



**EMILY SAÚDE MARTINS
GABRIELLE MENDES DELLA CROCE**

**DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE MÉTODOS
CONSTRUTIVOS EM ALVENARIA CONVENCIONAL E
INSULATING CONCRETE FORMS (ICF): ESTUDO DE CASO
EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

**LAVRAS – MG
2023**

**EMILY SAÚDE MARTINS
GABRIELLE MENDES DELLA CROCE**

**DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS EM ALVENARIA
CONVENCIONAL E *INSULATING CONCRETE FORMS* (ICF): ESTUDO DE CASO
EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de bacharel.

Prof.(a). Dr.(a). Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

**EMILY SAÚDE MARTINS
GABRIELLE MENDES DELLA CROCE**

**DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS EM ALVENARIA
CONVENCIONAL E *INSULATING CONCRETE FORMS* (ICF): ESTUDO DE CASO
EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

**THERMAL PERFORMANCE BETWEEN CONSTRUCTION METHODS IN
CONVENTIONAL MASONRY AND *INSULATING CONCRETE FORMS* (ICF):
CASE STUDY IN SOCIAL INTEREST HOUSING**

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de bacharel.

APROVADA em 8 de dezembro de 2023.
Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro UFLA
Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu UFLA
Dr. Tadayuki Yanagi Junior UFLA

Prof.(a). Dr.(a). Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

RESUMO

A construção de habitações de interesse social visa mitigar o déficit habitacional no Brasil e permitir o acesso à moradia digna pela população. O uso de métodos construtivos inovadores tem sido estudado como alternativa para abordar essa questão social. Nesse contexto, pretendeu-se no presente trabalho analisar e comparar o desempenho térmico do método em alvenaria convencional e do método em ICF (*Insulating Concrete Forms*) para um projeto padrão de habitação de interesse social localizada na cidade de Lavras-MG, destacando a relevância dessa análise para melhoria da sensação de conforto térmico dos moradores e garantia de acesso à moradia digna à população de baixa renda. Para isso, a metodologia adotada possibilitou a comparação das características de transmitância térmica, capacidade térmica e abertura para ventilação para ambos os métodos construtivos, além da avaliação da trajetória solar para a edificação em estudo e as estratégias de condicionamento térmico para a zona bioclimática da cidade. Por meio dos resultados obtidos, em comparação com a alvenaria convencional, o ICF foi 6,2 vezes um melhor isolante térmico pela análise da transmitância térmica da parede. Além disso, apresentou quase o dobro de eficiência energética se tratando de capacidade térmica da parede. Quanto às coberturas, o ICF ofereceu 1,4 vezes melhor conforto interno pela comparação de transmitância térmica. Constatou-se, assim, que o método construtivo em ICF é uma melhor alternativa para habitações de interesse social em comparação com a alvenaria convencional, mesmo com as pequenas desvantagens, principalmente por se tratar de uma tecnologia relativamente nova.

Palavras-chave: Moradia digna. Zoneamento bioclimático. Propriedades térmicas. Componentes construtivos. Vedações externas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício residencial composto de paredes em alvenaria e de estrutura em concreto armado.	13
Figura 2 – Assentamento de tijolos cerâmicos.	15
Figura 3 – Execução de revestimento com argamassa.	16
Figura 4 – Distribuição de cargas na estrutura de uma edificação.	17
Figura 5 – Concretagem de laje em concreto armado.	17
Figura 6 – Elementos da estrutura em concreto armado.	19
Figura 7 – Laje pré-moldada cerâmica.	20
Figura 8 – Bloco de ICF.	22
Figura 9 – Componente de (a) vedação com 12 centímetros de espessura; (b) estrutural com 18 centímetros de espessura.	23
Figura 10 – Fundação e primeira fiada.	25
Figura 11 – Paredes externas em ICF (a) concretadas; (b) com aplicação de chapisco.	26
Figura 12 – Zoneamento bioclimático brasileiro.	27
Figura 13 – Protótipos para experimento (a) em construção; (b) finalizados.	29
Figura 14 – Coleta de temperaturas.	30
Figura 15 – Teste comparativo da demanda para refrigeração ou ventilação artificial em paredes de alvenaria convencional e em ICF.	31
Figura 16 – Temperatura superficial mensurada com câmera termográfica em um colégio com (a) parede de concreto; (b) sistema ICF.	32
Figura 17 – Planta baixa da residência.	33
Figura 18 – Planta de situação da residência.	34
Figura 19 – Corte AA da residência.	34
Figura 20 – Parede de alvenaria convencional (a) ilustração; (b) propriedades térmicas.	38
Figura 21 – Cobertura do método em alvenaria convencional (a) ilustração; (b) propriedades térmicas.	41
Figura 22 – Cobertura do método em ICF (a) ilustração; (b) propriedades térmicas.	41
Figura 23 – Carta Solar para a cidade de Lavras-MG.	43
Figura 24 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Norte.	44
Figura 25 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Leste.	44
Figura 26 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Oeste.	45
Figura 27 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Sul.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços e resistências de concreto.....	18
Tabela 2 – Comparação entre temperaturas.	30
Tabela 3 – Comparativo de transmitância térmica de paredes externas.....	39
Tabela 4 – Comparativo de capacidade térmica de paredes externas.....	39
Tabela 5 – Dimensionamento das esquadrias.....	40
Tabela 6 – Comparativo do percentual de abertura para ventilação dos APP.....	40
Tabela 7 – Comparativo de transmitância térmica de coberturas.....	42
Tabela 8 – Avaliação das aberturas para ventilação dos APP.....	42
Tabela 9 – Comparativo entre as recomendações da NBR 15220-3.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral.....	8
2.2	Objetivos específicos	8
3	JUSTIFICATIVA	9
4	REFERENCIAL TEÓRICO	10
4.1	Habitações de interesse social	10
4.2	Alvenaria convencional	12
4.2.1	Origem da alvenaria convencional.....	12
4.2.2	Características, composição e normatização da alvenaria convencional	13
4.2.3	Etapas construtivas da alvenaria convencional	20
4.3	<i>Insulating concrete forms (ICF)</i>	21
4.3.1	Origem do ICF	21
4.3.2	Características, composição e normatização do ICF.....	22
4.3.3	Etapas construtivas do ICF.....	24
4.4	Desempenho térmico.....	26
4.4.1	Estudos comparativos sobre o desempenho térmico de construções em alvenaria convencional e em ICF	29
5	METODOLOGIA	32
5.1	Projeto em análise.....	32
5.2	Análise do desempenho térmico	35
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização cada vez mais crescente modifica o ambiente de diversas formas, sendo o clima um dos fatores mais influenciados. Segundo Mendonça (2000), as principais mudanças climáticas do ambiente urbano estão relacionadas à temperatura, à umidade relativa do ar e aos ventos. Possuindo comportamentos inversos, a elevação da temperatura e a queda da umidade relativa do ar tendem a apresentar como consequências o desconforto térmico humano.

Salienta-se que julho de 2023 foi o mês mais quente registrado na história, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM). A temperatura chegou a atingir 0,72°C acima da média registrada entre os anos 1991 e 2020, além de 0,33°C acima do recorde anterior de julho de 2019. Samantha Burgess, vice-diretora do Serviço de Mudança Climática Copérnico, parceira da OMM, afirma que esse novo recorde tem consequências perigosas para a humanidade e para o planeta, que fica cada vez mais suscetível a eventos extremos frequentes e intensos (NAÇÕES UNIDAS, 2023).

Segundo Lamberts (2010), a avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste em considerar a sua resposta física à influência do meio ambiente externo e do seu uso pelos ocupantes, comparando os resultados com requisitos quantitativos e qualitativos pré-estabelecidos. Esta resposta configura o comportamento térmico da edificação, expresso por meio da variação de temperatura e umidade do ar nos ambientes internos e, sendo influenciado pelos ganhos de calor tanto através das superfícies quanto os gerados internamente. Desta forma, os ocupantes estão sujeitos à influência do comportamento térmico da edificação.

Nesse aspecto, o conforto térmico – entendido como a condição na qual um indivíduo se encontra satisfeito com as condições de temperatura e umidade do ambiente que o cerca – é um elemento fundamental e cada vez mais estudado para o planejamento e construção de habitações, uma vez que influencia diretamente a saúde e bem-estar dos ocupantes, além de contribuir para minimizar o consumo de recursos naturais.

A Constituição Federal do Brasil (1988) reserva a todo cidadão o direito de moradia. Com o crescimento desordenado das cidades e o aumento do déficit habitacional, tornou-se evidente a necessidade de alternativas e políticas públicas voltadas a esse aspecto. Conforme destacado pela Fundação João Pinheiro (2013), o conceito de necessidades habitacionais se desdobra em duas dimensões principais: o déficit habitacional e a inadequação das moradias. A primeira se refere à necessidade de construção de novas habitações para cumprimento do

papel social, enquanto a segunda dimensão evidencia a necessidade de aprimoramento das unidades habitacionais, em busca da qualidade de vida dos moradores.

Dessa forma, o aumento na quantidade de habitações sociais deve ser acompanhado de fatores como qualidade construtiva, condições climáticas, eficiência energética e qualidade de vida dos ocupantes. Correia (2010) salienta a importância da consideração das condições climáticas nas edificações, especialmente nos projetos de habitações de interesse social, uma vez que a maximização do uso de recursos naturais diminui os custos referentes a iluminação e climatização artificial.

Neste contexto, o presente trabalho propõe uma análise comparativa de desempenho térmico entre dois métodos construtivos que podem ser utilizados em habitações de interesse social: a alvenaria convencional e o método construtivo *Insulating Concrete Forms* (ICF). A alvenaria convencional, tradicional e amplamente empregada na construção civil, é reconhecida por sua durabilidade e resistência, todavia pode apresentar desafios em termos de isolamento térmico. Por outro lado, o método ICF, tem ganhado destaque devido a sua praticidade, redução no tempo de execução da obra de até 40% a depender da sua complexidade, além da possibilidade de propiciar eficiência energética aos ambientes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho térmico da alvenaria convencional e do ICF para uma habitação de interesse social localizada na cidade de Lavras-MG, classificada na zona bioclimática 3, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005).

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o desempenho térmico dos sistemas de vedações verticais externas (SVVE) e das coberturas para ambos os métodos construtivos, conforme critérios exigidos no procedimento simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2021), através da plataforma Projeteer e de embasamento teórico;

Avaliar as recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 3 quanto às aberturas, vedações externas e estratégias de condicionamento, por meio da plataforma Projeteer, de embasamento teórico e da carta solar da cidade de Lavras gerada pelo programa Sol-Ar;

Propor a melhor alternativa entre os métodos construtivos – de acordo com o desempenho térmico avaliado – para uma habitação de interesse social, que minimize o déficit habitacional ao mesmo tempo que ofereça uma moradia digna com melhor conforto térmico aos moradores.

3 JUSTIFICATIVA

As habitações de interesse social desempenham um papel essencial na busca por soluções para mitigar o déficit habitacional no país e garantir o acesso à moradia digna, direito fundamental reconhecido internacionalmente pela ONU e estabelecido na Constituição Federal do Brasil de 1988.

No Brasil, devido a diversidade climática significativa, se torna evidente a necessidade de consideração das especificidades regionais no projeto e construção dessas habitações, bem como dos materiais e métodos construtivos empregados, com vista a atender além da demanda por moradia, condições que ofereçam qualidade de vida e sensação de conforto térmico aos moradores da residência.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Habitações de interesse social

A habitação está inserida como um direito fundamental, pautada na dignidade humana, que tem como base liberdade, autonomia e proteção contra o tratamento desumano. O direito à moradia respalda-se tanto em direitos civis e políticos quanto em direitos econômicos e sociais, sendo dessa maneira reconhecido simultaneamente pelo PIDESC (Pacto Internacional sobre Direitos Econômicos, Sociais e Culturais) e pelo PIDCP (Pacto Internacional sobre Direitos Civis e Políticos) no âmbito das Nações Unidas (OSÓRIO, 2014).

Ademais, o direito à moradia digna é pautado pela atual Constituição Federal do Brasil e orientado pela Organização das Nações Unidas (ONU) nas Diretrizes para Implementação do Direito à Moradia Adequada (2019), documento que reúne um conjunto de princípios que inclui a disponibilidade, acessibilidade, adequação, segurança da posse, participação e não discriminação quanto ao acesso da população à moradia. Esses princípios contribuem para moldar políticas e práticas governamentais que asseguram que esse direito seja respeitado e protegido.

Seguindo a definição dada por Abiko (1995), habitação popular é um termo genérico que determina uma solução de moradia para a população considerada de baixa renda. Ademais, ele afirma que para que haja satisfação humana é necessário ir além da unidade habitacional e abranger também o ambiente em seu entorno.

A política pública brasileira atribuiu, ao longo da história, nomes diferentes para as moradias em questão: habitação popular, habitação econômica, habitação de baixa renda e finalmente, habitação de interesse social (SHIMBO, 2010). Além da nomenclatura, alterou-se também a forma de intervenção do Estado em tal política social.

Durante a Era Vargas, especificamente no ano de 1946, originou-se no Brasil a habitação como política pública em uma tentativa de solucionar a problemática da habitação popular. Instituída pelo Decreto Lei n.º 9.218, de 1º de maio de 1946, criou-se a Fundação Casa Popular (FCP) objetivando beneficiar a população com baixo poder aquisitivo, uma vez que anteriormente havia somente as Caixas de Aposentadoria e Pensões através de carteira prediais para associados (ANDRADE; AZEVEDO, 2011). Ainda segundo Andrade e Azevedo (2011), a partir do Decreto Lei n.º 9.777/46 a fundação ampliou seus horizontes abrangendo áreas complementares, como financiamento de obras urbanísticas de infraestrutura e financiamento de estudos de pesquisa.

Entretanto, a FCP na época não tinha estrutura para a proporção de responsabilidade assumida e depois de várias tentativas frustradas de mudança, a política habitacional brasileira passou a modificar-se de fato com a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH), em 1964.

A primeira iniciativa brasileira de criação de uma política habitacional de abrangência nacional com objetivos e metas definidos, fontes de recursos permanentes e mecanismos próprios de financiamento ocorreu em 1964, com a edição da lei nº 4.380/64. Esta lei instituiu o Sistema Financeiro de Habitação - SFH, o Banco Nacional da Habitação - BNH e a correção monetária nos contratos imobiliários de interesse social, dentre outras medidas (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011).

Por meio do SFH, o Governo Federal promoveu o financiamento de milhões de habitações entre os anos de 1964 e 1986 e depois disso o BNH foi extinto devido à dívida acumulada. A administração do pessoal e dos bens de consumo na época ficaram sob responsabilidade da Caixa Econômica Federal (MARICATO, 1999).

No ano de 1998 foi criado o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat, conhecido como PBQP-H. O programa governamental tem como objetivo principal oferecer moradia digna à população, atuando em dois aspectos fundamentais: a qualidade e a produtividade na construção civil. Desde a sua criação, o PBQP-H passou por revisões e atualizações para acompanhar as mudanças no setor e as evoluções normativas e atualmente conta com três sistemas de avaliação: o SiAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras da Construção Civil) – voltado para certificação e gestão de qualidade das construtoras; o SiMaC (Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos) – avalia padrões de qualidade e desempenho dos materiais utilizados; e o SiNAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais) – atesta a conformidade dos sistemas convencionais com a Norma de Desempenho (NBR 15575/2021) e avalia produtos e sistemas construtivos inovadores que ainda não possuem normas técnicas estabelecidas pela ABNT quanto aos requisitos de desempenho, qualidade e segurança (BRASIL, 2021).

Com a criação do Ministério das Cidades, em 2003, e a aprovação da Política Nacional de Habitação (PNH) em 2004, as iniciativas políticas habitacionais voltaram a emergir, dando espaço para as questões de desenvolvimento urbano (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011). Junto a isso, a Lei Federal n.º 11.124, de 16 de junho de 2005 que instaurou o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) e o Plano Nacional de Habitação (PlanHab), aprovado em 2009, carimbaram a política de habitação urbana com o rótulo de interesse social (BUONFIGLIO, 2018).

Devido à crise mundial financeira de 2008, o governo brasileiro agiu de forma a estabilizar a economia nacional frente à crise internacional e a aquecer o mercado buscando estimular o setor construtivo. No ano de 2009, surgiu então o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), operado pela Caixa Econômica Federal. O intuito era oferecer subsídio e menores taxas de juros, facilitando a aquisição de moradias até determinado valor para as famílias que atendam a requisitos sociais e de renda (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011).

Embora o programa tenha possibilitado a construção em larga escala de habitações de interesse social (HIS) em todo o país, observa-se que os projetos frequentemente são padronizados para diversas localidades, de forma a minimizar os custos de produção de cada unidade habitacional. No entanto, as particularidades regionais são negligenciadas, especialmente no que se refere ao conforto térmico e desempenho energético (MORENO; MORAIS; SOUZA, 2017). Segundo Morais e Labaki (2017) as falhas quanto ao conforto térmico podem ser classificadas tanto em relação aos materiais empregados quanto às técnicas utilizadas em projeto.

4.2 Alvenaria convencional

4.2.1 Origem da alvenaria convencional

O sistema convencional é a forma mais clássica de construção, uma vez que se compõe de estrutura em concreto armado, - fundação, pilares, vigas e lajes - de fechamento em tijolos cerâmicos ou blocos de concreto e de revestimento em argamassa.

A alvenaria convencional foi instituída a milênios, já que surgiu com o empilhamento de materiais em prol de um objetivo. Esse processo atingiu sucesso por meio dos impulsos tolerados, possivelmente por causa de uma economia mais estável no tempo e preocupação com o avanço da concorrência no ramo do comércio industrial (NASCIMENTO, 2007).

Mesmo que fosse utilizada em todas as sociedades para as construções, somente no século XX foi analisada cientificamente em laboratórios. Aliando os procedimentos laboratoriais com a experiência da técnica, pôde-se incrementar e fundamentar teoricamente a técnica de se construir com alvenaria (ACCETTI, 1998). No mercado brasileiro, o sistema convencional é o mais utilizado e o mais bem aceito para construções. Segundo Cavalheiro (1990), seu conjunto, que se baseia na estrutura em concreto armado e no fechamento e isolamento em cerâmica, conforme ilustrado na Figura 1, é considerado coerente e rigoroso pelas construções brasileiras.

Figura 1 – Edifício residencial composto de paredes em alvenaria e de estrutura em concreto armado.



Fonte: Dos autores (2021).

Por se tratar de uma técnica milenar, seu teor tecnológico encontra-se inferior quando comparado com demais métodos construtivos, principalmente quando se refere a desperdício de materiais e retrabalhos. Por vezes, exige-se excesso de mão de obra para realização das fases construtivas tanto estrutural quanto de vedação objetivando acompanhar o cronograma proposto. Conforme afirma Bortolotto (2015), novos estudos colocam em questionamento se a construção com alvenaria apresenta apenas características viáveis se tratando de baixo custo.

4.2.2 Características, composição e normatização da alvenaria convencional

A ABNT NBR 15575 (2021) é utilizada como um procedimento de avaliação do desempenho dos sistemas construtivos, uma vez que estabelece os requisitos e critérios de desempenho normativos. A sua quarta parte, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), aborda os sistemas de vedações verticais tanto internas quanto externas (SVVIE) e analisa o seu desempenho individual e o desempenho das vedações com os elementos que interagem com elas.

No método construtivo convencional, a vedação é composta de alvenaria, feita de tijolos ou blocos cerâmicos que possuem como matéria prima a argila e o sistema estrutural é construído com aço e concreto. Por meio desta união, a construção com tal método oferece resistência e durabilidade para a obra (SPANIOL, 2018).

Para a execução da alvenaria de vedação de tijolos ou blocos cerâmicos a NBR 8545 (ABNT, 1984) normatiza as condições exigíveis juntamente com a fiscalização necessária para alvenaria sem função estrutural de componentes cerâmicos.

A argila dos tijolos ou blocos cerâmicos é composta de sílica, óxidos ferrosos e silicato de alumínio. Segundo Richter (2007), para que seja apropriada para o molde de fabricação, a argila deve ter plasticidade ao ser misturada em água e ter resistência à tração suficiente para que se mantenha o formato após moldada. Além disso, ela deve ser capaz de fundir as partículas quando levadas ao forno para queimar em elevadas temperaturas.

Os blocos ou tijolos utilizados na execução da alvenaria de vedação devem estar em conformidade com a norma NBR 15270 (ABNT, 2017) que se divide em duas partes: ABNT NBR 15270-1 e ABNT NBR 15270-2. O valor mínimo normatizado para a resistência à compressão dos blocos ou tijolos cerâmicos para alvenaria de vedação é 1,5 MPa e 3MPa para de vedação racionalizada (ABNT, 2017). Essa resistência é obtida por meio do cálculo da média dos valores obtidos em um lote de treze amostras - valor de força aplicada sobre uma determinada área, expresso em MPa.

Para o assentamento dos tijolos cerâmicos utiliza-se argamassa composta por aglomerantes – cimento e cal –, por agregado miúdo – areia – e água suficiente para gerar uma mistura plástica de trabalhabilidade adequada. A argamassa de assentamento pode ser preparada *in loco* ou industrializada desde que atenda os parâmetros da norma NBR 13281 (ABNT, 2023).

A função da argamassa de assentamento é unir as unidades de alvenaria e auxiliar na resistência aos esforços laterais, assim como ilustrado na Figura 2. Ademais, estruturalmente a argamassa deve transferir uniformemente as tensões entre os blocos, de forma que compense as irregularidades ou variações dimensionais entre eles (RICHTER, 2007).

Figura 2 – Assentamento de tijolos cerâmicos.



Fonte: Dos autores (2022).

Como o próprio nome indica, a argamassa de revestimento é responsável por revestir as superfícies de paredes e tetos para posteriormente receber os acabamentos, como cerâmica e pintura. Além disso, tem a função de auxiliar as vedações nas suas funções de isolamento térmico e acústico e estanqueidade à água e gás. Para que o reboco seja estabilizado nas paredes internas e externas, conforme ilustrado na Figura 3, utiliza-se anteriormente as etapas de chapisco e emboço.

Cada camada de revestimento possui uma finalidade e uma especificidade, segundo ISAIA (2007), sendo importante que cada uma delas seja executada corretamente:

- a) chapisco: primeira camada de argamassa, aplicada diretamente nos tijolos; tem a finalidade de promover a aderência do emboço para evitar que o mesmo se solte;
- b) emboço: segunda camada de argamassa, sobreposta ao chapisco, composto de areia, cimento, cal e água; tem a finalidade de regularizar a superfície, não devendo ser superior a 2 cm;
- c) reboco: última camada de argamassa, sendo a camada mais fina e leve com função de uniformizar a superfície para receber a pintura.

Figura 3 – Execução de revestimento com argamassa.



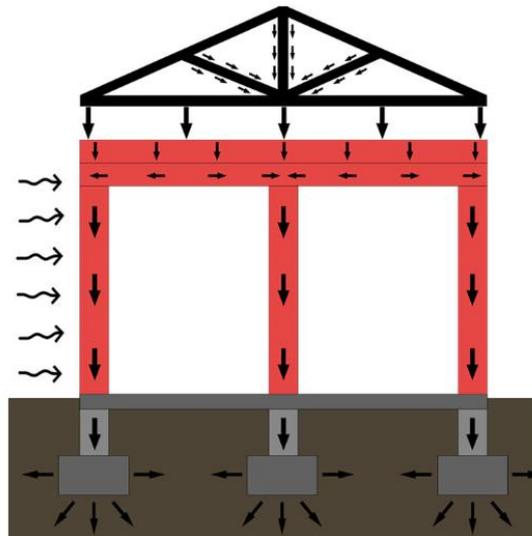
Fonte: Dos autores (2023).

Em áreas secas, comumente é utilizado o revestimento em gesso, que apresenta semelhanças com o revestimento argamassado ao mesmo tempo que possui condições bastante satisfatórias. Entre elas estão o endurecimento rápido e a lisura da superfície, que garantem uma elevada produtividade e beneficiam a qualidade do acabamento. Além disso, possui boa aderência à alvenaria e ao concreto, podendo ser utilizado como revestimento interno de paredes sem necessidade de aplicação de chapisco.

O revestimento de gesso deve estar conforme as normas técnicas ABNT NBR 13867 (1997) e ABNT NBR 16618 (2017) que normatizam o preparo, procedimento e aplicação do revestimento interno em gesso de paredes e tetos. Para a aplicação, as paredes de alvenaria devem estar com as superfícies limpas e com todas as juntas verticais preenchidas com argamassa. A estrutura de concreto também deverá estar limpa e tratada, de forma que não apresente mais pontas de prego ou restos de madeira da desforma, além de estar com os furos de concretagem já fechados.

A estrutura do método construtivo convencional agrupa as cargas atuantes provocadas pela edificação desde a cobertura até a fundação, bem como a distribuição mostrada na Figura 4. As lajes sustentam as cargas verticais e as distribuem para as vigas. Estas por sua vez transportam as cargas para os pilares que posteriormente descarregam nas fundações. Sendo assim, as paredes feitas de alvenaria convencional não atuam de forma estrutural, tendo função apenas de vedação e de isolamento dos ambientes (SALOMÃO et al., 2019).

Figura 4 – Distribuição de cargas na estrutura de uma edificação.



Fonte: Construindo Casas (2021).

O sistema estrutural – fundação, lajes, vigas e pilares – é feito em concreto armado, que associa o aço e massa de concreto, conforme ilustrado na Figura 5. A união entre os dois materiais resulta em uma estrutura de elevada resistência à compressão proveniente da ação do concreto e também de grande suporte aos esforços de tração devido as barras de aço (PEREIRA, 2015).

Figura 5 – Concretagem de laje em concreto armado.



Fonte: Dos autores (2023).

Para regulamentar o uso do concreto armado, a ABNT determina duas principais normas que são a NBR 6118 e a NBR 14931, ambas atualizadas em 2023. A NBR 6118 (ABNT, 2023)

estabelece dados de valores limites de deslocamento que proporcionem comportamento adequado a estrutura em serviço. Para as paredes de vedação, que não tem função estrutural, o tipo de classificação são os “efeitos em elementos não estruturais”. Por sua vez, a NBR 14931 (ABNT, 2023) estabelece os requisitos normativos para execução de estruturas em concreto armado, sejam permanentes ou temporárias, com projetos elaborados de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023).

O concreto é obtido através da mistura composta por cimento, água e agregados. Sua resistência é medida por meio do Fck e está relacionada com a quantidade de água e cimento utilizada no traço, possuindo maior resistência quanto maior for a proporção de cimento.

Em cada elemento da estrutura faz-se necessário um traço e uma dosagem diferente, uma vez que cada um necessita de uma resistência específica. Dessa forma, considera-se como padrão as medidas de obra de cimento em saco de 50kg e areia e pedra em latas de 18 litros. Assim, a Tabela 1 lista resumidamente os valores de traço, dosagem e resistência para os elementos concretados em etapas distintas da obra.

Tabela 1 – Traços e resistências de concreto.

Etapa de Obra	Traços (Cim/Areia/Pedra)	Dosagem (50kg/Lata/Lata)	Resistência (Fck)
Lajes	1 : 1,5 : 3	1 : 3 : 6	35
	1 : 2 : 2,5	1 : 4 : 5	30
Fundações (sapatas, radier e estacas), colunas e vigas	1 : 2 : 3	1 : 4 : 6	25
	1 : 2,5 : 3	1 : 5 : 6	23
	1 : 2 : 4	1 : 4 : 8	20
	1 : 2,5 : 3,5	1 : 5 : 7	19
Contrapiso, calçadas e concreto magro	1 : 3 : 6	1 : 6 : 12	10
	1 : 4 : 8	1 : 8 : 16	5
Cintas de amarração	1 : 3 : 5	1 : 6 : 10	12

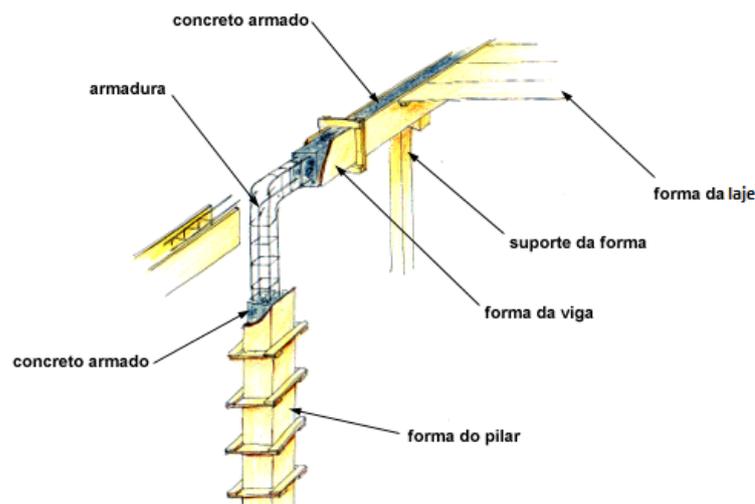
Fonte: Adaptado de Construindo Casas (2021).

As armações das lajes, vigas, pilares e fundação são barras de aço cortadas, dobradas e armadas conforme projeto estrutural que é feito por um engenheiro especializado em cálculo estrutural. Tal projeto determina o diâmetro ou bitola das barras de aço a serem utilizadas nas armações positivas, armações negativas, estribos e reforços. Além disso, determina o espaçamento adequado para a distribuição das barras, colocação de espaçadores, juntamente

com o cobrimento e a resistência do concreto. As especificações e características do aço a ser utilizado nesse método construtivo são abordadas na ABNT NBR 7480 (2022).

Para dar o formato adequado, assim como ilustrado na Figura 6, os elementos estruturais são envoltos e travados por formas de madeira que são desformadas apenas após a cura do concreto, prazo necessário para que o concreto armado atinja sua resistência desejada em projeto.

Figura 6 – Elementos da estrutura em concreto armado.



Fonte: Edifique Arq Br (2013).

Em residências unifamiliares comumente utiliza-se a laje pré-moldada como alternativa à laje maciça de concreto armado, devido suas vantagens como redução de peso próprio, maior rapidez de execução e economia no uso de formas e escoramento. As lajes pré-moldadas apresentam um peso próprio menor que a laje maciça, uma vez que são dimensionadas excluindo o concreto abaixo da linha neutra, eliminando então, o concreto na área tracionada da laje. As vigotas que compõe a laje são espaçadas conforme a largura do material de enchimento. Este enchimento não possui função estrutural e seu material pode ser EPS ou lajotas cerâmicas conforme ilustrado na Figura 7, desde que se cumpra a normatização preconizada na ABNT NBR 14859 (2016).

Figura 7 – Laje pré-moldada cerâmica.



Fonte: Vale Correa (2023).

4.2.3 Etapas construtivas da alvenaria convencional

A montagem de uma construção em alvenaria convencional inicia-se pela preparação do terreno e marcação do gabarito que receberá a fundação. Esta estrutura é responsável por transmitir todas as cargas geradas pela construção ao solo. Posteriormente, montam-se os pilares de seções previstas em projeto que, independentemente de suas formas, são transmissores das cargas das vigas e lajes para a fundação. Eles são armados, fechados com formas e travados para serem concretados. As vigas são montadas em posição horizontal e transferem o peso da laje para os pilares, estruturando a obra como um todo. A laje é a superfície plana horizontal que forma o teto para a construção, onde é montada a cobertura. O telhado de residências comumente é montado com estrutura de madeira e coberto por telhas cerâmicas coloniais.

Para dar início a execução da alvenaria, deve-se dispor do projeto arquitetônico completo para que se execute conforme dimensões da planta baixa e de corte. Inicialmente, são assentados os tijolos de canto e esticada a linha entre eles que serve de guia para colocação dos tijolos da primeira fiada. Para que seja perfeitamente alinhada, essa marcação deve ser verificada horizontalmente com um nível de bolha apoiado na régua de pedreiro, fazendo a mesma conferência de nivelamento para os cantos, cruzamentos e extremidades (PENTEADO; MARINHO, 2011).

A construção dos cantos deve ser executada com maestria, já que servem de gabarito, verificando-se o prumo, nivelamento e espessura das juntas de argamassa. Assim, são levantadas as prumadas guias com o cuidado para ficarem no prumo e posteriormente são assentadas as fiadas seguintes, até a altura desejada conforme projeto. Entre fiadas contínuas as

juntas verticais não devem se equiparar, para que seja garantida a amarração dos tijolos (ANTUNES, 2021).

Após a execução da alvenaria, a argamassa de revestimento ou o gesso são aplicados conforme demanda de cada cômodo do projeto, para posteriormente receber os acabamentos. Ademais, recortes nas paredes são feitos para então embutir as instalações hidráulicas e elétricas que são executadas também seguindo projeto realizado por engenheiro considerando as especificidades de cada edificação.

4.3 *Insulating concrete forms (ICF)*

4.3.1 Origem do ICF

Entre as metodologias implementadas no âmbito da construção civil objetivando obras mais eficientes e limpas está o ICF (*Insulating Concrete Forms*). A primeira patente desse sistema construtivo foi obtida em 1966, no Canadá, e em 1968, nos EUA, conforme reportado por Wener Gregori, empreiteiro de profissão, em entrevista à revista *ICF Builder Magazine*.

WG: “Naquela época, [em meados da década de 1960], eu trabalhava como empreiteiro geral, construindo apartamentos [no sul de Ontário]. No verão de 1965, eu estava de férias no norte do Parque Algonquian. Tínhamos um daqueles resfriadores de espuma de plástico para manter a bebida gelada. Quando vi crianças na praia brincando com a areia, percebi que, se blocos de concreto pudessem ser formados com aquela espuma de plástico, muitos custos de construção e horas de trabalho poderiam ser eliminados.” Em um ano, ele converteu sua epifania do refrigerador de espuma na primeira ICF. Chamado de “Formulário de Espuma”, cada bloco media 16 polegadas de altura por 48 polegadas de comprimento com um encaixe macho e fêmea, laços de metal e um núcleo de grade de *waffle*. O *design* permaneceu praticamente inalterado pelos 15 anos seguintes. A patente foi oficialmente apresentada no Canadá em 22 de março de 1966, e o pedido de patente nos EUA concedido em 24 de outubro de 1968 (*ICF Builder Magazine*, 2011).

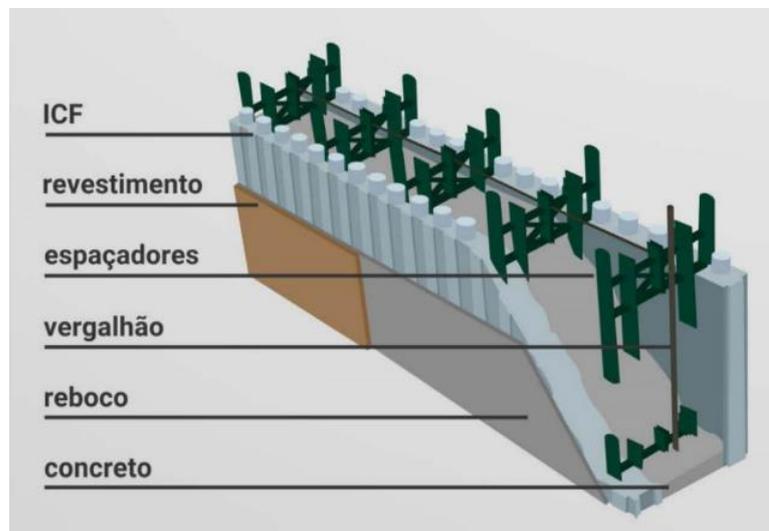
Por se tratar de um novo método construtivo, Wener Gregori enfrentou obstáculos até que se comprovasse a eficácia e a segurança do ICF. Além de haver resistência por parte dos contratantes no quesito de alterar o método construtivo convencional pelo ICF, as seguradoras e códigos de incêndio da época não estavam adeptos à nova técnica construtiva. O ICF passou a ganhar mercado à medida que foi provando a sua eficiência e facilidade na construção (*ICF Builder Magazine*, 2011).

Objetivando avançar a concepção de construção convencional em concreto e vedação, o ICF foi adotado no Brasil no ano de 1998. Para isso, foi avaliado pelo IPT-SP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) e pela Unicamp (Universidade de Campinas) a fim de alavancar a qualidade das inovações no setor construtivo (BASTOS JUNIOR, 2018).

4.3.2 Características, composição e normatização do ICF

O sistema de ICF é constituído de dois painéis de EPS - *Expanded Polystyrene*, traduzido para o português como Poliestireno Expandido e popularmente conhecido como Isopor - de alta densidade, ligados por ajuntamentos de plástico ou de aço, resultando nas formas que recebem posteriormente o preenchimento de concreto e aço. Tais formas de EPS, como exemplificado na Figura 8, possuem encaixe tipo macho e fêmea e por isso são alocadas lado a lado e uma sobre a outra, a fim de formar paredes que se tornam estruturais depois de concretadas, possuindo alta resistência (BASTOS JUNIOR, 2018).

Figura 8 – Bloco de ICF.



Fonte: Fase (2021).

As fôrmas de EPS têm a função de moldar o concreto fresco, mantendo sua geometria e resistindo às pressões de lançamento, até que o concreto adquira resistência própria, além de contribuir com a propriedade termoacústica (REVISTA TÉCHNE, 2016).

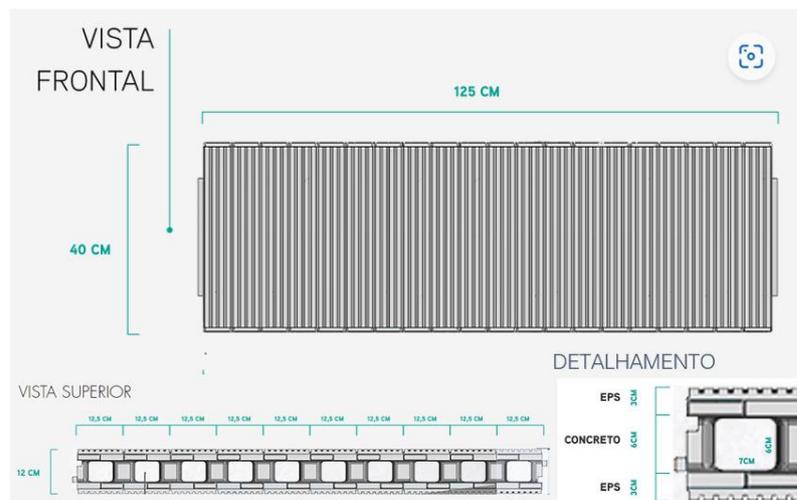
Acerca dos materiais que compõem o sistema ICF, como o concreto e o poliestireno expandido (EPS), baseia-se nas normas NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2023) e NBR 11752 – Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial (ABNT, 2016). O Manual de Utilização do EPS na Construção Civil (ABRAPEX, 2006) também é utilizado para regulamentar o uso do ICF nas edificações.

Os painéis são construídos por meio de máquinas e linhas de produção em fábricas especializadas e, com isso, diversos tipos de componentes são produzidos, com variações em termos de comprimento e altura, a depender do fornecedor. Como o ICF não possui normas

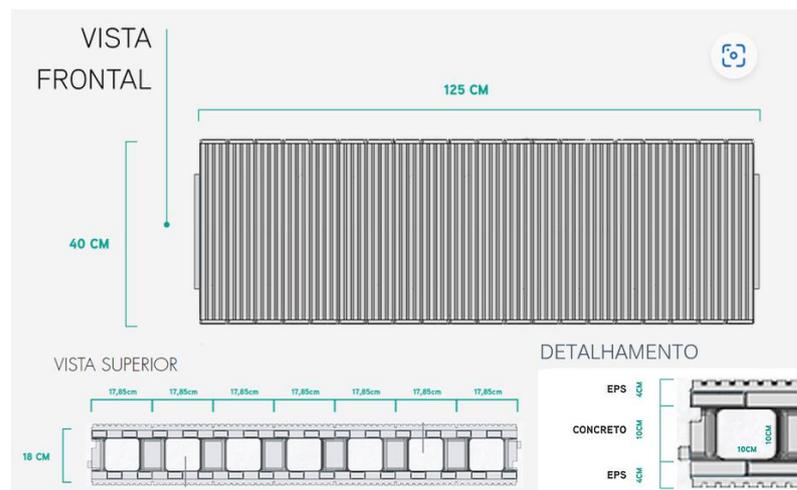
técnicas específicas no Brasil, utiliza-se as normas e regulamentos gerais que se aplicam à construção civil.

O Grupo ICF, conforme apresentado por Rocha (2021), disponibiliza dois tipos de componentes padronizados, sendo classificados como peças de vedação e estrutura, conforme sua finalidade. A distinção entre os componentes reside na espessura e densidade dos moldes de EPS, enquanto o comprimento e altura são fixados em 125 e 40 centímetros, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 9 retirada do catálogo da empresa.

Figura 9 – Componente de (a) vedação com 12 centímetros de espessura; (b) estrutural com 18 centímetros de espessura.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Rocha (2021).

O ICF foi idealizado para criar estruturas mais simples, sustentáveis e autoportantes. Quando se comparado às construções convencionais, o ICF apresenta melhor isolamento térmico e acústico e maior velocidade de execução, uma vez que o material é leve e prático de

se manusear. Por causa da sua praticidade, exige-se menos mão de obra para a execução e em muitos casos dispensa-se o uso de máquinas e equipamentos para manuseio de carga e descarga do material (PASSOS, 2021). Segundo a ICF Construtora, especialista no ramo desse tipo de construção no Brasil, a obra pode ser executada 40% mais rápida do que construções com alvenaria convencional, dependendo da complexidade do projeto. Ademais, o sistema possibilita a construção mesmo em condições de chuva, o que contribui para a rápida execução.

Contudo, deve-se observar as desvantagens desse sistema, principalmente por se tratar de um método construtivo relativamente novo no Brasil. Como há poucos fornecedores desse material no país, o método ICF pode apresentar custos mais elevados quanto ao transporte, a depender da região da construção, além de ocupar grandes volumes sem um peso considerável de carga, devido ao peso específico baixo do EPS.

Além disso, o método apresenta a limitação quanto ao número de pavimentos, sendo possível a construção de até sete pavimentos de plantas padrão, conforme observado por Rocha (2021). Ademais, o ICF apresenta dificuldades quanto às reformas ou adição de portas e janelas, uma vez que as paredes sólidas de concreto limitam possíveis demolições (BLAIR, s.d).

Quanto ao custo total de construção, os dados orçamentários apresentados por Jesus e Barreto (2018) evidenciam que o método ICF se mostrou 12,84% mais barato que o sistema de alvenaria de vedação com estrutura de concreto armado, enquanto comparado ao sistema de alvenaria estrutural apresentou um custo 20,1% mais elevado.

Voltado para os programas de construção de habitações de interesse social, considera-se o SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais, sistema governamental que atesta a conformidade e garante a qualidade para aplicação do método, além de avaliar o desempenho do material em questão. Como já existe no mercado fabricantes do ICF que possuem documentação que atende às diretrizes do SiNAT, é possível financiamento de construções pela Caixa Econômica Federal.

4.3.3 Etapas construtivas do ICF

O método construtivo ICF é prático e formado em poucas etapas, as quais devem seguir as orientações do manual do fabricante. Nesse sentido, considera-se fundamental que a indústria padronize e consolide o material, de forma ampliar a demanda por este método e facilitar a aplicação em larga escala na construção civil (ICF *Builder Magazine*, 2011).

Para iniciar a construção, é necessário realizar a compactação e nivelamento do terreno. Em seguida, segue-se para a etapa de fundação, em que o sistema ICF é considerado compatível com diversas opções de fundação, a depender do cálculo estrutural. No entanto, devido à sua

natureza autoportante, é aconselhável utilizar fundações rasas, como radier e sapata corrida, uma vez que favorecem o posicionamento e a instalação das formas (JESUS; BARRETO, 2018). Para ambas as opções escolhidas, são instaladas previamente esperas de aço CA-50, com 60 centímetros de comprimento na superfície. Estas esperas de aço têm a função de orientar a disposição da primeira fiada de blocos ICF, que servirão como ponto de referência para a montagem da estrutura (ISOCRET, 2021).

De acordo com o projeto da primeira fiada de formas ICF, como ilustrado na Figura 10, é feita a marcação da posição das paredes por meio de um gabarito de madeira, na qual o ponto de partida deve ser preferencialmente um dos cantos da edificação.

Figura 10 – Fundação e primeira fiada.



Fonte: Rocha (2021).

Adiante, na etapa de amarração das formas, a montagem deve ser feita de maneira intercalada para garantir um melhor travamento. Antes de iniciar a concretagem, é feito o travamento da primeira fiada com argamassa ou concreto, a fim de deixar a base inicial nivelada e pronta para receber as demais fiadas. A concretagem pode ser feita com concreto batido em obra ou com concreto bombeado.

As aberturas de portas e janelas podem ser feitas de forma prática, através do recorte das formas com fio quente, serrote e faca de gesso. Após a montagem das paredes, prossegue-se com a marcação dos trajetos para passagem das tubulações hidráulicas e conduítes elétricos,

os quais podem ser instalados na face externa do EPS, de forma a contribuir com a diminuição de resíduos e ganho de produtividade na obra.

Posteriormente, como observado na Figura 11, procede-se ao revestimento das paredes com uma camada de chapisco rolado, seguida de aplicação de argamassa de cimento com resina polimérica. Nas paredes internas, há a opção de aplicação de gesso sobre a camada de chapisco. Para as áreas molhadas, as peças cerâmicas podem ser fixadas diretamente nas paredes com o uso de argamassa colante, conforme necessário (ISOCRET, 2021). O processo de reboco é realizado da forma convencional.

Figura 11 – Paredes externas em ICF (a) concretadas; (b) com aplicação de chapisco.



(a)

(b)

Fonte: Isocret (2021).

Posteriormente, a argamassa é aplicada, seja manualmente ou por meio de projeção. Para assegurar a espessura desejada, geralmente 2,5 cm em ambas as faces da parede, são empregados taliscas e mestras. Após a cura da argamassa, é aplicado o acabamento final.

Para a cobertura, comumente é empregado laje pré-moldada de EPS e telhado com telhas cerâmicas e beiral em todo o perímetro da edificação.

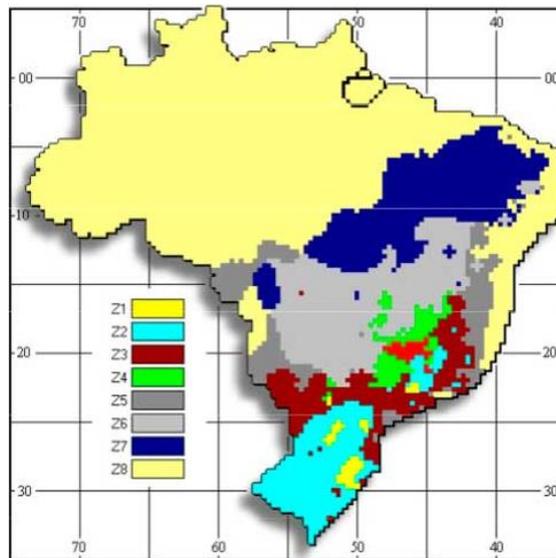
4.4 Desempenho térmico

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação consiste em analisar seu comportamento térmico diante de requisitos pré-estabelecidos de forma que atenda às necessidades térmicas do usuário da edificação frente às ações climáticas às quais está sujeita (LAMBERTS, 2010).

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro classifica o clima das cidades por meio de parâmetros e condições de conforto para tamanho e proteção das aberturas, vedações externas

– paredes e coberturas – e estratégias de condicionamento. Dessa forma, cada zona bioclimática ilustrada na Figura 12, possui recomendações construtivas diferentes e deve utilizar uma linguagem arquitetônica diferenciada para que se proporcione um conforto térmico para a edificação.

Figura 12 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: Bioclimatismo (2021).

A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) define o zoneamento de acordo com três parâmetros principais: médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais de temperaturas mínimas, e as médias mensais da umidade relativa do ar. Como resultado, a norma apresenta oito zonas bioclimáticas, sendo a zona bioclimática 1 a mais fria e a zona bioclimática 8 a mais quente.

Segundo a classificação de Köppen (1948), a cidade de Lavras-MG possui clima tipo Cwa, caracterizado como um clima temperado, chuvoso e moderadamente quente. A temperatura média anual da cidade é de 20,2 °C. O nível de precipitação numa base anual é de 1237 mm anual, com as precipitações concentradas mais durante o verão.

A avaliação do desempenho térmico de uma habitação pode ser realizada na fase de projeto ou após a sua construção. Uma forma de se avaliar é por meio da simulação computacional do método construtivo, na qual se analisa a compatibilidade dos resultados dentro dos limites de conforto térmico existentes para o local determinado. Por outro lado, tem-se a avaliação por prescrição, em que são definidas as características termofísicas limite dos materiais construtivos, juntamente com as recomendações para dimensionamento de aberturas e existência de dispositivos de sombreamento, que objetivam a adequação do ambiente às condições climáticas.

O comportamento térmico de uma parede é dado pelo seu coeficiente de transmissão térmica, obtido pela soma dos coeficientes de cada camada que a constitui. Para isso, é preciso avaliar as propriedades térmicas de condução ou isolamento do objeto construtivo que constitui a parede de acordo com sua espessura. Ressalta-se que quanto menor a condutibilidade térmica, menos calor é transferido para o interior do ambiente.

A transmitância térmica consiste em o quanto um componente construtivo conduz de calor de uma face a outra da parede. Conforme a sua face externa esquenta, o calor passa por condução à face interna. Dessa forma, materiais construtivos que são isolantes térmicos têm um nível de transmitância baixo. Com uma transmitância térmica alta, o componente construtivo conduz mais calor (BW, 2020).

A capacidade térmica é uma propriedade que determina quanto de energia térmica um material pode liberar ou absorver antes que sua temperatura mude. Sendo assim, materiais com elevada capacidade térmica são capazes de absorver mais energia térmica antes de aumentar a temperatura. E em contrapartida, materiais com baixa capacidade térmica aquecem-se mais rápido quando o calor é aplicado. Materiais construtivos com capacidades térmicas apropriadas fornecem uma eficiência energética que mantém o ambiente agradável, além de reduzir o consumo de energia para aquecimento ou resfriamento, o que resulta em contas de serviços públicos mais baixas.

Muitas vezes, ao se tratar de habitações de interesse social, a política pública habitacional restringe o assunto ao aspecto quantitativo, já que busca reduzir o déficit de moradias. Sendo assim, aspectos sociais e humanos não são considerados ao deixar de oferecer condições de conforto e de qualidade de vida aos usuários. Proporcionalmente à redução de custos ocorre a redução dimensional e qualitativa da edificação, além da padronização excessiva sem levar em consideração os condicionantes ambientais da região (ARANTES, 2013).

Os projetistas devem considerar aspectos básicos para atingir adequado nível de conforto térmico: o clima, a edificação e os seus ocupantes. Segundo Arantes (2013), isso se torna ainda mais desafiador ao se tratar de edificação feita para uma camada populacional que possui carências básicas tanto pessoais quanto de infraestrutura, como falta de fornecimento de energia e água.

Uma arquitetura sustentável é capaz de avaliar, além de si mesma, o seu entorno, os materiais construtivos e as necessidades humanas. Dessa forma, é imprescindível projetar uma arquitetura bioclimática que controle iluminação, ventilação e isolamento térmico,

minimizando o consumo de energia elétrica, por exemplo, com redução do uso de ventilador ou ar-condicionado em busca de um ambiente mais agradável.

4.4.1 Estudos comparativos sobre o desempenho térmico de construções em alvenaria convencional e em ICF

O desempenho térmico dos materiais de construção que compõe cada método construtivo é fator crucial para proporcionar conforto aos moradores, já que quanto mais adequado o desempenho, menos energia é necessária para tornar o ambiente agradável, especialmente se tratando de habitações de interesse social em que os recursos são escassos.

As formas de ICF utilizadas nas construções têm o propósito de oferecer ao mercado benefícios e particularidades em relação ao método de alvenaria convencional. O ICF fornece características que abordam a responsabilidade ambiental em um dos seus principais pilares – a eficiência energética. Testes de massa térmica realizados por entidades independentes, a pedido da *Insulating Concrete Forms Manufacturers Association (ICFMA)*, demonstraram que o método desempenha um papel significativo na redução da transferência de calor na estrutura interna da parede, o que resulta em um aprimoramento da eficiência térmica (*ICF Builder Magazine*, 2023).

Oliveira (2021) reportou um experimento realizado em Teresina-PI – região de temperaturas elevadas – para análise entre propriedades térmicas da alvenaria convencional e ICF. Foram construídos dois protótipos, sendo um de tijolos cerâmicos e o outro de formas de ICF de uma marca específica, ambos com volume de 1m³, rebocados e cobertos por telhas termoacústicas, conforme Figura 13.

Figura 13 – Protótipos para experimento (a) em construção; (b) finalizados.



(a)



(b)

Fonte: Oliveira (2021).

Por meio de sensores e sistema de Arduíno, as temperaturas internas e do ambiente externo foram coletadas durante 15 dias em intervalos de 10 minutos. Após a análise e

tratamento dos dados coletados sobre o desempenho dos métodos construtivos, concluiu-se, conforme Tabela 2, que a temperatura interna dentro do protótipo de alvenaria oscila bastante, atingindo máximas que rivalizam com as mais altas temperaturas que o ambiente atinge e possuindo amplitudes térmicas elevadas. Enquanto isso, o ICF tem uma menor oscilação de temperatura, além de ter temperatura média mais agradável do que a alvenaria, o que transmite ao usuário de uma edificação um melhor conforto térmico.

Tabela 2 – Comparação entre temperaturas.

	Ambiente (°C)	Alvenaria (°C)	ICF (°C)
Máximo	39,80	39,00	31,70
Mínimo	24,00	25,60	27,50
Média	28,70	30,70	29,60

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

Em um trabalho de comparação também entre métodos construtivos de alvenaria convencional e ICF, Munaro (2018) realizou a coleta de dados de temperatura *in loco* de duas edificações na cidade de Rondonópolis-MT distantes entre si de 6km em linha reta, sendo a de ICF de 55 m² e a de alvenaria de 300 m². Por meio de um termômetro digital, foram aferidas as temperaturas da superfície de parede interna e externa das casas, conforme Figura 14. Salienta-se que no momento da análise o sol refletia diretamente nas paredes externas das edificações. Segundo os dados, o fator de isolamento da alvenaria se mostrou baixo, quando se analisa o que incide fora das residências e o que consegue ultrapassar, ou seja, basicamente quantos graus Celsius a parede conseguiu absorver na situação estudada. Por sua vez, o ICF, devido suas propriedades térmicas, não transfere para o interior da casa um valor de temperatura tão elevado quanto o aferido na sua parede externa, comprovando a sua característica de ter um bom desempenho térmico.

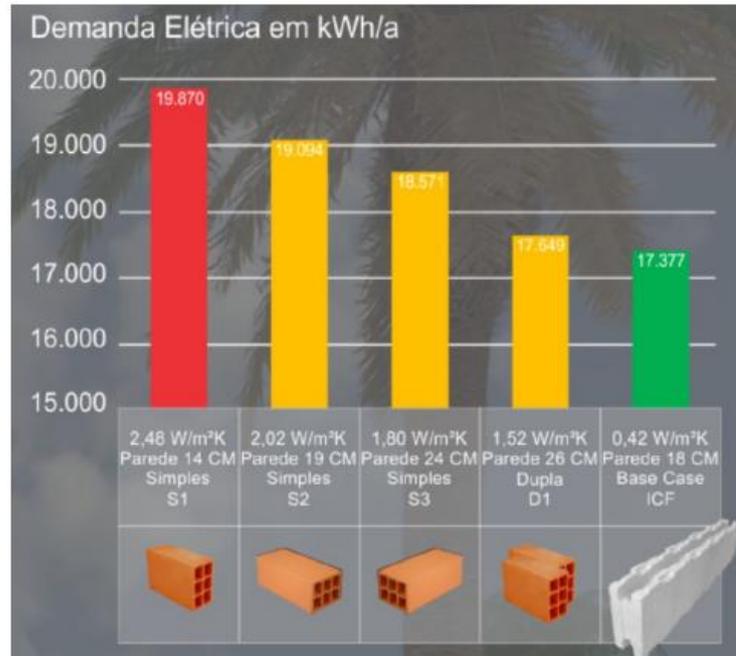
Figura 14 – Coleta de temperaturas.



Fonte: Munaro (2018).

Em um teste com o intuito de comparação com a alvenaria convencional, a empresa ICF Construtora Inteligente avaliou a demanda para refrigeração ou ventilação artificial de ambientes construídos com materiais convencionais e com o sistema ICF, em uma mesma edificação. Os resultados ilustrados na Figura 15 demonstram a eficiência energética das paredes em ICF quando comparadas com as demais.

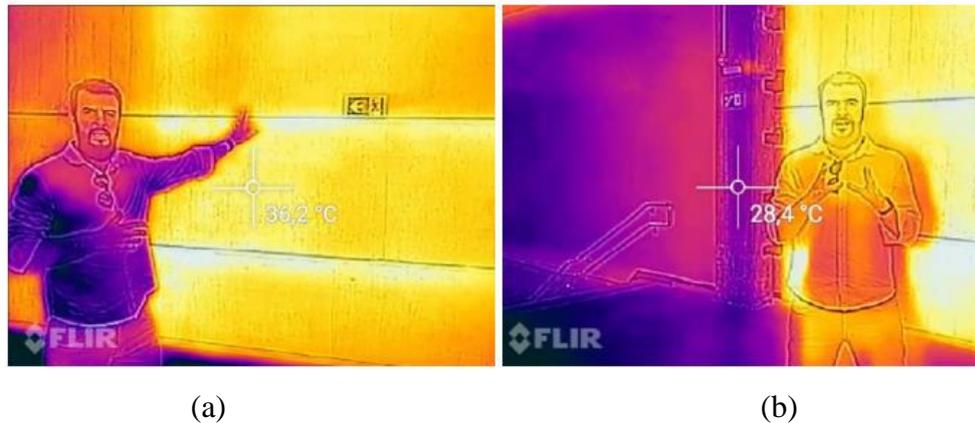
Figura 15 – Teste comparativo da demanda para refrigeração ou ventilação artificial em paredes de alvenaria convencional e em ICF.



Fonte: Rocha (2021).

Outro teste executado por Rocha (2021), no qual realizou a medição com câmeras térmicas da temperatura interna das paredes de um colégio, construídas com concreto e com ICF, também comprova a eficiência energética do sistema ICF quando comparado com outros materiais. A partir das medições realizadas no período da tarde, como ilustrado na Figura 16, chegou-se à temperatura de 36,2°C e 28,4°C na parede de concreto e na parede com sistema ICF, respectivamente, o que representa uma diferença significativa e demonstra que o uso do ICF contribui para a economia do uso de ar condicionado ou ventilação artificial.

Figura 16 – Temperatura superficial mensurada com câmera termográfica em um colégio com (a) parede de concreto; (b) sistema ICF.



Fonte: Rocha (2021).

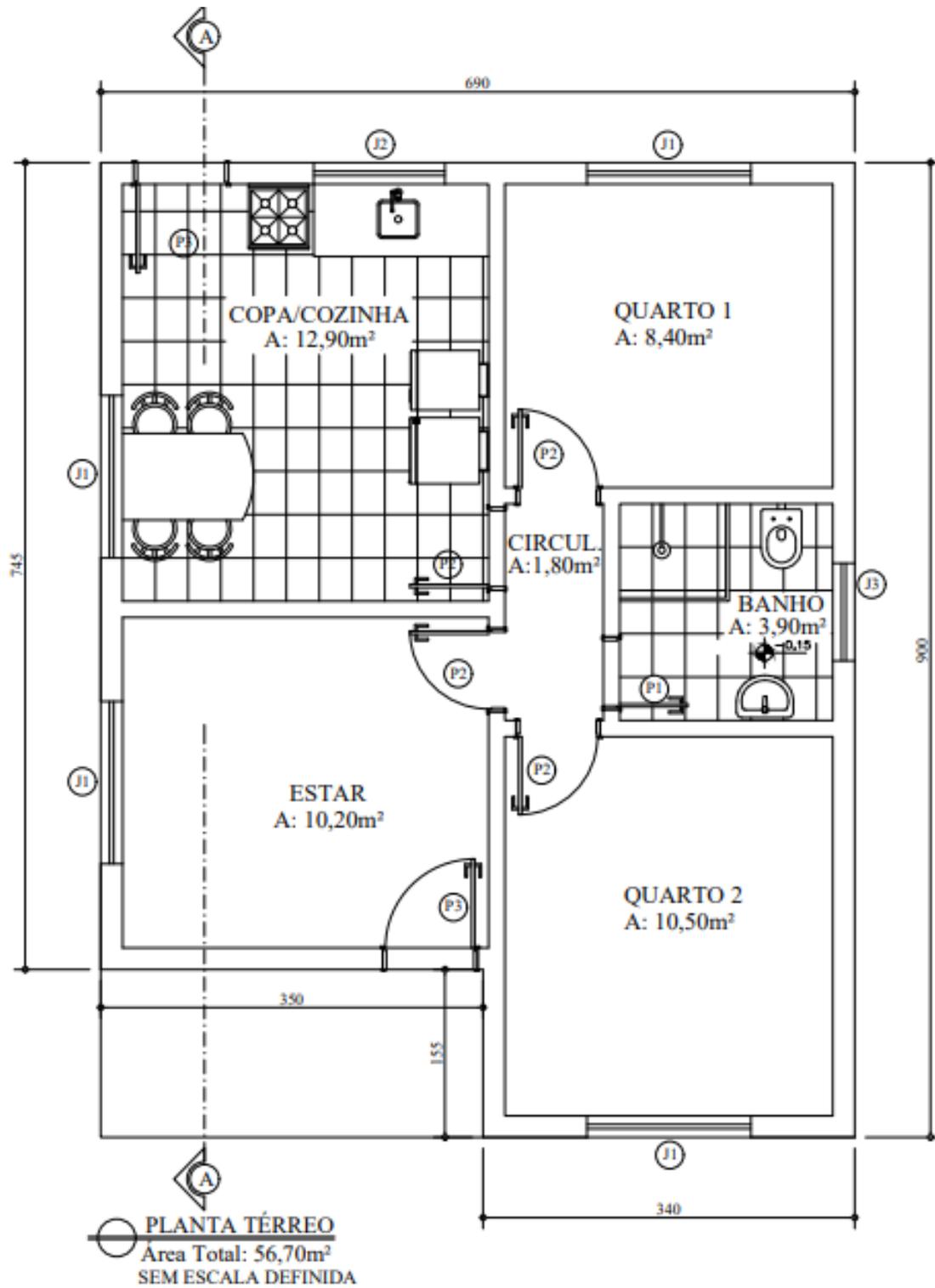
5 METODOLOGIA

5.1 Projeto em análise

Para realizar as análises propostas, o modelo escolhido como referência consiste em um projeto padrão de uma residência unifamiliar, comumente executada para habitações de interesse social, conforme ilustrado na Figura 17. O projeto é considerado apenas para visualização da distribuição dos cômodos, visto que as espessuras das paredes da residência são modificadas de acordo com o método construtivo a ser analisado devido aos materiais e técnicas preconizadas para cada um.

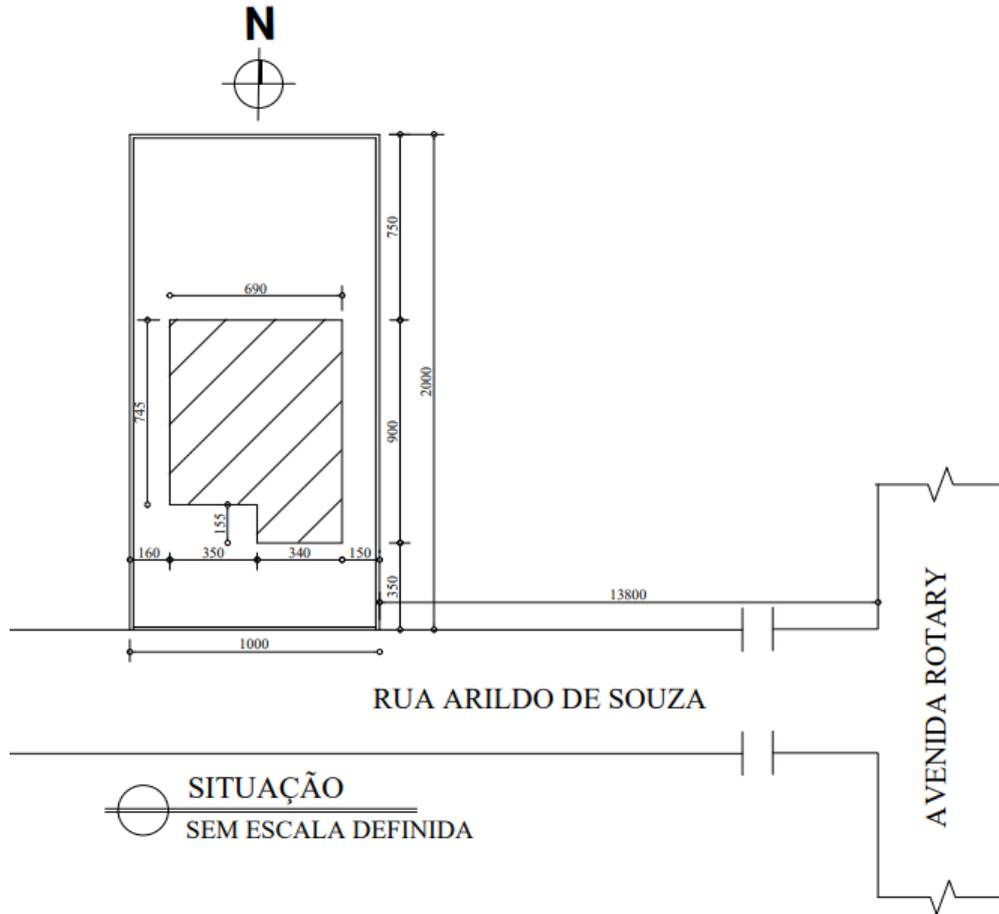
Trata-se de uma construção térrea localizada na cidade de Lavras-MG, posicionada de acordo com a planta de situação na Figura 18. O interior da residência possui dois quartos, um banheiro, uma sala de estar, uma cozinha e uma área de circulação distribuídos conforme a planta baixa, totalizando uma área para se construir de 56,70m². A cobertura é montada em estrutura de madeira com telha cerâmica e é formada por duas águas, com inclinação de 30%, altura de 1,55m e beirais de 0,60m. Além disso, a laje limita o pé direito a 2,80m, como ilustrado no corte na Figura 19.

Figura 17 – Planta baixa da residência.



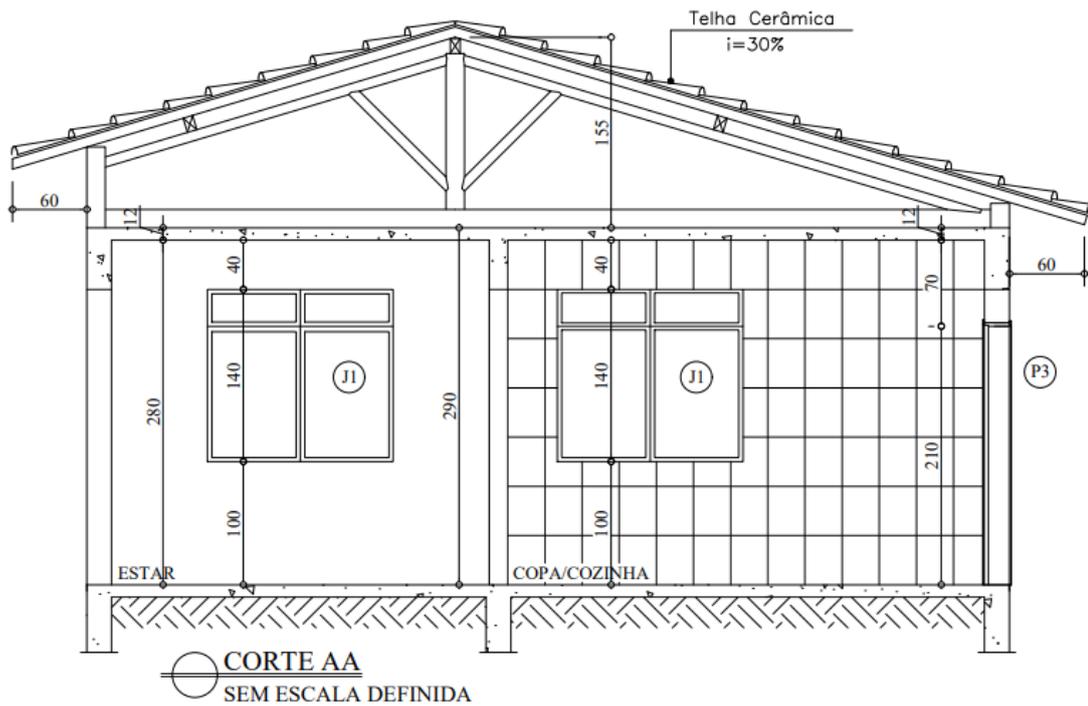
Fonte: Dos autores (2023).

Figura 18 – Planta de situação da residência.



Fonte: Dos autores (2023).

Figura 19 – Corte AA da residência.



Fonte: Dos autores (2023).

5.2 Análise do desempenho térmico

A norma NBR 15575 (ABNT, 2021) oferece dois procedimentos de avaliação do desempenho térmico: cálculo simplificado e simulação computacional da edificação. Neste estudo, optou-se pelo procedimento simplificado para a comparação do desempenho térmico entre os dois sistemas, avaliando os sistemas de vedações verticais externas (SVVE) e as coberturas. Esse método parte do pressuposto de que a unidade habitacional deve cumprir os requisitos mínimos de desempenho térmico, de forma a considerar a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

O zoneamento bioclimático brasileiro classifica a cidade de Lavras-MG na zona bioclimática 3. A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda para essa zona o uso de aberturas de tamanho médio e que permitam a radiação solar no inverno. Quanto às vedações externas, a parede externa deve ser leve refletora e a cobertura leve isolada. As estratégias de condicionamento térmico passivo são de ventilação cruzada no verão e de aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica) no inverno.

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), a unidade habitacional deve atingir critérios para que se atenda o desempenho térmico considerado mínimo para os sistemas de vedações verticais externas. Para isso, normatiza-se valores de referência para os seguintes parâmetros: transmitância térmica (U_{par}) e capacidade térmica (CT_{par}) de paredes externas; percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$); área de superfície de elementos transparentes ($A_{t,APP}$) ou percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$).

Para análise do desempenho térmico das paredes do método construtivo em alvenaria convencional, foram avaliadas as propriedades térmicas dos materiais e componentes utilizados na sua construção através do Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. A plataforma pública Projeteee, advinda de uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente (MME) em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), fornece dados e uma ferramenta de cálculo – Calculadora de Propriedades – das propriedades de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT), resistência térmica total e atraso térmico (ϕ) dos materiais. É necessário apenas inserir os materiais utilizados no método construtivo em análise para gerar as informações pretendidas.

Ao se tratar do método construtivo em ICF, para análise do desempenho térmico das paredes tomou-se como base o trabalho desenvolvido por Nunes e Miotto (2022), em que avaliaram o desempenho termoenergético de casas de baixa renda conforme o material utilizado nas paredes. Entre os materiais construtivos considerados no artigo, ressaltam-se os dados

analisados para a parede de ICF de 14cm. Salienta-se que os autores não expuseram a marca da forma de ICF a ser analisada, apenas a espessura considerada para avaliação e o revestimento em gesso.

Para um melhor embasamento da análise do ICF, foram também utilizadas as informações da empresa iForms ICF Fabricação de Artefatos de Isopor Ltda. Se trata da marca de construção em ICF certificada pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) que segue as diretrizes do SiNAT por meio do Documento de Avaliação Técnica, DATec N° 045 (MINISTÉRIO DA CIDADE, 2023). Além disso, possui o Certificado de Conformidade de Produto (ABNT, 2021) concedida pela ABNT para Forma iForms 18 e Forma iForms 12 por atender aos requisitos da NBR 11752 (ABNT, 2016). A empresa fornece um Manual Técnico (iForms, 2021) para consulta que reúne as características, informações principais e dados técnicos do método construtivo ICF.

Neste estudo, as tipologias de paredes consideradas para análise dos diferentes métodos são as descritas a seguir:

- a) Alvenaria convencional: paredes compostas de blocos cerâmicos 9x14x24cm, revestidos externamente com argamassa 2,5cm e internamente com gesso 0,2cm; espessura total da parede de aproximadamente 12cm.
- b) ICF: paredes compostas de formas de ICF, concreto convencional C25, amadura vertical aço CA50 Ø8mm a cada 36cm e horizontal aço CA50 Ø6.3mm a cada fiada, revestidos com gesso 2,5cm, interna e externamente; espessura total da parede de 14cm.

Para análise do percentual de abertura para ventilação (Pv), são considerados apenas os ambientes de permanência prolongada (APP), definidos neste estudo como a sala de estar e o quarto 1. O Código Obras da cidade de Lavras-MG (LAVRAS, 2008) define que a área de abertura para ventilação deve corresponder, no mínimo, a 1/6 da área do piso.

A avaliação do desempenho térmico dos sistemas de vedação verticais externas por meio da área de superfície de elementos transparentes (At,APP) ou percentual de elementos transparentes (Pt,APP) não foi considerada neste estudo. Isso devido à complexidade dos fatores a serem considerados como fator solar de vidro, elemento sombreador horizontal ou etiqueta de esquadria, que fugiria do nível proposto para análise deste estudo.

A fim de complementar a análise do desempenho térmico de uma unidade habitacional pelo método simplificado, tem-se a avaliação do desempenho térmico das coberturas, definida na NBR 15575-5 (ABNT, 2021). Em nível mínimo de caráter obrigatório, as coberturas são avaliadas quanto à sua transmitância térmica (U_{cob}), comparando-se com um valor de

referência especificado na NBR 15220-3 (ABNT, 2005) de acordo com o zoneamento bioclimático.

Para realizar a análise das propriedades dos materiais que compõem as coberturas, a fim de avaliar o desempenho térmico para ambos os métodos construtivos, recorreu-se também ao Projeteee. As descrições das coberturas a serem utilizadas em cada método são as seguintes:

- a) Alvenaria convencional: telha cerâmica (1cm), com câmara de ar (> 5cm) e laje pré-moldada cerâmica de 12cm de espessura.
- b) ICF: telha cerâmica (1cm), com câmara de ar (> 5cm) e laje pré-moldada de EPS de 12cm de espessura.

Para a zona bioclimática 3, o beiral deve ter uma projeção horizontal de 60 cm em todo o perímetro da edificação e deve ser respeitado em ambos os métodos construtivos em análise.

Ademais, a fim de obter incidência da radiação solar para análise das recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a plataforma Projeteee possibilita o acesso ao programa Sol-Ar, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEEE/UFSC, o qual permite a manipulação da carta solar. A carta solar fornece a trajetória do Sol durante todo o ano para a latitude especificada e, com isso, é possível avaliar a incidência solar nas fachadas, em um determinado momento ou período do dia.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a metodologia aplicada para análise do desempenho térmico dos sistemas de vedação verticais externas, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021) delimita os valores de transmitância térmica (U_{par}) para a zona bioclimática 3 de acordo com o limite da absorptância à radiação solar da superfície externa da parede. Ao considerar para a habitação de interesse social a pintura externa em cor clara, seu índice de absorptância é considerado 0,3 (menor que 0,6) levando ao limite de transmitância térmica de $3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Ao inserir os componentes da tipologia de parede de alvenaria convencional no Projeteee, os valores gerados são ilustrados na Figura 20 e conclui-se que o valor da transmitância térmica para este método de $2,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ encontra-se dentro do limite normatizado.

Figura 20 – Parede de alvenaria convencional (a) ilustração; (b) propriedades térmicas.



Fonte: Projeteee (2023).

Nunes e Miotto (2022) apresentam para a parede do método em ICF de 14cm um valor de $0.41 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para a transmitância térmica. Dessa forma, o valor também se encontra dentro do limite exigido pela norma.

A Tabela 3 faz um resumo do comparativo entre os valores, comprovando que o ICF transmite menos calor do que a alvenaria convencional por possuir um índice de transmitância menor quando se compara os métodos com características de revestimento e espessura próximos, sendo assim um melhor isolante térmico.

Tabela 3 – Comparativo de transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância térmica de paredes externas – U_{par} [W/(m².K)]		
Referência	Alvenaria convencional	ICF
$U_{par} \leq 3,7$	2,55	0,41

Fonte: Dos autores (2023).

A capacidade térmica (CT_{par}) é referenciada como maior ou igual a 130 kJ/m².K pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021) para atender à zona bioclimática 3. Conforme a Figura 20 já ilustrada previamente, a capacidade térmica da parede considerada para o método em alvenaria convencional é 99 kJ/m².K, o que configura um valor inadequado pelo limite da norma. Por sua vez, para o método em ICF, Nunes e Miotto (2022) fornecem um valor de capacidade térmica para a parede de 14cm de 194 kJ/m².K. Sendo assim, este valor se encontra dentro do normatizado. A Tabela 4 lista estes valores de capacidade térmica.

Tabela 4 – Comparativo de capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica de paredes externas – CT_{par} [kJ/m².K]		
Referência	Alvenaria convencional	ICF
$CT_{par} \geq 130$	99	194

Fonte: Dos autores (2023).

A capacidade térmica afeta o desempenho da edificação e sua capacidade de gerenciar a transferência de calor e por isso, ao selecionar os materiais construtivos, é essencial considerá-la juntamente com outras propriedades, como a condutividade térmica.

A DATec N° 045 garante ao método construtivo em ICF da empresa iForms o atendimento ao desempenho térmico mínimo exigido na norma e no SiNAT devido ao sucesso das simulações realizadas com os componentes construtivos. Tanto a DATec N° 045 (MINISTÉRIO DA CIDADE, 2023) quanto o Certificado de Conformidade (ABNT, 2021) para a iForms fornecem um valor de condutividade térmica da forma de ICF de 0,035 W/(m.K). Quando comparado com o bloco cerâmico que compõe a alvenaria convencional este é um valor bem baixo de condutividade térmica, já que o do bloco cerâmico é 0,90 W/(m.K), segundo LabEEE (2010). Salienta-se que quanto menor a condutividade térmica, menos calor é transferido para o interior do ambiente e por isso o ICF se mostra com um melhor desempenho.

O percentual de abertura para ventilação é avaliado apenas para os ambientes de permanência prolongada (APP), definidas nesse estudo como a sala de estar e o quarto 1. Para este fim, a abertura para ventilação é analisada por meio da Tabela 5, a qual dimensiona as portas e janelas usuais na edificação.

Tabela 5 – Dimensionamento das esquadrias.

Quadro de esquadrias	
Portas	Janelas/Peitoril
P1 = 60X210	J1 = 150X140/100
P2 = 70X210	J2 = 120X120/120
P3 = 80X210	J3 = 90X70/170

Fonte: Dos autores (2023).

Conforme a espessura especificada das paredes, a área do piso e área efetiva de abertura para ventilação, a Tabela 6 traz um comparativo do percentual de abertura para ventilação dos APP de cada método, e comprova que ambos os métodos atendem aos requisitos normativos, com o ICF apresentando uma taxa de abertura um pouco melhor relativo à ventilação do ambiente.

Tabela 6 – Comparativo do percentual de abertura para ventilação dos APP.

Percentual de abertura para ventilação – $P_{v,APP}$				
Referência: Código de Obras	Sala de Estar – Alvenaria	Quarto 1 – Alvenaria	Sala de Estar – ICF	Quarto 1 – ICF
$A_{v,APP}$ (m ²)	3,36	1,68	3,41	1,72
$A_{p,APP}$ (m ²)	10,20	8,40	10,20	8,40
$P_{v,APP} \geq 1/6$ da área de piso	$3,36 \geq 1,7$	$1,68 \geq 1,4$	$3,41 \geq 1,7$	$1,72 \geq 1,4$

Fonte: Dos autores (2023).

Partindo para a análise do desempenho térmico das coberturas, a NBR 15575-5 (ABNT, 2021) limita que para a zona bioclimática 3 a transmitância térmica (U_{cob}) deve ser menor ou igual a 1,5 W/(m².K) quando se considera um valor de absorvância à radiação solar da cobertura maior que 0,6, como neste caso em que as telhas cerâmicas possuem acabamento externo em cores escuras.

Pela metodologia empregada, ao inserir os dados no Projeteer, respectivamente para as coberturas do método construtivo em alvenaria e em ICF, os dados gerados são ilustrados nas Figura 21 e Figura 22.

Figura 21 – Cobertura do método em alvenaria convencional (a) ilustração; (b) propriedades térmicas.



Fonte: Projeteee (2023).

Figura 22 – Cobertura do método em ICF (a) ilustração; (b) propriedades térmicas.



Fonte: Projeteee (2023).

A Tabela 7 faz um resumo do comparativo entre o valor da transmitância térmica referência da norma para o caso dado e dos valores gerados pelo Projeteee. Sendo assim, conclui-se que a cobertura considerada para a construção da unidade habitacional em alvenaria convencional não atende ao limite normatizado. Enquanto isso, a cobertura utilizada para construção em ICF se mostra dentro do exigido e oferece um melhor conforto interno para a habitação.

Tabela 7 – Comparativo de transmitância térmica de coberturas.

Transmitância térmica de coberturas – U_{cob} [W/(m².K)]		
Referência	Alvenaria convencional	ICF
$U_{cob} \leq 1,5$	1,77	1,26

Fonte: Dos autores (2023).

Uma vez que a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda para a zona bioclimática 3 o uso de aberturas de ventilação médias, seus valores devem estar entre 15% e 25% da área do piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitórios e sala de estar). A Tabela 8, a seguir, traz o percentual de abertura para ventilação desses ambientes, conforme dados da Tabela 5, apresentada anteriormente.

Tabela 8 – Avaliação das aberturas para ventilação dos APP.

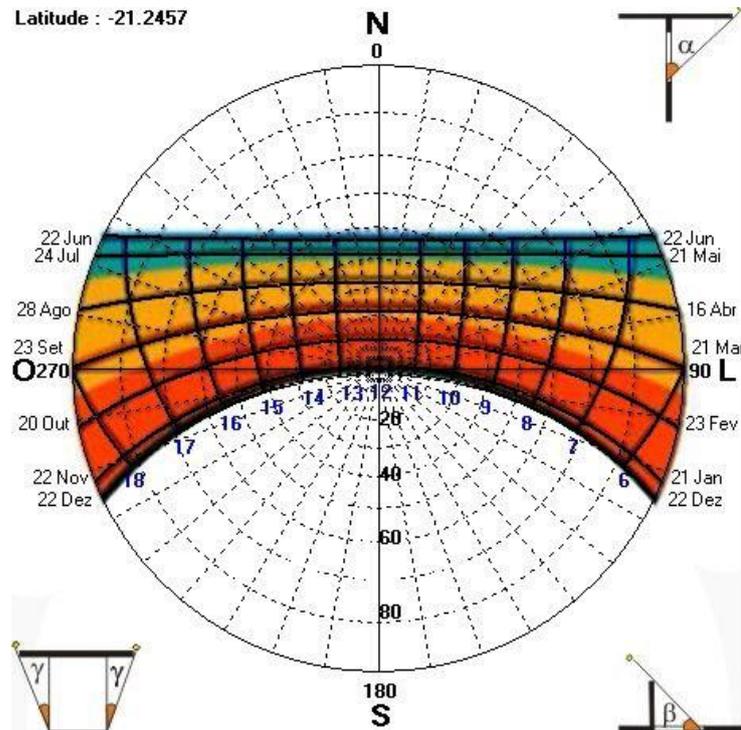
Abertura para ventilação – A (%)								
ZB 3	Alvenaria				ICF			
	Sala	Quarto1	Quarto2	Cozinha	Sala	Quarto1	Quarto2	Cozinha
$A_{v,APP}$ (m ²)	3,36	1,68	1,68	3,53	3,41	1,72	1,72	3,61
$A_{p,APP}$ (m ²)	10,20	8,40	10,50	12,90	10,20	8,40	10,50	12,90
15% ≤ $A \leq$ 25%	32,9	20	16	27,4	33,4	20,5	16,4	27,9

Fonte: Dos autores (2023).

Portanto, percebe-se que as aberturas para ventilação dos quartos 1 e 2 atendem ao requisito normativo para a zona bioclimática em estudo, tanto para a alvenaria convencional quanto para o ICF. No entanto, o percentual de abertura da sala de estar e cozinha excede o limite da norma para aberturas médias para ambos os métodos construtivos, o que pode ser favorável no verão, visto que favorece a ventilação, enquanto no inverno faz-se necessário equilibrar a ventilação com a taxa de retenção de calor.

Para avaliação da incidência solar, a partir da latitude especificada, foi obtida a carta solar para a cidade de Lavras-MG, com o percurso solar delimitado do Solstício de junho (inverno no Hemisfério Sul) ao solstício de dezembro (verão no Hemisfério Sul), como ilustrado na Figura 23.

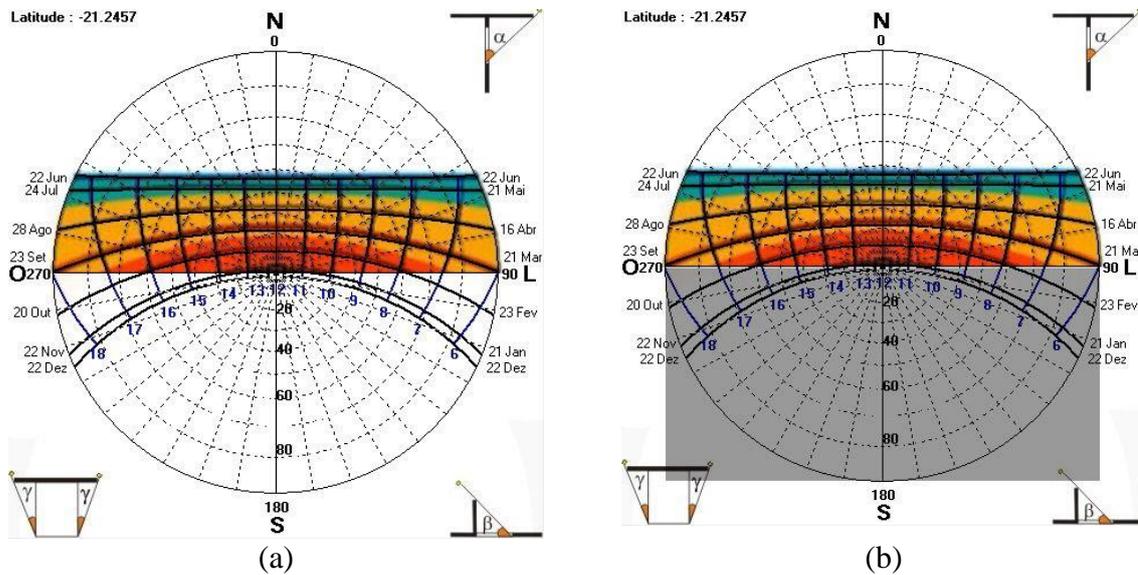
Figura 23 – Carta Solar para a cidade de Lavras-MG.



Para cada uma das quatro fachadas da edificação, é realizada a análise da incidência solar na habitação, bem como do sombreamento das aberturas.

Iniciando a análise para a fachada voltada para o Norte, percebe-se pela Figura 24 que a radiação solar incide durante todo o ano e em todas as estações, com exceção apenas no início da manhã e ao fim da tarde, em que não há incidência solar. Para esta fachada na habitação em estudo, a radiação solar penetra no ambiente através das aberturas das janelas das faces norte da cozinha e quarto 1. Observa-se também que as aberturas da fachada Norte permitem a entrada de calor solar durante todo o inverno, o que influencia positivamente o desempenho térmico e a sensação de conforto pelo usuário nesses ambientes.

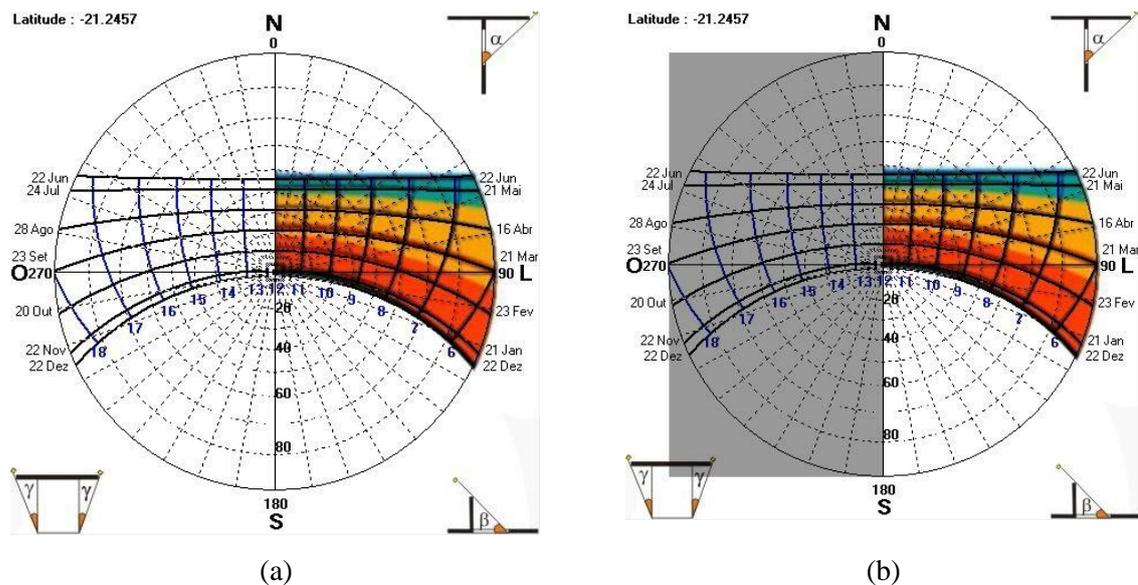
Figura 24 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Norte.



Fonte: Adaptado de Sol-Ar (2023).

Para a fachada Leste, a qual abrange as faces dos quartos 1 e 2 voltados para essa fachada e o banheiro, verifica-se que esta recebe sol apenas no período da manhã durante o ano todo, conforme ilustrado na Figura 25. Dessa forma, durante o período da tarde, essa fachada é sombreada durante o ano todo. Nessa orientação, o banheiro e a área de circulação, considerados como ambientes de uso transitório, funcionam como barreira térmica para os dias de intensa radiação solar.

Figura 25 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Leste.

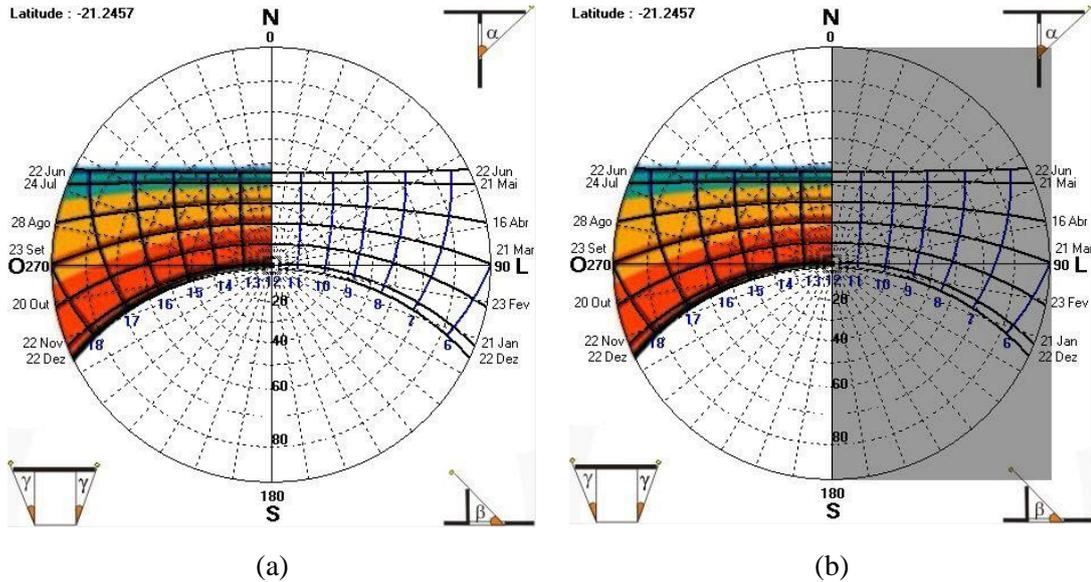


Fonte: Adaptado de Sol-Ar (2023).

Por sua vez, na fachada Oeste, a qual abrange as faces da cozinha e sala de estar voltadas para essa fachada, o calor solar penetra nesses ambientes através das aberturas das janelas

apenas no período da tarde durante todo o ano, enquanto no período da manhã não há incidência solar através dessa fachada, como ilustrado na Figura 26. Como as aberturas da sala de estar e cozinha ultrapassam o limite estabelecido para a zona bioclimática 3, durante o inverno pode haver desconforto térmico nesses cômodos pela manhã.

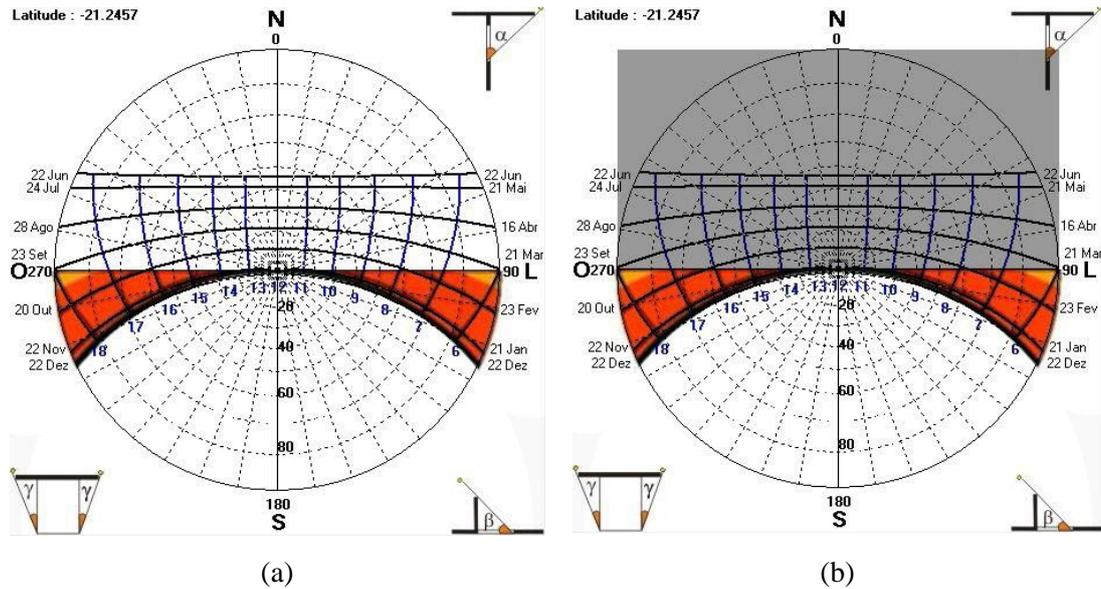
Figura 26 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Oeste.



Fonte: Adaptado de Sol-Ar (2023).

A fachada Sul, avaliada através da Figura 27 recebe radiação solar somente no verão, portanto a sala de estar e o quarto 2 são considerados os cômodos mais quentes da edificação durante o verão e os mais frios durante o inverno, visto que não há incidência solar nessa estação. O recuo de 1,55m da sala de estar em relação ao limite da edificação, minimiza o desconforto térmico tanto no verão quanto no inverno, se comparado ao quarto 2.

Figura 27 – (a) Incidência Solar; (b) Sombreamento para a fachada Sul.



Fonte: Adaptado de Sol-Ar (2023).

Para que a parede externa seja leve refletora e a cobertura seja leve isolada, conforme preconizado na NBR 15220-3 (ABNT, 2005) sobre vedações externas para a zona 3, os limites de transmitância térmica (U) e de atraso térmico (ϕ) devem ser respeitados. A Tabela 9 lista os valores referência e os valores obtidos para os métodos construtivos expostos anteriormente na Figura 20, na Figura 21, na Figura 22 e nas considerações da empresa iForms e de Nunes e Miotto (2022).

Tabela 9 – Comparativo entre as recomendações da NBR 15220-3.

Zona Bioclimática 3			
	Referência	Alvenaria	ICF
Parede leve refletora			
Transmitância térmica $W/(m^2.K)$	$U \leq 3,60$	2,55	0,41
Atraso térmico (h)	$\phi \leq 4,3$	2,2	-
Cobertura leve isolada			
Transmitância térmica $W/(m^2.K)$	$U \leq 2,00$	1,77	1,26
Atraso térmico (h)	$\phi \leq 3,3$	5,0	5,7

Fonte: Dos autores (2023).

Para a parede de alvenaria convencional, os valores de transmitância térmica (U) e atraso térmico (ϕ) estão dentro dos limites da norma para que a parede seja leve refletora. Para ser

uma cobertura leve isolada, o valor de U se mostra adequado, enquanto o valor de ϕ ultrapassa o normatizado.

Se tratando de ICF, os valores de transmitância (U) se encaixam tanto para parede leve refletora quanto para a cobertura leve isolada. Como não se tem o dado de atraso térmico da parede de ICF, ele não pode ser comparado com a norma. O valor de ϕ para cobertura leve isolada se mostra além do limite da norma, entretanto deve-se considerar que o atraso térmico consiste no tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. Dessa forma, esse resultado pode ser mais favorável para o ICF do que para alvenaria convencional, uma vez que a NBR 15220 (ABNT, 2005) preconiza que no Brasil o atraso térmico é avaliado apenas para o verão, logo um valor maior é considerado benéfico, visto que ajuda a manter o interior do ambiente mais fresco durante o dia, uma vez que retarda a transferência de calor do lado externo para o interno.

Para atender às diretrizes de desempenho térmico da zona bioclimática 3, devem ser atendidas as estratégias de condicionamento térmico na edificação determinadas na metodologia.

No verão, a estratégia de ventilação cruzada deve ser adotada, pois promove a remoção do calor por acelerar as trocas por convecção, além de contribuir para melhoria da sensação térmica dos ocupantes por elevar os níveis de evaporação. Neste estudo, a estratégia de ventilação cruzada não pôde ser analisada quantitativamente, uma vez que o Programa Sol-Ar não fornece os dados da rosa dos ventos para a cidade de Lavras-MG. Contudo sabe-se que o volume de fluxo de ar que penetra através da estrutura é determinado pelo tamanho das aberturas, onde o maior número de trocas de ar é obtido quanto maior o tamanho das aberturas de entrada e saída de ar, com o devido equilíbrio com a incidência solar através das aberturas.

No inverno, o aquecimento solar passivo da edificação é uma estratégia que consiste na utilização da incidência da radiação solar para aquecimento dos ambientes, através das aberturas ou superfícies envidraçadas, resultando em aquecimento instantâneo. O aquecimento dos ambientes pode ser otimizado por fatores como forma, orientação e implantação da edificação, bem como pela cor externa dos componentes construtivos.

Outra estratégia a ser priorizada no inverno é a de inércia térmica, onde edificações com elevada inércia térmica proporcionam uma redução das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor, o que permite que no inverno o calor seja armazenado por mais tempo para ser liberado na parte da noite, contribuindo para que a edificação permaneça aquecida. A inércia térmica depende de características como tipo de piso, parede e cobertura,

de forma que o uso de elementos construtivos de elevada capacidade térmica, como o ICF, favorece a inércia térmica total da edificação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O déficit de moradias dignas que assola a sociedade é um apelo para que a construção civil viabilize unidades habitacionais pautadas no bem-estar dos moradores. Dessa forma, o presente trabalho se propôs a avaliar o desempenho térmico dos materiais construtivos dos métodos em alvenaria convencional e em ICF objetivando obter a melhor alternativa para uma habitação de interesse social localizada na cidade de Lavras-MG.

Na análise dos sistemas de vedação verticais externas (SVVE), ao se tratar da transmitância térmica, a tipologia de parede em ICF se mostrou 6,2 vezes um melhor isolante térmico quando comparado com a parede do método de alvenaria convencional, mesmo que ambos os métodos estivessem dentro do padrão normatizado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021).

A tipologia considerada para alvenaria convencional não se mostrou adequada ao limite da norma quando avaliada a capacidade térmica da parede, ao contrário da parede em ICF que se enquadrou no limite preconizado e forneceu quase o dobro de eficiência energética, mantendo o ambiente interno mais agradável. O melhor desempenho do ICF também se confirmou ao confrontar os valores de condutividade térmica do bloco de ICF que se encontra abaixo do bloco cerâmico.

Relativo à taxa de abertura para ventilação para os ambientes de permanência prolongada, ambos os métodos construtivos atenderam ao mínimo estabelecido pelo Código de Obras da cidade de Lavras-MG, com uma mínima diferença que favorece o método em ICF, devido à espessura da parede.

Na avaliação das coberturas, a tipologia da laje pré-moldada em EPS para o método em ICF atendeu ao valor de referência de transmitância térmica normatizado ao contrário da laje pré-moldada de cerâmica considerada para o método em alvenaria. Assim sendo, a cobertura da habitação em ICF ofereceu 1,4 vezes mais conforto para o seu interior do que cobertura da habitação em alvenaria.

O uso de aberturas médias para ventilação, recomendado para a zona bioclimática 3 pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), foi atendido para os quartos 1 e 2, tanto para o ICF quanto para a alvenaria convencional. Já para a sala de estar e cozinha a taxa de abertura foi superior ao permitido em norma para ambos os métodos, o que possibilita um fluxo de ar maior e favorece a ventilação cruzada nesses ambientes, principalmente para as aberturas de janelas que se encontram na fachada Oeste, que recebe o sol do período da tarde. A diferença da taxa de

abertura para ventilação entre os métodos construtivos foi considerada mínima para a análise comparativa, contudo os resultados obtidos favorecem o uso do ICF.

Na análise da carta solar para avaliação da incidência solar e sombreamento nas fachadas, a orientação norte das aberturas foi considerada favorável tanto no inverno por possibilitar a radiação solar direta nos períodos mais frios, quanto no verão por permitir a entrada de ventilação em equilíbrio com a incidência solar. Por sua vez, a fachada sul é desfavorecida tanto no verão, por receber radiação solar o ano todo, quanto no inverno, por não ser observado incidência solar nessa estação. As fachadas leste e oeste – as quais recebem radiação solar somente na parte da manhã ou da tarde, respectivamente – são favorecidas termicamente nos dias mais frios de inverno durante o período em que recebem radiação, enquanto no verão há o desconforto nesta parte do dia.

Ao avaliar as recomendações da NBR 15220-3, o ICF apresentou um melhor desempenho tanto como parede leve refletora quanto como cobertura leve isolada devido a menor transmitância térmica do que a alvenaria convencional. O atraso térmico das paredes não pôde ser comparado entre os dois métodos pela falta deste dado para o ICF. Os valores de atraso térmico para ambas as coberturas, excederam o preconizado para que fosse leve isolada. Todavia, quando comparadas entre si, a cobertura de ICF possui um atraso térmico melhor que a cobertura da alvenaria por ser um valor maior, retardando assim, a transferência de calor entre o exterior e interior da habitação.

Acerca das estratégias de condicionamento térmico recomendadas para a zona bioclimática em estudo, a ventilação cruzada no verão e o aquecimento solar passivo no inverno estão diretamente ligados às aberturas para ventilação e à incidência solar, características já avaliadas. O uso do ICF como método construtivo favorece a estratégia de inércia térmica nos ambientes, visto que possui alta capacidade térmica.

Devido aos resultados satisfatórios quanto ao desempenho térmico, conclui-se então que o ICF é uma melhor alternativa para uso em habitações de interesse social, visto que, além de atender aos requisitos normativos, proporciona ao usuário maior conforto térmico quando comparado com construções em alvenaria convencional e, conseqüentemente, possibilita redução nos custos de energia devido a diminuição do uso de aparelhos para ventilação artificial. Ademais, como as habitações de interesse social geralmente são construídas em larga escala, muitas vezes torna-se inviável a escolha da melhor orientação solar, logo o uso do ICF permite que o desconforto térmico seja minimizado.

Contudo, é importante salientar que apenas a escolha do método construtivo não garante o desempenho térmico, sendo necessário avaliar todos os aspectos, como o entorno da área edificada, a orientação da edificação e a escolha dos materiais para revestimento e esquadrias.

Dessa forma, como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação dos fatores não avaliados neste trabalho, como a área de superfície de elementos transparentes, a direção dos ventos para a cidade em estudo e o atraso térmico do ICF. Ademais, faz-se necessário que o método em ICF seja avaliado para as demais zonas bioclimáticas brasileiras e que tenha incentivo à sua normatização no país, como forma de facilitar e garantir a segurança ao se construir.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A. K. **Introdução à Gestão Habitacional**. Texto técnico – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1995.
- ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Manual de utilização EPS na construção civil**. Pini, p.124. São Paulo, 2006.
- ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- ANDRADE L. A. G.; AZEVEDO, S. **Habitação e poder**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.
- ANTUNES, D. A. de L.; JUNIOR, J. C. da C. **Análise comparativa dos sistemas construtivos em Alvenaria Convencional e *Insulating Concrete Forms (ICF)***. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021.
- ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social** – um estudo de caso. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Certificado de conformidade N° 406.001/21**. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado – Requisitos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752**: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial. 3 ed. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-2**: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios – Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13867**: Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso – Materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859**: Laje pré-fabricada – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras – Requisito. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 1 ed. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos gerais para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. 5 ed. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16618**: Revestimento Interno em Gesso de Paredes. 1 ed. Rio de Janeiro, 2017.

BASTOS JUNIOR, Achilles Pinheiro et al. **Análise de viabilidade econômica do método construtivo *insulated concrete forms* para construção de habitações**. Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

BIOCLIMATISMO. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Disponível em: <https://bioclimatismo.com.br/bioclimatismo/zoneamento-bioclimatico-brasileiro/>. Acesso em: 27 de outubro de 2023.

BLAIR, J. **Disadvantages of building with Insulated Concrete Forms**. Disponível em: <https://www.hunker.com/13401210/disadvantages-of-building-with-insulated-concrete-forms>. Acesso em: 3 de dezembro de 2023.

BORTOLOTTO, A. L. K. **Análise de Viabilidade Econômica do Método *Light Steel Framing* para construção de habitações no município de Santa Maria – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Habitação. **SiNAT: Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais**. 2021. Disponível em: <http://sinat.mdr.gov.br/convencionais>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

BUONFIGLIO, L. V. **Habitação de Interesse Social**. Rio Grande do Sul: Mercator, 2018.

BW - BIOSPHERE WORLD. Desempenho térmico de edificações. 2020. Disponível em: <https://movimentobw.org.br/noticias/exibir/desempenho-termico-de-edificacoes>. Acesso em: 2 de novembro de 2023.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda Habitacional no País.** Brasília, DF, 2011.

CAVALHEIRO, R. G. **A Criação de um Centro Tecnológico de Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente e o Fortalecimento do Poder Nacional.** Revista da Escola Superior de Guerra, n. 14, p. 97-125, 1990.

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 30 de setembro de 2023.

CONSTRUINDO CASAS. **Estrutura de Concreto Armado: o que é e como fazer?.** Disponível em: <https://construindocasas.com.br/blog/construcao/concreto-armado/>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

CORREIA, Ludmila de. **Conforto Ambiental e suas relações subjetivas: Análise ambiental integrada na habitação de interesse social.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

EDIFIQUE ARQ BR. **Estrutura de Concreto Armado.** Disponível em: <https://www.edifique.arq.br/estconcr.htm>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

FASE. Soluções Construtivas em ICF. **O Sistema ICF.** Disponível em <http://faseicf.com.br/>. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil,** 2013. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>. Acesso em: 11 de outubro de 2023.

ICF BUILDER – *THE INSULATING CONCRETE FORMS MAGAZINE.* **History of ICF's.** Disponível em: <https://www.icfmag.com/2011/02/history-of-icfs>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.

ICF BUILDER – *THE INSULATING CONCRETE FORMS MAGAZINE.* **How to be Environmentally Responsible.** Disponível em: <https://www.icfmag.com/2023/05/how-to-be-environmentally-responsible/>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

ICF CONSTRUTORA INTELIGENTE. **A ICF Construtora em números.** Disponível em: <https://icfconstrutora.com.br/>. Acesso em: 05 de outubro de 2023.

ICF CONSTRUTORA INTELIGENTE. **O Sistema Construtivo iForms.** Disponível em: <https://www.iforms.com.br/>. Acesso em 16 de outubro de 2023.

iForms. **Manual Técnico.** 2021.

Insulating Concrete Forms Manufacturers Association. Estados Unidos. Disponível em: icfma.org. Acesso em: 23 de outubro de 2023.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. v. 2, ed.: IBRACON, 2007.

ISOCRET. **ISOCRET do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://isocret.com.br>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

JESUS, A. T. C. de; BARRETO, M. F. F. M. **Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (Icf)**. E&S - Engineering And Science 2018, Porto Alegre, v. 3, p. 12-27, 2018. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/6926>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

KOPPEN, W. **Climatologia: estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economia, p.478, 1948.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

LAMBERTS, Roberto et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, v.1, Florianópolis, 2010.

LAVRAS (MG). **Lei Complementar Nº 154/2008**. Estabelece o Código de Obras do município de Lavras e dá outras providências. Lavras, MG. Procuradoria Geral do Município, 2008.

MARICATO, E. **Habitação e cidade**. 5. ed. São Paulo: Atual, 1999.

MINISTÉRIO DA CIDADE. **DATEc nº 045**: Sistema de vedação vertical composto de blocos de EPS preenchidos com concreto e revestimento de argamassa. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). Brasília, 2023.

MENDONÇA, F. A. **O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teóricometodológicos e estudo de caso**. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J.A. (Org.) VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: EDUEM, p.167 – 192, 2000.

MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C. **CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos**: estudos de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida”. Ambiente Construído, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. Porto Alegre, 2017.

MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S.; SOUZA, R. G. **Thermal performance of social housing- a study based on Brazilian regulations**. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY IN ENERGY AND BUILDINGS*. Turin: Elsevier Procedia, 2017.

MUNARO, G. F. **Construção Modular: Um Comparativo Entre O Método *Insulated Concrete Forms* (ICF) E O Método Convencional Em Bloco Cerâmico**. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Nova Xavatina, 2018.

NACIONES UNIDAS. *Directrices para la Aplicación del Derecho a una Vivienda Adecuada. Consejo de Derechos Humanos*. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G19/353/93/PDF/G1935393.pdf?OpenElement>. Acesso em 11 de outubro de 2023.

NAÇÕES UNIDAS. **Julho de 2023 é confirmado como o mês mais quente da história**. ONU News – Perspectiva Global Reportagens Humanas. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/08/1818742>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

NASCIMENTO, Andréia Moreno do et al. **A segurança do trabalho em edificações em alvenaria estrutural: um estudo comparativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NUNES, G.H, MIOTTO, J.L. *Thermo-energetic performance of Insulated Concrete Forms: Improvements in low-income houses in the climate of São Paulo*. HOLOS, Ano 38, v.8, e10236, 2022.

OLIVEIRA, J. V. B. de. **Análise comparativa do uso de ICF e tijolos cerâmicos a partir das propriedades térmicas e acústicas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021.

OSÓRIO, L. M. **O direito à moradia como direito humano**. In: FERNANDES, E.; ALFONSIN, B. (Coords.). *Direito à Moradia Adequada - o que é, como defender e efetivar*. Belo Horizonte: Fórum, p. 39 – 68, 2014.

PASSOS, F. A. S. **Análise de viabilidade econômica do sistema construtivo *Insulated Concrete Forms* para habitações de interesse social**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

PENTEADO, P. T; MARINHO, R. C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria com blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na construção de uma residência popular**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PEREIRA, C. **O que é Concreto Armado?**. Escola Engenharia, 2015. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT – PBQP-H. Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/>. Acesso em: 11 de outubro de 2023.

Projeteee – PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/projeteee>. Acesso em: 3 de novembro de 2023.

REVISTA TÉCNICA. **ICF - Sistema de fôrmas termoacústicas de EPS para paredes autoportantes de concreto**. Edição 235. 2016.

RICHTER, C. **Alvenaria estrutural**: processo construtivo racionalizado. Curso de Extensão Área de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2007.

ROCHA, João Felipe da. **O novo tijolo do Brasil**. Sinop: Grupo Icf, p. 17, 2021.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador et al. **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*, v. 8, n. 9, p. 01-26, 2019.

SHIMBO, L. Z. **Habitação Social, Habitação de mercado**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SPANIOL, N.C. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e *wood frame* para habitações de interesse social**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

VALE CORREA. **Laje Treliçada**. Disponível em: <http://www.valecorrea.com.br/laje-trelicada>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.