, 2006.

LIMA, Marcos Vinícius de Eficiência energética em HIS no sul do Brasil: adequabilidade ao Balanço Energético Nulo (versão parcial) / Marcos Vinícius de Lima. – 2020. 111 f., il.

LOUCHE, Dan. Tiny House Design & Construction Guide Your Guide to Building a Mortgage Free, Environmentally Sustainable Home. Published of United States of America, Copyright 2014.

MACEDO, Priscila Ferreira. Apartamento: um estudo sobre dimensionamento e funcionalidade na produção imobiliária de habitações mínimas verticais em Natal (RN). DISSERTAÇÃO (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte. Natal/RN. 2018. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7063016. Acesso em: Maio de 2020.

MENDES, Mena Cristina Marcolino. A Percepção Dos Moradores Sobre O Uso Dos Sistemas Construtivos Inovadores Em Habitações: Uma Contribuição Da Avaliação Pós-Ocupação. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-17092018-101554/pt-br.php>. Acesso em: Novembro de 2020.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; NETO, José A. Bellini da Cunha. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3657/2013>. Acesso em: Outubro de 2020.

MILNE, Murray. Energy Design Tools. Climate Consultant. Department of Architecture and Urban Design – UCLA, University of California, Los Angeles, 2015. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/> Acesso em: Abril de 2021.

MILNE, Murray; LIGGETT, Robin; AL-SHAALI, Rashed. CLIMATE CONSULTANT 3.0: A TOOL FOR VISUALIZING BUILDING ENERGY IMPLICATIONS OF CLIMATES. UCLA Department of Architecture and Urban Design Los Angeles, CA. Proceedings of the American Solar Energy Association Conference, Cleveland, Ohio, July, 2007. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/papers/ases07-cc.pdf>. Acesso em: Abril de 2021.

MILNE, Murray; LIGGETT, Robin; BENSON, Andrew; BHATTACHARYA, Yasmin. “Climate Consultant 4.0 Develops Design Guidelines for Each Unique Climate”. American Solar Energy Society, Buffalo, New York, May, 2009. Disponível em:

MIRANDA Container. 2020. fotografia. Container de 40 pés – 12 metros. Disponível em: <https://mirandacontainer.com.br/container-40pes-12-metros/>. Acesso em: Novembro 2020.

MORRISON, Gabriella and Andrew. Tiny House: Designing, Building and Living. Alpha, 2017. Indianapolis, Indiana.

MOTA, Raquel Ramos Silveira da. Análise das condições de uso e ocupação de HIS, localizadas na cidade de Pelotas - ZB2, preconizadas no RTQ-R no método de simulação computacional. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas- RS, 2016.

NORRIS, Brodie. Build Your Own Shipping Container Home: The Beginner’s Guide. Published of United States of America: Lunchbox Architect, 2015.

OCCHI, Tailene; ALMEIDA, Caliane Christie Oliveira de. Uso de contêineres na construção civil: viabilidade construtiva e percepção dos moradores de Passo Fundo-RS. *Revista de Arquitetura IMED*, Passo Fundo, 2016. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/1282>. Acesso em: Junho de 2020.

OLINI, Patrícia Bruder Barbosa. Reflexões acerca do mínimo: parâmetros normativos para a habitação de interesse social. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4652256. Acesso em: Maio de 2020.

OLIVEIRA, Ana Martha Carneiro Pires de; VALE, Francisco Alberto Pereira; ZANOLLA, Ieda Maria Fagundes; NETTO, José Ramos dos Santos; ANDRADE, Rodrigo do Val. O contêiner como método construtivo alternativo sustentável. *Brazilian Journals of*

Business. ISSN: 2596-1934. Publicação: 20/12/2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJB/article/view/24409/19500>. Acesso em: Abril de 2021.

OLIVEIRA, Cidália Maria Santos. Alojamento Para Os Novos Nômad@s: A habitação mínima como resposta. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Artes Universidade, Lusíada de Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Famalicão, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11067/3042>. Acesso em: Abril de 2020.

ORNSTEIN, Sheila Walbe. Avaliação Pós-Ocupação (Apo) No Brasil, 30 Anos: O Que Há De Novo? Revista Projetar: Projeto e Percepção do Ambiente. V.2, n. 2. Agosto de 2017.

PEREIRA, Bruna da Silva. Avaliação Pós-Ocupação dos Blocos Salas de Aula do IFSul com Foco no Conforto Térmico e Lumínico. Dissertação (Mestrado). Faculdade Meridional – IMED. Passo Fundo – RS, 2018.

PEREIRA, Diogo Duarte Alves. Uma habitação transportável e flexível Archigram como ponto de partida. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Da Beira Interior, Covilhã, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.6/2146>. Acesso em: Junho de 2020.

PEREIRA, José Ramón Alonso. Introdução à História da Arquitetura: das Origens ao Século XXI. Grupo A, Editora Bookman, 2010.

PEVSNER, Nikolaus. Panorama da Arquitetura Ocidental. Coleção Mundo Arte - 3ª Ed. - São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2015.

PFÜTZENREUTER, Andréa Holz; ARAÚJO, Thainá Kaestner. Estudo Projetual em Contêineres para Moradia Estudantil. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, 2019. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/cidades_verdes/article/view/2213/2055. Acesso: Junho de 2020.

PINHEIRO, José Q. Psicologia Ambiental: a busca de um ambiente melhor. Natal, 1997. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-294X1997000200011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: Novembro de 2020.

PORTO Container. 2020. fotografia. Disponível em: <https://www.portocontainer.com.br/>. Acesso em: Novembro 2020.

PROCELINFO, 2020. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B796B68CB%2D2559%2D401F%2DA481%2DDC3D145F572E%7D>. Acesso em: Outubro de 2020.

RIBEIRO, Matheus Pereira; CURI, Rafael Luis Comini; CASSUCE, Francisco Carlos da Cunha. Desigualdade e estrutura familiar: uma análise comparativa. Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE. V. 1 - N. 42 - Abril de 2019 . Disponível em: <https://amazon-c.unifacs.br/index.php/rde/article/view/5933>. Acesso em: Junho de 2020.

ROMANO, L.; DE PARIS, S. R.; NEUENFELDT Jr., Á. L.(2014). Retrofit de contêineres na construção civil. Labor e Engenho. Disponível em <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/labore/article/view/225>. Acesso em: Janeiro de 2021.

ROY, Ria. Tiny House, a Big Movement? Performance Improvement, vol. 58, no. 4, 2019. Disponível em: https://dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net/58865465/Roy_PIJ_2019_Tiny_House_A_Big_Movement.pdf?1555000078=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTiny_House_A_Big_Movement.pdf&Expires=1600107372&Signature=ay~G7ngGyUwaQBCTgysmvFDGBPVIhE5XQzFqdV9oVtS~kXRDb64uZt4ZiB2u88~2UeS0dNx8hu7YPukhe7dM6P0f5~tBNg~ir11arckOXfhoSy7osDCVP13Vw~GLNLD9qGDRlzeu~JA6ZusI8Zsc0BJsp0fN7qlvBLEl3Z982wHEmaW15EL4ngtHhv18LjMX6UVdU0uimuR~MIP~kRfjF7V9nO~XipQ215by2ySKb~XJ1Oj~pH1bxv7Om6pLmzcTzTGidZ7xQ9ThuGA8~QiClrYYrZ421ccvn4lO1y~UqpDbZ~ihl~I4OjSQP36hBZJkKW13XKi4bUz~D5O00bRw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: Setembro de 2020.

RUPP, Ricardo Forgiarini e GHISI, Enedir. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 91-107, abr./jun. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000200310>. Acesso em: Novembro de 2020.

SANTOS, Carlos Alberto. Pequenos negócios: desafios e perspectivas: desenvolvimento sustentável. Coordenação. Vol. 2 -- Brasília: SEBRAE, 2012. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1877524C42E95593832579F2006FAFA3/\\$File/NT000475FE.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1877524C42E95593832579F2006FAFA3/$File/NT000475FE.pdf). Acesso em: Novembro de 2020.

SANTOS, Pedro André Cardoso dos. NZEB: Neal Zero Energy Building: metodologias para implementação NZEB : aplicação a edifício unifamiliar novo. ISEC - Dissertações de Mestrado. 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/18518>. Acesso em: Dezembro de 2021.

SAXTON, Maria W. The Ecological Footprints of Tiny Home Downsizers: An Exploratory Study. Dissertation (Doctor of Philosophy In Environmental Design and Planning) Virginia Polytechnic Institute and State University. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332330214_Exploring_the_Ecological_Footprints_of_Tiny_Home_Downsizers. Acesso em: Junho de 2020.

SEGAWA, Hugo. Arquiteturas no Brasil: 1900-1990. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

SENK, Peter. The Concept of Capsule Architecture as Experiment Origins and Manifestations with Selected Examples from Slovenia and Croatia. Eslovênia, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297911534_The_concept_of_capsule_architecture_as_experiment_origins_and_manifestations_with_selected_examples_from_Slovenia_and_Croatia. Acesso em: Junho de 2020.

SERRALHEIRO, Bruna Isaque. A casa mecânica: a máquina sob a forma de arquitetura. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Artes, Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11067/3684>. Acesso em: Abril de 2020.

SHAFFER, Jay. THE SMALL HOUSE BOOK. 2009. Post Office Box 1907, California.

SHIBATA, Rogério; GAMBATI, Antonia; VIEIRA, Alícia; DI NÚBILA, Clarisse; TRENTA, Daniel; SILVA, Deize Lellys da; SCHLEMM, Eduardo Lemes; CELLIGOI, Gabriel; ROMANELLI, Jéssica; TRENTA, Ticiania Patel Weiss; KRÜGER, Eduardo. Avaliação Pós-Ocupação Da Câmara Bioclimática De Baixo Custo (Cbbc). João Pessoa: XV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2019. Acesso em: Novembro de 2020.

SILVA, Patricia; SILVA, Wanessa Larissa Leandro da Costa; JUNIOR, Irineu Brito; MONTEIRO, Vera Lucia. A Viabilidade Na Utilização De Contêineres Como Casa De Interesse Social. V CIMATech - Tecnologia para a Redução das Desigualdades. 2018. Disponível em: <https://publicacao.cimatech.com.br/index.php/cimatech/article/view/74>. Acesso em: 17 jun. 2020.

SILVA, Ricardo Dias. Habitação Mínima na Primeira Metade do Século 20. Monografia (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, São Carlos, 2006. Disponível em: http://www.nomads.usp.br/disciplinas/SAP5846/mono_ricardo_dias.pdf. Acesso em: Maio de 2020.

SINGH, Alvin. Tiny House: 12 Unique Ways to Design Your Tiny Home and Maximize Space. Published of United States of America, 2015.

SORGATO, Marcio José et al. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, Dec. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400007&lng=en&nrm=iso. Acesso em: Outubro de 2020.

SOTO, José Antonio Flores. fotografia. março de 2017. Nakagin Capsule Tower: la arquitectura convertida en signo. Revista de Humanidades y Ciencias Sociales – El Genio Maligno. Disponível em: <https://pt.wikiarquitectura.com/construção/torre-nakagin-capsule/#>. Acesso em: Novembro 2020.

SOUZA, Denise Aperecida de; PINHO, Giusilene Costa de Souza. Sistemas Construtivos Industrializados para Habitação Social: Análise do Container como uma nova Alternativa. Brazilian Journal of Development. DOI:10.34117/bjdv5n8-085. Publicado em 23/08/2019.

SOUZA, Dulce América. História Da Arquitetura E Urbanismo Vi (Pós-Modernismo E Contemporaneidade). Grupo A Educação S.A. Porto Alegre, 2019.

SUDBRACK, Larissa Olivier. Casa Zero: diretrizes de projeto para casas pré-fabricadas de balanço energético nulo em Brasília. 2017. 214 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura

e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/25274>. Acesso em: Outubro de 2020.

TEORIA do espaço urbano. Site. 12 de Março de 2013. 1 fotografia. Disponível em: <https://teoriadoespacourbano.wordpress.com/2013/03/12/i-fourier-ou-as-passagens/>. Acesso em: Novembro 2020.

TREVISAN, Livia Yu Iwamura; SHIBATA, Rogerio; CELLIGOI, Gabriel; RIBEIRO, Rodrigo Scoczynski; AMARILLA, Rosemara Santos Deniz; KRÜGER, Eduardo Leite. Avaliação Pós-Ocupação de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo: a percepção térmica e acústica no diagnóstico de um ambiente construído. *Ambiente Construído*, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200400>. Acesso em: Novembro de 2020.

VEIGA, José Eli da. Indicadores de sustentabilidade. *Estud. av.*, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-401420100001000006&lng=en&nrm=iso. Acesso em: Agosto de 2020.

VIANA, Françoise Santana; SOUZA, Henor Artur de; GOMES, Adriano Pinto. Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 2018. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652794>. Acesso em: Junho de 2020.

VILHENA, Júlia Machado. Diretrizes para a sustentabilidade das edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 2, n. 1, p. 59-78, 2007. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50905> Acesso em: Agosto de 2020.

VILLA, Simone Barbosa; ORNSTEIN, Sheila Walbe (Orgs.). *Qualidade Ambiental na Habitação: avaliação pós-ocupação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Vários Autores.

WEIMER, Gunther. *Arquitetura Popular Brasileira*. – 2ª Ed. – São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2012.

WIKIARQUITECTURA. 2020. fotografia. Torre Nagakin Capsule. Disponível em: <https://pt.wikiarquitectura.com/construção/torre-nagakin-capsule/#>. Acesso em: Novembro 2020.

YU, Hanui; AKITA, Takeshi. The effect of illuminance and correlated colour temperature on perceived comfort according to reading behaviour in a capsule hotel. Department of Architecture, School of Science and Technology for Future Life, Tokyo Denki University Tóquio, 2018. Disponível em: www.elsevier.com/locate/buildenv. Acesso em: Junho de 2020.