



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANKLYN LUIZ FERREIRA DOS SANTOS

**DETERMINAÇÃO DE ENVOLTÓRIA EM LIGHT STEEL
FRAMING PARA EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES EM
CLIMA QUENTE E SECO**

**NATAL-RN
2020**

Franklyn Luiz Ferreira dos Santos

Determinação de Envoltória em Light Steel Framing para Edificações Unifamiliares em
Clima Quente e Seco

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dra. Jaquelígia Brito da Silva

Natal-RN
2020

Seção de Informação e Referência
Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Santos, Franklyn Luiz Ferreira dos.

Determinação de envoltória em Light Steel Framing para edificações unifamiliares em clima quente e seco / Franklyn Luiz Ferreira dos Santos. - 2020.

27 f.: il.

Artigo Científico (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Natal, RN, 2020.

Orientadora: Profa. Dra. Jaquelgia Brito da Silva.

1. Light Steel Framing - Método construtivo eficiente - Artigo Científico. 2. Zona Bioclimática - Artigo Científico. 3. Eficiência energética - Artigo Científico. 4. Propriedades termofísicas - Artigo Científico. I. Silva, Jaquelgia Brito da. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

Franklyn Luiz Ferreira dos Santos

Determinação de Envoltória em Light Steel Framing para Edificações Unifamiliares em
Clima Quente e Seco

Trabalho de conclusão de curso na modalidade
Artigo Científico, submetido ao Departamento
de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Rio Grande do Norte como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 08 de dezembro de 2020

Prof.^a Dra. Jaquelígia Brito da Silva – Orientador

Prof. Dr. Marcos Lacerda Almeida – Examinador interno

Prof.^a MSc. Deisyane Câmara Alves de Medeiros – Examinadora externa

Natal-RN
2020

RESUMO

O setor construtivo é uma das fontes empregatícias que mais gera economia no Brasil, resultando no desenvolvimento das cidades, na urbanização e no crescente número de edificações e empreendimentos de alto padrão. Visando a redução de gastos com o alto consumo de materiais e emprego de técnicas não-produtivas, surgem métodos construtivos mais eficientes como o Light Steel Framing (LSF), que se caracteriza pelo uso de estruturas metálicas de perfis laminados a frio com emprego de placas industrializadas, tais como placas cimentícias e Oriented Strand Board (OSB), preenchidas com materiais isolantes térmicos e acústicos. Aliado às modernizações na construção, o conceito de sustentabilidade se torna relevante principalmente quanto aos consumos energéticos das edificações, se preocupando em utilizar estratégias de condicionamento térmico passivo de acordo com o clima em que são inseridas as tipologias, promovendo o melhor desempenho térmico e conforto aos usuários. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo determinar uma envoltória adequada em Light Steel Framing para o clima quente e seco, característico da Zona Bioclimática 07 (ZB7), em edificações unifamiliares, a partir das propriedades termofísicas dos materiais postas em simulação computacional, conforme orienta a NBR 15220:2005 e NBR 15575:2013. Os resultados empíricos foram obtidos no software EnergyPlus e os resultados inéditos no programa QuickField, podendo-se comparar os valores com os limites estabelecidos nas normas em estudo, determinando o tipo de parede e cobertura em LSF para o clima quente e seco por meio do cálculo da transmitância térmica (U), capacidade térmica (C) e do atraso térmico (ϕ). Para a cobertura, as propriedades respeitaram os limites normativos, enquanto na parede simulada, a capacidade térmica divergiu dos valores admissíveis.

Palavras-chave: Light Steel Framing, Zona Bioclimática 07, Eficiência energética, Clima quente e seco, Propriedades termofísicas.

ABSTRACT

The construction sector is one of the employment sources that generates the most savings in Brazil, resulting in the development of cities, urbanization and the growing number of high-end buildings and enterprises. Aiming to reduce expenses with the high consumption of materials and the use of non-productive techniques, more efficient construction methods appear, such as Light Steel Framing (LSF), which is characterized by the use of metal structures with cold-rolled profiles using plates industrialized products, such as cement boards and Oriented Strand Board (OSB), filled with thermal and acoustic insulating materials. Combined with modernization in construction, the concept of sustainability becomes relevant mainly regarding the energy consumption of buildings, taking care to use passive thermal conditioning strategies according to the climate in which the typologies are inserted, promoting the best thermal performance and comfort to users. Thus, the present work aims to determine an adequate envelope in Light Steel Framing for the hot and dry climate, characteristic of the Bioclimatic Zone 07 (ZB7), in single-family buildings, from the thermophysical properties of the materials put in computer simulation, as guides NBR 15220: 2005 and NBR 15575: 2013. The empirical results were obtained in the EnergyPlus software and the unprecedented results in the QuickField program, being able to compare the values with the limits established in the standards under study, determining the type of wall and cover in LSF for the hot and dry climate through the calculation thermal transmittance (U), thermal capacity (C) and thermal delay (ϕ). For the roof, the properties respected the normative limits, while in the simulated wall, the thermal capacity diverged from the permissible values.

Keywords: Light Steel Framing, Bioclimatic Zone 07, Energy efficiency, Hot and dry climate, Thermophysical properties.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais versáteis da economia do Brasil, em que o produto resultante se utiliza em sua grande maioria de procedimentos tecnológicos e projetos distintos convergentes à mesma finalidade. Na crescente modernização, criação dos materiais que visam a eficiência energética e a promoção do conforto térmico aos usuários nas edificações, como o uso de isolantes térmicos adequados ao clima local, as variáveis construtivas devem estar ligadas e conectadas por meio de um elo de produção, o qual denomina-se cadeia produtiva. Desse modo, com o passar do tempo, acontecimentos históricos como a revolução industrial e a industrialização dos setores produtivos, e o emprego de técnicas modernas de construção, surgem métodos construtivos racionalizados, como o Light Steel Framing (LSF).

O LSF é um sistema construtivo que utiliza perfis de aço laminados a frio galvanizados com estrutura formada por placas industrializadas, tais como placas cimentícias e Oriented Strand Board (OSB), sendo preenchidas com materiais isolantes térmicos e acústicos. A composição dos elementos caracteriza o processo construtivo que possui alta industrialização e ampla difusão mundial, possibilitando a execução de diferentes projetos garantindo a compartimentação e o desempenho térmico. O sistema tem o propósito de conferir maior produtividade no canteiro de obras, reduzir as perdas, a geração de resíduos e garantir uma construção com qualidade superior. A técnica vem ganhando espaço por ser alternativa construtiva em concorrência aos sistemas convencionais de construção, além de poder se adequar aos diferentes climas com o uso de estratégias de condicionamento térmico passivo visando a eficiência energética. (NOGUEIRA et al., 2018; SALOMÃO et al., 2019).

Nas edificações, a eficiência energética global é determinada por meio das variáveis de conforto e desempenho térmico, em que conforto se refere a satisfação do homem com o ambiente inserido, interligado com os padrões de fluxo de ar e sua distribuição nos ambientes internos, e o desempenho relaciona-se com as propriedades termofísicas dos elementos que compõem a envoltória das edificações, compreendida pelas vedações externas, estando diretamente relacionada com as variáveis climáticas. O desempenho térmico é satisfatório quando os ambientes apresentam estado termoneutro com o uso de energia zero para manter o conforto dos ocupantes, sendo dispendioso para manter o estado de equilíbrio o emprego de condicionamento térmico ativo, que se limita ao uso de equipamentos como ar-condicionado, umidificadores e ventiladores. Uma construção é dita sustentável e/ou eficientemente energética quando adota estratégias construtivas conforme às condições ambientais preexistentes através do uso de condicionantes térmicos passivos (CIUHA et al., 2019; MAHER et al., 2020; GISPERT et al., 2020).

Existem diretrizes construtivas que diferenciam-se pelo tipo de clima e das variáveis ambientais como a radiação solar, temperatura, umidade e vento onde as construções estão inseridas, conceituadas pela norma de Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB), que divide o território do Brasil em oito zonas. Para cada ZB são especificadas as estratégias construtivas e os valores dos parâmetros termofísicos das vedações externas e coberturas (ABNT, 2005; GISPERT et al., 2020). A norma brasileira em vigor que trata dessas diretrizes para habitações unifamiliares é a NBR 15220-3 de 2005.

O clima quente e seco é característico da Zona Bioclimática 07 (ZB7) segundo a classificação da NBR 15220-3, estendendo-se por grande parte do nordeste brasileiro. As estratégias construtivas para o clima em estudo são as edificações possuírem aberturas de ventilação pequenas e que sejam sombreadas durante o dia, vedações e coberturas pesadas,

resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, acompanhado de ventilação seletiva nos períodos de maior diferença de calor do ambiente interno para o ambiente externo. Essas condicionantes podem ser atendidas na fase de projeto por meio de simulações computadorizadas que representam o comportamento físico da edificação e de seus sistemas, sendo usual a aplicação da ferramenta ‘EnergyPlus’ e também do programa ‘QuickField’, o qual pode ser aplicado na determinação das propriedades termofísicas (WEBER et al., 2017; LOPES, 2019; RINCÓN et al., 2019).

O EnergyPlus é um software de simulação energética das habitações que explora diferentes ideias e soluções pertinentes ao desempenho térmico, buscando automatizar, modelar os fluxos de energia como o aquecimento, resfriamento, a ventilação e iluminação. Para a avaliação de vedações externas e coberturas, são necessários dados de entrada dos materiais que as compõem. Os resultados considerando as diferentes variáveis, mostram os valores das propriedades termofísicas para cada clima abordado. No LSF, a simulação pode ser aplicada à envoltória e determinar sua adequada construção para a ZB7, resultando na diminuição dos gastos energéticos. Na avaliação, são consideradas as propriedades como a resistência térmica (R), transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT), atraso térmico (ϕ) e a absorvância (α) (ABNT, 2005; LOBO, 2018; RABANI et al., 2020).

A NBR 15220-2 de 2005, referente ao desempenho térmico das edificações, traz as equações de contorno e métodos de cálculo das propriedades termofísicas. Para o cálculo desses fatores, são também necessárias as características dos materiais como densidade, espessura, calor específico, entre outros. Outra norma que avalia o desempenho é a NBR 15575 de 2013, estabelecendo os valores admissíveis de tais propriedades para as diferentes Zonas Bioclimáticas.

O presente trabalho tem como objetivo geral determinar a envoltória em Light Steel Framing adequada à ZB7, por meio dos softwares EnergyPlus e QuickField, para edificações unifamiliares, comparando com os valores admissíveis na NBR 15220-3 e NBR 15575, proporcionando a efetividade das estratégias de condicionamento térmico passivo visando a eficiência energética global do sistema.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O sistema construtivo light steel framing

O Light Steel Framing é um sistema construtivo que utiliza perfis de aço laminados a frio, considerado seco limitando o uso de água apenas nas fundações e industrializado, inovador no cenário brasileiro pois agiliza a construção no canteiro de obras, reduz os desperdícios tornando-se uma solução construtiva mais racional, além de conferir leveza às edificações diminuindo os custos quando comparado aos métodos tradicionais. A técnica emprega perfis metálicos que são parafusados formando módulos compondo o esqueleto estrutural, sendo nas faces fixadas placas cimentícias e/o, placas de gesso acartonado – drywall e no interior dos painéis, isolantes termo-acústicos de lã de vidro, lã de rocha ou de outros materiais isolantes (ROCHA, 2017; ZENERATO et al., 2019).

No contexto histórico, as construções em LSF foram impulsionadas pelo ‘wood framing’, que utiliza a madeira como componente estrutural na composição dos perfis e placas de fechamento. Os Estados Unidos foram pioneiros na difusão desse sistema e somente a partir da Segunda Guerra e do desenvolvimento da indústria do aço, os perfis formados a frio ganharam espaço e passaram a substituir o antigo sistema pelo Light Steel Framing. Sua estrutura engloba vários subsistemas, os estruturais, de fundações, instalações hidráulicas e elétricas, estando interligados de modo a garantir a integridade da edificação. A característica

principal está na conformação das estruturas de aço, em que os perfis verticais são denominados de montantes e os horizontais de guias (MASS, 2017; JÚNIOR, 2018).

No Brasil, esse sistema surge como uma alternativa construtiva de modernizar o processo produtivo nacional, uma vez que nos países desenvolvidos está em constante expansão devido ao alto grau de industrialização. A implementação do LSF viabiliza o maior controle e planejamento nas obras reduzindo o tempo de fabricação e otimização dos custos, comprovando sua eficácia pela aplicabilidade na construção de empreendimentos de até 4 pavimentos, hospitais, residências unifamiliares, modificações em fachadas e na reforma de edificações. No consumo da mão de obra, verifica-se a redução decorrente da melhor logística do sistema, diminuição do peso dos materiais e organização das equipes de trabalho (OLIVIERI, 2017; SILVA et al., 2018).

A regulamentação do LSF a nível nacional ainda está em fase de consolidação, e o Ministério das Cidades avalia as Diretrizes do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), órgão que regulamenta as tendências e inovações do mercado da construção civil. Na Diretriz Nº 003, é tratado sobre sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas, sistema tipo Light Steel Framing. São estabelecidos os requisitos normativos para as construções em LSF, especificando tipos de aço a serem empregados na concepção estrutural, sistemas de vedações, materiais, revestimentos, acabamentos, os subsistemas e suas propriedades tecnológicas (SINAT, 2016; SILVA, 2018; GUIMARÃES et al., 2019).

2.2 Eficiência energética nas edificações

A eficiência energética pode ser compreendida como a quantidade de energia utilizada para a realização de determinada atividade e o quanto estará disponível, de modo que o incentivo à redução do consumo proporcione a sustentabilidade. No âmbito das edificações, esse conceito vem ganhando repercussão uma vez que o setor gera um dos maiores consumos de energia no país e está diretamente relacionado com o poder aquisitivo, aumento populacional e o uso de aparelhos elétricos de baixa eficiência. Projetos de envoltória das construções inadequados aliados às práticas deficientes de conservação de energia, induz ao alto consumo elétrico por meio das estratégias de condicionamento térmico ativo, potencializado pelas altas temperaturas recorrentes nos climas tropicais (TSUDA, 2019; OPOKU et al., 2020).

O desenvolvimento econômico sustentável é atualmente buscado pelos países em todo o mundo e os recursos energéticos disponíveis a longo prazo tornam-se ponto chave no crescimento dos setores produtivos e na dinâmica dos investimentos. Em contrapartida, o setor residencial e industrial no Brasil são os maiores consumidores da energia elétrica, buscando-se meios de redução através de tecnologias de iluminação, sendo na atual perspectiva o uso do sistema de iluminação Light Emitting Diode – LED como o mais econômico e aliado da eficiência energética, certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. O conjunto desses métodos eficientes contribuem para a sustentabilidade energética, racionalizando os recursos naturais com a manutenção da qualidade das habitações e do entorno (FURUYAMA, 2019; AKDAG; YILDIRIM, 2020).

Diante da crescente preocupação com os recursos energéticos e a limitação das fontes produtoras, buscam-se estudos para minimizar os impactos ambientais e as consequências da adoção de medidas eficientes para a manutenção da energia elétrica. Indicadores sociais, ambientais e econômicos possibilitam estimar os múltiplos benefícios da eficiência energética, com diminuição dos poluentes globais, redução da pobreza energética, aumento da qualidade de vida e o incentivo à competitividade inovativa, no campo legislativo, o surgimento dos selos de certificação e sustentabilidade. No Brasil, o mais utilizado para

avaliação do desempenho e eficiência energética das edificações é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE, um incentivo do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE com apoio do INMETRO e Eletrobrás/Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica - PROCEL (DALTROZO, 2018; REUTER et al., 2020).

Conforme Prado (2018), na recente pesquisa sobre os selos de desempenho, o processo de avaliação para etiquetagem segue os regulamentos técnicos como o RTQ-R e RTQ-C. No Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), são avaliados três sistemas individuais nas unidades habitacionais autônomas, sendo eles a envoltória, o sistema de aquecimento de água e eventuais bonificações. Pelo método prescritivo, cada sistema recebe uma pontuação que classifica o nível de eficiência energética por meio de uma equação de compatibilidade, enquanto no método computacional, a nível de projeto, são utilizados programas de avaliação e simulação energética como o EnergyPlus (BORGES, 2018).

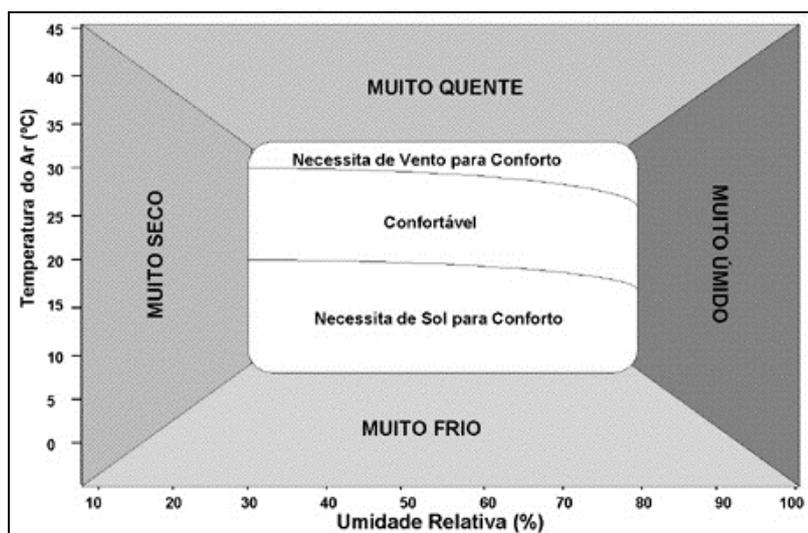
2.2.1 Conforto térmico

O conforto térmico está diretamente relacionado com o bem-estar do ser humano inserido em determinado ambiente, o qual se encontra em estado termicamente neutro, não havendo troca de calor com o meio externo. O parâmetro segue o campo da subjetividade e depende de fatores físicos, fisiológicos, psicológicos, e sua avaliação leva em consideração o estudo das variáveis, as quais se dividem em variáveis ambientais e humanas. As ambientais consideram a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar, nas variáveis humanas, tem-se o estudo do metabolismo gerado pela atividade física e a resistência térmica oferecida pela vestimenta (RIJAL et al., 2019; XIA et al., 2020).

Segundo American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers – Standard 55 (ASHRAE, 2017), norma de referência internacional no estudo do conforto térmico, conceitua o parâmetro como a relação humana do estado mental que expressa com o ambiente térmico inserido passando por avaliação subjetiva. São descritos dois métodos de avaliação, sendo o primeiro por meio dos índices PMV (Predicted Mean Vote ou Voto Médio Estimado) e do PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied ou Porcentagem Predita de Insatisfeitos). O segundo segue o estudo do conforto térmico adaptativo a partir de estudos de campo das edificações, relacionando com as temperaturas internas e externas de conforto. Essas metodologias de análise variam conforme as variáveis envolvidas e resultam na multiplicidade de interpretações, demandando pesquisas aprofundadas para estimar o conforto (PINHEIRO, 2018; RUPP et al., 2019).

Álvares (2018) mostra que há uma forma simplificada em determinar o conforto térmico de um ambiente por meio do diagrama que relaciona temperatura do ar e umidade relativa. No eixo vertical está a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e no eixo horizontal a umidade relativa (%), em que o cruzamento das variáveis estipula a sensação térmica indicando se há necessidade de métodos para promover o melhor conforto térmico. A zona confortável se situa na região compreendida entre a umidade de 30% e 80% correlacionando com a faixa de temperatura de 20°C a 30°C . O diagrama foi elaborado pela WMO (World Meteorological Organization) e está vinculado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), apresentado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Diagrama do conforto térmico



Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Diante da premissa, o conforto térmico é estabelecido por meio de modelos que vem se desenvolvendo nas últimas décadas com estudos minuciosos na subjetividade humana e nas variáveis relacionadas. Os mais usuais são PMV e PPD, o modelo de dois nós e o de vários nós que envolvem sistemas de trocas de calor com meio externo e as respostas térmicas humanas, em que nas situações desconfortáveis, deve-se utilizar métodos capazes de promover o conforto térmico como o uso de estratégias de condicionamento térmico passivo ou mesmo o emprego de condicionantes térmico-ativas que dependem maior consumo da energia elétrica. Por outro lado, o uso de equipamentos não eficientes para a promoção do conforto aumenta o consumo da energia elétrica agravando os impactos ambientais com emissão de CO₂ e o aquecimento global (PARK et al., 2020; ZHAO et al., 2020).

2.2.2 Desempenho térmico

O comportamento em uso de uma edificação durante sua vida útil, considerando sua envoltória e as propriedades termofísicas dos materiais, atendendo às características bioclimáticas, permite avaliar o desempenho térmico. O adequado desempenho resulta na satisfação dos usuários no ambiente, aliado ao conforto térmico, atendendo às exigências humanas para o desenvolvimento das atividades gerando economia de energia. Em contrapartida, a presença de envoltórias termicamente deficientes induz ao consumo excessivo da energia elétrica, exigindo sistemas de aquecimento e/ou resfriamento com maiores tempos de operação não aproveitando as características bioclimáticas locais (NBR 15575-1, 2013; AZMI; IBRHIM, 2020)

Para os sistemas construtivos, a avaliação do desempenho térmico deve levar em conta a adequação climática e não somente a edificação em si, pois os materiais conforme a aplicação construtiva possui respostas térmicas divergentes. No sistema LSF que é baseado no conceito de isolamento multicamada, é possível combinar as placas de fechamento com diferentes isolantes térmicos ainda na fase de projeto, podendo obter quaisquer resultados de comportamentos térmicos em condições climáticas distintas. As edificações, portanto, alcançam um satisfatório desempenho térmico quando as respostas térmicas devido às mudanças climáticas no ambiente exterior promovem o conforto térmico interno adequado aos ocupantes com baixo consumo de energia (FABRICIO et al., 2017; SOARES et al., 2017).

A nível normativo, a NBR 15575 que trata do desempenho das edificações, estabelece também requisitos de avaliação do desempenho térmico. São especificados os métodos de avaliação das propriedades termofísicas dos materiais, os valores admissíveis para as zonas bioclimáticas de acordo com a envoltória, de modo a garantir o desempenho adequado visando a eficiência energética. Outra norma de grande relevância no assunto, por apresentar as diretrizes de desempenho térmico das edificações, é a NBR 15220-2. Nela são demonstradas as equações e condições de contorno para o cálculo dos parâmetros termofísicos dos materiais compostos nas vedações verticais e horizontais, tendo como referência a ISO 6946, Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods.

2.3 Propriedades termofísicas

Os materiais constituintes nas envoltórias das edificações possuem comportamentos variáveis quanto às respostas térmicas. Cada elemento desempenha papel fundamental no estudo do desempenho térmico, apresentando propriedades que influenciam na transmissão de calor do meio externo para o ambiente interno. Diante do exposto, ressalta-se a importância do estudo e conceituação de tais propriedades, sendo elas a resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, absorvância e atraso térmico, de acordo com a NBR 15220-1 (2005), Marques (2013), Perussi (2016) e Murari (2018).

Tabela 1 - Propriedades termofísicas dos materiais

Propriedades Termofísicas	Conceituação	Símbolo	Unidade
Resistência Térmica	Quociente da diferença de temperatura analisada nas superfícies de um elemento ou componente.	R	(m ² .K)/W
Transmitância Térmica	O inverso da resistência térmica.	U	W/(m ² .K)
Capacidade Térmica	A quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.	C	J/K
Absorvância	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície	α	(m ² .K)/W
Atraso Térmico	É o tempo que a variação térmica leva para ser transferida do exterior para o interior da edificação.	ϕ	h

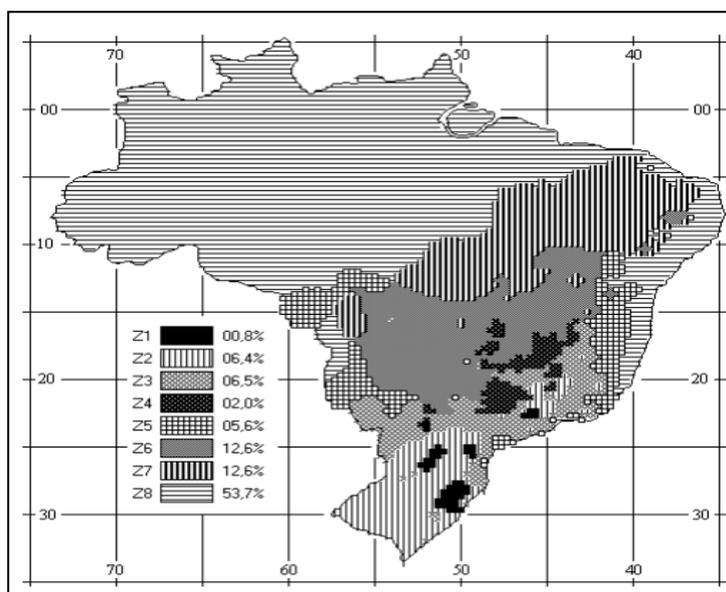
Fonte: Adaptado de ABNT (2020)

2.4 Zoneamento bioclimático brasileiro

O Brasil apresenta climas que variam de mais frios para mais quentes e alteram-se de acordo com as estações do ano. A diversidade climática quando imposta em simulação computacional para análise de soluções construtivas, apresentam resultados diferentes sendo relevante o estudo da bioclimatologia, justificando-se pelo elevado número de construções que não avaliam as condições climáticas locais e quais métodos podem ser adotados para a redução do consumo de energia elétrica. A adequação construtiva à zona bioclimática favorece o desempenho térmico, no conforto dos usuários e de modo geral, na eficiência do desempenho ambiental dos edifícios (GONÇALVES; BODE, 2015; ANCHIETA, 2016).

Nesse contexto, a NBR 15220-3 que trata do zoneamento bioclimático brasileiro divide o território nacional em 8 zonas as quais exigem diretrizes construtivas em que são feitas recomendações das estratégias de condicionamento térmico passivo para otimização do desempenho térmico. Cada zona distingue-se pelas dinâmicas térmicas ambientais, médias pluviométricas anuais e, de modo geral, pelo clima predominante. Na Figura 2, a seguir, é representado o recorte espacial da divisão bioclimática no país.

Figura 2 - Abrangência do Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT (2005)

Na análise das diretrizes construtivas são considerados parâmetros e condições de contorno como o tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedação externa e estratégias de condicionamento térmico passivo. Para a avaliação das estratégias construtivas em determinados locais específicos são utilizados arquivos climáticos como o TRY (Test Reference Year), que gera cartas bioclimáticas a partir de softwares para análise e adequação da edificação ao clima local. O uso desses arquivos climáticos em simulação permite identificar os períodos de maior conforto térmico e as estratégias pertinentes para melhorar as condições de desempenho e conforto (SCHELLER et al., 2015; LAMBERTS; DUARTE, 2016).

2.4.1 Diretrizes construtivas para a ZB7

No estudo da ZB7, as características climáticas apontam para um clima quente e seco com médias térmicas anuais superiores a 25°C e precipitação inferior a 1000mm. Os ventos são quentes durante o dia e a amplitude térmica no meio externo e interno, considerando a edificação, é elevada, causando desconforto térmico. Pesquisas recentes mostram características semelhantes à ZB7 no Iraque e em cidades indianas como Jodhpur e Ahmadabad, com clima predominantemente quente e seco, sendo o conforto e desempenho térmico nessas condições, são atendidos de forma racional quando adotadas as estratégias de condicionamento passivo (MEDEIROS et al., 2012; BHAMARE et al., 2020).

Como estratégias de condicionamento térmico passivo, na ZB7 é recomendado o emprego de resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento nas edificações. Além disso, a ventilação seletiva nos períodos de maior amplitude térmica para promover a troca de calor. A diminuição do pico térmico pode ser atendida com uso de envoltória de maior inércia térmica a qual contribui na redução dos picos de temperatura e no aumento do atraso térmico. No estudo recente para a cidade de Tamarasset na Argélia, são recomendadas também as estratégias da ZB7, visto que o clima local se caracteriza por elevadas temperaturas e baixa umidade do ar (ANTONIO, 2015; SEMAHI et al., 2019).

O resfriamento evaporativo é definido como a troca do calor pelo ar resfriado, seja com uso da água ou a evapotranspiração dos vegetais. Essa técnica torna-se eficiente nos climas quentes e secos favorecendo a renovação do ar no interior das habitações. As sensações térmicas nos períodos quentes de verão são amenizadas com o uso da estratégia e o vento passando pelo local resfriado diminui sua temperatura melhorando o desempenho térmico. Enquanto a massa térmica para resfriamento traduz o conceito de capacidade térmica, a qual consiste no uso de elementos robustos na envoltória como paredes mais espessas. Esses elementos diminuem a amplitude térmica interna por meio da inércia térmica, que é a capacidade de renovação do calor. Quanto maior a inércia, menor serão as variações de temperatura interna (MEDEIROS et al., 2012; LAMBERTS et al., 2014; LOBO, 2018).

A ventilação seletiva é uma estratégia que busca criar um fluxo de ar, pertinente nas edificações onde há a necessidade de renovação do ar interior quando internamente o ambiente apresenta temperatura mais elevada que o exterior. Na ZB7 são comuns as variações de temperatura sendo usual a aplicação da estratégia. A ventilação mantém os ambientes mais agradáveis aos usuários e influencia diretamente no desempenho das atividades, tornando-se de extrema importância na substituição dos métodos ativos gerando redução nos consumos energéticos (LAMBERTS; DUARTE, 2016; SARRA, 2018).

A NBR 15220-3 estabelece diretrizes que visam a sustentabilidade térmico-energética das edificações. São apresentadas as exigências construtivas das envoltórias para a ZB7 na Tabela 2 que segue. Relacionado às propriedades termofísicas, a norma supracitada e a NBR 15575 mostram os valores admissíveis relevantes no cálculo do desempenho térmico, considerando cobertura e vedações externas, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 2 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para ZB7

Abertura para ventilação	Pequena
Sombreamento das aberturas	Sombrear
Vedações externas	Parede: pesada Cobertura: pesada

Fonte: Adaptado de ABNT (2020)

Tabela 3 - Propriedades para envoltória da ZB7

Propriedades	Envoltória	NBR 15220	NBR 15575
Transmitância térmica (U) W/m ² K	Vedações externas	$U \leq 2,20$	$U \leq 3,70$ se $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq 2,50$ se $\alpha > 0,6$
	Cobertura	$U \leq 2,00$	$U \leq 2,30FV$ se $\alpha \leq 0,4$ ou $U \leq 1,50FV$ se $\alpha > 0,4$
Capacidade térmica (C) KJ/m ² K	Vedações externas	-----	$C \geq 130$ KJ/m ² K
	Cobertura	-----	-----
Atraso térmico (ϕ) horas	Vedações externas	$\phi \geq 6,5$	-----
	Cobertura	$\phi \geq 6,5$	-----

Fonte: Adaptado de ABNT (2005) e MEDEIROS et al. (2012)

2.5 Simulação com software EnergyPlus e QuickField

A nível de análise computacional, existem uma série de programas responsáveis por realizar testes e simulações nas edificações; avaliam o desempenho térmico bem como a eficiência energética. O mais comum e validado pela ASHRAE Standard 140-2017, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, desenvolvido pelo Departamento de Energia Norte-Americano é o EnergyPlus, o qual encontra-se na atual versão 9.3. O software permite modelar consumos energéticos para aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação; a determinação das cargas térmicas, fluxos de energia e outros aspectos construtivos (BERNARDO, 2017; DOE, 2020).

A NBR 15575 na fase de desempenho térmico das edificações propõe o emprego do EnergyPlus nas simulações de desempenho, podendo utilizar outros programas desde que seja possível avaliar o comportamento térmico da edificação sob condições dinâmicas climáticas, além de ser regulamentado pela ASHRAE Standard 140. Para a análise real do desempenho térmico considerando o clima local, o software integra ao seu processamento arquivos climáticos. Dentre os mais utilizados no Brasil, pode-se citar o Test Reference Year (TRY), Typical Meteorological Year (TMY), Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) (LAMBERTS; DUARTE, 2016).

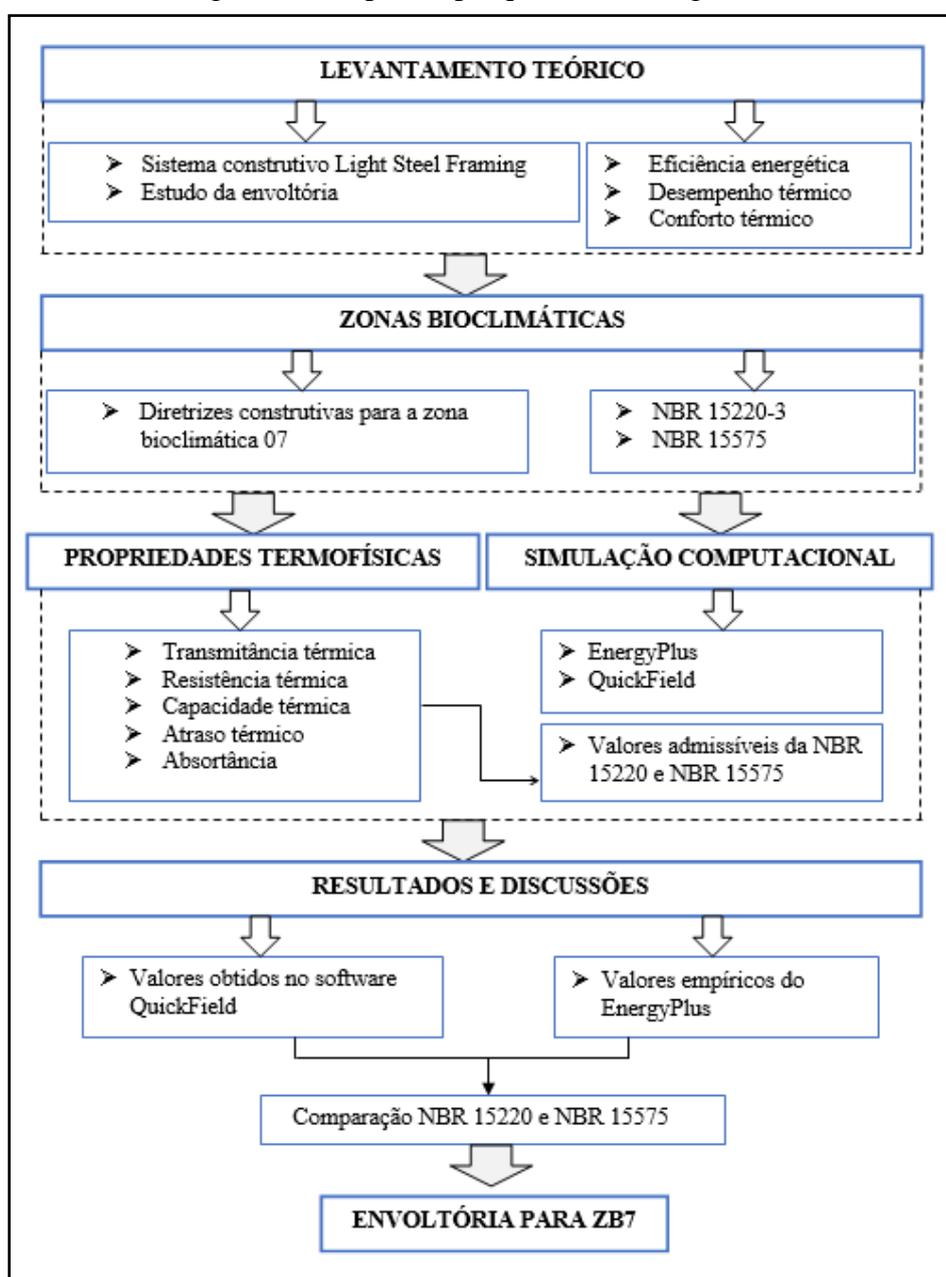
O EnergyPlus simula de forma satisfatória o comportamento termo-energético das construções por meio da especificação de sua geometria, envoltória e das propriedades termofísicas dos elementos. O software é largamente utilizado na comunidade acadêmica internacional pois possibilita realizar inúmeras simulações com objetivo de determinar a melhor adequação climática da edificação e, na fase de projeto, prever os consumos energéticos. Para o sistema construtivo LSF, a simulação numérica do desempenho térmico deve-se passar por método específico, considerando todos os parâmetros e componentes que perfazem sua envoltória (FAVRETTO, 2016; SANTESSO, 2017).

Em similaridade aos programas computacionais para cálculos energéticos, o QuickField considerado um software de elementos finitos, tem como método a ISO 10077 - Thermal performance of Windows, doors and shutters. O programa possibilita simular a transferência de calor obtendo-se o fluxo de calor que passa por uma superfície. Nele são inseridas as propriedades dos diferentes materiais constituintes de um módulo, tendo como resultados indiretos, por intermédio das equações de contorno da NBR 15220-2, as características termofísicas finais como a transmitância térmica, capacidade térmica e o atraso térmico (WEBER et al., 2017; NOWAK et al., 2020).

3. MATERIAS E MÉTODOS

O processo metodológico da pesquisa em análise consistiu em uma revisão bibliográfica da literatura clássica, de teses, dissertações, monografias, revistas e obtenção de resultados empíricos do programa EnergyPlus, e de resultados inéditos por meio do software QuickField, para comparação com os valores admissíveis das propriedades termofísicas da NBR 15220 e NBR 15575. As equações de contorno da NBR 15220-2 foram utilizadas no QuickField de modo indireto, visando extrair os valores das propriedades relevantes ao trabalho proposto. A metodologia baseia-se em uma abordagem comparativa que determina a envoltória adequada à ZB7 para o sistema construtivo em Light Steel Framing. Cada etapa do estudo é descrita de forma cronológica expondo as temáticas abordadas que levaram aos resultados e discussões finais, e estão detalhadas no fluxograma apresentado na Figura 3, a seguir.

Figura 3 – Etapas da pesquisa em fluxograma



3.1 Zonas bioclimáticas

O país apresenta um recorte espacial de 8 zonas distribuídas nas 5 regiões geográficas, distintas pelos seus climas e comportamentos térmicos predominantes, conforme a NBR 15220-3. No entanto, o foco da pesquisa se concentrou nas edificações do clima quente e seco, característico da ZB7.

Estudou-se as diretrizes construtivas para a zona supracitada e suas estratégias de condicionamento térmico passivo, com direcionamento aos tipos de paredes e coberturas adequadas. Para a ZB7, são exigidos valores limites das propriedades térmicas e físicas dos materiais presentes nas envoltórias, sendo abordadas na NBR 15220 e na norma de desempenho, NBR 15575. Tais normas foram estudadas e tomadas como base na adequação construtiva do LSF ao clima.

3.2 Propriedades termofísicas e simulação computacional

A NBR 15220-1 conceitua as diversas propriedades térmicas e físicas relevantes para o consumo energético das habitações. A transmitância térmica, resistência térmica, capacidade térmica, absorvância e o atraso térmico são as principais condicionantes construtivas que determinam os tipos de paredes, coberturas e suas espessuras e elementos na composição adequados às zonas bioclimáticas. Diversos autores que tratam da abordagem em seus trabalhos científicos, foram estudados com objetivo de obter em simulação computacional os valores das propriedades e estabelecer o ideal tipo de envoltória para a ZB7. Esta fase deteve-se à coleta de resultados empíricos por meio do programa EnergyPlus, em que Lobo (2018) simula 4 tipos de paredes e um tipo de cobertura com enchimento em EPS e lã de rocha, conforme a Tabela 4. Em seguida, obteve-se os valores da transmitância térmica, capacidade térmica e do atraso térmico para cada fechamento.

Tabela 4 - Tipos de envoltórias de LSF

Fechamento
LSF Simples
LSF + EPS
LSF + Lã de vidro
LSF + EPS + Lã de vidro
Cobertura LSF

Fonte: Adaptado de Lobo (2020)

Na segunda etapa foi posta em simulação no software QuickField uma tipologia de parede e cobertura com espessuras e componentes compatíveis com os resultados empíricos do EnergyPlus. No programa, adotou-se o regime estacionário para a simulação por diferença de temperatura das faces internas e externas da envoltória conforme orienta Weber et al. (2017). Os dados de alimentação do software consistiram na densidade de massa aparente, condutividade térmica e no calor específico dos materiais conforme Tabela 5. Como resultado, tem-se o fluxo de calor que passa através das superfícies do módulo e, pela Equação 1, extrai-se o valor da transmitância térmica. Os valores da capacidade térmica e do atraso térmico são obtidos pela manipulação das equações especificadas na NBR 15220-2.

Tabela 5 - Características térmicas e físicas dos materiais das envoltórias

Material	Densidade de massa aparente (ρ – Kg/m ³)	Condutividade térmica (λ – W/(m.K))	Calor específico (c - KJ/(Kg.K))
Placas cimentícias	2200	0,95	0,84
Lã de vidro	100	0,045	0,70
Poliestireno expandido (EPS)	35	0,040	1,42
Telha cerâmica	1300	0,70	0,92

Fonte: Adaptado de ABNT (2020)

$$U = \frac{\phi_q}{\Delta T \cdot h} \quad (1)$$

Onde,

ϕ_q = fluxo de calor (W);

ΔT = variação da temperatura externa e interna (°C);

h = altura do módulo (m).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Simulação empírica no EnergyPlus

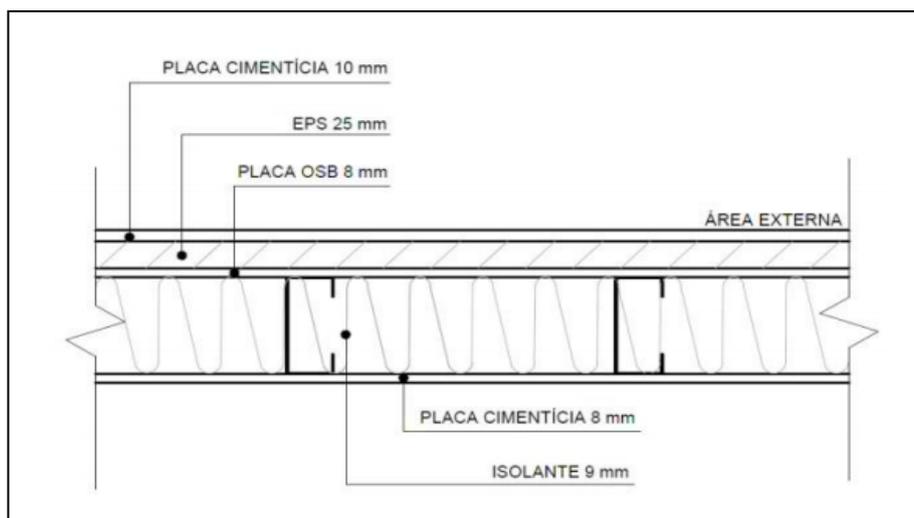
No EnergyPlus foram obtidos empiricamente os valores da transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de acordo com a Tabela 6, que segue. Cada parede e a cobertura possuem espessuras variáveis nos materiais que compõem o módulo, modificando os valores finais das propriedades analisadas. Observa-se que apenas a tipologia composta por EPS + Lã de vidro atende às exigências para a ZB7, com atraso térmico superior a 6,5 horas. A transmitância obtida está dentro do limite estabelecido e, a capacidade térmica, difere do limite nas vedações externas, mas possível de aplicação construtiva em LSF no clima quente e seco como pode ser observado na Figura 4. Na vedação superior definida pela cobertura, os limites são atendidos integralmente em ambas propriedades, de acordo com a ZB7, conforme mostrado na Figura 5, a seguir.

Tabela 6 - Valores das propriedades e suas tipologias de LSF

Fechamento	Espessura total (mm)	Transmitância térmica (U)	Capacidade térmica (C)	Atraso térmico (ϕ)
LSF Simples	18	2,95	36,96	1,23
LSF + EPS	43	1,03	56,68	3,69
LSF + Lã de vidro	27	0,46	43,26	4,65
LSF + EPS + Lã de vidro	60	0,36	62,98	6,62
Cobertura LSF	77,45	1,65	184,98	7,27

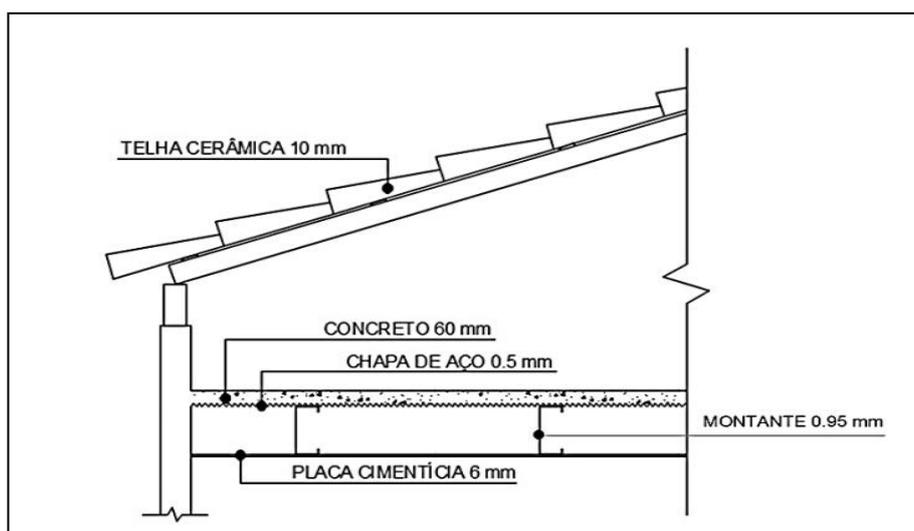
Fonte: Adaptado de Lobo (2020)

Figura 4 - Parede em LSF + EPS + Lã de vidro



Fonte: Adaptado de Lobo (2018)

Figura 5 - Cobertura em LSF

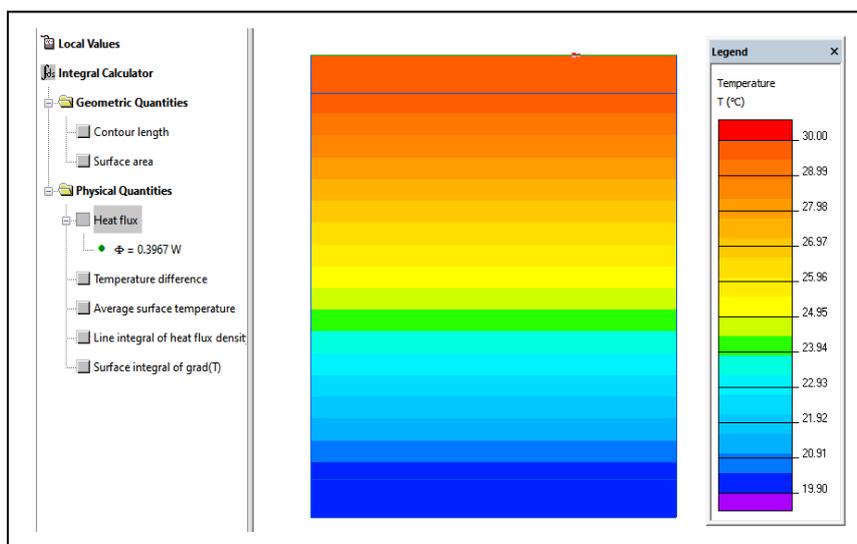


Fonte: Adaptado de Lobo (2018)

4.2 Simulação no QuickField

A simulação feita no QuickField foi a versão 6.4, a mais recente trabalhada pela comunidade acadêmica. Foram fornecidos os dados de entrada dos materiais compostos do módulo, sendo a placa cimentícia e o Poliestireno Expandido (EPS). A variação de temperatura considerada, do ambiente interno para o externo, foi de 10 °C, com espessura total da parede de 11 cm. Foram utilizadas duas placas cimentícias, cada uma delas com espessura de 1 cm, com o preenchimento, entre elas, feito de EPS na espessura de 9 cm. Como resultado, obteve-se um fluxo de calor na ordem de 0,3967 W conforme a Figura 6, a seguir. As propriedades térmicas e físicas calculadas por meio das equações de contorno da NBR 15220-2 estão discriminadas na Tabela 7.

Figura 6 - Simulação do fluxo de calor em vedação vertical



Fonte: Autor (2020)

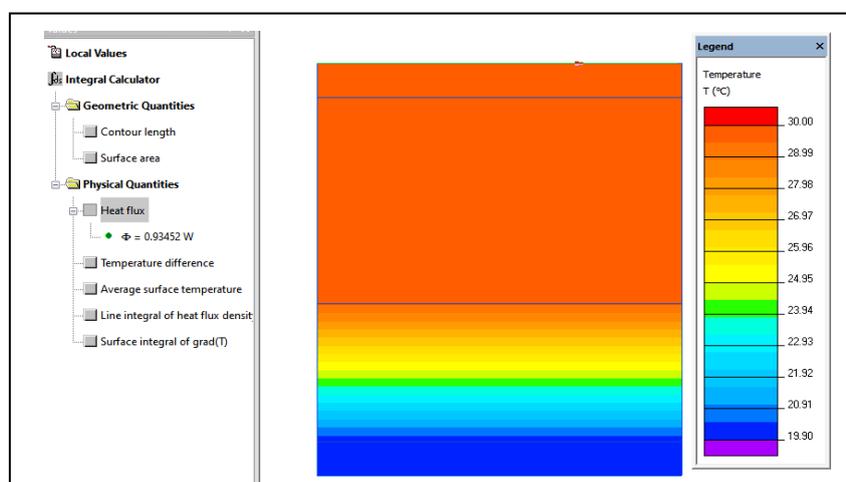
Tabela 7 - Valores das propriedades da envoltória

Fechamento	Espessura total (mm)	Transmitância térmica (U)	Capacidade térmica (C)	Atraso térmico (ϕ)
LSF + EPS	110	0,36	41,43	20,45
Cobertura LSF	110	0,85	175,93	6,54

Fonte: Autor (2020)

De modo semelhante, para a cobertura considerou-se um módulo equivalente a tipologia de cobertura real conforme orienta a NBR 15220-2. Os materiais de composição do módulo são a telha cerâmica com 1 cm de espessura, laje em concreto maciço de 6 cm, recheio de EPS com 3 cm e o forro, placa cimentícia de 1 cm. A variação de temperatura foi também de 10 °C, resultando no fluxo de calor total do sistema em 0,9345 W, mostrado na Figura 7. Todas as propriedades termofísicas relevantes foram determinadas pelas mesmas equações aplicadas às vedações verticais, expostas na Tabela 7, supracitada.

Figura 7 - Simulação do fluxo de calor em cobertura



Fonte: Autor (2020)

4.3 Comparativo com a NBR 15220 e NBR 15575

Os resultados empíricos e inéditos mostram que as vedações e coberturas simuladas apontam para o adequado desempenho térmico e eficiência energética em edificações inseridas na ZB7, podendo-se aplicar tais envoltórias com a promoção das estratégias de condicionamento térmico passivo. Quanto aos valores das propriedades térmicas e físicas, apenas a capacidade térmica das paredes não é atendida pela exigência da NBR 15575, fato que a propriedade se refere a quantidade de calor necessário para variar em uma unidade a temperatura do sistema, tendo a influência do concreto na cobertura para o aumento da capacidade térmica. O comparativo total pode ser analisado por meio da Tabela 8, em que são expostos os resultados totais e os limites admissíveis da NBR 15220-3 e NBR 15575.

Tabela 8 - Valores finais comparativos das propriedades termofísicas das envoltórias

Propriedades	Envoltória	NBR 15220	NBR 15575	EnergyPlus	QuickField
Transmitância térmica (U) W/m ² K	Vedações externas	$U \leq 2,20$	$U \leq 3,70$ se $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq 2,50$ se $\alpha > 0,6$	$U = 0,36$	$U = 0,36$
	Cobertura	$U \leq 2,00$	$U \leq 2,30FV$ se $\alpha \leq 0,4$ ou $U \leq 1,50FV$ se $\alpha > 0,4$	$U = 1,65$	$U = 0,85$
Capacidade térmica (C) KJ/m ² K	Vedações externas	-----	$C \geq 130$ KJ/m ² K	$C = 62,98$	$C = 41,43$
	Cobertura	-----	-----	$C = 184,98$	$C = 175,93$
Atraso térmico (ϕ) horas	Vedações externas	$\phi \geq 6,5$	-----	$\phi = 6,62$	$\phi = 20,45$
	Cobertura	$\phi \geq 6,5$	-----	$\phi = 7,27$	$\phi = 6,54$

Fonte: Autor (2020)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração da pesquisa, foram alcançados os objetivos propostos obtendo-se resultados satisfatórios na determinação de vedações e coberturas externas em Light Steel Framing para o clima quente e seco, característico da ZB7. O trabalho de cunho empírico conceitual mostra a relevância do estudo da bioclimatologia e eficiência energética das edificações, frisando a temática da sustentabilidade mundial com o emprego de estratégias de condicionamento térmico passivo aos sistemas construtivos ditos racionalizados como o LSF, apresentando dinâmicas construtivas que variam conforme a zona em que se insere a edificação.

O comparativo dos resultados empíricos e inéditos com as normas de desempenho térmico em edificações mostrou que os limites em sua grande maioria foram atendidos, discrepando apenas na capacidade térmica das vedações externas na NBR 15575. Em relação ao atraso térmico, o resultado em horas da simulação no QuickField para paredes externas foi elevado quando comparado ao limite da NBR 15220-3, mas sem indicações ou restrições normativas aos valores superiores a 6,5 horas. As tipologias adotadas e simuladas orientam à aplicabilidade às construções de LSF no clima quente e seco, promovendo o conforto térmico aos usuários com baixo dispêndio de energia e minimização do uso de métodos ativos à promoção do conforto.

A temática também apresenta as características bioclimáticas do Brasil com aplicação de estratégias construtivas que se modificam de acordo com a localidade conforme a NBR 15220-3, podendo-se simular na fase de projeto ou em edificações existentes a eficiência energética e o desempenho térmico, calculando as propriedades termofísicas das envoltórias adequando aos diferentes sistemas construtivos nas zonas bioclimáticas.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2013.

AKDAG, Saffet; YILDIRIM, Hakan. Toward a sustainable mitigation approach of energy efficiency to greenhouse gas emissions in the European countries. **Heliyon**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 1-10, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03396>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020302413>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ÁLVARES, Simone Mesquita. **Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto**: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4. 2018. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. New York – USA, 2017.

ANTONIO, Fernanda. **Premissas e estratégias para uma Casa Solar visando à redução de emissões de gases de efeito estufa por meio da conservação e geração de energia**. 2015. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

AZMI, Nabeeha Amatullah; IBRAHIM, Siti Halipah. A comprehensive review on thermal performance and envelope thermal design of mosque buildings. **Building And Environment**, [S.L.], v. 185, p. 1-19, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107305>. Disponível em: <https://sci-hub.do/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320306764>. Acesso em: 29 set. 2020.

BERNARDO, Marcio. **Avaliação comparativa do desempenho térmico de painéis de Light Steel Frame pré-fabricados para uso em construções modulares**. 2017. 95 f. Dissertação (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

BHAMARE, Dnyandip K. *et al.* Evaluation of cooling potential of passive strategies using bioclimatic approach for different Indian climatic zones. **Journal Of Building Engineering**,

[S.L.], v. 31, p. 1-11, set. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobte.2020.101356>. Acesso em: 07 out. 2020.

BORGES, Gabriel Adão. **Comparação do desempenho energético entre sistema de condicionamento de ar com distribuição pelo piso e pelo teto, utilizando o modelo computacional EnergyPlus**. 2018. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DALTROZO, Jenifer Godoy. **Análise comparativa das avaliações do RTQ-C e do RTQ-R para uma edificação hoteleira**. 2018. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DOE, U.s. Department Of Energy'S. **ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY**. 2020. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

FAVRETTO, Ana Paula Oliveira. **Refression models to assess the thermal performance of Brazilian low-cost houses: consideration of opaque envelope**. 2016. 132 p. Thesis (Master of Science) – Institute of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

FABRICIO, Márcio Minto; BRITO, Adriana Camargo de; VITTORINO, Fúlvio (org.). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação**. Porto Alegre: Scienza, 2017. 398 p. ANTAC. Disponível em: <https://www.antac.org.br/livros>. Acesso em: 30 abr. 2020.

FURUYAMA, Cristiane Mitiko Sato. **Eficiência em tecnologias de iluminação artificial: o led e a tecnologia fluorescente**. 2019. 252 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 592 p. ANCHIETA, Camila Chagas. **Regression models to assess the thermal performance of Brazilian low-cost houses: consideration of solar incidence and shading devices**. 2016. 160 f. Dissertation (Master) - Graduate Program In Architecture and Urbanism, Institute Of Architecture And Urbanism of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

GUIMARÃES, Marcio Martins *et al.* Vantagens ambientais do sistema construtivo light steel framing no segmento de construção civil. **Revista Tecnológica da Universidade de Santa Úrsula**, [S. I.], v. 2, n. 1, p. 39-54, jun. 2019. Semestral. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/issue/view/130/showToc>. Acesso em: 01 jun. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 18 jun. 2020.

JÚNIOR, Jairo José Frutuoso. **Modelagem paramétrica 3D em bim orientada ao projeto de fabricação e montagem de edifícios em light steel framing**. 2018. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUARTE, Vanessa C. P.. **Desempenho térmico de edificações**. 7. ed. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2016.

LAMBERTS, Roberto *et al.* **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras Procel, 2014. 382 p. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>. Acesso em: 08 abr. 2020.

LOBO, Eduardo Berenger de Carvalho. **Desempenho térmico de painéis em light steel framing em uma habitação de interesse social frente ao clima equatorial da amazônia**. 2018. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

LOPES, Mauricio Nath. **Desenvolvimento de metamodelo para a determinação do consumo anual em climatização aplicado edifícios de escritórios com sistema do tipo água gelada em diferentes climas**. 2019. 205 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

MAHER, Dhahri; HANA, Aouinet; SAMMOUDA, Habib. Numerical approximation of air flow, temperature distribution and thermal comfort in buildings. **Scientific African**, [S.L.], v. 8, p. 1-18, jul. 2020. Bimestral. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00353>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620300910#bib0020>. Acesso em: 15 abr. 2020.

MASS, Bárbara Holzmann. **Resíduos de construção civil na obra de uma edificação e seus impactos**: estudo de caso de uma residência em light steel framing e simulação de uma alvenaria. 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MARQUES, Tássia Helena Teixeira. **Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP**. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MEDEIROS, Deisyane Câmara Alves de; NOME, Carlos; ELALI, Gleice. Construindo no clima quente e seco do Brasil: conforto térmico e eficiência energética para a zona bioclimática 7. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, 9., 2012, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Nutau, 2012. v. 9, p. 1-15.

MURARI, Alexandre Rodriguez. **Avaliação do desempenho termoacústico de painéis de vedação vertical em wood frame. Estudo de caso**: habitação unifamiliar em São Carlos - SP. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

NOGUEIRA, Jocely Rosanna da Silva; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; DURANTE, Luciane Cleonice. Desempenho de painel de vedação vertical externa em Light Steel Framing composto por placas de madeira mineralizada. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 289-307, set. 2018. Trimestral. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300282>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000300289&lang=pt. Acesso em: 23 mar. 2020.

NOWAK, James F. *et al.* Freeform fabrication of fiber-reinforced hydrogels using direct-write far-field electrospinning. **Journal Of Manufacturing Processes**, [S.L.], v. 58, p. 955-963, out. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.08.041>. Acesso em: 07 out. 2020.

OLIVIERI, Hylton; BARBOSA, Ivan Carlos Alves; ROCHA, Antonio Carlos da; GRANJA, Ariovaldo Denis; FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: light steel framing. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 45-60, dez. 2017. Trimestral. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400184>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/72065>. Acesso em: 17 jun. 2020.

OPOKU, Richard; ADJEI, Eunice A.; AHADZIE, Divine K.; AGYARKO, Kofi A.. Energy efficiency, solar energy and cost saving opportunities in public tertiary institutions in developing countries: the case of knust, ghana. **Alexandria Engineering Journal**, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 417-428, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820300120>. Acesso em: 08 maio 2020.

PARK, Won Young *et al.* Lost in translation: overcoming divergent seasonal performance metrics to strengthen air conditioner energy-efficiency policies. **Energy For Sustainable Development**, [S.L.], v. 55, p. 56-68, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2020.01.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082619313560>. Acesso em: 23 set. 2020.

PERUSSI, Rafael. **Comportamento térmico de um sistema de cobertura verde: um experimento utilizando plataformas de teste**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

PINHEIRO, Juarez Mota. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. 2018. 242 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

PRADO, Clarice Gavazza dos Santos. **Eficiência energética em edificações públicas: aplicação em projeto padrão de fóruns do poder judiciário alagoano**. 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

PUJADAS-GISPERT, Ester; ALSAILANI, Mohammed; (KOEN), K.C.A. van Dijk; (ANNINE), A.D.K. Rozema; (PUCK), J.P. Ten Hoope; (CARMEN), C.C. Korevaar; (FAAS), S.P.G. Moonen. Design, construction, and thermal performance evaluation of an innovative bio-based ventilated façade. **Frontiers Of Architectural Research**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 681-696, set. 2020. Trimestral. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2020.02.003>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263520300170>. Acesso em: 24 abr. 2020.

RABANI, Mehrdad; MADESSA, Habtamu Bayera; MOHSENI, Omid; NORD, Natasa. Minimizing delivered energy and life cycle cost using Graphical script: an office building retrofitting case. **Applied Energy**, [S.L.], v. 268, p. 1-19, 15 jun. 2020. Semestral. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114929>. Acesso em: 20 jun. 2020.

REUTER, Matthias; PATEL, Martin K.; EICHHAMMER, Wolfgang; LAPILLONNE, Bruno; POLLIER, Karine. A comprehensive indicator set for measuring multiple benefits of energy efficiency. **Energy Policy**, [S.L.], v. 139, p. 1-20, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111284>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-policy/vol/139/suppl/C>. Acesso em: 08 maio 2020.

RIJAL, H.B.; HUMPHREYS, M.A.; NICOL, J.F.. Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwellings. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 202, p. 1-14, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109371>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819315269#bib0016>. Acesso em: 25 jul. 2020.

RINCÓN, Lúdia; CARROBÉ, Ariadna; MARTORELL, Ingrid; MEDRANO, Marc. Improving thermal comfort of earthen dwellings in sub-Saharan Africa with passive design. **Journal Of Building Engineering**, Lisboa, v. 24, p. 1-11, jul. 2019. Bimestral. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100732>. Acesso em: 10 maio 2020.

ROCHA, Antonio Carlos da. **Análise comparativa de planejamento e custo de fachadas de edifício de múltiplos pavimentos com as tecnologias tradicional e com chapas delgadas estruturadas em light steel framing**. 2017. 391 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

RUPP, Ricardo Forgiarini; KIM, Jungsoo; DEAR, Richard de; GHISI, Enedir. Associations of occupant demographics, thermal history and obesity variables with their thermal comfort in air-conditioned and mixed-mode ventilation office buildings. **Building And Environment**, [S.L.], v. 135, p. 1-9, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.049>. Disponível em: <https://sci-hub.do/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318301215>. Acesso em: 08 abr. 2020.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador; SOARES, Alan Deivid Alves; LORENTZ, Larissa Petrini Alves; PAULA, Larissa Tatiane Gonçalves de. Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e light steel framing: um estudo de caso em residência uniifamiliar em teófilo otoni, mg. **Research, Society And Development**, Vargem Grande Paulista, v. 8, n. 9, p. 1-26, 14 jun. 2019. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i9.1268>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1268>. Acesso em: 21 abr. 2020.

SANTESSO, Caroline Antonelli. **Integração da ventilação híbrida e da iluminação natural em saletas comerciais na cidade de São Paulo:** influência de parâmetros de projeto. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SARRA, Sheila Regina. **Desempenho de edifícios comerciais representativos da arquitetura modernista em São Paulo:** avaliação do Edifício Itália com enfoque em ergonomia. 2018. 555 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2018.

SEMAHI, Samir *et al.* Comparative bioclimatic approach for comfort and passive heating and cooling strategies in Algeria. **Building And Environment**, [S.L.], v. 161, p. 1-19, ago. 2019. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106271](http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106271). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106271>. Acesso em: 07 out. 2020.

SCHELLER, Camila *et al.* **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2015.

SILVA, Pedro Paulo Fernandes da *et al.* **Calibração do consumo de energia elétrica simulado por um modelo EnergyPlus:** estudo de caso no hospital universitário da universidade de são paulo. 2018. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SINAT 003. **Sistemas construtivos em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo Light Steel Framing).** MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional de Habitação-SNH. Programa Brasileiro de Qualidade e produtividade no Habitat- PBQP-H. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores - SINAT. Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos - Diretrizes SINAT. Brasília, 2016.

SILVA, Hannah Gomes. **Proposta de adequação de projeto arquitetônico residencial previsto em processo construtivo convencional para sistema light steel framing.** 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Processos Construtivos, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade Fumec, Belo Horizonte, 2018.

SOARES, Maicon Motta; SILVA, Antônio César Silveira Baptista da. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 305-327, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100137>. Acesso em: 16 maio 2020.

TSUDA, Fernanda Panontin. **Conforto, adequação climática e o papel dos códigos de edificações:** os desafios de São Paulo frente ao estado da arte no Brasil e no mundo. 2019. 142p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

WEBER, Fernando da Silva *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes**

construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2017. 52 p.

XIA, Yaowen *et al.* Experimental and numerical studies on indoor thermal comfort in fluid flow: a case study on primary school classrooms. **Case Studies In Thermal Engineering**, [S.L.], v. 19, p. 1-8, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2020.100619>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/case-studies-in-thermal-engineering/vol/19/suppl/C>. Acesso em: 28 jul. 2020.

ZENERATO, Thais Sacomani *et al.* Análise Acústica de Fachadas de Light Steel Frame e Placas Cimentícias. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 1-11, mar. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0685>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1517-7076&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 jun. 2020.

ZHAO, Qiantao *et al.* Thermal comfort models and their developments: a review. **Energy And Built Environment**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 21-33, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123320300593>. Acesso em: 16 set. 2020.