



MARINA PENONI GONÇALVES

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE EMBALAGENS
CARTONADAS REUTILIZADAS COMO MANTA TÉRMICA
PARA LIGHT WOOD FRAME**

**LAVRAS-MG
2021**

MARINA PENONI GONÇALVES

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE EMBALAGENS CARTONADAS REUTILIZADAS
COMO MANTA TÉRMICA PARA LIGHT WOOD FRAME**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
curso de Engenharia Civil, para obtenção
do título de Bacharel.

Prof. Dr. André Luiz Zangiacomo
Orientador

Lucas Henrique Pedrozo Abreu
Coordenador

**LAVRAS-MG
2021**

MARINA PENONI GONÇALVES

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE EMBALAGENS CARTONADAS REUTILIZADAS
COMO MANTA TÉRMICA PARA LIGHT WOOD FRAME
STUDY OF THE APPLICATION OF CARTONS RE-USED AS A THERMAL
BLANKET FOR LIGHT WOOD FRAME**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
curso de Engenharia Civil, para obtenção
do título de Bacharel.

APROVADO em 14 de junho de 2021
Prof. Dr. André Luiz Zangiacomo
Profa. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira



Prof. Dr. André Luiz Zangiacomo
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pelos recursos oferecidos para uma graduação de excelência.

Ao professor orientador André Luiz Zangiaco pela paciência, compreensão e horas de dedicação para que este trabalho fosse moldado da melhor forma, agregando ainda mais conhecimento à minha formação.

Aos meus pais, Franciene e Tarcísio, pelo amor, carinho, cuidado, apoio, ensinamentos, incentivo e motivação, além da paciência nos momentos mais solicitantes, mas acima de tudo obrigada por serem exemplo tanto no âmbito pessoal quanto profissional.

Aos meus familiares que sempre contribuíram para que eu conseguisse ter persistência e acreditar em mim e por serem tão solícitos e prestativos em todos os momentos.

Aos amigos que me acompanharam ao longo de todo meu percurso, pelo suporte, companheirismo e constante troca de conhecimento, bem como nos momentos em de descontração me ajudando a encarar os obstáculos com mais leveza. Em especial aos meus amigos Isaías e Ana Flávia, por todo o suporte, noites de estudos, dedicação, paciência com meu trabalho e por todas as risadas e companheirismo desde o início, vocês foram meu alicerce.

Aos demais companheiros de jornada e professores que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento e conclusão dessa etapa.

À ONG Engenheiros Sem Fronteiras – Núcleo Lavras, por toda vivência que pôde me agregar, nunca deixando com que eu me esquecesse dos valores de responsabilidade socioambiental, pela oportunidade de vivenciar o voluntariado e principalmente por ser inspiração para este trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O desenvolvimento sustentável é um questionamento que vem ganhando a cada dia mais espaço nos diversos fóruns de discussão. O setor da construção civil representa uma grande parcela de impactos advindos da exploração de recursos naturais e enorme geração de resíduos. O sistema construtivo industrializado *light wood frame* se mostra como uma atraente alternativa para as construções tradicionais. Isso se deve às suas ótimas propriedades físicas, como isolamento térmico e sobretudo menor geração de resíduos, além da matéria prima ser oriunda de fonte renovável. O isolamento térmico destaca-se como uma importante propriedade a ser considerada em materiais construtivos. Um material com potencial para emprego como isolante térmico, mas com baixo índice de reciclagem e reutilização, é a embalagem longa vida (LV). O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de embalagens LV como manta térmica em protótipos de paredes duplas. Os protótipos foram confeccionados com chapas de compensado de 10 mm, simulando um ambiente vedado, com formato de cubos concêntricos. O estudo foi dividido em dois experimentos, realizados em períodos diferentes. O experimento 1 confrontou dois corpos de prova: um corpo de prova de controle (CP1) e o segundo (CP2) foi revestido internamente com embalagens LV com faces aluminizadas posicionadas paralelamente umas às outras. O experimento 2 foi montado com um corpo de prova de controle (CP1) e com um corpo de prova (CP3) onde foi adicionada, além das camadas internas, uma camada externa de embalagens LV com as faces aluminizadas voltadas para o exterior. Foram realizadas aferições das temperaturas máxima e mínima do interior dos corpos de prova diariamente, num período de aproximadamente duas semanas cada. O CP2 apresentou resultados de amenização da amplitude térmica, reduzindo em 1,9% a temperatura máxima e aumentando em 2,41 % a temperatura mínima. O mesmo não ocorreu para o CP3, que apresentou ganho das temperaturas máxima (2,81%) e mínima (1,66%). Conclui-se que as embalagens cartonadas têm potencial para emprego como manta térmica, e que o tipo de disposição das camadas do isolante influencia nas temperaturas internas do ambiente.

Palavras-chave: Conforto térmico; *Light wood frame*; Embalagens longa vida; Reaproveitamento.

ABSTRACT

The sustainable development is a question that is gaining, every day, more space on several discussion forums. The civil construction sector represents a great part of the impacts from the exploitation of natural resources and enormous waste generation. The industrialized constructive system *light wood frame* seem to be an attractive alternative to traditional constructions. This is due to its great physical properties, such as thermal isolation and, above all, less waste generation, in addition to the raw material coming from a renewable source. The thermal isolation stands out as an important property to be considered in constructive materials. A material with potential to be used as thermal isolation, but with a low recycling and reuse rate, is the long-life packing (LV). The objective of this work was to evaluate the use of LV packing as a thermal blanket in double walls prototypes. The prototypes were made with 10 mm plywood sheets, simulating a sealed environment, shaped as concentric cubes. The study was divided into two experiments, realized in different periods. The experiment 1 confronted two specimens: one specimen for control (CP1) and the second one (CP2) was internally covered with LV packings with aluminized faces positioned parallel to each other. The experiment 2 was set up by reusing CP1 entirely and for the third specimen (CP3) an external layer of LV packaging was added, in addition to the intern layers, externally to CP2 with the aluminized faces facing outwards. Daily maximum and minimum temperature measurements were performed on the inside of the specimens, for a period of about two weeks each. CP2 showed results of mitigating the thermal amplitude, reducing the maximum temperature in 1,9% and increasing the minimum temperature in 2,41 %. The same did not occur to the CP3, which presented a gain of maximum (2,81%) and minimum (1,66%) temperatures. It is concluded that the carton packings have the potential to be used as a thermal blanket, and that the type of arrangement of the insulating layers influences the internal temperatures of the environment.

Keywords: Thermal comfort. Light wood frame. Long-life packaging. Reuse.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Objetivo	8
1.2	Justificativa	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Sustentabilidade	10
2.2	Impacto ambiental gerado pelo setor da construção civil	10
2.3	Industrialização da construção civil	13
2.4	Conforto térmico em edificações	17
2.5	Embalagens longa vida (LV)	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Materiais e montagem	24
3.1.1	Montagem do experimento 01	28
3.1.2	Montagem do experimento 02	30
3.2	Procedimentos	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Experimento 01	32
4.2	Experimento 02	34
4.3	Discussão dos resultados	36
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Há mais de duas décadas atrás, muitos dos países ocidentais consideravam o meio ambiente como local de obtenção de matéria prima e destinação de resíduos. Os resultados do crescimento econômico a qualquer custo colocaram o Planeta Terra em uma posição desprivilegiada com relação aos respectivos impactos ambientais decorrentes das atividades produtivas (ARAUJO, 2002).

A busca por padrões de sustentabilidade é encontrada, atualmente, como um dos temas mais abordados por todos os setores econômicos e sociais (OLIVEIRA, 2014). O cenário mundial é de preocupação com o planeta, com o intuito de protegê-lo da degradação. Tal fato se dará por meio do consumo, da produção e de uma gestão de recursos naturais sustentáveis, bem como de medidas urgentes para atender as necessidades das gerações presentes e futuras (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU, 2015).

O setor da construção civil tem sido foco constante de críticas da mídia com relação aos desperdícios de matéria prima e insumos (ARAUJO, 2002). Os resíduos da construção e demolição representam aproximadamente 61,17% da coleta total de resíduos sólidos no Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE, 2020). Tal fato apresenta-se como uma alerta, pois grande parte dos materiais utilizados para o setor são oriundos de fontes não-renováveis.

A preocupação com a otimização de produção e com a diminuição da geração e resíduos aponta para soluções como a industrialização da construção civil. Esta solução na qual as edificações são fabricadas por uma indústria e apenas depois de se ter o ‘esqueleto’ pronto monta-se ‘*in situ*’, apresenta-se como viável, já que os materiais utilizados são selecionados e certificados, os processos são otimizados, a mão de obra treinada e os resíduos reduzidos pelo aproveitamento do material feito dentro da própria indústria (OLIVEIRA, 2014).

Neste segmento, o *light wood frame* (LWF), ou simplesmente *wood frame* (WF) representa grande inovação para o setor de construção civil no Brasil, devido a suas características de racionalização de material, flexibilidade operacional, agilidade produtiva, custos competitivos e, também, pelos níveis eficientes de limpeza e tempo de montagem (SOTSEK; SANTOS, 2018). É possível destacar o sistema construtivo *wood frame* (WF), como um grande aliado aos princípios de sustentabilidade, além de apresentar grande relevância pelo seu alto desempenho térmico e acústico (MOLINA; CALIL, 2010).

O uso do sistema construtivo WF embora já seja consolidado em países como Estados Unidos, Canadá e outros, tem um mercado ainda considerado frágil no Brasil. Apesar de toda modernidade, agilidade e benefícios do sistema WF ainda pode-se observar uma certa rejeição atrelada a preconceitos a respeito da utilização da madeira. Preconceitos estes muitas vezes errôneos, visto que é um sistema que possibilita o uso de um material facilmente renovável e ambientalmente correto (OLIVEIRA, 2014).

Paralelamente, um manejo adequado para os resíduos sólidos é indispensável para a eficácia de objetivos de desenvolvimento sustentável. A composição gravimétrica dos resíduos sólidos indica que 1,4% dos resíduos sólidos contemplam as embalagens multicamadas (ABRELPE, 2020); grande parte destas consiste em embalagens longa vida (LV), ou também conhecida como embalagem Tetra Pak ®.

As embalagens LV possuem em sua composição o metal alumínio, material comumente utilizado em subcoberturas de edificações. Os elementos de subcobertura são materiais empregados para isolar termicamente os ambientes, dificultando a passagem do calor por radiação. Tais elementos requerem em sua composição materiais de alta refletividade e baixa emissividade o qual reduz a emissão da radiação em onda longa; assim, as perdas de calor no inverno e os ganhos térmicos no verão, são reduzidos (SILVA et al., 2015).

Ante o exposto, e com vistas à sustentabilidade, o presente trabalho trata do emprego de mantas térmicas confeccionadas a partir da reutilização de caixas de embalagem LV em edificações.

1.1 Objetivo

Estudar a temperatura interna de corpos de prova de paredes duplas de madeira com a aplicação de mantas térmicas de embalagens cartonadas reutilizadas.

1.2 Justificativa

Sistemas de construção tradicionais no Brasil, como os que empregam alvenaria de tijolos e estrutura em concreto armado, geram uma quantidade considerável de resíduos sólidos durante a fase construtiva da edificação. Uma alternativa para a diminuição do impacto ambiental causado por esses rejeitos é o emprego de sistemas construtivos industrializados, como o *light wood frame*. Esse sistema emprega em suas paredes isolantes térmicos e acústicos, posicionados de forma a aumentar o desempenho da edificação.

Não parece ser adequado e nem justificável, nos dias atuais, dispor-se de edificações que consomem quantidades significativas de energia para a promoção de conforto térmico, seja

com aquecimento ou com resfriamento dos ambientes. Assim, faz-se necessário que estudos de materiais para emprego como isolantes térmicos em edificações sejam feitos, contribuindo para o aumento da oferta das alternativas disponíveis.

Paralelamente, o reaproveitamento e a reutilização de sólidos descartados pelo consumo humano na forma de lixo têm ganhado impulso. Além de se destinar o rejeito para um fim qualificado, agrega-se valor ao material, aliviando a pressão sobre aterros sanitários, e contribuindo para a oferta de matéria prima em vários segmentos da indústria. Neste sentido, uma possibilidade desse tipo de reaproveitamento é o uso de embalagens cartonadas do tipo longa vida (LV) para diversos fins, como o de isolamento térmico.

Assim, com vistas ao emprego em sistemas construtivos industrializados, como o *light wood frame*, de embalagens cartonadas reutilizadas como mantas térmicas, justifica-se o trabalho aqui proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sustentabilidade

Seguido de inúmeros marcos históricos na arquitetura relacionados à sustentabilidade, a Organização das Nações Unidas (ONU) publicou em 2015 os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Tal marco faz parte de uma agenda mundial que visa guiar a humanidade até 2030 rumo a um futuro sustentável, através de implementações de políticas públicas. Entre os ODS estabelecidos (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU, 2015), são de extrema relevância para o setor de construção civil os objetivos seguintes:

- nº 3 – Saúde e Bem-estar;
- nº 7 – Energia limpa e acessível;
- nº 9 – Indústria, inovação e infraestrutura;
- nº 11 – Cidades e comunidades sustentáveis;
- nº 12 – Consumo e produção responsáveis.

Com uma sociedade cada vez mais preocupada com os impactos ambientais, as indústrias estão começando a responsabilizar-se por seus próprios resíduos, bem como a sociedade começa a desempenhar o seu papel. Descobre-se que lixo não é lixo, mas uma fonte de renda; descobre-se que pode contribuir para um desenvolvimento sustentável (JAHNKE, 2006).

A definição mais aceita para o desenvolvimento sustentável, é o desenvolvimento que não esgota os recursos naturais para o futuro (WORLD WILDLIFE FUND - WWF, 2005, apud JAHNKE, 2006, p.14). Diante dos ODS e dos preceitos de sustentabilidades torna-se relevante investigar maneiras de incorporação de rejeitos sólidos no beneficiamento de diferentes áreas da indústria.

2.2 Impacto ambiental gerado pelo setor da construção civil

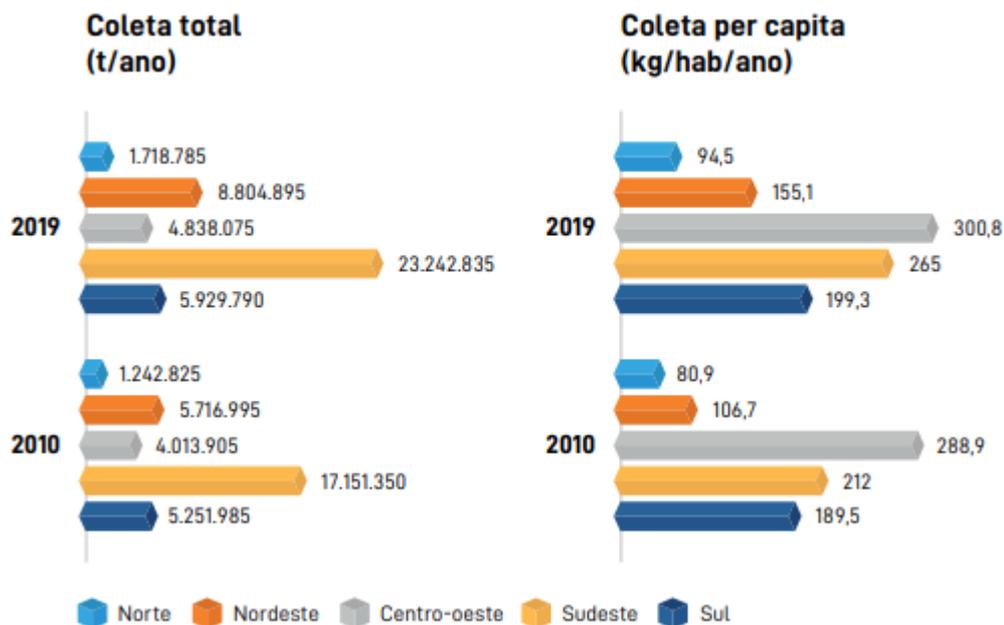
Após tantos anos de degradação do meio ambiente provocada pelo ser humano, pode-se observar uma sociedade moderna um tanto preocupada em corrigir seu impacto ambiental e otimizar suas práticas, visando um mundo mais sustentável. Cada vez mais tem sido discutida a gestão de resíduos sólidos ao redor do mundo. Tal fato pode ser observado no Brasil, principalmente por influência dos princípios, diretrizes e da sistemática inovadora e arrojada trazida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada em agosto de 2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE, 2020)

O sistema construtivo convencional, com estruturas de concreto armado e fechamentos em alvenaria, ainda é o mais empregado no Brasil devido à sua popularidade e hábito que os trabalhadores da construção civil têm no uso do sistema.

O setor da construção civil contribui fortemente para a degradação do meio ambiente. Pode-se destacar como grande poluidor o sistema convencional, um sistema artesanal em que há elevados índices de rejeito e desperdícios.

No ano de 2019 (FIGURA 1) pôde-se observar na região Sudeste (a mais pronunciada) uma coleta de 23.242.835 toneladas/ ano de resíduos de construção, há de se considerar o fato de as construções na região serem majoritariamente de alvenaria.

Figura 1 – Coleta de resíduos de construção e demolição nas regiões do Brasil.

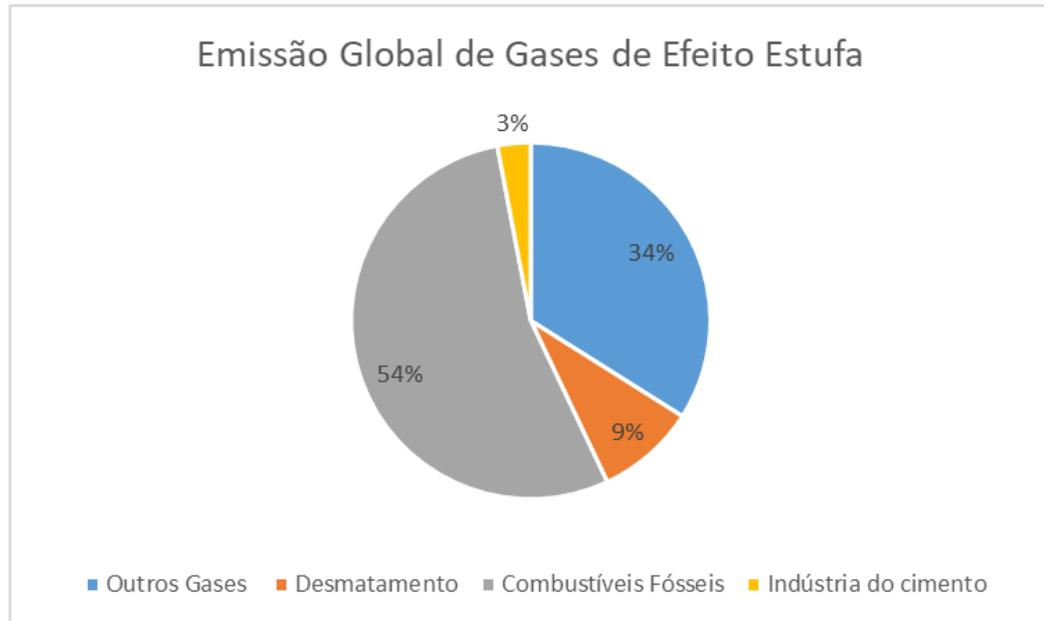


Fonte: ABRELPE (2020).

Uma alternativa para a diminuição da geração de resíduos sólidos na construção civil consiste na escolha de sistemas construtivos que empregam a madeira e produtos engenheirados de madeira, como o *light wood frame*.

Ademais, produção do cimento gera impactos no meio ambiente e na saúde humana, em quase todas as fases de produção (MAURY; BLUMENSCHNEIN, 2012). Faz-se necessário frisar que sua matéria prima é advinda de fontes não renováveis. Também pode ser observado na Figura 2 a significativa participação da indústria do cimento na emissão de CO₂.

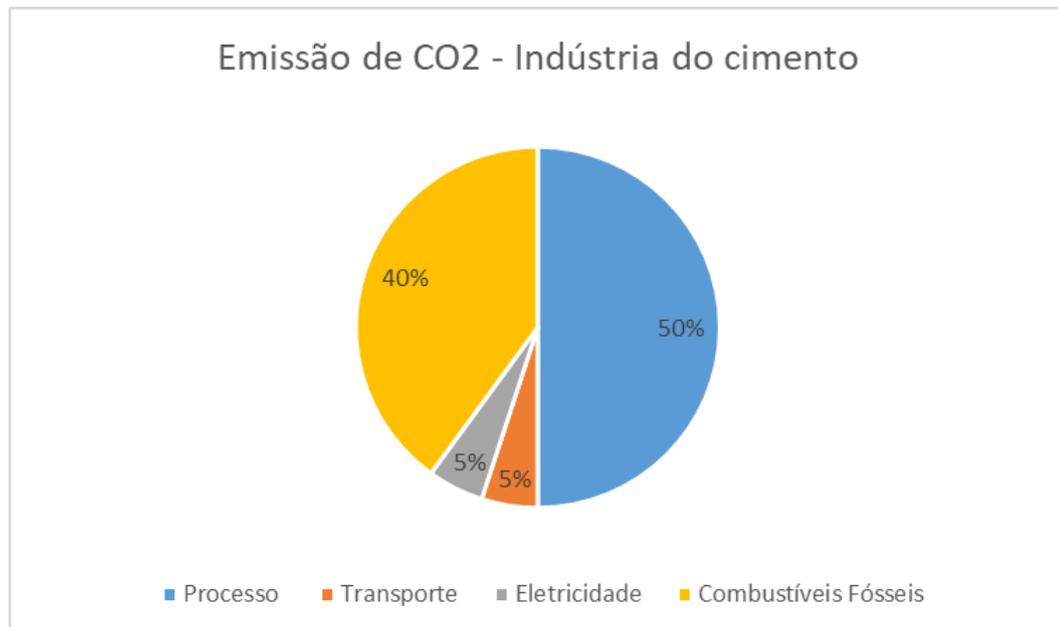
Figura 2 – Principais fontes emissoras de CO2.



Fonte: Adaptado de SNIC (2014).

A emissão de CO₂ é intrínseca ao seu processo produtivo, seja com a transformação química da matéria-prima em cimento, seja com a queima de combustíveis utilizados para possibilitar essa transformação. Sua respectiva divisão dentro do processo produtivo na Figura 3 (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC, 2014).

Figura 3 – Fontes emissoras de CO2 no processo de produção do cimento.



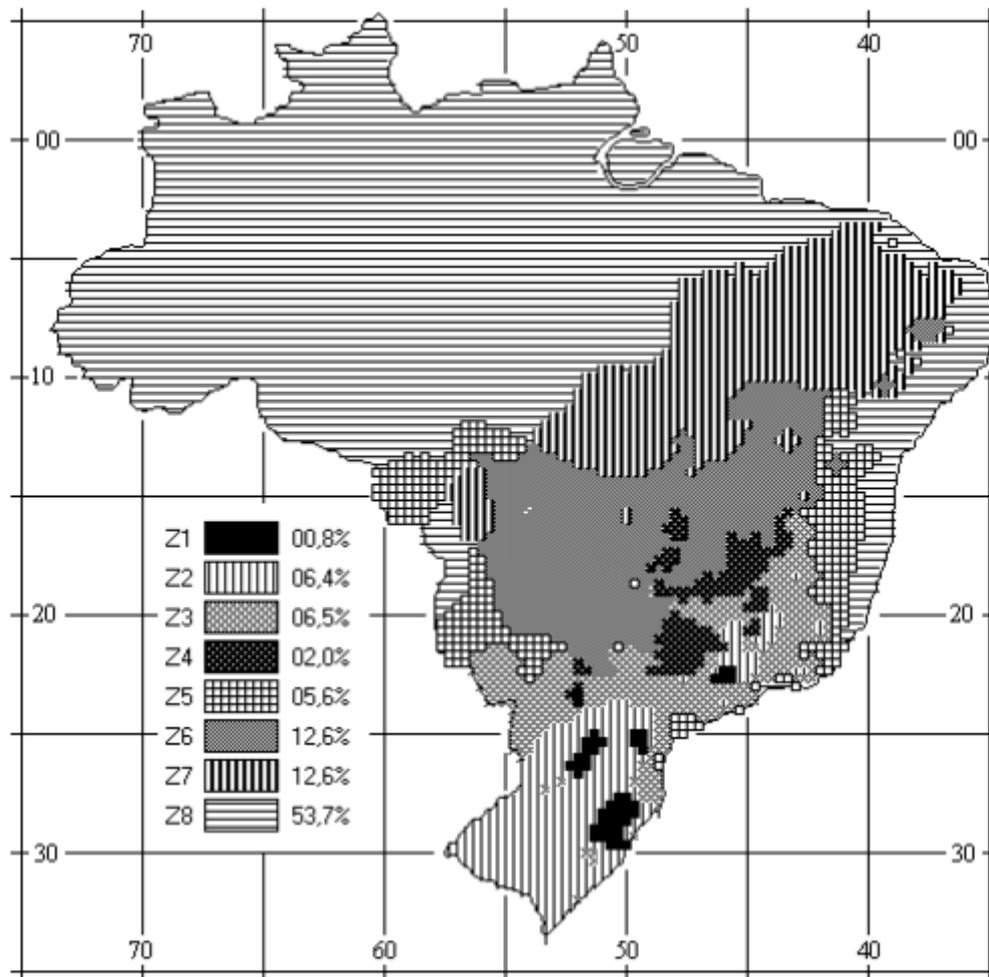
Fonte: Adaptado de SNIC (2014).

2.3 Industrialização da construção civil

Uma demanda fortemente atrelada à carência habitacional é a de industrialização do setor da construção civil. A exemplo disso, pode ser citado o programa instituído em 1996 pelo então Governador do Estado de São Paulo, Mário Covas – Programa de Qualidade da Construção Habitacional do Estado de São Paulo (QUALIHAB). Programas como este tem o compromisso no princípio de que a população de baixa renda tem o direito à moradia de boa qualidade, baixo custo, ampliável e durável (PINHEIRO, 2014).

Na ABNT NBR 15575 (2013) é apresentado o requisito de desempenho térmico de vedações verticais externas. Este se trata da adequação de paredes externas. As mesmas devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos o desempenho térmico mínimo estabelecido para cada zona bioclimática, contida na NBR 15220-3 (2004), conforme a Figura 4.

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



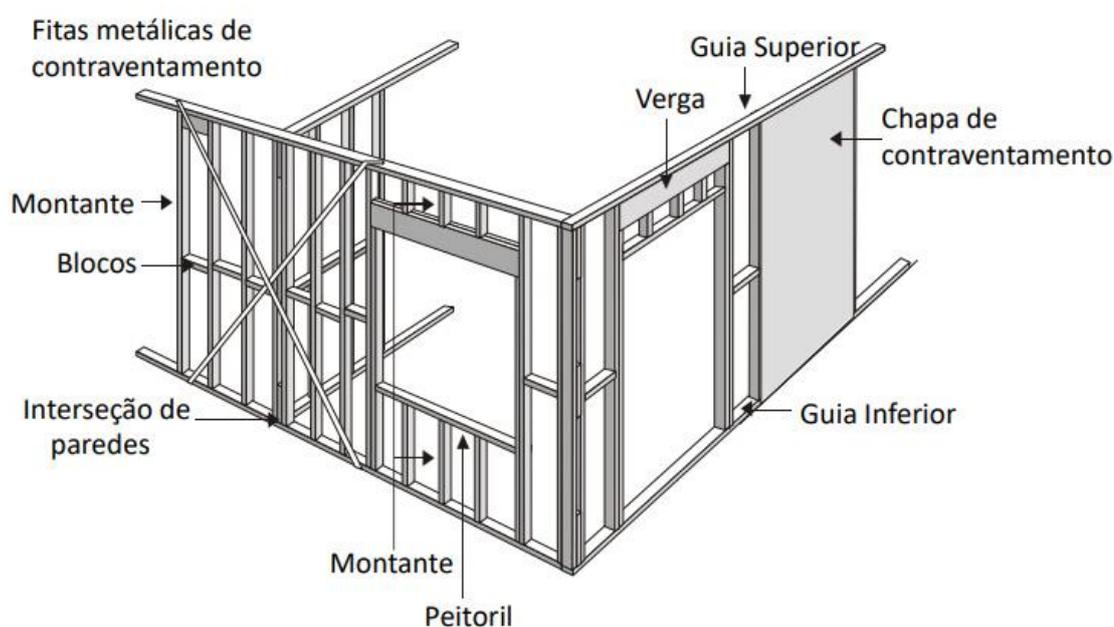
Fonte: ABNT NBR 15220-3, (2004).

Estima-se que o déficit habitacional brasileiro é de aproximadamente 15%. No entanto, a indústria da construção civil é responsável, desde 2001, por mais de 15% do PIB do país. A construção de edificações residenciais representa entre 6% e 9% deste total. Uma das maneiras de acompanhar o crescimento do setor e apoiar na redução do déficit habitacional está nos investimentos em processos construtivos industriais (TEREZO, 2001 apud GOMES, LACERDA, 2014, p. 169)

O conceito de qualidade pode ser entendido como uma necessidade e uma exigência social (PINHEIRO, 2014). Enquanto a definição de industrialização é tida por utilizar-se de tecnologias que substituem a habilidade do artesanato pelo uso da máquina (ROSSO, 1980). Seguindo estas inferências, é importante salientar que a industrialização de sistemas construtivos é fundamental para que se tenha um maior, e mais exigente controle de qualidade em todas as etapas da construção, contribuindo cada vez mais para garantir a satisfação do cliente, diminuição de desperdícios, bem como uma otimização orçamentária.

Dentre os sistemas construtivos industrializados, pode-se destacar o sistema *light wood frame*, ou simplesmente *wood frame* (WF), sistema constituído por peças de madeira (FIGURA 5). A madeira é um material cuja matéria prima é renovável e é um dos materiais que consome a menor energia embutida na sua produção em comparação ao aço, concreto e alumínio (MEIRELLES et al, 2008). No ano de 2008 mais de 90% das novas construções na América do Norte são executadas utilizando alguma versão do método de *wood frame* (THALLON, 2008).

Figura 5 - Componentes do sistema construtivo *wood frame*.



Fonte: Adaptado de Bolsoni (2021)

É importante destacar que a madeira é um material de construção que sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore. Apresenta ainda fácil trabalhabilidade, excelente desempenho térmico (absorve 40 vezes menos calor que a alvenaria de tijolos) e acústico, além de elevada relação resistência/peso. Assim, a madeira é um material adequado para a industrialização de elementos no sentido de facilitar o transporte das peças e posterior montagem na obra (MOLINA; CALIL, 2010).

Em termos estruturais, quando comparada a outros materiais, também utilizados em construção, como, por exemplo, o concreto e o aço, a madeira apresenta um excelente comportamento em situação de incêndio (MOLINA; CALIL, 2010).

A concepção do sistema *light wood frame* em ambiente industrial reduz significativamente os desperdícios, que são altamente impactantes nos sistemas de construção

tradicionais. Em boa parte das casas industrializadas em *light wood frame*, o único elemento moldado *in-loco* é de fundação. O ganho de produtividade, neste caso, está vinculado também à dinâmica da obra limpa e seca e a facilidade de manuseio dos elementos estruturais e de fechamento (chapas de *oriented strand board* (OSB) e placas cimentícias) que demandam menos esforços dos operários (MOLINA; CALIL, 2010). A Figura 6 ilustra uma edificação neste tipo de sistema.

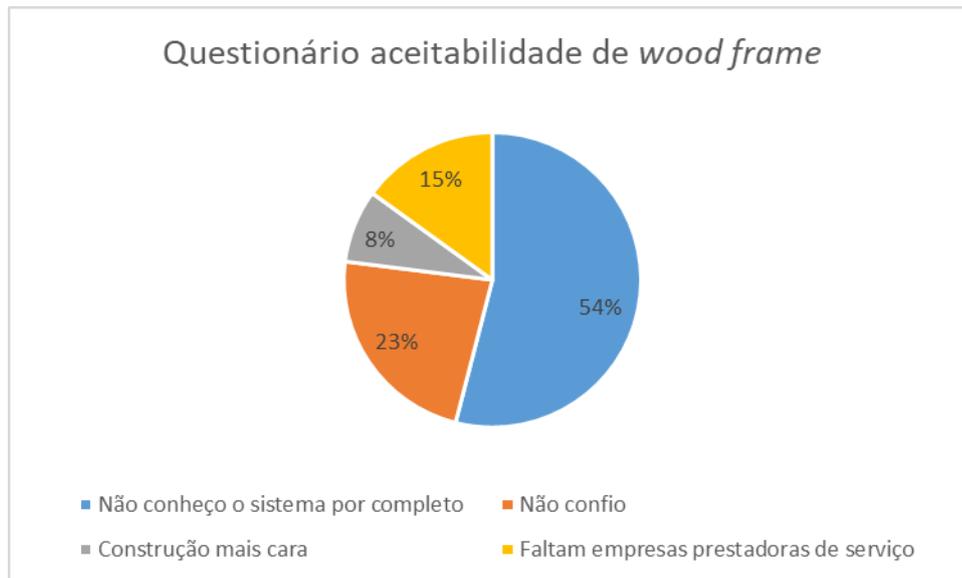
Figura 6 – Obra em fase de construção em *light wood frame*.



Fonte: Adaptado de Bolsoni (2021).

Apesar de toda a tecnologia existente atualmente, o setor da construção industrializada de sistemas construtivos ainda não conquistou a preferência do cliente brasileiro. São diversos os motivos que contribuem para a baixa adesão do brasileiro aos sistemas construtivos industrializados (FIGURA 7), dentre eles pode-se evidenciar a falta de mão de obra especializada, alto custo total em determinados locais, atrelado à baixa oferta e baixa divulgação. Mesmo que a maioria dos profissionais conheçam a existência da tecnologia e confiem em suas qualidades, esta não é especificada aos clientes/consumidores principalmente por falta de conhecimento aprofundado sobre o sistema ou por falta de contato com empresas fornecedoras (OLIVEIRA, 2014).

Figura 7– Aceitabilidade do sistema *wood frame*.



Fonte: Oliveira (2014).

No Brasil há dados indicativos de que a expansão do uso de *light wood frame* depende fortemente de incentivos governamentais (SOTSEK; SANTOS, 2018). O aumento da integração de agentes tanto da cadeia de valor da construção civil como do setor madeireiro é uma alta necessidade da disseminação de informações aos usuários finais, afim de que haja um combate ao preconceito em relação ao uso da madeira. Também é necessário formar profissionais capacitados para lidar com a construção em madeira. Paradoxalmente, o Brasil possui enorme disponibilidade de áreas de reflorestamento e tal aspecto garante ao país um alto potencial para o mercado de construção em *wood frame*.

2.4 Conforto térmico em edificações

Ao se pensar em projetar o conforto térmico visando os ODS, destaca-se um dos requisitos dos componentes importantes para garantir um ambiente confortável. Pode-se dizer que o homem sente conforto térmico quando o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido é nulo e a temperatura da pele e suor estão dentro de certos limites, (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2005).

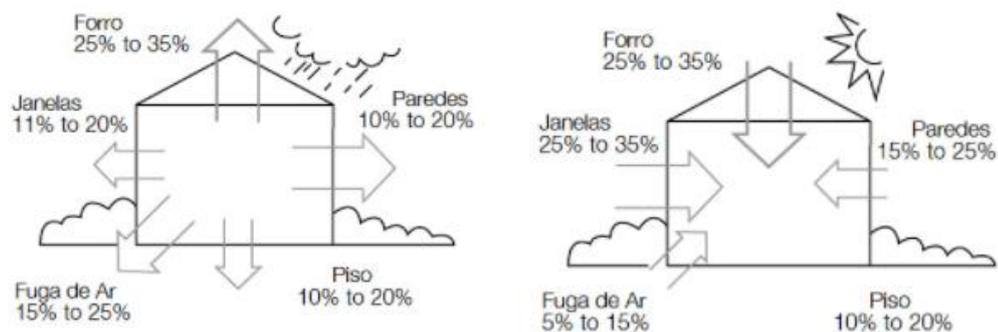
O conforto térmico é influenciado por variáveis ambientais, são elas a temperatura do ar (T_{ar} - °C), a temperatura radiante (TRM - °C), a umidade relativa do ar (UR - %) e a velocidade do vento (V - m/s). Há também as variáveis atreladas ao comportamento do ser humano, são elas a atividade física (MET – met ou W/m^2) e a vestimenta (I_{CLO} – clo ou $m^2 \cdot ^\circ C/W$) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2005).

As variáveis ambientais são importantes parâmetros a serem considerados para se projetar ambientes. A escolha de materiais a serem adotados influenciam diretamente na sensação do indivíduo que se encontra dentro do ambiente. Conseqüentemente, respondendo às demandas dos ODS ao adotar a melhor, e mais sustentável solução.

A transferência de calor entre os corpos se dá através de três mecanismos (INCROPERA, 2019). O primeiro deles, a condução, se refere à transferência de calor decorrente de um gradiente de temperatura em um meio estacionário, sendo ele um sólido ou um fluido. O segundo mecanismo é conhecido por convecção, que se trata da transferência de calor entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles estiverem a diferentes temperaturas. O terceiro modo é chamado radiação térmica, e refere-se à transferência de calor resultante da emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas, onde há transferência de calor líquida, entre duas superfícies, à diferentes temperaturas.

Nas construções civis, as trocas térmicas ocorrem de diferentes maneiras, como uma combinação dos mecanismos de transferência de calor (FIGURA 8). Tais ganhos e perdas de calor, devem ser estudadas objetivando adotar a melhor solução para o respectivo caso. A fim de otimizar a satisfação do cliente, devem ser considerados os parâmetros dos materiais a serem escolhidos conforme o objetivo final. Por exemplo manter um ambiente mais aquecido ou melhorar o desempenho do ambiente frente a ganhos indesejáveis de calor.

Figura 8 - Fontes de ganho e perda de calor numa edificação.



Fonte: Bolsoni (2021).

Ganhos e perdas de calor em edificações ocorrem como função de fontes classificadas como: presença humana, sistema de iluminação artificial, motores e equipamentos, processos industriais, calor solar. O sol é importante fonte de calor, incide sobre o edifício representando sempre um certo ganho de calor que será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos paramentos do edifício (FROTA, SCHIFFER, 2001).

A condutividade térmica (k) é uma propriedade térmica da matéria classificada como propriedade de transporte, e depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada com o estado da matéria. Para um dado gradiente de temperatura, o fluxo térmico por condução aumenta com o aumento da condutividade térmica. Em geral, a condutividade térmica de um sólido é maior do que a de um líquido, que, por sua vez, é maior do que a de um gás (INCROPERA, 2019). Esta propriedade representa a capacidade do material de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Quanto maior for o valor de k , maior será o valor de calor transferido entre as superfícies (TABELA 1) (JAHNKE, 2006).

Tabela 1 - Exemplos de materiais e seus valores de condutividade térmica

Material	k (W/mK)
Concreto	1,50
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03

Fonte: Adaptado de JAHNKE (2006).

As trocas de calor em uma vedação podem ser reduzidas com o emprego de materiais com baixas condutividades, ou construir fechamentos com múltiplas camadas, sendo uma delas constituída de câmara de ar (JAHNKE, 2006). Os espaços de ar confinado, portanto, não ventilados, entre duas lâminas paralelas, apresentam resistência térmica que será função dos seguintes fatores: espessura da lâmina de ar, sentido do fluxo térmico e emissividade das superfícies em confronto (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A radiação é um mecanismo de troca de calor entre dois corpos – que guardam entre si uma distância – através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica (FROTA; SCHIFFER, 2001). Este mecanismo depende da emissividade (TABELA 2) da superfície do material em contato com a camada de ar (JAHNKE, 2001).

Tabela 2- Valores de Resistência Térmica de Espaços de Ar (R_{ar}) confinado entre duas lâminas paralelas.

Posição Espaço de Ar	Direção e Sentido do Fluxo de Calor	Espessura do Espaço de Ar (cm)	Temperatura das Faces (°C)		R _{ar} (m ² °C/W), para ε _r =			
			Média	Diferença	0,82	0,47	0,20	0,11
vertical	horizontal	2 a 10	32	5,5	0,15	0,22	0,38	0,51
			10	5,5	0,18	0,26	0,41	0,54
horizontal	vertical ascendente	2 a 10	10	5,5	0,16	0,21	0,32	0,39
horizontal	vertical descendente	2	32	11	0,15	0,21	0,36	0,46
		4	32	11	0,16	0,26	0,48	0,66
		10	32	11	0,17	0,28	0,58	0,86

Sendo:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Para: ε_r = emissividade térmica relativa
ε₁ e ε₂ = emissividade de cada uma das lâminas paralelas que confinam o espaço de ar

Fonte: Adaptado de Frota e Schiffer (2001).

A emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica que é emitida por unidade de tempo. Esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor. A maioria dos materiais de construção civil é de natureza não metálica, como, por exemplo, pinturas, concreto, madeira. Assim, absorve grande parte da energia térmica de onda longa incidente e a irradia novamente para o ambiente. As paredes com grande resistência térmica ainda reduzem as trocas de calor com o meio externo, proporcionando maior conforto e/ou redução do consumo de energia no condicionamento do ar (JAHNKE, 2006).

Os conceitos dos fenômenos de transporte de calor são aplicados na construção civil para que haja um melhor desempenho das edificações. As diversas soluções encontradas variam em amplo espectro de valores e mecanismo de funcionamentos. Pode-se citar exemplos como ventiladores, dispositivos de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) – aquecimento, ventilação e ar condicionado, projetos de aberturas naturais que favoreçam circulação cruzada do ar, mantas térmicas e outros.

Há três estratégias básicas para local um isolamento térmico. Na primeira, o isolante pode estar contido dentro de uma cavidade da vedação; na segunda, pode ser aplicado na

superfície, e, na terceira o isolamento e estrutura são integrados, sem emolduração (BROW; DEKAY, 2004, apud JAHNKE, 2006, p. 49).

O forro é um elemento isolante que atua como uma segunda barreira física que permite a formação de uma camada de ar móvel junto à cobertura, o que contribui na redução da transferência de calor para o interior da construção (TINÔCO, 2001).

O que diferencia um material de outro quanto à dificuldade de passar calor através de sua massa é a sua densidade, volume de ar ou gases aprisionados e quantidade de água incorporada. Quanto mais denso, mais conduz o calor, quanto maior o volume de gases aprisionados, maior será a resistência à passagem de calor. Materiais com alto poder de absorção de água são menos isolantes quando encharcados, pois, a água conduz mais calor em relação ao ar (PIRONDI, 1979, apud JANKHE, 2006, p. 49-50).

O alumínio polido apresenta grande capacidade para refletir os raios-infravermelhos, oferecendo condições de ser utilizado como subcobertura, manta refletora (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2004, apud JAHNKE, 2006, p. 90). Porém é importante salientar que o alumínio contido nas embalagens longa vida são envolvidos por uma película plástica que reduz a eficiência do alumínio (JAHNKE, 2006).

As mantas térmicas de alumínio (FIGURA 9) são dispositivos que funcionam através do mecanismo de refletir parte dos raios infravermelhos recebidos pela superfície para seu exterior, fazendo com que estes infravermelhos, ao não atravessarem a superfície, não aqueçam o ambiente indesejavelmente.

Figura 9 - Aplicação da manta térmica de alumínio sob as telhas.



Fonte: Web ar condicionado (2019).

Os resultados dos testes com a utilização das mantas Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura e com revestimento em dupla face (duas mantas Tetra Pak® coladas - ambas as faces aluminizadas expostas) apresentaram uma redução na temperatura superficial máxima de 9,8°C e 9,3°C, respectivamente (SUETAKE, 2017). Também foi observado um aumento na temperatura superficial mínima de 2,7°C e 2,0°C, respectivamente.

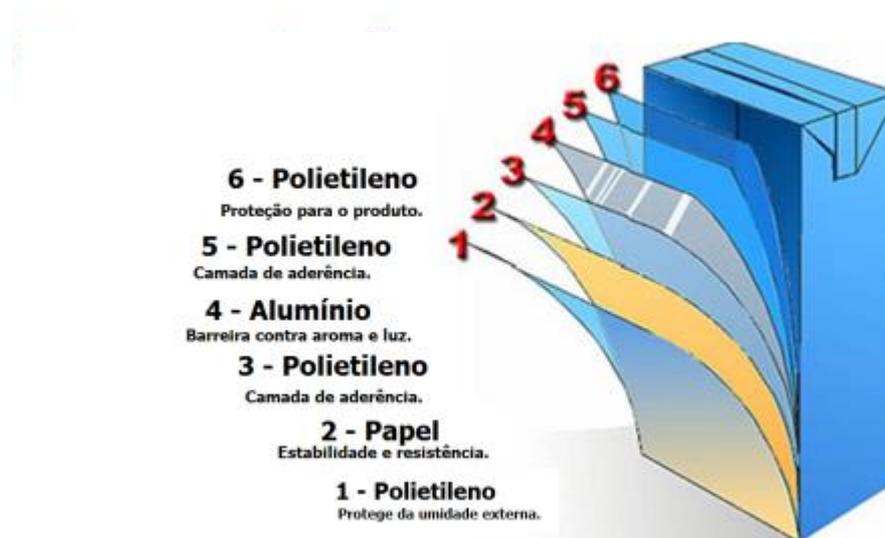
Na avaliação do reaproveitamento de embalagens Tetra Pak-® junto a telhas de fibrocimento foi relatado que as embalagens Tetra Pak-® como forro contribuiu para redução dos valores médios de índice de temperatura e umidade, índice de temperatura de globo e umidade e carga térmica de radiação (SILVA et al., 2015)

Visando o beneficiamento das vedações utilizadas em construções feitas de *wood frame* com um largo enfoque nos ODS, justifica-se a utilização de mantas térmicas confeccionadas utilizando embalagens cartonadas, mais conhecidas como embalagens Tetra Pak ®, ou embalagens longa vida.

2.5 Embalagens longa vida (LV)

As embalagens longa vida são compostas por três materiais (FIGURA 10): 75% de papel, 20% de polímeros - Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e 5% de alumínio. Cada material possui sua respectiva função, sendo a do papel garantir a estrutura à embalagem, o plástico protege contra umidade externa, oferece aderência entre as camadas e impedem o contato do alimento com o alumínio. Já o alumínio evita a entrada de ar e luz, perda de aroma e contaminações (CONAMA 275/01, 2005). Devido às características de baixa emissividade do alumínio pode-se constatar que apresenta uma boa resistência térmica, propriedade de grande importância no isolamento térmico das edificações (JAHNKE, 2006).

Figura 10 - Composição das embalagens longa vida.



Fonte: PRO5SAMB (2016).

Uma característica importante é o aspecto de ser uma das embalagens mais leves existentes no mercado. O fato de que a embalagem longa vida (LV) é um material de baixa emissividade, justifica o estudo da transferência de calor no material (JAHNKE, 2006).

As embalagens LV são totalmente recicláveis e têm em sua constituição até 80% de materiais provenientes de fontes renováveis. Porém, apenas 31,3% das embalagens LV foram recicladas no Brasil em 2019 (TETRAPAK, 2019). A baixa taxa de reciclagem explicita ainda mais a notoriedade da aplicação do material para diversos usos, como na confecção de mantas térmicas. É evidente que a utilização deste material tem caráter sustentável, mas torna-se atraente o fato de como as mantas confeccionadas a base de embalagens cartonadas se mostram facilitadoras para aplicação em projetos sociais, devido ao seu baixo custo.

Algumas pesquisas envolvendo as embalagens LV para emprego em edificações foram conduzidas. Além das já mencionadas, cita-se também Schmutzler (2001), que testou sob os vidros no teto de uma sala, exposto ao sol, pedaços de telhas de cimento-amianto como corpos de prova, sendo um deles com a aplicação de subcobertura de embalagem LV, para que lhes fossem aferidas as temperaturas. As diferenças de temperatura obtidas foram notáveis, com variações de até 18° C de temperatura superficial. O resultado indica um grande potencial de utilização das embalagens, para diminuir a temperatura ambiente, na forma de cortina ou de persiana, e economizar energia elétrica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram conduzidos dois experimentos para a análise do uso de mantas térmicas de embalagens cartonadas para fins de aplicação em edificações. Para isso, foram confeccionados protótipos (corpos de prova) volumétricos em madeira, de dimensões reduzidas, com e sem revestimento de manta térmica, aferidas as temperaturas internas, e na sequência comparadas, conforme descrito a seguir.

Importante mencionar que devido aos obstáculos impostos pela pandemia de coronavírus – Covid 19 –, o estudo proposto teve que ser adaptado para que pudesse ser feito na residência da autora, sem poder contar com as instalações laboratoriais da UFLA, e com restrição orçamentária.

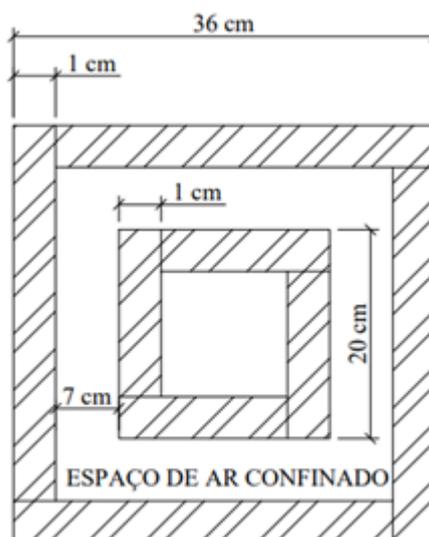
3.1 Materiais e montagem

Sistemas construtivos como o *light wood frame* empregam paredes duplas de madeira com materiais isolantes em seu interior. Estes são dispostos como enchimento entre duas camadas de madeira: a externa e a interna, e deste modo promovem isolamento térmico para o interior da edificação.

Dessa forma, para analisar a possível influência do emprego de mantas térmicas de embalagens cartonadas na temperatura interna de edificações, buscou-se a construção de corpos de prova que possuíssem paredes compostas por duas camadas de madeira, de forma a simular uma parede de *light wood frame*. Levando em consideração as limitações devidas à pandemia já mencionadas, foram montados volumes de paredes duplas e entre essas foram dispostas camadas da manta térmica feita de embalagens. De forma resumida, cada corpo de prova foi constituído de dois cubos de madeira, um externo, e outro interno de dimensões menores. O espaçamento entre as paredes dos cubos foi garantido de maneira a representar o espaçamento entre as paredes de um sistema construtivo.

Para cada experimento foi empregado um corpo de prova sem manta térmica (controle), e um outro com manta térmica. O esquema de disposição dos cubos no protótipo e suas dimensões podem ser observados na Figura 11.

Figura 11 – Corte esquemático de um corpo de prova com suas dimensões (em centímetros, sem escala definida).



Fonte: Da autora (2021).

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizada uma chapa de compensado de 10 mm de espessura nas dimensões de 2,10 m x 1,60 m. A chapa de compensado foi dividida em partes (FIGURA 12) para a confecção de quatro cubos, nas seguintes quantidades e respectivas dimensões: quatro seções de 20 cm x 20 cm; oito seções de 19 cm x 18 cm; quatro seções de 36 cm x 36 cm; e oito seções de 35 cm x 34 cm.

Figura 12 – Chapas para a confecção dos corpos de prova.

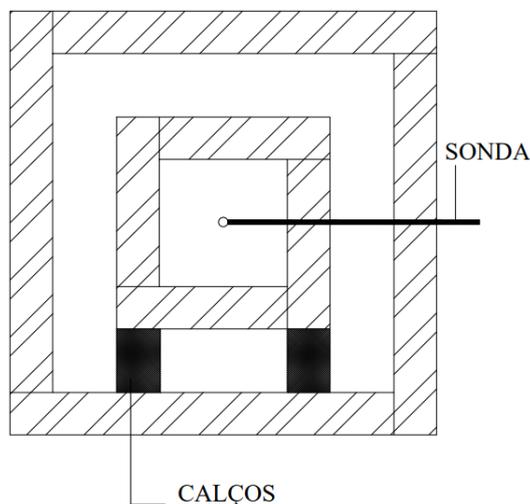


Fonte: Da autora (2021).

As partes seccionadas foram unidas com pregos e cola adesiva para madeira em suas extremidades. Para fixar o cubo interno mantendo o afastamento em relação à caixa externa foram utilizados calços de madeira de forma a garantir um distanciamento de 7 centímetros

entre a parede interna e a externa. Internamente ao corpo de prova foi posicionada uma sonda para aferição da temperatura (FIGURA 13).

Figura 13 – Corte esquemático indicando posicionamento dos calços e da sonda.



Fonte: Da autora (2021).

A fixação da caixa interna foi posicionada de modo a preservar também os afastamentos laterais e superior com as mesmas distâncias, gerando um espaço de ar confinado (FIGURA 14).

Figura 14 – Protótipo com a caixa interna fixada.



Fonte: Da autora (2021).

Para a confecção das mantas térmicas foram recolhidas caixas de leite descartadas (longa vida). As embalagens passaram por lavagem, preferencialmente logo após o uso de todo o conteúdo, fazendo com que não se acumulassem resíduos de leite e proliferassem microrganismos. Posteriormente, as embalagens, já secas ao ar livre, foram cortadas em suas marcas de colagem, de modo a possibilitar um maior aproveitamento da área útil da embalagem.

Após o preparo das embalagens foi realizada a fixação aos cubos de compensado. As embalagens foram coladas nas faces utilizando adesivo instantâneo Almasuper Ultrarrápido de média viscosidade, da marca Almata Química®.

Para a aquisição de dados de temperatura interna foram utilizadas sondas NTC com emprego do Termohigrômetro AK28 da fabricante AKSO® (FIGURA 15).

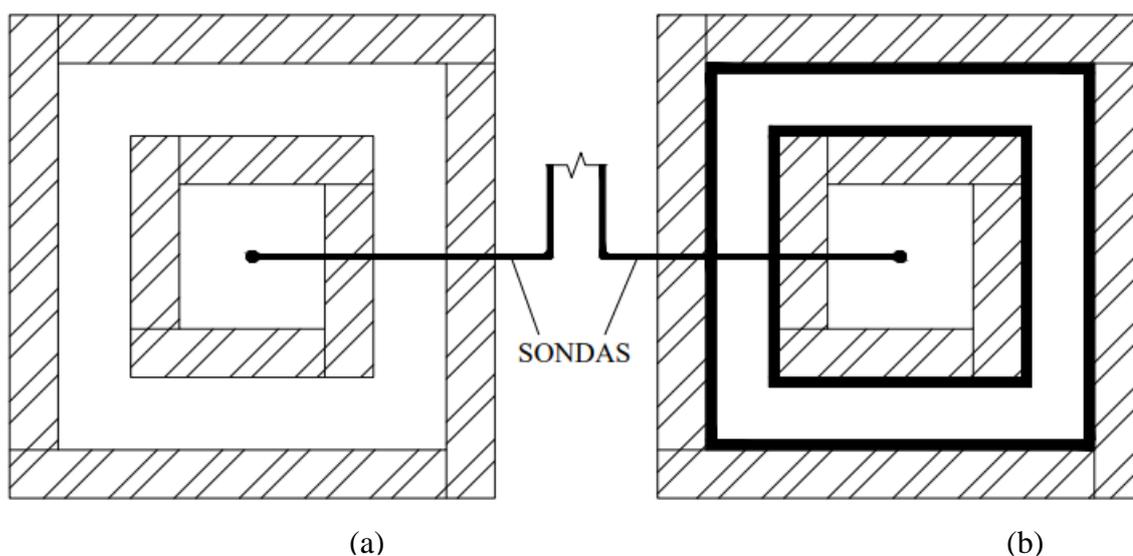
Figura 15 – Termohigrômetro



Fonte: AKSO (2021)

As sondas foram instaladas dentro dos cubos internos de 20 cm x 20 cm, sendo feitos pequenos orifícios para a passagem dos cabos. A Figura 16 ilustra um esquema dos dois corpos de prova para o experimento 01 com sondas posicionadas, onde o volume da esquerda (FIGURA 15a) é o controle, sem manta térmica, e o da direita (FIGURA 15b) contém a aplicação de manta térmica.

Figura 26 – Sondas posicionadas na região central dos corpos de prova (a) sem manta e (b) com manta.



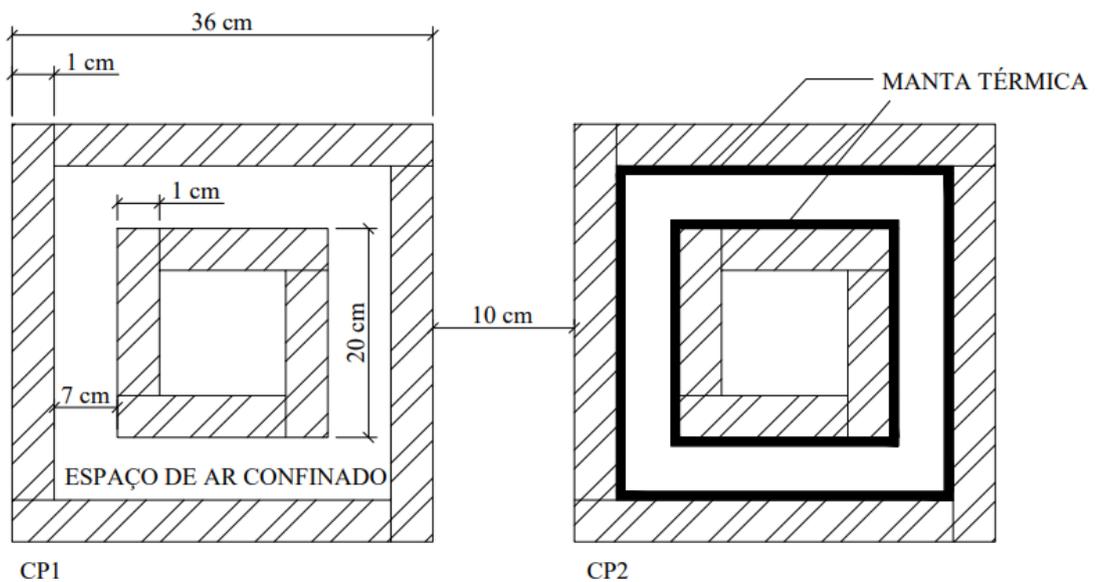
Fonte: Da autora (2021).

Conforme se observa, em ambos os corpos de prova as sondas foram posicionadas na região central.

3.1.1 Montagem do experimento 01

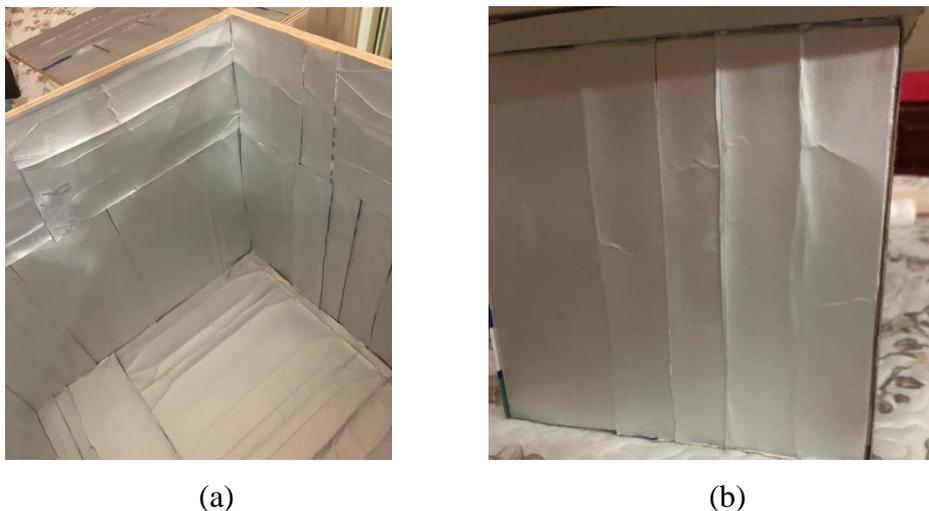
Foram montados dois corpos de prova (FIGURA 17) para este teste. O corpo de prova 1 (CP1) foi confeccionado fixando a caixa cúbica de compensado de 20 cm x 20 cm dentro da caixa de 36 cm x 36 cm, mantendo-se afastamento entre todas as faces de 7 cm, sem que fosse aplicado qualquer revestimento. Este CP1 foi considerado o corpo de controle. O corpo de prova 2 (CP2) foi confeccionado da mesma maneira, porém foram fixadas as embalagens às faces internas da caixa de 36 cm x 36 cm, e nas faces externas da caixa de 20 cm x 20 cm (FIGURA 18).

Figura 37 – Corpos de prova de controle (CP1) e com manta térmica (CP2).



Fonte: Da autora (2021).

Figura 48 - (a) Caixa externa com seu interior revestido e, (b) caixa interna com seu exterior revestido.



Fonte: Da autora (2021).

As embalagens foram posicionadas revestindo as superfícies da parede que confinam o ar, com a face cartonada da manta colada junto à madeira, logo uma camada aluminizada se encontra frente à outra.

Conforme já mencionado, foram realizadas perfurações laterais nos corpos de prova para passagem das sondas e posterior aferição da temperatura do ambiente interno do volume. Para facilitar a abertura, a tampa superior de cada caixa foi fixada com o auxílio de fita isolante (FIGURA 19).

Figura 59 – Corpos de prova para ensaio.



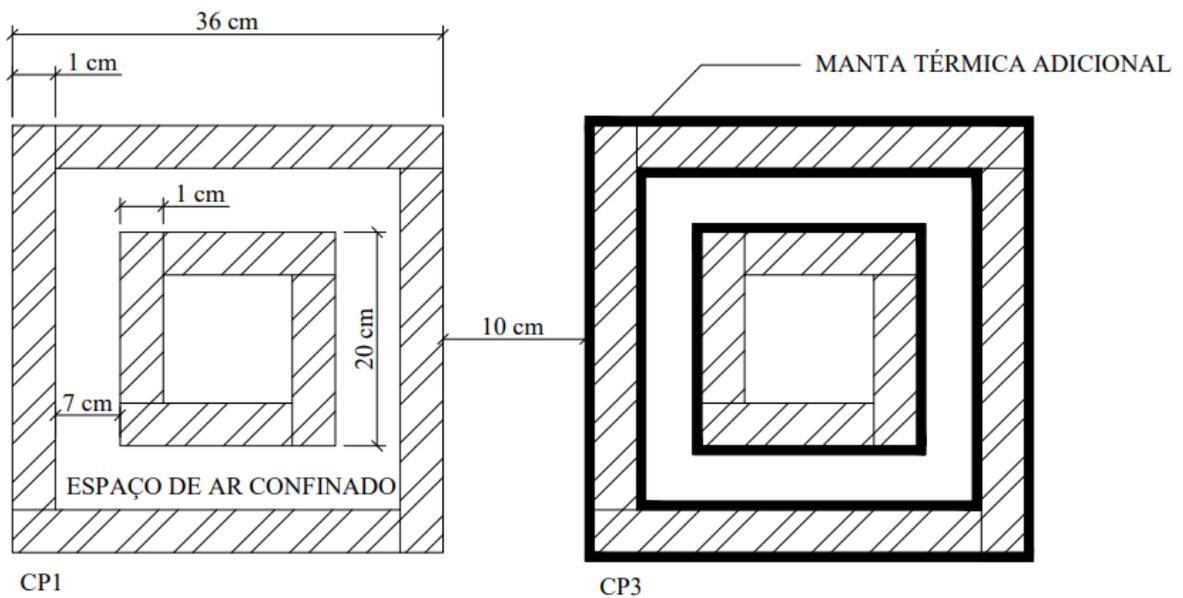
Fonte: Da autora (2021).

3.1.2 Montagem do experimento 02

Para a realização do experimento 02 foi empregado o mesmo corpo de prova 1 (CP1) como controle, e para a confecção do corpo de prova 3 (CP3) foi reutilizado o corpo de prova 2 (CP2) acrescentando uma camada de embalagens na face externa da caixa de 36 cm x 36 cm. As embalagens acrescentadas foram coladas com as faces aluminizadas voltadas para o exterior do corpo de prova (FIGURAS 20 e 21).

Foi mantida a perfuração lateral em ambos os corpos de prova para que as sondas pudessem ser posicionadas novamente.

Figura 20– Corpo de prova com adição de uma camada de manta térmica na face externa (CP3).



Fonte: Da autora (2021).

Figura 21– Corpo de prova de controle (CP1, à esquerda) e corpo de prova com adição de uma camada de manta térmica (CP3, à direita).



Fonte: Da autora (2021).

3.2 Procedimentos

Os experimentos foram realizados no município de Lavras, localizada ao sul do estado de Minas Gerais, durante os meses de março e abril de 2021. A cidade se localiza a uma latitude de 21° 14' 43" S, e longitude de 44° 59' 58" O, situando-se a uma altitude de 919 m do nível do mar.

Reiterando o já exposto, devido aos impedimentos e restrições causados pela pandemia de COVID-19 os experimentos foram realizados em domicílio, pois os laboratórios da Universidade Federal de Lavras encontravam-se impedidos ao uso. Os corpos de prova foram posicionados em uma área externa, com incidência solar direta, sob uma cobertura de um pergolado coberto com vidro.

Para a aquisição dos dados de temperatura interna das caixas foi definido o horário diário de 18 horas para as leituras. Os dados de temperatura máxima interna ($T_{máx}$) e temperatura mínima interna ($T_{mín}$) foram registrados – diariamente – para os dois corpos de prova (controle e com manta) de cada experimento .

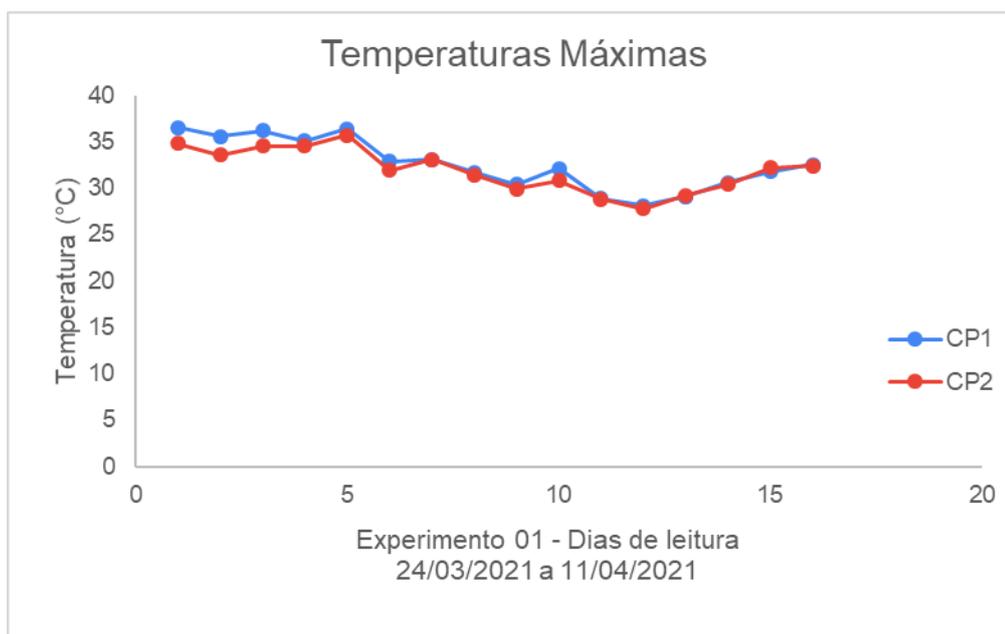
O experimento 01 ocorreu entre os dias 24/03/2021 e 11/04/2021, enquanto o experimento 02 ocorreu entre 12/04/2021 e 29/04/2021.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 01

O experimento 1 ocorreu entre os dias 24/03/2021 e 11/04/2021, sendo realizadas leituras de temperatura máxima e temperatura mínima. Observam-se na Figura 21 os valores obtidos para as temperaturas máximas internas diárias ($T_{máx}$) dos corpos de prova CP1 (controle) e CP2 (com manta).

Figura 22– Temperaturas máximas observadas para o experimento 01.



Fonte: Da autora (2021).

Como pode ser notado na Figura 21, nos primeiros dias das aferições os valores das temperaturas máximas foram distintos entre o CP1 e o CP2, ocorrendo posteriormente uma tendência de proximidade dos valores com o passar dos dias.

Na Tabela 3 contém os resultados das médias calculadas para as leituras dois corpos de prova. Apesar de próximos, os valores obtidos (32,56 °C para o CP1 e 31,93 °C para o CP2) sugerem uma amenização de 1,9% das temperaturas máximas do corpo de prova revestido com manta térmica de embalagens longa vida - LV (CP2).

Tabela 3 - Médias de temperaturas máximas observadas no experimento 01.

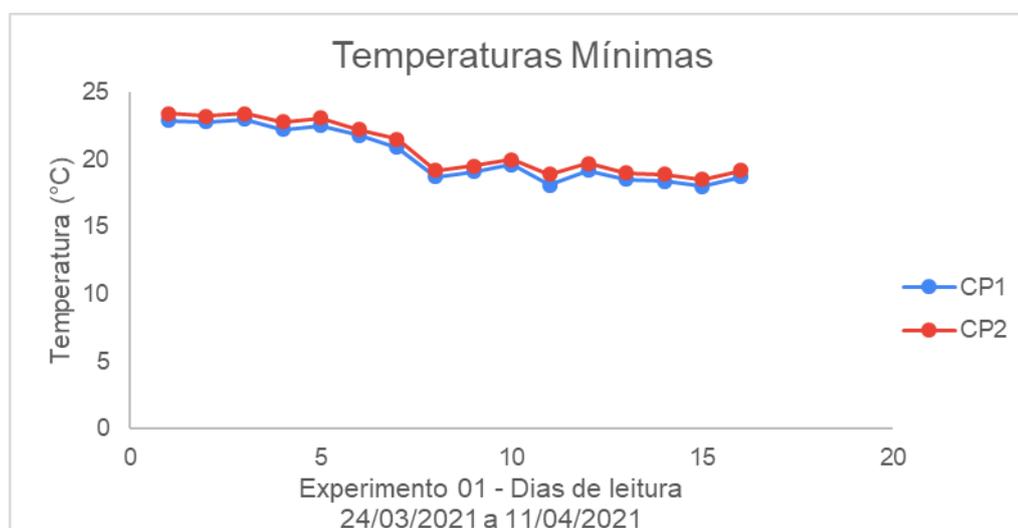
Corpo de Prova	Média (°C)
CP1	32,56
CP2	31,94

Fonte: Da autora (2021)

O resultado médio para o CP2 (31,94 °C) pode ter ocorrido devido à reflexão de raios infravermelhos, através do mecanismo de radiação. Também pode ter se dado devido a um atraso térmico inerente às propriedades térmicas da matéria, aumentando a resistência às trocas térmicas do sistema.

Para as medidas das temperaturas mínimas (T_{min}) obtidas observou-se um padrão de diferença de valores entre o CP1 e o CP2 em todo o período de aquisição de dados. Tal inferência pode ser observada na Figura 23, em que os dados do CP1 e do CP2 se encontram em todos os dias com uma diferença aparentemente padronizada. Pode-se ainda observar que não ocorreu uma alteração de comportamento ao longo do tempo, ou seja, em nenhum dia ocorreu de as temperaturas mínimas entre corpos de prova se inverterm.

Figura 23– Temperaturas mínimas observadas para o experimento 01.



Fonte: Da autora (2021).

É observado na Tabela 4 que as temperaturas médias mínimas calculadas para o período de aquisição de dados dos corpos de prova CP1 e CP2 estão próximas, (20,28 °C para o CP1 e 20,78 °C para o CP2), no entanto, o valor da média para o CP2 foi ligeiramente acima do valor da média para o CP1.

Tabela 4 – Médias de temperaturas mínimas observadas no experimento 01.

Corpo de Prova	Média (°C)
CP1	20,28
CP2	20,78

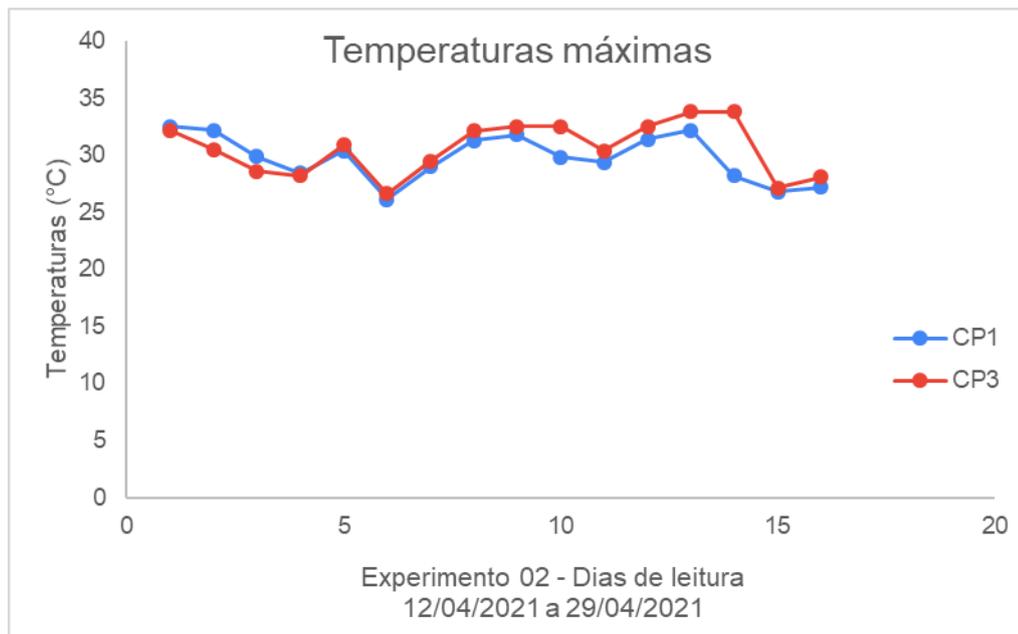
Fonte: Da autora (2021).

Analisando os resultados obtidos pode-se observar que as mantas de embalagens longa vida (LV) reutilizadas posicionadas no CP2 proporcionaram uma suave amenização (2,41%) na sua temperatura mínima média.

4.2 Experimento 02

O experimento 02 ocorreu entre os dias 12/04/2021 a 29/04/2021, em que foram aferidos os dados de temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) e temperatura mínima ($T_{m\acute{i}n}$) internas aos corpos de prova CP1 (controle) e CP3 (com manta). Na Figura 23 contém os valores de $T_{m\acute{a}x}$ obtidos diariamente no período. Por meio dos dados apresentados pode-se observar uma falta de consistência no comportamento: os valores do CP3 ora superam ou ora são inferiores aos dados obtidos para o CP1.

Figura 24 - Temperaturas máximas observadas para o experimento 02.



Fonte: Da autora (2021).

Os valores médios calculados de $T_{m\acute{a}x}$ obtidos no experimento constam na Tabela 5.

Tabela 5 – Médias de temperaturas máximas observadas no experimento 02.

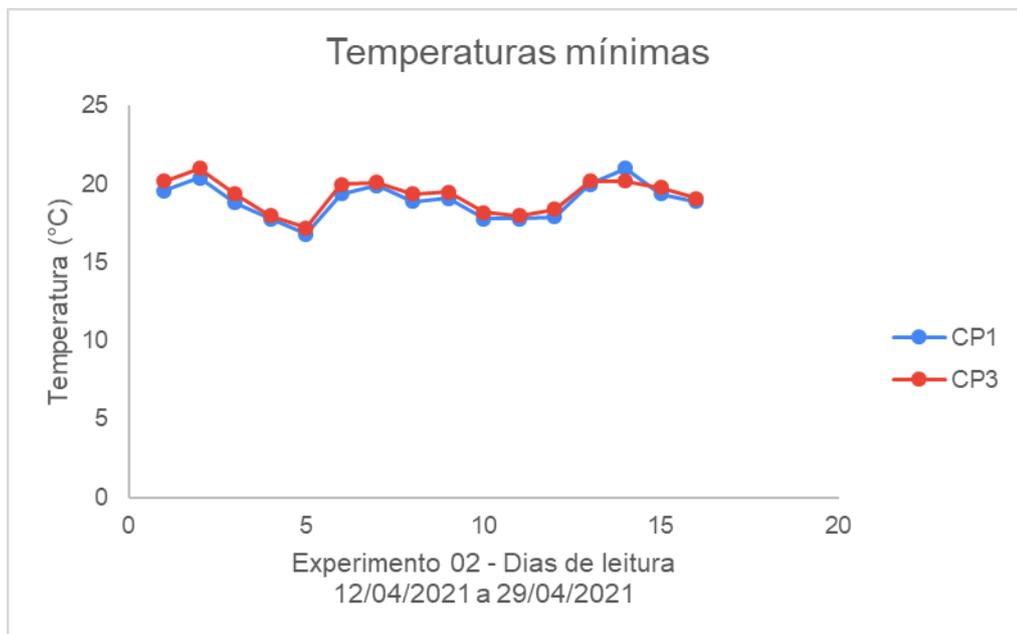
Corpo de Prova	Média (°C)
CP1	29,79
CP3	30,58

Fonte: da autora (2021).

Com a posição da camada adicional de manta com face aluminizada voltada para o exterior, esperava-se reflexão de uma considerável parcela de raios infravermelhos. Porém, os valores próximos das médias, com o CP3 apresentando resultado levemente superior (2,81%), sugere que pode ter ocorrido um aquecimento da película polimérica que envolve a embalagem, reduzindo a capacidade de isolamento térmico da manta.

Na Figura 25 podem ser observadas as leituras diárias feitas para T_{min} . Os valores da temperatura mínima diária do CP1 se mantiveram, na maioria dos dias, com valores inferiores aos obtidos para o CP3 durante o período de aferição.

Figura 25 - Temperaturas mínimas observadas para o experimento 02.



Fonte: Da autora, (2021).

Os valores médios calculados de T_{min} do CP1 e CP3 se encontram na Tabela 6.

Tabela 6 – Médias de temperaturas mínimas observadas no experimento 02

Corpo de Prova	Média (°C)
CP1	18,97
CP3	19,29

Fonte: Da autora, (2021).

Pode-se constatar que, ao acrescentar uma nova camada externa de embalagens ao sistema, não houve amenização das temperaturas máximas internas (TABELA 5). Por outro lado, a presença das embalagens no CP3 conferiu às temperaturas mínimas internas valores superiores (1,66%) aos valores do CP1 (TABELA 6).

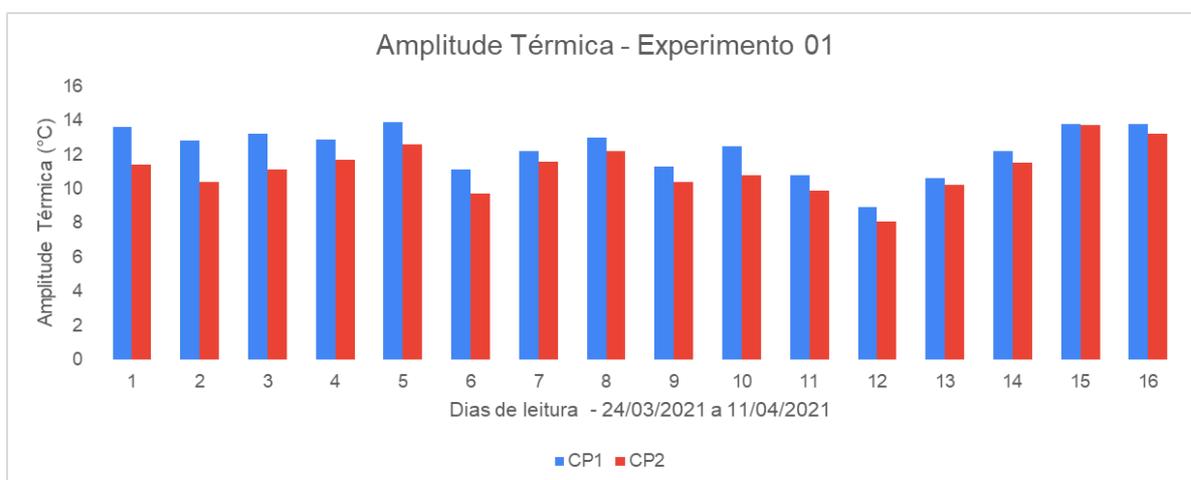
4.3 Discussão dos resultados

O comportamento das temperaturas do sistema constituído pelo CP3 (FIGURAS 23 e 24) pode ter como possível explicação a presença da camada polimérica externa às embalagens LV. Neste sentido, registra-se que Jahnke (2006) constatou que ao se retirar o filme de polietileno de embalagens LV empregadas como mantas isolantes em subcoberturas, a eficiência aumentou de 73% para 85%.

No que diz respeito à amplitude térmica, menciona-se que os resultados obtidos no experimento 01 sugerem que a disposição adotada para as mantas de embalagens internas às paredes contribui para a amenização das temperaturas em períodos mais quentes: a manta diminui a amplitude térmica, reduzindo a temperatura máxima e aumentando a temperatura mínima. Como cita Silva et al. (2015), os materiais de isolamento, como os empregados em subcoberturas, devem garantir que as perdas de calor no inverno e os ganhos térmicos no verão sejam reduzidos.

Para o corpo de prova de controle - CP1 - os valores das amplitudes térmicas foram maiores do que os obtidos para o corpo de prova revestido internamente com manta - CP2 (FIGURA 26).

Figura 26 - Amplitudes Térmicas diárias - experimento 01.



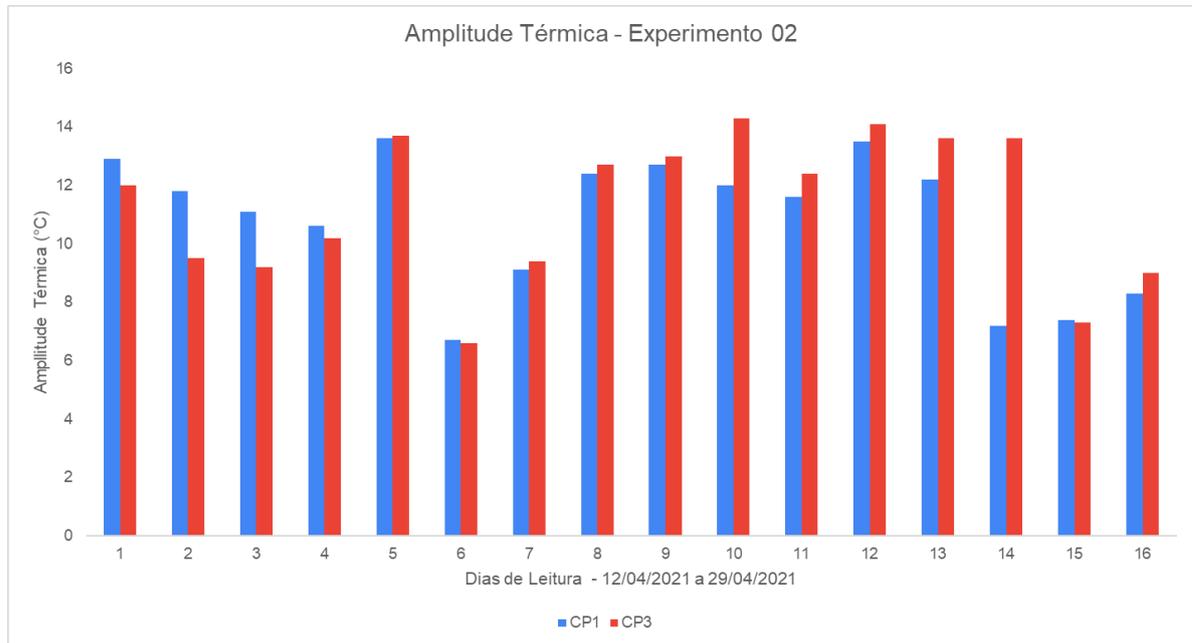
Fonte: Da autora, (2021).

No experimento 01, a amplitude térmica média para o período foi de 12,28 °C para o CP1, e de 11,16 °C para o CP2, corroborando os apontamentos feitos.

Por outro lado, os valores observados no experimento 02 sugerem que a adoção de uma camada adicional de manta de embalagem – conforme disposto no CP3 –, contribuem para a manutenção da temperatura interna do ambiente em períodos mais frios: houve um pequeno incremento das temperaturas máximas com o emprego da camada externa de manta (TABELA 5). Com a análise da Figura 27, percebe-se que não houve um padrão de comportamento em relação às amplitudes diárias para o experimento 02.

Para o CP1 a amplitude média no período foi de 10,82 °C, enquanto que para o CP2 o valor foi de 11,29 °C.

Figura 27 - Amplitudes Térmicas diárias - experimento 02.



Fonte: Da autora, (2021).

Finalmente, destaca-se que valores menores de amplitude térmica são desejáveis para os interiores das edificações. Menciona-se também que em dias mais quentes as temperaturas internas devem ser mais amenas, e em dias mais frios, espera-se que as temperaturas do interior sejam mais elevadas.

5. CONCLUSÃO

O emprego de duas mantas espelhadas de embalagens cartonadas internamente às paredes de madeira de um corpo de prova contribuiu para o isolamento térmico de seu interior.

O uso de uma camada adicional de embalagens junto às faces externas das paredes de madeira de um corpo de prova não contribuiu para amenizar sua temperatura interna.

O uso de embalagens longa vida (LV) como mantas térmicas aplicadas em edificações pode ser promissor. Em sistemas construtivos que empregam paredes duplas, como o *light wood frame*, pode ser uma alternativa no isolamento térmico. No entanto, é preciso atentar para o tipo de disposição das camadas de manta, fato que pode influenciar no resultado final esperado.

Em razão dos resultados obtidos neste estudo, são sugeridas, dentre outras, as seguintes investigações futuras:

- análise da influência de diferentes disposições de camadas de embalagens na temperatura interna de corpos de prova;
- estudo do aumento de camadas de embalagens;
- aumento do número de corpos de prova;
- condução de estudos em outros tipos de corpos de prova.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, A. F. de. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa**: estudo em uma empresa do setor de construção civil. 2002. 121 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção.) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

APA. **Free CAD details for wood frame construction**. [S.I.]: APA CAD, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2020**. [S.I.], 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em maio. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575: **Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220: **Edificações habitacionais** — Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BERGMAN, Theodore, L. **Incopera fundamentos de transferência de calor e de massa**/ Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine; tradução e revisão técnica Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Eduardo Mach Queiroz, André Luiz Hemerly Costa. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BOLSONI. **Wood Frame**. Florianópolis. 2021. Disponível em : <<https://bolsoniconstrutora.com.br/sistema-wood-frame/#>>. Acesso em mai. 2021.

CONAMA 275/01. **Desperdício Zero** - Embalagens Longa Vida. Curitiba: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná - SEMA, 2005.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: Arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOMES, J. O.; LACERDA, J. F. S. B. Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: Análise do Estado da Arte. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial** – Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 167-186, 2014.

JAHNKE, K. A. **Análise do desempenho térmico de painéis de vedação e mantas para subcobertura com a reutilização de embalagem LV**. 2006. 140 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 1997. 3. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

MEIRELLES, C. R. M.; DINIS, H.; SANT'ANNA, S. S.; VASCONCELOS, R.; CASTRO, D. **A viabilidade das construções leves em madeira no Brasil**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie. 2008

MOLINA, J. C.; CALIL, C. J. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143- 156, 2010.

OLIVEIRA, L. A. de. **Avaliação da aceitabilidade do sistema construtivo “wood frame”**. 2014. 61 p. Monografia (Especialista em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York, 2015. Disponível em: <[Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil](#)>. Acesso em 10, mai. 2021.

PINHEIRO, A. C. da F. B.; CRIVELARO, M. **Qualidade na Construção Civil**. São Paulo: Editora Érica, 2014. 1ª edição. 1980.

PRO5SAMB. **Tetra Pak** ®. Simões filho, 2016. Disponível em: <<http://projetosalaambiental.blogspot.com/2016/08/voce-sabia.html>>. Acesso em mai. 2021.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização da Construção**. São Paulo: FAUUSP, 1980.

SCHMUTZLER, L. O. F. **Projeto Forro Vida Longa**. Campinas: UNICAMP, 2001. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~vidalong/>>. Acesso em: 17 de maio. 2021.

SILVA, K C. P. da; CAMPOS, A. T.; JUNIOR, T. Y.; LOURENÇONI, D. C. D.; FERREIRA, J. C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak-® em coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** – Campina Grande, v.19, n.1, p.58–63, 2015

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC. **Sustentabilidade: Mudanças climáticas**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://snic.org.br/sustentabilidade-mudanca-climatica.php>>. Acesso em abril. 2021.

SOTSEK, N.C.; SANTOS, A. de P. L. Panorama do sistema construtivo *wood frame* no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 309-326, jul./set. 2018.

SUETAKE, G. Y. **Avaliação do desempenho térmico de mantas isolantes em guaritas de fibra de vidro**. 2017. 96 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

TETRAPAK. **Relatório de sustentabilidade 2019: Sustentabilidade em ação**. [S.I.], 2019

THALLON, Rob. *Graphic guide to frame construction*. Newtown: The Taunton Press, 2008. 3^a ed.

TINÔCO, I. de F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.3, p.1- 26, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2001000100001>> Acesso em abril. 2021.

WEBARCONDICIONADO. **Manta Térmica para o Telhado: Você já conhece os benefícios?**. Porto Alegre, 2019.

Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/manta-termica-para-o-telhado-voce-ja-conhece-os-beneficios>>. Acesso em mai. 2021.