

# BIOECONOMIA CIRCULAR E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: AVALIAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO DE PALETES DE MADEIRA REUTILIZADOS

*CIRCULAR BIOECONOMY AND CLIMATE CHANGE: EVALUATION OF CARBON FOOTPRINT OF REUSED WOODEN PALLETS*

LUCAS ROSSE CALDAS, Dr. | UFRJ

## RESUMO

A reutilização de paletes de madeira na arquitetura e design é uma prática cada vez mais observada nos tempos atuais. Sabe-se que a madeira é um biomaterial e por isso consegue armazenar CO<sub>2</sub>. Sendo assim, o uso de paletes de madeira tem um potencial para a mitigação dos impactos do aquecimento global e mudanças climáticas, indo ao encontro do que vem sendo discutido na chamada bioeconomia circular. O presente estudo teve como objetivo avaliar a pegada de carbono de um painel de paletes de madeira, considerando diferentes origens dos paletes utilizados e diferentes períodos de vida útil do painel. Foram empregadas duas metodologias, a da ISO 14067 (2014) e a do ILCD (2011), sendo o escopo estudado do berço ao túmulo. O inventário foi realizado com base em dados primários em conjunto com dados da literatura e do banco de dados do Ecoinvent v.3.3. Os resultados mostraram que o cenário com paletes reutilizados e vida útil de 40 anos foi o mais vantajoso, com uma pegada de - 15,09 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>, quando o ILCD (2011) é utilizado. Conclui-se que a reutilização de paletes em projetos de arquitetura e design tem um grande potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub>-eq justificando a importância de se pensar em uma bioeconomia circular.

**PALAVRAS CHAVE:** Biomateriais; Ciclo de vida; Vida útil. Carbono biogênico.

## ABSTRACT

*The reuse of wooden pallets in architecture and design is an increasingly observed practice today. It is known that wood is a biomaterial and therefore can store CO<sub>2</sub>. Thus, the use of wooden pallets has a potential to mitigate the impacts of global warming and climate change, meeting what has been discussed in the so-called circular bioeconomy. The present study aimed to evaluate the carbon footprint of a wooden pallet panel, considering different origins of the pallets and different periods of the panel's service life. We used two methods, ISO 14067 (2014) and ILCD (2011), considering a cradle to grave scope. The inventory was carried out based on primary data with data from the literature and from the Ecoinvent v.3.3 database. The results showed that the scenario with reused pallets and a service life of 40 years was the most advantageous, with a carbon footprint of - 15.09 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>, when the ILCD (2011) is used. We conclude that the reuse of pallets in architecture and design projects has a great potential to reduce CO<sub>2</sub>-eq emissions, justifying the importance of thinking about a circular bioeconomy.*

**KEYWORDS:** Biomaterials; Life cycle; Service life; Biogenic carbon.



## 1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre formas de aumentar a sustentabilidade nas áreas de design e arquitetura tem despertado o interesse dos projetistas e clientes para a reutilização de alguns materiais e/ou produtos, entre eles vergalhões de aço, containers marítimos, caixas de madeira, paletes de madeira, etc. Esses itens podem ser reutilizados para a confecção desde mobiliários, sistemas para interiores como painéis ou até uma edificação, como é o caso dos containers e os paletes de madeira.

Dentre os possíveis materiais e resíduos que vem sendo reutilizados, os paletes de madeira têm recebido atenção especial dos projetistas de arquitetura e design (ENGLER et al., 2017) devido as suas boas características mecânicas, baixo peso, baixo custo relativo e boa aceitação pelos clientes. Já é comum o emprego de paletes de madeira reutilizados para confecção de mobiliários, pisos, painéis e até edificações (MINGUET, 2015).

Por outro lado, essa possível tendência, visualizada como um estilo mais rústico e simples, tem levado ao aparecimento de produtos que apenas tentam trazer esse efeito, fazendo surgir um mercado consumidor que não quer saber a origem desses paletes, isto é, se ele está sendo reaproveitado ou não, e sim somente o aspecto estético que ele traz. Outro motivo que tem levado a escolha de paletes novos é o fato de muitas vezes os paletes disponíveis para reuso estarem muito danificados ou em condições inapropriadas de reutilização (CALDAS, 2019).

Um aspecto importante que torna o paleta ainda mais benéfico do ponto de vista das mudanças climáticas é o fato dele ser composto majoritariamente de madeira, que é por natureza um biomaterial. Os biomateriais de origem vegetal têm sido apontados como uma das principais alternativas para a mitigação das mudanças climáticas, dado, principalmente, a sua característica de absorver e esgotar o CO<sub>2</sub> durante o crescimento das árvores.

O incentivo para o uso de biomateriais cresceu nos últimos anos, com especial interesse para o desenvolvimento de uma bioeconomia, seja no setor de combustíveis e energia, como etanol e biodiesel, como na construção civil. Diversos fatores têm levado a isso: são fontes renováveis, tem em sua maioria menor consumo energético para produção, podem ser reaproveitados na forma de combustíveis ou matéria prima, são biodegradáveis e conseguem armazenar CO<sub>2</sub>. Sendo esse último, talvez o fator chave que tem despertado o interesse dos países pelo incentivo do uso de biomateriais, dado as metas de redução de emissões dos gases do efeito estufa (GEE) para a mitigação dos impactos do aquecimento global (SCARLAT et al., 2015).

Na Comunidade Europeia, em 2012, foi lançado o plano de ação estratégica intitulado de “Inovando para o crescimento sustentável: uma bioeconomia para a Europa” (EC, 2012), como forma de promover e incentivar o crescimento do uso de biomateriais em diversos setores produtivos: energia, construção, química, têxtil, automobilista, etc.) (BMBF, 2015; SCARLAT et al., 2015).

Além do sequestro de CO<sub>2</sub> é interessante que esses produtos sejam reutilizados o máximo possível, sempre pensando em um ciclo produtivo fechado ou uso em cascata. Caso esse CO<sub>2</sub> sequestrado fique armazenado por um longo período de tempo ele pode trazer benefícios, como apontam alguns autores, como Garcia e Freire (2014) e Demertzi et al. (2017). Os produtos utilizados na construção civil, como estruturas, revestimentos de pisos, paredes, esquadrias, mobiliários, entre outros, têm essa característica de serem produtos de maior vida útil (BRANDÃO et al., 2013). Para avaliar de forma quantitativa os benefícios propiciados pelos biomateriais, como é o caso de produtos de madeira, em termos da redução dos impactos de aquecimento global, a metodologia de pegada de carbono é a mais utilizada internacionalmente (PAWELZIK et al., 2013).

Um exemplo de material que pode a vim a ter um processo semelhante são os paletes de madeira, que têm sua maior parte composta de madeira e estão cada vez mais sendo reutilizados para aplicações diferentes das quais eles foram produzidos, como no design e arquitetura (ENGLER et al., 2017).

Neste contexto, surgem alguns questionamentos: (1) a reutilização de paletes de madeira na construção civil pode ser considerada uma alternativa para a redução do potencial impacto do aquecimento global? (2) Existem grandes diferenças em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em relação à origem dos paletes de madeira, se são novos ou reutilizados? (3) Como que a vida útil de um produto de paletes de madeira pode influenciar nas emissões de GEE?

Diante desses questionamentos este estudo tem como objetivo a quantificação das emissões de GEE (em CO<sub>2</sub>-eq) durante o ciclo de vida de um painel de composto de paletes de madeira, considerando cenários de vida útil, diferentes origens dos paletes e metodologias de pegada de carbono.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Pegada de Carbono de Biomateriais no Setor da Construção Civil

Nos últimos anos, cresceu consideravelmente os estudos que aplicaram a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e pegada de carbono de produtos da

construção civil e edificações (CABEZA et al., 2014). No Brasil, especial atenção tem sido dada para o transporte de materiais (CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2011; CALDAS; SPOSTO, 2017), agregados utilizados para produção de concreto (SANTORO; KRIPKA, 2016) pavimentos de concreto (CALDAS et al., 2017), materiais, inovadores, como clínqueres alternativos (PASSUELO et al., 2014) e geopolímeros (BORGES et al., 2014), e comparação de diferentes sistemas construtivos (SOUZA et al., 2016) e materiais à base de terra, como argamassas de revestimento (CALDAS et al., 2020). No entanto, são raros os estudos com foco em biomateriais, como produtos de madeira ou bambu.

Uma particularidade dos biomateriais está na contabilização do carbono biogênico, que gera discussão na literatura internacional, normas e guias para o cálculo de pegada de carbono dos materiais. O carbono biogênico (ou biológico) pode ser definido como o CO<sub>2</sub> absorvido e estocado na biomassa durante o processo de fotossíntese da planta (PAWELZIK et al., 2013).

A grande discussão está na contabilização ou não desse carbono, que embora ele seja absorvido, em um dado período do ciclo de vida do material, ele será devolvido à atmosfera, fazendo assim muitos estudos adotar ele como neutro. No entanto, têm sido discutido a importância da sua contabilização, principalmente se o produto avaliado possui uma longa vida útil, que é o caso de muitos dos produtos utilizados no setor da construção civil (BRANDÃO et al., 2013).

A norma internacional ISO 14067 (2014) declara que esse carbono biogênico deve ser quantificado e apresentado no estudo, mas ele não deve ser contabilizado no balanço das emissões de GEE (em CO<sub>2</sub>-eq) do produto. O ILCD Handbook (2011) desenvolveu uma metodologia específica para sua contabilização, que leva em consideração o tempo que esse carbono ficou armazenado no produto. Sendo assim, quanto maior o tempo que ele ficou armazenado, maior é quantidade de crédito que é dado para o material. Se o tempo de armazenamento foi superior a 100 anos, o carbono biogênico é considerado indefinidamente armazenado no material. Para todas essas metodologias, o carbono biogênico quando é contabilizado é considerado como emissões negativas de CO<sub>2</sub>, sendo atribuído como fator de caracterização o valor de -1 para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), na categoria de potencial de aquecimento global (GWP100).

Essa incerteza nas normas e guias tem levado alguns estudos a realizarem a pegada de carbono de produtos utilizados na construção civil utilizando diferentes metodologias, como Garcia e Freire (2014), Silvestre et al. (2016) e Demertzi et al. (2017).

Como apontam Pawelzik et al. (2013) a contabilização do carbono biogênico sofre grande influência do fim de vida que o produto terá. A maioria das pesquisas tem mostrado que o fim de vida em aterros sanitários é o mais vantajoso para diminuir a pegada de carbono dos materiais, como é verificado nos estudos de Garcia e Freire (2014) e Demertzi et al. (2017), já que o carbono absorvido tende a ficar indefinidamente armazenado no material. A incineração, por outro lado, devolverá praticamente todo o CO<sub>2</sub> absorvido para à atmosfera. No entanto, alguns autores como Escamilla et al. (2016) têm dado créditos a incineração, quando o produto é queimado para a geração de energia elétrica ou fonte de calor. A reciclagem também tem se mostrado um caminho vantajoso (PITTAU et al., 2018), sendo que ela é mais eficiente quanto maior é o potencial de reciclagem do biomaterial e com a menor necessidade de tratamentos necessários, como moagem, aquecimento e etc.

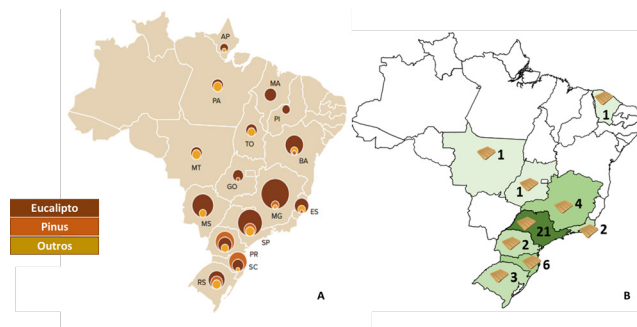
A partir da pesquisa na literatura, principalmente internacional, observa-se uma tendência de contabilização do carbono biogênico para biomateriais utilizados na construção civil e muitas vezes a aplicação de diferentes metodologias. Essa contabilização leva a menores pegadas de carbono dos biomateriais, sendo, portanto, uma forma de incentivar seu uso na construção civil, indo em direção ao maior incentivo de uma bioeconomia. Observou-se uma escassez de estudos nacionais sobre esse tema, justificando a presente pesquisa apresentada aqui, como forma de avançar nesta lacuna do conhecimento.

Especificamente sobre o estudo de paletes de madeira, os estudos de pegada de carbono têm se concentrado na quantificação das emissões de GEE para produção dos paletes, comparação entre paletes de diferentes materiais (BENGTSSON; LOGIE, 2015), e diferentes origens de madeira, reciclada ou virgem (NG et al., 2014), avaliação da logística e remanufatura desses paletes (TORNESE et al., 2016). A quantificação dos impactos ambientais envolvidos no reuso de paletes na arquitetura e design, em termos de pegada de carbono, ainda é um tema pouco explorado.

## 2.2 Produção de Paletes de Madeira e Uso na Arquitetura e Design no Brasil

Os paletes de madeira ocupam aproximadamente 90% do mercado mundial de paletes. Isso pode ser explicado principalmente por uma série de características vantajosas da madeira: boa resistência mecânica e aos agentes atmosféricos, baixo custo relativo, durabilidade. Diferentes tipos de madeira podem ser utilizados, sendo a de pinus a mais empregada (MINGUET, 2015). No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Supermercados - ABRAS

(2018) as madeiras mais empregadas são a de eucalipto e pinus, normalmente obtidas de áreas de reflorestamento. Foi realizado o mapeamento das fábricas de produção de paletes de madeira credenciadas na ABRAS, apresentado na Figura 01. Os fabricantes credenciados na ABRAS são aqueles que cumprem o regulamento interno e que têm suas fábricas auditadas pela associação, sendo, portanto, uma forma de melhorar a qualidade de fabricação dos paletes PBR produzidos no Brasil.



**Figura 01** - (A) Áreas de florestas de Eucalipto, Pinus e Outras (Adaptado do IBÁ, 2018). (B) Mapeamento dos fabricantes credenciados na Associação Brasileira de Supermercados  
**Fonte:** Autor, 2018

É visível que a maior parte das fábricas credenciadas na ABRAS estão concentradas nas regiões Sudeste e Sul, com destaque para o estado de São Paulo que quando comparado com as plantações de Eucalipto e Pinus existentes no país, também concentrados nas regiões Sul e Sudeste, faz sentido. Sendo assim, os impactos de transporte entre as fábricas e locais de uso dos paletes nessas regiões tendem a ser muito menores, que localidades da região Norte. Essa variação deve ser contabilizada no estudo de pegada de carbono, através de uma análise de incertezas ou sensibilidade.

Diferentemente de outros tipos de paletes de madeira, o do tipo one-way normalmente não é reutilizado para novos serviços de transporte e distribuição, devido suas características e propriedades (BENGTSSON; LOGIE, 2015). Esses mesmos autores compararam os impactos ambientais de diferentes paletes de madeira e verificaram que os paletes one-way são aqueles que mais precisam de uma alternativa para reutilização, caso se deseje uma diluição dos seus impactos ambientais.

É visível o crescimento do uso de paletes na arquitetura e design. Minguet (2015) destaca além da aplicação para mobiliários, seis aplicações na arquitetura e construção: (1) interiores, (2) construções temporárias/efêmeras, (3) refúgios, (4) fachadas, (5) fechamentos (externos e internos), (6) estruturas. Dentro desses usos, interiores e construções temporárias são os mais comuns.

A atração pelo uso dos paletes tem levado muitos projetistas a especificarem paletes de madeira em seus projetos. No entanto, uma ideia que teve seu nascimento com o intuito do reaproveitamento de paletes já utilizados, tem se mostrado esquecida em alguns projetos (CALDAS, 2018). Já é comum sistemas que usam “paletes” novos, ou elementos que imitam a forma e características dos paletes normalmente utilizados para o transporte de cargas, no entanto produzidos especificamente com o objetivo de serem utilizados como soluções para arquitetura e design, sem, portanto, o benefício da reutilização de um resíduo. Nesta pesquisa, mesmo que o elemento não seja um palete convencional para o transporte de cargas, ele será denominado de “palete novo”, devido ao fato que o projetista normalmente faz uso desse material para uso como elemento decorativo ou divisória, piso, entre outros, como é apresentado na Figura 02.



**Figura 02** – Uso de paletes novos como elementos de divisória.  
**Fonte:** Autores

Os paletes necessitam de alguns tratamentos básicos para poderem ser reutilizados, entre eles lixamento e proteção contra agentes atmosféricos. O lixamento pode ser feito manualmente ou com lixadeiras elétricas. O primeiro processo é mais simples e sem consumo energético, no entanto, de baixa produtividade, enquanto o segundo é o mais utilizado em empresas do setor. Após o lixamento é interessante que o palete seja protegido, que é feito normalmente com vernizes marítimos ou com filtro solar caso seja utilizado em ambiente externo. A fixação entre os paletes é realizada com pregos ou parafusos, e é comum a utilização de vigas de madeira ou metálica para reforço estrutural.

Do ponto de vista internacional, quando são transportados paletes de madeira de um país para outro, é necessário que eles sejam esterilizados. Este processo é realizado para a prevenção e diminuição da disseminação de espécies invasoras. A Convenção Internacional de Proteção Fitossanitária, do inglês International Plant

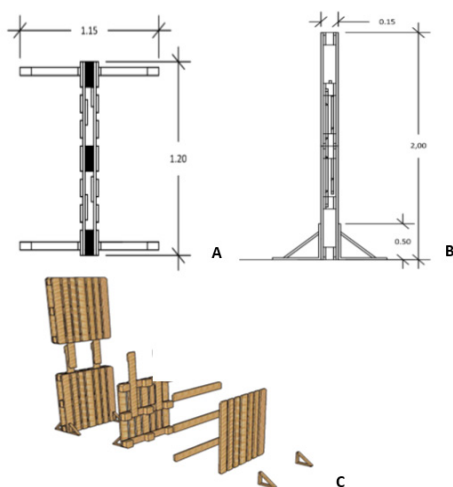
Protection Convention – IPPC, desenvolveu um padrão fitossanitário que é aplicado em embalagens de madeira no âmbito internacional (MAPA, 2010). São recomendados dois tipos de processos: o tratamento por calor (aquecimento a uma temperatura mínima de 56°C por uma duração mínima de 30 minutos) e a fumigação com brometo de metila. Os paletes de madeira tratados são carimbados com uma certificação.

Na literatura científica alguns estudos como Engler et al. (2017) que avaliaram o ciclo de vida de paletes de madeira com foco na produção de mobiliário. Outros que verificaram a viabilidade em projetos, como Baungarten, Mello e Almeida (2015). No entanto, constatou-se uma carência de estudos científicos voltados para o uso de paletes na arquitetura ou design, para o contexto brasileiro, talvez devido ao fato desse uso ainda ser recente no Brasil. Desta forma, o presente estudo vem preencher uma dessas lacunas, com foco no potencial de redução das emissões de carbono com o reuso de paletes no setor de arquitetura e design.

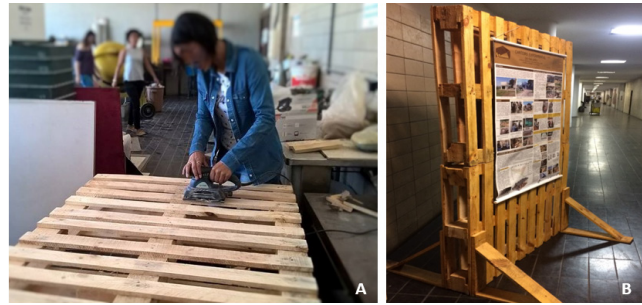
### 3. MÉTODO

#### 3.1 Caracterização do Pannel de Paletes de Madeira

O pannel de paletes de madeira avaliado é constituído de dois paletes do tipo one-way, com dimensões de 1,00m x 1,20m, resultando em dimensões finais de 1,20m x 2,00 m. Foram utilizados pregos e parafusos de aço para sua montagem. O projeto (Figura 03) foi desenvolvido e executado (Figura 04) no canteiro experimental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU/UFRJ). As mãos francesas utilizadas no apoio não foram contabilizadas no estudo.



**Figura 03** – Projeto técnico do pannel de paletes de madeira. (A) Vista em planta. (B) Vista lateral. (C) Projeto explodido  
**Fonte:** Acervo do autor (2017).



**Figura 04** – Pannel de paletes de madeira. (A) Lixamento com lixadeira elétrica. (B) Pannel executado.  
**Fonte:** Acervo do autor (2018).

#### 3.2 Pegada de Carbono de um Pannel de Paletes de Madeira

##### 3.2.1 Definição do Escopo e Unidade Funcional

Como forma de avaliar as diferenças entre o uso de paletes novos e reutilizados e as diferentes vidas úteis foram propostos seis cenários, como é apresentado na Figura 05.



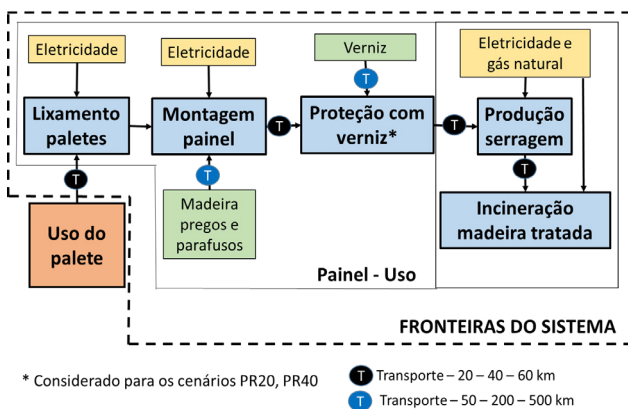
**Figura 05** – Cenários avaliados.  
**Fonte:** Autor (2020).

Os paletes novos aqui considerados são aqueles produzidos com as mesmas dimensões dos paletes utilizados para transporte de cargas, no entanto, com o objetivo de serem utilizados para confecção de painéis. De acordo com dados de um fabricante, a madeira empregada para a confecção desses painéis normalmente é a de pinus. Neste sentido, foi considerado o mesmo processo produtivo de paletes normalmente utilizado para transporte de cargas para os paletes para painéis.

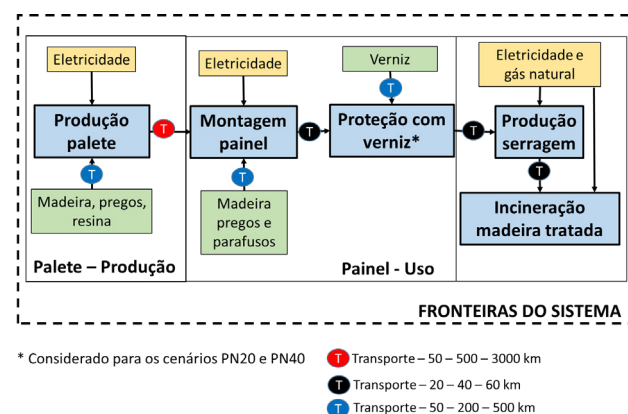
A pesquisa foi guiada pelas diretrizes da NBR 14040 (ABNT ISO, 2009) e EN 15978 (ECS, 2011), sendo considerado um escopo do tipo “berço ao túmulo com opções”, em que foram avaliados os estágios de produção dos materiais, transporte, uso e destinação final (Figuras 06 e 07). Especificamente por se tratar de um estudo de pegada de carbono foram adotadas as metodologias da ISO 14067 (2014) e do ILCD (2011). A aplicação de diferentes metodologias foi baseada nos estudos de Garcia e Freire (2014) e Dermetz et al. (2017).

A unidade funcional adotada foi a área do painel (em m<sup>2</sup>). Como o objeto de estudo é um painel, a escolha dessa unidade funcional pode ser utilizada para a estimativa da pegada de carbono de outros painéis de paletes de madeira. Ao final, os resultados obtidos para unidade funcional considerada foram normalizados pelos diferentes valores de vida útil.

Foram consideradas as seguintes etapas no ciclo de vida do painel de paletes (Figuras 06 e 07): (1) produção dos paletes (para o caso dos paletes novos PN10, PN20 e PN40); (2) transporte dos paletes até o local de reutilização; (3) processamento do paleta para reutilização (foi considerado lixamento e pintura com verniz de madeira para os cenários PR20, PR40, PN20 e PN40); (4) reuso do paleta durante a vida útil definida (considerado novo lixamento e repintura a cada cinco anos); (5) transporte para fábrica de produção de serragem; (6) processamento para produção de serragem; (7) transporte para local de incineração; (8) processo de incineração da serragem. Para a incineração não foi considerada as emissões evitadas advindas da queima da serragem para aproveitamento de energia elétrica.



**Figura 06** – Escopo e fronteiras avaliados no estudo considerando a reutilização dos paletes. Fonte: Autor (2020).



**Figura 07** – Escopo e fronteiras avaliados no estudo considerando a produção de novos paletes. Fonte: Autor (2020).

### 3.2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Para a quantificação dos materiais por m<sup>2</sup> do painel, foram utilizados dados da ABRAS (2012) e dados obtidos durante a atividade realizada no Canteiro Experimental da FAU/UFRRJ. Ao final, todos os materiais foram convertidos em massa (kg/m<sup>2</sup>), a partir de dados de fabricantes e da pesagem na balança.

Como se sabe, o Brasil ainda carece de um banco de dados consolidado de inventário do ciclo de vida, principalmente para o setor de construção civil (MEDEIROS; DURANTE; CALLEJAS, 2018), sendo assim, para os casos onde não foi encontrado um banco de dados condizente com a realidade brasileira, foi utilizado o banco de dados internacional Ecoinvent v. 3.3 com adaptação da matriz de energia elétrica para a brasileira e as distâncias de transporte, o que é uma prática comumente utilizada nos estudos de ACV e pegada de carbono.

Para a produção dos paletes foram considerados os processos de produção de madeira macia (softwood), nesse caso o pinheiro paranaense brasileiro, pregos metálicos e o consumo de energia elétrica (0,85 kWh/m<sup>2</sup> de painel) e GLP (1,3 MJ/m<sup>2</sup> de painel) para a produção, utilizando dados do estudo de Bengtsson e Logie (2015). Foi considerado o tratamento dos paletes durante o processo produtivo, adotando a proteção com preservativo orgânico para uso interno, sendo considerado o consumo de 120 g/m<sup>2</sup> de paleta, de acordo com informações do Ecoinvent. O processo de esterilização dos paletes não foi incluído na análise, tendo em vista que o transporte internacional não foi considerado neste estudo.

É importante ressaltar que as emissões para produção dos paletes e transporte da fábrica de produção só foram contabilizadas nos cenários PN10, PN20 e PN40, aqueles em que foram utilizados paletes novos para a fabricação dos painéis. É comum nos estudos de ACV e pegada de carbono a não contabilização dos impactos ambientais de um produto caso ele seja resíduo de outro processo, como é o caso dos paletes para os cenários PR10, PR20 e PR40 (ISLAM et al., 2016). A produção dos paletes nesses cenários teve o objetivo para a utilização para o transporte de cargas e não para a produção dos painéis, diferentemente dos cenários PN10, PN20 e PN40, em que foi considerado que os paletes foram produzidos especificamente para a produção dos painéis.

A partir do mapeamento (apresentado na Figura 2), foi realizado o inventário de etapa de transporte e foi possível estimar a distância máxima de transporte de uma fábrica até um local de destinação.

Para o transporte dos paletes e dos outros materiais foi considerado modal rodoviário, o mais utilizado para o transporte de materiais de construção (CALDAS; SPOSTO,

2017). Foram considerados três principais tipos de transporte, sendo (1) dos paletes (adotado com base no mapeamento realizado), com distâncias variando de 50 km a 3000 km (como a entrega no estado de Roraima sendo o caso extremo); (2) transporte dos insumos como a madeira serrada, pregos, parafusos, verniz, sendo considerados distâncias de 100 km, 200 km e 500 km; (3) transporte urbano com distâncias de 20 km, 40 km e 60 km. Para o transporte de paletes reutilizados, do lugar de obtenção ao local de produção do painel foram consideradas distâncias urbanas, no caso (3). Essa variação nas distâncias foi avaliada como incerteza no estudo, sendo que os resultados foram apresentados através do desvio padrão. Essas premissas da etapa de transporte foram consideradas para todos os cenários avaliados.

Para a montagem e execução do painel foram considerados o lixamento com lixadeira elétrica e aparafusamento com parafusadeira elétrica. Foram obtidas as potências das máquinas e o tempo foi contabilizado de forma primária (mensurado pelo autor), durante a execução do painel (Figura 5A). Foi calculado um consumo de energia elétrica de 0,66 kWh/m<sup>2</sup> de painel.

Para a proteção do painel foi avaliado o verniz utilizado em sua confecção, sendo consideradas duas demãos (de acordo com dados do fabricante) e pintura realizada de forma manual. Assumiu a vida útil do verniz como 5 anos (dados do fabricante) sendo que no fim desse período ele é novamente aplicado no painel.

Para a transformação dos paletes em serragem e posterior incineração foram considerados os processos envolvidos, utilizando dados do Ecoinvent v. 3.3. No primeiro processo foi considerado a produção de serragem no estado úmido a partir de madeira macia. Para o segundo foi considerado a queima da serragem para produção de eletricidade, com potência de 1000-5000 kW. Embora a energia gerada pela incineração dos paletes é aproveitada como eletricidade, os benefícios em termos de emissões de GEE evitadas não foram contabilizados neste estudo.

A incineração (sem aproveitamento energético) foi escolhida como a única fonte de destinação final, sendo que é a prática mais comum para resíduos de produtos de madeira, de acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2018). A reciclagem poderia ser uma alternativa, no entanto grande parte desses resíduos já estão incorporados no processo produtivo para a produção de calor e eletricidade. A destinação para o aterro sanitário não foi cogitada, tendo em vista que não é uma prática comum para as serragens de madeira.

É importante ressaltar que os dados para a produção de madeira, já estão adaptados ao contexto brasileiro, o que diminui as incertezas e deixa os resultados com maior validade para o caso do Brasil. Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos materiais e recursos energéticos empregados para a produção de 1m<sup>2</sup> do painel.

| Materiais e recursos                           | Quantidade | Fonte  |
|--|------------|--|
| Madeira dos paletes (kg)                       | 21,25      | ABRAS (2017) e primária. Medida no canteiro experimental |
| Madeira de ligação entre os paletes (kg)       | 2,7        |  |
| Pregos de aço (kg)                             | 0,33       |  |
| Parafusos de aço (kg)                          | 0,79       |  |
| Eletricidade para produção (kWh)               | 0,85       | Bengtsson e Logie (2015)                                 |
| GLP <sup>1</sup> para produção (MJ)            | 1,3        |  |
| Eletricidade para o lixamento e montagem (kWh) | 0,66       | Primária. Medida no canteiro experimental                |
| Verniz (kg)                                    | 0,11       |  |

**Tabela 01:** Resumo dos materiais e recursos energéticos para a produção de 1m<sup>2</sup> do painel acabado.  
**Fonte:** Autor (2020)

### 3.2.3 Quantificação do Carbono Biogênico

Para a quantificação do carbono biogênico armazenado temporariamente de acordo com o ILCD (2011), foi utilizada a equação (1) apresentada no documento.

$$PCT = (mp \times mc \times (MCO_2/MC) \times ta) / 100 \quad (1)$$

PCT – pegada de carbono do CO<sub>2</sub> temporariamente armazenado (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).

mp – massa de biomaterial no produto – massa de pinus por m<sup>2</sup> de painel – 25,5 kg/m<sup>2</sup>.

mc – massa de carbono no biomaterial – adotado 50% de acordo com a BRE (2013).

MCO<sub>2</sub> – massa molar do CO<sub>2</sub> – 44 u.m/mol.

MC – massa molar do C – 12 u.m/mol.

ta – total de tempo que o carbono biogênico fica armazenado no produto durante o uso = Vida útil do painel.

Quando a metodologia da ISO 14067:2014 foi utilizada, o carbono biogênico foi calculado utilizando a equação 1, considerando o ta = 100, o que resultou em -46,75 kgCO<sub>2</sub>. No entanto, como já foi dito, todo o CO<sub>2</sub> absorvido e armazenado durante a fotossíntese será liberado na incineração do material. Portanto, como essa norma não atribui nenhum crédito, o balanço do carbono biogênico foi nulo.

### 3.2.4 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Neste estudo foi escolhido o método de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) CML, linha de base IA, versão 3.05, sendo considerada a categoria Potencial de Aquecimento Global para 100 anos (GWP100) em kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>. Essa versão considera os seguintes valores de GWP para o CO<sub>2</sub> fóssil = 1, CH<sub>4</sub> fóssil = 28 e N<sub>2</sub>O = 265, de acordo com o IPCC (2013). As atividades, materiais, insumos e conjunto de dados considerados no inventário estão apresentadas nas Tabela 2 e 3. Foi utilizado o SimaPro v. 8.0 para modelagem dos processos.

| Materiais                               | FGWP100 (kgCO <sub>2</sub> -eq/Unidade) |
|---|---|
| Madeira (kg <sup>1</sup> )              | 0,379                                   |
| Preservativo orgânico para madeira (kg) | 1,02                                    |
| Aço (kg)                                | 2,19                                    |
| Verniz (kg)                             | 2,76                                    |
| Eletricidade (kWh)                      | 0,15                                    |
| GLP (m <sup>3</sup> )                   | 2043,74                                 |
| Transporte (t.km)                       | 0,14                                    |
| Produção de serragem (kg)               | 0,027                                   |
| Incinerção da serragem (kg)             | 0,03                                    |

**Tabela 02:** Resumo dos fatores de emissão de carbono (FGWP100) considerados.  
 Fonte: Autor (2020)

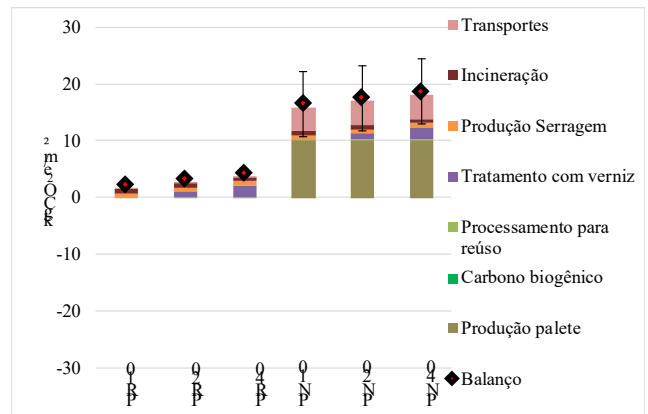
| Materiais                          | Conjunto de dados - Ecoinvent v. 3.3                                       |
|------------------------------------|--|
| Madeira                            | Roundwood, parana pine from sustainable forest management, under bark {BR} |
| Preservativo orgânico para madeira | Wood preservative, organic, indoor use, dry {GLO}                          |
| Aço                                | Reinforcing steel {RoW}  |
| Verniz                             | Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW}              |
| Eletricidade                       | Electricity, high voltage {BR}   |
| GLP                                | LPG, combusted in industrial boiler  |
| Transporte                         | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RoW}                    |
| Produção de serragem               | Residual softwood, wet {GLO}   |
| Incinerção da serragem (kg)        | Waste wood, untreated {RoW}  |

**Tabela 03:** Conjunto de dados utilizados na modelagem.  
 Fonte: Autor (2020)

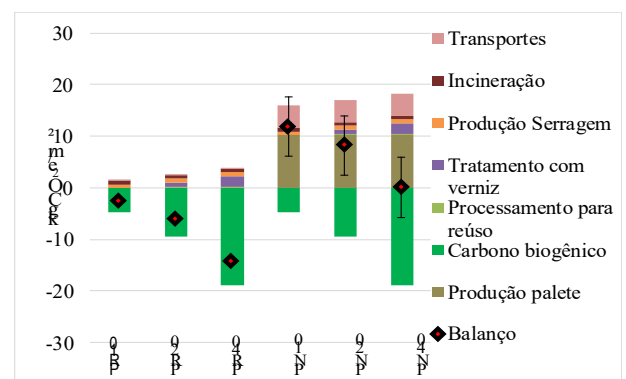
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Pegada de Carbono do Paine de Paletes para os Diferentes Cenários

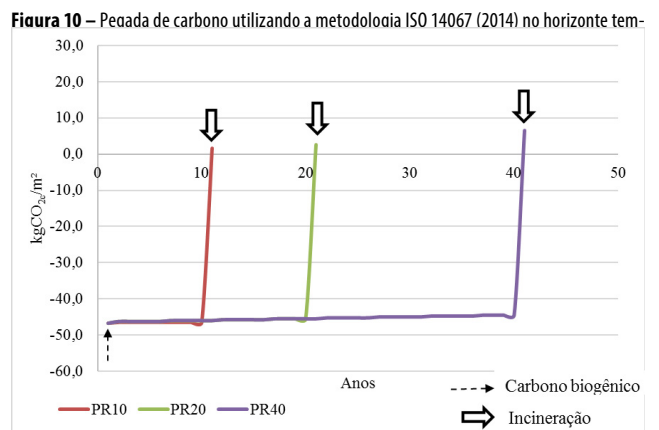
Nas Figuras 08, 09, 10 e 11 são apresentados os resultados de pegada de carbono para os cenários considerados e as metodologias utilizadas.



**Figura 08 –** Pegada de carbono utilizando a metodologia da ISO 14067:2014.  
 Fonte: Autor (2020).



**Figura 09 –** Pegada de carbono utilizando a metodologia do ILCD (2011).  
 Fonte: Autor (2020).

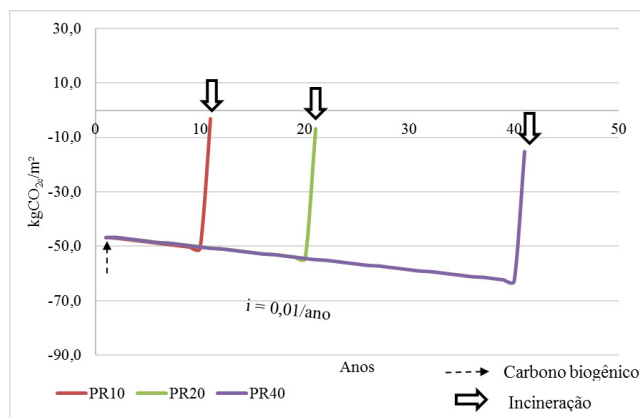


**Figura 10 –** Pegada de carbono utilizando a metodologia da ISO 14067 (2014) no horizonte temporal para os cenários de paletes reutilizados.  
 Fonte: Autor (2020).

Quando ISO 14067:2014 é utilizada (Figura 08) os resultados variam de 2,05 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> (cenário PR10) a 25,21kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> (cenário PN40), enquanto quando a ILCD (2011) é utilizada (Figura 09) houve variação de - 15,09 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> (cenário PR40) a 17,61 kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> (cenário PN10). Para essa última norma, os cenários que os paletes são reutilizados apresentam todos valores de pegada de carbono negativa.



Observando o horizonte temporal (Figuras 10 e 11) nota-se que no tempo zero, antes do painel ser montado, os paletes têm uma pegada carbono negativa, devido ao carbono biogênico armazenado ( $-46,75 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^2$ ). Com a etapa de transporte para o reuso e atividades para produzir o painel e tratamento com verniz a pegada aumenta e se torna positiva no final da vida útil do painel (indicado pelas setas), com a incineração, em que todo o carbono biogênico retorna para atmosfera. A metodologia da ILCD (2011), na Figura 11, pelo crédito fornecido a cada ano que o carbono fica armazenado no produto, se apresenta com uma reta com inclinação de 0,01 ao ano, e ao final da vida útil do painel o carbono biogênico também é liberado, mas o balanço final é negativo devido ao crédito dado.



**Figura 11** – Pegada de carbono utilizando a metodologia ILCD (2011) no horizonte temporal para os cenários de paletes reutilizados.  
**Fonte:** Autor (2020).

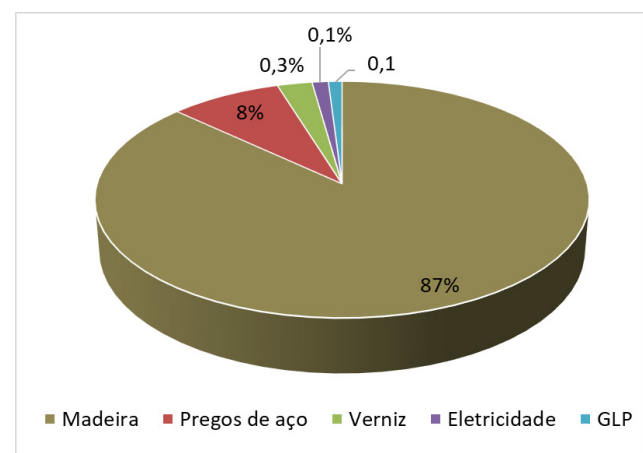
É importante ressaltar que um item que colabora para a reutilização dos paletes ser uma estratégia vantajosa é o processamento normalmente realizado, que é o lixamento. Mesmo sendo um lixamento que utiliza eletricidade, os resultados mostraram que ele é desprezível. Isso também se deve ao fato de a matriz de energia elétrica ser a do Brasil, que possui elevado percentual de fontes renováveis, com baixas emissões de GEE, quando comparada a outros países. É claro que dependendo da condição dos paletes, fica impossível uma nova reutilização, como aponta Caldas (2018), devendo assim ser descartada essa alternativa.

Esses resultados mostram de forma quantitativa, mesmo sendo um estudo de caso, a importância de se pensar em uma bioeconomia, que priorize o uso de produtos de fonte biológica, como é o caso da madeira, levando em consideração formas de aumentar sua vida útil. E, finalmente, que seja pensado de uma forma circular, ou seja, com o maior potencial de reaproveitamento e reciclagem dos produtos antes do descarte final.

Observa-se que quando a produção de paletes é considerada, nos cenários com o uso de paletes novos (PN), ele é o item de maior participação na pegada de carbono, seguido pelo transporte. O transporte possui uma grande variação, para os cenários de paletes novos, que dependerá da localização da fábrica onde ele foi produzido e onde o palete será utilizado. Pelo mapa produzido, de acordo com as fábricas credenciadas no ABRAS, a participação do transporte é menor para região Sudeste e Sul e maior para região Norte do país. Para os cenários dos paletes reutilizados essa incerteza é desprezível, já que foi considerado um cenário urbano, onde as distâncias consideradas chegam a no máximo 60 km. As etapas de fim de vida, produção de serragem e incineração tem as emissões de GEE de seus processos desprezíveis.

A produção de paletes de aproximadamente  $10 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$  (sem a contabilização do carbono biogênico), ficou diferente do estudo de Bengtsson e Logie (2015) que chegaram a valores de 4,5 a  $5,4 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^2$  (quando o carbono biogênico não é contabilizado) e do banco de dados do Ecoinvent v. 3,3 que apresenta  $6,9 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^2$  para paletes produzidos de acordo com os padrões da União Europeia. Observa-se uma diferença de aproximadamente duas vezes, que provavelmente deve estar relacionado ao escopo avaliado e inventário utilizado, principalmente para a produção da madeira empregada para a fabricação dos paletes.

Na Figura 12 é apresentada a contribuição dos materiais e atividades para a produção dos paletes de madeira.



**Figura 12** – Materiais e recursos para a produção dos paletes de madeira.  
**Fonte:** Autor (2020).

Para a produção de paletes observa-se que a madeira é o material de maior impacto de GWP100 (aproximadamente 90%). A madeira por sua vez tem como principal impacto para sua produção o consumo de diesel para sua

obtenção e corte, de acordo com o inventário realizado para a madeira macia produzida no Paraná, no Brasil. Os pregos de aço e verniz embora tenham as emissões de produção elevadas (de 2,19 kgCO<sub>2</sub>-eq/kg e 2,76 kgCO<sub>2</sub>-eq/kg, respectivamente) possuem uma baixa contribuição nos impactos devido sua baixa participação em massa do painel. Os insumos energéticos de energia elétrica e GLP apresentaram contribuição desprezível, dado ao baixo consumo desses insumos no processo, de acordo com os dados coletados por Bengtsson e Logie (2015). Portanto, fica evidente que a opção pela não obtenção de novas madeiras, ou seja, através de reuso de madeiras já cortadas, como é o caso de paletes de madeira reutilizados, é possível reduzir significativamente a pegada de carbono do painel.

Para a produção do verniz, o dióxido de titânio e a resina acrílica foram os materiais de maior contribuição. Enquanto que para a incineração o consumo de eletricidade e produção de calor foram as principais atividades que contribuíram para as emissões de GEE.

#### 4.2 Comparação das Metodologias Utilizadas

A metodologia da ISO 14067 (2014) diz que as emissões biogênicas devem ser apresentadas separadamente das emissões fósseis, no entanto sem ser contabilizadas nos resultados finais. Dessa forma, o benefício do estoque do carbono biogênico não é contabilizado, e a vida útil fez aumentar as emissões, à medida que foi necessário mais verniz para preservação da qualidade do painel.

A metodologia do ILCD (2011) acaba por beneficiar consideravelmente os biomateriais, na medida que dá créditos pelo tempo que o carbono biogênico ficar armazenado. Dessa forma, quanto maior a vida útil do sistema estudado maior é esse benefício, chegando até a pegadas de carbono negativas, possibilitando créditos de emissões. Dessa forma, produtos normalmente utilizados nas edificações, que tendem a ter vidas úteis mais elevadas, são beneficiados por essa metodologia.

Conclui-se que dependendo da escolha da metodologia de pegada de carbono os resultados de um estudo para biomateriais podem ser completamente diferentes, sendo a contabilização do carbono biogênico e a vida útil, no caso da metodologia do ILCD (2011), os itens de maior influência.

#### 4.3 Comparação dos Resultados Normalizados pela Vida Útil

Na Figura 13 são apresentados os resultados de pegada de carbono para os cenários considerados e as metodologias utilizadas normalizados pela vida útil dos painéis.

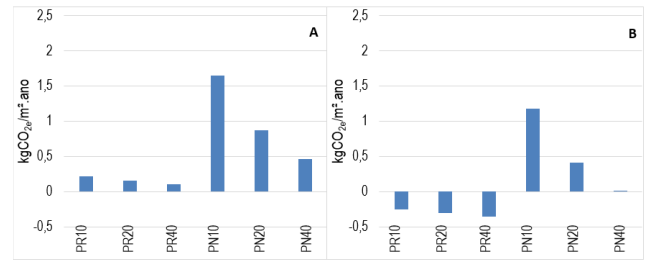


Figura 13 – Resultados normalizados pela vida útil do painel. (A) ISO 14067:2014; (B) ILCD (2011).  
Fonte: Autor (2020).

Quando os cenários são normalizados pela vida útil considerada do painel, a diferença da pegada de carbono entre eles cresce consideravelmente para os cenários de paletes novos, mostrando a importância de se pensar em sistemas de mais duráveis.

Quando o carbono biogênico não é considerado no balanço final (metodologia da ISO 14067:2014), os cenários com maior vida útil, PR40 e PN40, que eram os mais desvantajosos em relação aos de menor vida útil, se tornam os de menor pegada de carbono. Enquanto que para a segunda metodologia, os cenários PR40 e PN40 que eram os mais vantajosos, já que conseguiram armazenar por mais tempo o carbono biogênico, melhoram ainda mais seus resultados.

#### 4.4 Limitações do Estudo

É importante apresentar algumas limitações do estudo entre elas: primeiramente os tipos de metodologias de pegada de carbono utilizadas. Embora a ISO 14067 seja uma norma ISO e internacional, existem outras metodologias que podem levar a diferentes resultados e interpretações.

O inventário do ciclo de vida, em que foram utilizados alguns dados não adaptados ao contexto brasileiro. Adicionalmente, ficou de fora uma etapa importante, aquela relacionada aos processos de esterilização para prevenir a disseminação de espécies invasoras, tendo em vista que só foi considerada a produção e uso nacional.

O tipo de fim de vida considerado, que aqui se assumiu a incineração sem aproveitamento energético, que de acordo com os princípios da bioeconomia não é a mais recomendada, como apontam Jarre et al. (2020). Para esse tipo de destinação final sugere-se múltiplas reutilizações ou reciclagens antes da incineração, chamado de uso em cascata.

Finalmente, os dados utilizados nos inventários que para alguns casos não retratam o contexto brasileiro, mas o que também é uma prática comum nos estudos de pegada de carbono e ACV.

Não foram contabilizados também os impactos evitados (benefícios) relacionados ao fim de vida dos paletes que foram reutilizados, que contribuiriam para diminuir a pegada de carbono nos cenários de reutilização.

## 5. CONCLUSÕES

No presente estudo foi avaliada a pegada de carbono de um painel de paletes de madeira, considerando diferentes cenários. As variáveis analisadas foram: a origem dos paletes (reutilizados ou novos) e os períodos de vida útil (10, 20 e 40 anos). Foram empregadas duas metodologias: a da ISO 14067 (2014) e a do ILCD (2011), sendo o escopo estudado do berço ao túmulo.

Observou-se que a contabilização do carbono biogênico exerce grande influência nos resultados finais. A vida útil também tem influência importante, principalmente para metodologia do ILCD (2011). Quando os cenários são normalizados pela vida útil, o cenário de paletes reutilizados com 40 anos apresenta o mais vantajoso para ambas metodologias, chegando a uma pegada de carbono mínima de  $-15,09 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^2$  ou  $-0,38 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^2\text{.ano}$ , quando o carbono biogênico é contabilizado, na metodologia do ILCD (2011).

Este estudo discutiu a aplicação de diferentes abordagens metodológicas de pegada de carbono para a avaliação de biomateriais. Embora o foco tenha sido paletes de madeira, essas metodologias podem ser adaptadas a outros biomateriais, como produtos de madeira ou bambu. Constatou-se que diferentes metodologias levam a resultados com grandes diferenças. Cabe assim, para o estudo de biomateriais, deixar claro qual a metodologia foi utilizada, a transparência dos dados e os processos considerados.

O estudo traz como principal contribuição a apresentação de forma quantitativa que a reutilização de paletes tem um grande potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa. Os resultados variaram de  $-5,2$  a  $17,61 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^2$  entre os paletes reutilizados e novos, respectivamente (quando o carbono biogênico é contabilizado e considerando a vida útil do painel de 10 anos). Estes achados justificam a importância de se pensar em uma bioeconomia circular. Essa vantagem acontece devido a dois itens principais: a não contabilização dos impactos para a produção da madeira de pinus e do transporte entre a fábrica de produção e o lugar que o painel será produzido.

Sugere-se como pesquisas futuras a avaliação de como diferentes tipos de fim de vida dos paletes, como reciclagem e queima com aproveitamento energético, podem influenciar na pegada de carbono do painel. Para esses casos, as emissões evitadas e possíveis benefícios

deverão ser contabilizados. Adicionalmente, recomenda-se também o uso de um banco de dados mais adaptado ao contexto brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ARRIGONI, A.; PELOSATO, R.; MELIÀ, P.; RUGGIERI, G.; SABBADINI, S.; DOTELLI, G. Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 1051– 1061, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS (ABRAS). **CPP - Comitê permanente de paletização**. Especificação do palete padrão para distribuição nacional PBR – I. <http://www.abras.com.br/palete-pbr/fabricantes-credenciadas/>. Acesso em 20. abr. 2018.
- BAUNGARTEN, C.; MELLO, N. V. C.; ALMEIDA, J. S. **Casa Palete**. 1º Seminário de Construções Sustentáveis. Anais...Passo Fundo, RS, 2015.
- BENGTSSON, J, JAMES LOGIE, J. Life cycle assessment of one-way and pooled pallet alternatives. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 414 – 419, 2015.
- BORGES, P. H. R. et al. Estudo Comparativo da Análise de Ciclo de Vida de Concretos Geopoliméricos e de Concretos à Base de Cimento Portland Composto (CP II). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 153-168, abr./jun. 2014.
- BRANDÃO, M.; LEVASSEUR, A.; KIRSCHBAUM, M.; WEIDEMA, B.; COWIE, A.; JØRGENSEN, S., et al., Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, p. 230-240, 2013.
- BRE 2013. **Product category rules for type III environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012**, 2013, p. 36-37.
- CABEZA, L. et al. Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Energy Analysis (LCEA) of Buildings and the Building Sector: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 394-416, 2014.
- CALDAS, L. R. Uso de Paletes de Madeira no Design e Arquitetura: Avaliação de aspectos técnicos, de ensino e de mercado. In: **Anais...VII Encontro de Sustentabilidade de Projeto**, 2019, Florianópolis. VII ENSUS, 2019.
- CALDAS, L. R.; LINS, D. N.; SPOSTO, R. M. Avaliação

do ciclo de vida de pavimento de concreto drenante considerando diferentes unidades funcionais. **MIX Sustentável** Florianópolis, v.3, n.3, p.14-23, out./mar., 2017.

CALDAS, L. R.; PAIVA, R.; MARTINS, A.; TOLEDO FILHO, R. D. Argamassas de terra versus convencionais: avaliação do desempenho ambiental considerando o ciclo de vida. **MIX Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 115-128, ago. 2020

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO<sub>2</sub> referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 91108, out./dez. 2017.

CAMPOS, E. F.; PUNHAGUI, K. R. G.; JOHN, V. M. Emissão de CO<sub>2</sub> do Transporte da Madeira Nativa da Amazônia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 157-172, abr./jun. 2011.

DEMERTZI, M.; SIERRA-PÉREZ, J.; PAULO, J. A.; ARROJA, L.; DIAS, A. C. Environmental performance of expanded cork slab and granules through life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 294 – 302, 2017.

EC, 2012. Bioeconomy Strategy, “**Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe**”, COM(2012) 60 Final, Brussels, 2012.

EC. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) **Handbook – Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. First Edition November 2011. EUR 24571 EN. EC – European Commission. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2011.

ENGLER, R. C.; LACERDA, A. C.; GUIMARÃES, L. H. Análise do ciclo de vida dos paletes: estudo de caso demonstrando a importância do design para a sustentabilidade. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 12, n. 2, p. 41-52. 2017.

ESCAMILLA, E. Z.; HABERT, G.; WOHLMUTH, E. When CO<sub>2</sub> counts: Sustainability assessment industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines. **Building Environment**, v. 103, p. 44 – 53, 2016.

FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH (BMBF). **Bioeconomy in Germany**. Berlin, Germany, 2015.

GARCIA, R.; FREIRE, F. Carbon footprint of particle-board: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 199 – 209, 20104.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2017**. Brasil, 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: the physical science basis, contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: Environmental Management: life cycle assessment: principles and framework. Geneva, 2006.

IP, K.; MILLER, A. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 1-9, 2012.

ISLAM, H.; ZHANG, G.; SETUNGE, Z.; BHUIYAN, M. Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 673 – 685, 2016.

ISLAM, H.; ZHANG, G.; SETUNGE, Z.; BHUIYAN, M. Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 673 – 685, 2016.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14067**: Greenhouse gases – carbon footprint of products – requirements and guidelines for quantification and communication. Geneva, 2014.

JARRE, M.; PETIT-BOIX, A.; PRIEFER, C.; MEYER, R.; LEIPOLD, S. 2020. Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading? **Forest Policy Economy**, v. 110, 2020.

MINGUET, J. M. **Building with Pallets**: Pallet Project. Espanha: Monza, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Normas internacionais para medidas fitossanitárias Revisão da NIMF Nº 15**. Regulamentação de material de embalagem de madeira no comércio internacional. 2010. Disponível em: <[https://www.ipcc.int/largefiles/NIMF\\_15\\_2009\\_PTFINAL\\_0.pdf](https://www.ipcc.int/largefiles/NIMF_15_2009_PTFINAL_0.pdf)> Acesso em 29. Set. 2020.

PACHECO-TORGAL, Fernando et al. **Eco-efficient construction and building materials: life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies**. Woodhead Publishing, 2014.

PASSUELLO, A. C. B. et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na Análise de Impactos Ambientais de Materiais de Construção Inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos.

**Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014.

PAWELZIK, P.; CARUS, M.; HOTCHKISS, J.; NARAYAN, R.; SELKE, S.; WELLISCH, M.; WEISS, M.; WICKE, B.; PATEL, M. K. Critical aspects in the life cycle assessment (LCA) of bio-based materials – Reviewing methodologies and deriving recommendations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 73, p. 211-228, 2013.

PITTAU, F.; KRAUSE, F.; LUMIA, G.; HABERT, G. Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. **Building and Environment**, v. 129, p. 117-129, 2018.

PRETOT, S.; COLLET, C.; GARNIER, C. Life cycle assessment of a hemp concrete wall: Impact of thickness and coating. **Journal of Cleaner Production**. v. 72, p. 223 – 231, 2014.

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das Emissões de Dióxido de Carbono das Matérias Primas do Concreto Produzido na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. v. 16, n. 2, p. 35-49, abr./jun. 2016.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; MONFORTI-FERRARIO, F.; NITA, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts, **Environmental Development**. v.15, 2015, p.3-34

SILVESTRE, J. D.; PARGANA, N.; BRITO, J.; PINHEIRO, M. Insulation Cork Boards—Environmental Life Cycle Assessment of an Organic **Construction Material**. **Materials**, v. 9, n. 394, p. 1-16, 2016.

SOUZA, Danielle Maia, et al. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal of Cleaner Production**, v.137, n. 20, p. 70-82, nov.2016.

TORNESE, F.; CARRANO, A. L.; THORN, B. K.; PAZOUR, J. A.; ROY, D. Carbon footprint analysis of pallet remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 630-542. 2016.

## AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3108-2833>

**LUCAS ROSSE CALDAS, Dr.** | Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU UFRJ) | Rio de Janeiro, RJ - Brasil | Correspondência para: Prédio da Reitoria/FAU, Av. Pedro Calmon, 550 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-485 | E-mail: [lucas.caldas@fau.ufrj.br](mailto:lucas.caldas@fau.ufrj.br)

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

CALDAS, Lucas Rosse. Bioeconomia Circular E Mudanças Climáticas: Avaliação Da Pegada De Carbono De Paletes De Madeira Reutilizados. **MIX Sustentável, [S.l.]**, v. 7, n. 2, p. 27-40, abr. 2021. ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.27-40>.

**DATA DE ENVIO:** 02/04/2020

**DATA DE ACEITE:** 29/09/2020

