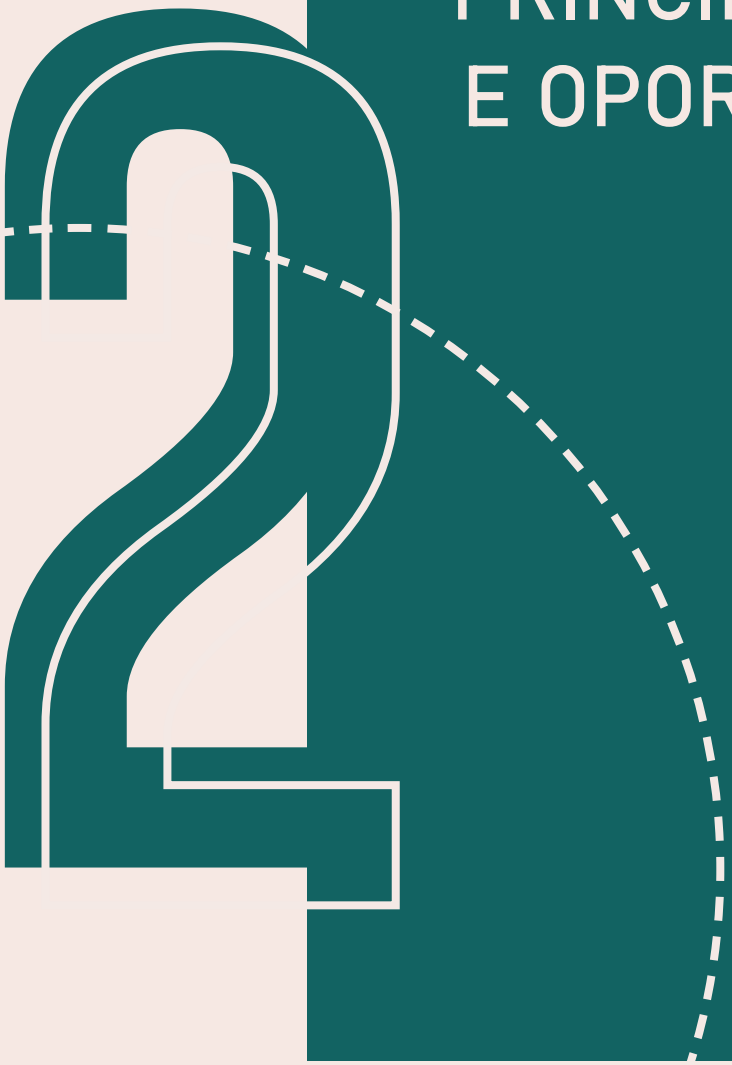
ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS ENGENHEIRADOS DE MADEIRA: IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS *HOTSPOTS* E OPORTUNIDADES DE MELHORIA



CALDAS, Lucas Rosse
(lucas.caldas@fau.ufrj.br)
PROARQ/FAU/ UFRJ, Brasil

PEÇANHA, Rafaelle Saraiva
(rafaelle.pecanha@fau.ufrj.br)
PROARQ/FAU/ UFRJ, Brasil

SIMAS, Maria Gomes
(maria.gsimas@fau.ufrj.br)
PROARQ/FAU/ UFRJ, Brasil

SILVOSO, Marcos Martinez
(silvoso@fau.ufrj.br)
PROARQ/FAU/ UFRJ, Brasil

PALAVRAS-CHAVE

ACV, inventário, estrutura, madeira laminada colada, madeira compensada.

RESUMO

A madeira como material de construção tem ganhado cada vez mais destaque no cenário internacional devido principalmente à questão das mudanças climáticas e por se apresentar como uma alternativa para uma produção mais sustentável. É um material renovável e capaz de sequestrar e estocar dióxido de carbono (CO_2), o principal gás de efeito estufa. Dentre os produtos de madeira existentes no mercado, aqueles chamados de engenheirados têm sido os mais utilizados em projetos de edificações de multipavimentos, devido à maior possibilidade e diversidade de aplicação (estruturas, fechamentos, revestimentos etc.). Neste contexto, esta pesquisa tem o objetivo de avaliar o desempenho ambiental de diferentes produtos engenheirados de madeira que podem ser utilizados como elementos estruturais em edificações, disponíveis no banco de dados do Ecoinvent v. 3.7.1: (1) madeira laminada colada, (2) viga de madeira engenheirada, e (3) madeira compensada (plywood). Como referência, foi utilizada a viga de madeira serrada. A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi empregada com um escopo do berço ao portão, utilizando o software SimaPro. Foram identificados em quais etapas produtivas os impactos ambientais destes produtos estão concentrados (*hotspots*) e como eles variam de acordo com as nacionalidades disponíveis no Ecoinvent. Ao final, os inventários dos produtos escolhidos e outros adicionais foram adaptados ao contexto brasileiro, em termos da matriz de energia elétrica, transporte e atividade florestal (plantação e obtenção da madeira). Foi possível identificar as principais oportunidades e desafios ambientais para a produção destes materiais caso eles fossem confeccionados no Brasil. Esta pesquisa contribui para a disponibilização de informações ambientais de produtos de madeira, que podem auxiliar a impulsionar uma cadeia produtiva de maior escala no Brasil e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) traz consigo benefícios, como a geração de empregos, corroborando para o desenvolvimento econômico e social do país. Entretanto, esse setor é um agente central no consumo de materiais e resulta em uma expressiva quantidade de resíduos, sejam eles líquidos, sólidos ou gasosos. É responsável por cerca de 36% do consumo de energia e 40% das emissões globais de dióxido de carbono (CO_2), quando a produção dos materiais é contabilizada (UNEP, 2019).

Diante dos desafios postos pelo aquecimento global e o papel da construção civil neste impacto, dedica-se cada vez mais pesquisas e desenvolvimento de materiais mais sustentáveis, como os biomateriais, materiais naturais ou resíduos, seja por suas origens recicladas, e pelo fato de serem recursos renováveis e de grande disponibilidade. Dentre os biomateriais, a madeira engenheirada é um que vem ganhando visibilidade, por sua versatilidade, desempenho estrutural e, pelo ponto de vista do aquecimento global, principalmente por sequestrar e estocar CO_2. Esse produto passa por um processo industrial para diminuir suas deformidades e torná-la mais resistente, aprimorando seu desempenho.

Tendo em vista que o Brasil possui um alto índice de florestas plantadas, principalmente pinus e eucalipto, totalizando, aproximadamente, 9 milhões de hectares (IBÁ, 2020), torna-se possível considerar que o uso da madeira na construção civil seja viável. Além disso, esse produto pode possuir um balanço negativo de CO_2, ou seja, a quantidade de CO_2 absorvido e estocado (processo que ocorre na floresta durante o crescimento das árvores) é superior às emissões para a sua produção (D'AMICO *et al.*, 2021).

Entretanto, como o uso em grande escala desse material é recente no mercado brasileiro, existem lacunas relacionadas aos Impactos Ambientais (IA) para a manufatura de produtos de madeira engenheirada. Saber os IA desses itens pode ser uma forma de competitividade em relação àqueles convencionalmente utilizados e possibilitar que estratégias sejam traçadas para a redução dos IA em sua fabricação.

Nessa perspectiva, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia frequentemente utilizada para avaliar os potenciais IA de produtos, processos ou serviços, inclusive adotada para avaliação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no ciclo de vida de produtos de madeira engenheirada (DIAS *et al.*, 2020). Outros IA desta avaliação são a energia incorporada, toxicidade, acidificação, eutrofização, entre outros.

Em vista disso, é crescente o número de pesquisas voltadas para a mitigação dos IA em edificações. Porém, grande parte aborda questões relacionadas à etapa operacional da edificação, como estratégias para diminuir o uso de condicionamento de ar, deixando de lado o estágio de produção dos materiais e construção, no qual materiais renováveis podem ser grandes aliados.

A avaliação dos IA na fabricação de produtos de madeira engenheirada, com o uso da ACV, tem sido observada na literatura científica. Dias *et al.* (2020) compararam o desempenho ambiental e estrutural de produtos maciços e colados-laminados de

madeira com base em Declarações Ambientais de Produtos (DAPs). Os autores propuseram uma metodologia para a comparação do desempenho ambiental de produtos de madeira com base em suas classes de resistência. Foi verificado a falta de informações sobre o desempenho estrutural dos produtos avaliados nas DAPs e que os produtos de madeira colada laminada apresentaram maiores impactos que a madeira maciça, para uma mesma unidade de desempenho estrutural. Alguns estudos (HART *et al.*, 2021) compararam o impacto de mudanças climáticas entre estruturas de concreto, aço e madeira e verificaram que o último tende a ser o sistema estrutural de menor emissão de GEE, porém dependerá do fim de vida dado à estrutura de madeira. Caldas *et al.* (2021) compararam os IA de diferentes inventários de madeira laminada cruzada (CLT) e verificaram que a obtenção da madeira, consumo de eletricidade e produção do adesivo são as atividades mais impactantes. D'Amico *et al.* (2021) avaliaram com foco no uso global de CLT para substituir pisos de concreto em sistemas estruturais de aço e verificaram uma economia média de 50 MtCO2-eq no caso de absorção total do sistema de construção híbrido até 2050.

Foi possível observar na literatura pesquisada o crescente interesse por entender os IA de produtos de madeira, especialmente o de mudanças climáticas. Quando comparada com outros sistemas estruturais, a madeira tende a ser mais vantajosa, dependendo do tipo e espécie de madeira e fim de vida dado à estrutura. Quando se trata da madeira engenheirada, o consumo de eletricidade e a produção da resina utilizada para a colagem das peças tendem a ser as atividades de maior impacto, e, portanto, merecem atenção especial. Nenhum estudo que comparasse diferentes produtos de madeira engenheirada e tivesse foco no banco de dados do Ecoinvent foi encontrado. Desta forma, esta análise avança nesta lacuna do conhecimento.

A partir deste contexto, o presente artigo traz um levantamento de dados de ciclo de vida sobre os seguintes produtos de madeira engenheirada: (1) madeira laminada colada, (2) viga de madeira engenheirada e (3) madeira compensada. Como referência, foi utilizada a viga de madeira serrada. Posteriormente, esses materiais são comparados com outros produtos de madeira, em termos de suas emissões de GEE e energia incorporadas. Todos os dados estão disponíveis no banco de dados do Ecoinvent v.3.7.1. Serão identificados em quais etapas e atividades os IA estão concentrados (*hotspots*) e, assim, será possível pensar em estratégias para redução deles no processo produtivo dos produtos avaliados.

2. METODOLOGIA

A metodologia foi organizada nas seguintes etapas, apresentadas na Figura 1.



Figura 1. Etapas seguidas na pesquisa.

Assim, é necessário entender as principais etapas de um estudo de ACV, conforme a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009): (1) Definição do objetivo e escopo, (2) Análise do inventário do ciclo de vida e (3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Estas etapas são apresentadas a seguir.

2.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

O objetivo deste estudo foi avaliar potenciais IA de diferentes produtos de madeira engenheirada. Esses produtos foram comparados com a madeira serrada. O escopo considerado se restringiu às seguintes etapas do ciclo de vida, conforme a organização da EN 15804 (CEN, 2019): (A1) extração das matérias primas, (A2) transporte e (A3) produção na indústria.

2.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Como o foco da pesquisa é o estudo de produtos engenheirados de madeira, foram selecionados alguns produtos disponíveis no banco de dados do Ecoinvent v.3.7.1, conforme apresentado na Tabela 1, que podem ser utilizados como elementos estruturais nas edificações. Como forma de comparação escolheu-se a madeira serrada (que não é uma madeira engenheirada), a fim de saber como o beneficiamento da madeira engenheirada influencia em termos de IA.

Produtos	**Conjunto de dados do Ecoinvent v. 3.7.1**
Madeira laminada colada para uso externo - Europa {RER} e Resto do Mundo {RoW}	*Glued laminated timber, for outdoor use, production, {RER} e {RoW}*
Viga de madeira engenheirada – Canadá – Quebec {*CA-QC* } e Resto do Mundo {RoW}	*Joist, engineered wood, engineered wood joist production, {CA-QC} e {RoW}*
Chapa de partículas orientadas - Canadá – Quebec {*CA-QC*}, Europa {RER} e Resto do Mundo {RoW}	*Oriented strand board production, {CA-QC}, {RER} e {RoW}*
Viga de madeira serrada e planificada seca em forno - Canadá – Quebec {*CA-QC*}, Suíça {CH}	*Sawnwood, beam, softwood, dried (u=20%), planed planing, beam, softwood, u=20%, {CA-QC} e {CH}|*

Tabela 1. Produtos avaliados na pesquisa e conjunto de dados do Ecoinvent.

2.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

Para a etapa de AICV foi escolhido o método da EN 15804:2019. Este método foi optado pelo fato da norma EN 15804:2019 ser específica sobre ACV de produtos da construção civil e por ser normalmente utilizada em diferentes pesquisas internacionais (DURÃO *et al.*, 2020). As seguintes categorias de impacto foram avaliadas: (1) Depleção da camada de ozônio, (2) Radiação ionizante, (3) Formação de ozônio fotoquímico, (4) Material particulado, (5) Toxicidade humana, não-cancerígena,

(6) Toxicidade humana, cancerígena, (7) Acidificação, (8) Eutrofização, água fresca, (9) Uso do solo, (10) Uso da água, (11) Uso de recursos fósseis, (12) Uso de recursos minerais e metais, (13) Mudança climática – fóssil.

Foi utilizado o software de ACV SimaPro em sua versão 9.1.1.7, que contém os produtos avaliados e o método de AICV escolhido.

2.4 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE E ENERGIA INCORPORADAS DE PRODUTOS DE MADEIRA

Como análise complementar, foram comparadas as emissões de GEE e energia incorporadas de outros produtos de madeira: (1) madeira laminada cruzada (*cross-laminated timber {RoW}*), (2) Compensado (*Plywood, for outdoor use {RoW}*), (3) Aglomerado (*Particle board, for indoor use {BR}*), (4) Chapa de MDF (*Medium density fibreboard {RoW}*), (5) Revestimento (*Wood cladding, softwood {CA-QC}*), (6) Janela (*Window frame, wood, U=1.5 W/m2K {RoW}*), (7) porta (*Door, inner, wood {RoW}*), com base no inventário disponível do Ecoinvent. Os conjuntos de dados foram adaptados ao contexto brasileiro, em termos da matriz de energia elétrica, transporte e atividade florestal, plantação e obtenção da madeira (roliça), com base no estudo de Ferro *et al.* (2018). Os indicadores de emissões de GEE e energia incorporadas foram escolhidos por serem aqueles que tem recebido maior atenção nas pesquisas e interesse do setor (CALDAS *et al.*, 2021; UNEP, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados considerando as atividades *hotspots* (com contribuição igual ou maior que 30%) dos produtos avaliados estão apresentados nas Figuras 2, 3 e 4. Na Tabela 2 são elencados os principais *hotsposts* para cada categoria de impacto avaliada, com a identificação das atividades mais impactantes à montante em cada número (1) a (6).

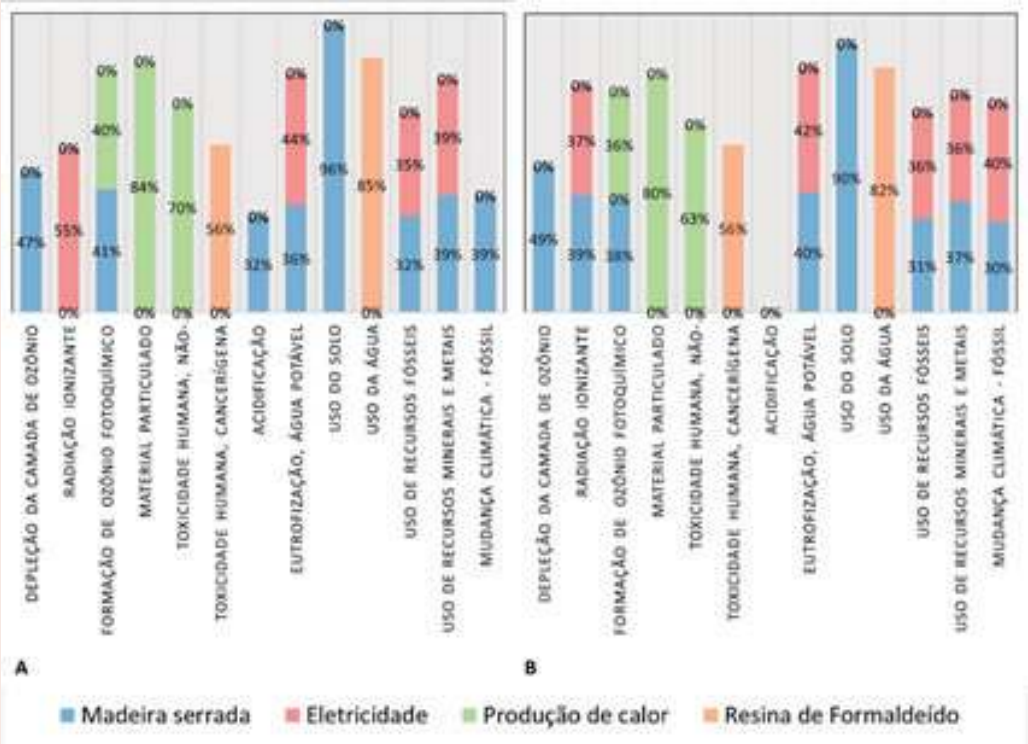


Figura 2. Madeira laminada colada para uso externo. (A) Europa {RER}. (B) Resto do Mundo {RoW}

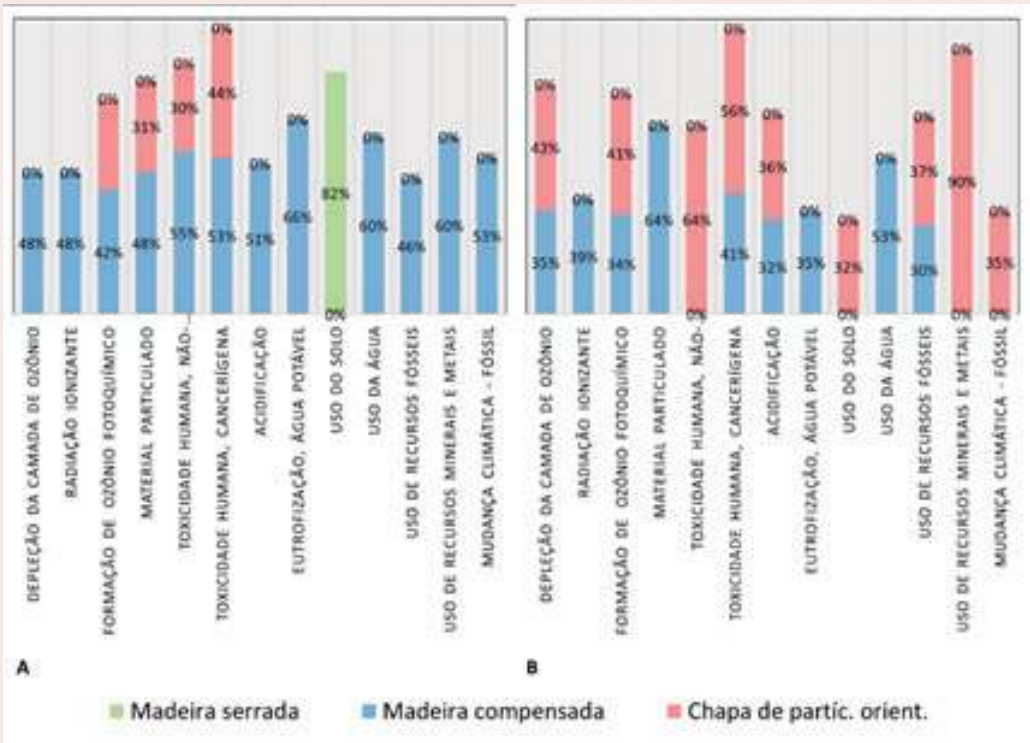


Figura 3. Viga de madeira engenheirada. (A) Canadá-Quebec {CA-QC}. (B) Resto do Mundo {RoW}

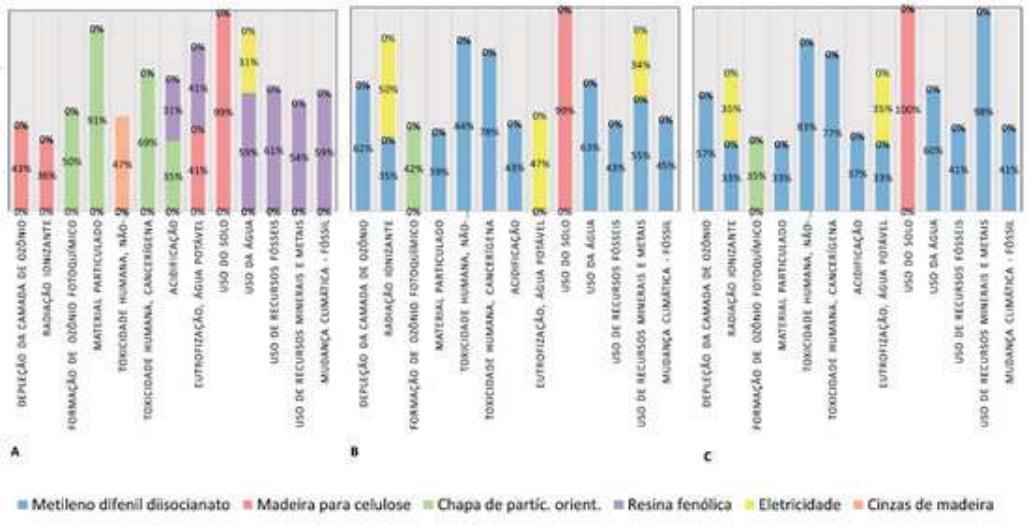


Figura 4. Chapa de partículas orientadas. (A) Canadá-Quebec {CA-QC}. (B) Europa {RER}. (C) Resto do Mundo {RoW}.

Categorias de impacto	*Hotspots*	**Causa à montante**
Depleção da camada de ozônio	(1) Madeira serrada, (2) Madeira compensada, (3) Chapa de OSB (4) Madeira para celulose, (5) Metileno difenil	(1) Processo de serragem da madeira, (2) Resina de ureia formaldeído (3) Produção do Metileno difenil, (4) transporte, (5) Produção de fosgênio e hidróxido de sódio
Radiação ionizante	(1) Eletricidade, (2) Madeira serrada, (3) Madeira compensada, (4) Madeira para celulose, (5) Metileno difenil	(1) Tratamento de resíduo nucelar. (2) Processo de serragem da madeira, (3) Eletricidade (RNA) e transporte da madeira serrada, (4) transporte, (5) Produção de fosgênio
Formação de ozônio fotoquímico	(1) Madeira serrada, (2) Geração de calor, (3) Madeira compensada, (4) Chapa OSB	(1) Serragem da madeira, (2) Queima de cavacos de madeira, (3) Calor a partir de cavacos de madeira, (4) Produção do Metileno difenil e polpa de madeira
Material particulado	(1) Geração de calor, (2) Madeira compensada, (3) Chapa OSB, (4) Metileno difenil	(1) Queima de cavacos de madeira, (2) Calor a partir de cavacos de madeira, (3) Produção do Metileno difenil, (4) Produção de nitrobenzeno
Toxicidade humana, não-cancerígena	(1) Geração de calor, (2) Madeira compensada, (3) Chapa de OSB, (4) Cinzas de madeira, (5) Metileno difenil	(1) Queima de cavacos de madeira, (2) Calor a partir de cavacos de madeira, (3) Produção do Metileno difenil, (4) Não identificado, (5) Produção de fosgênio
Toxicidade humana, cancerígena	(1) Resina de formaldeído, (2) Madeira compensada, (3) Chapa OSB, (4) Metileno difenil	(1) Não identificado, (2) Resina de ureia formaldeído, (3) Produção do Metileno difenil, (4) Produção de nitrobenzeno

Continua...

...continuação

Categorias de impacto	*Hotspots*	**Causa à montante**
Acidificação	(1) Madeira serrada, (2) Madeira compensada, (3) Chapa de OSB, (4) Resina fenólica, (5) Metileno difenil	(1) Processo de serragem da madeira, (2) Resina de ureia formaldeído e calor a partir de cavacos de madeira, (3) Produção do Metileno difenil, (4) Produção de fenol (cumeno – benzeno), (5) Produção de nitrobenzeno
Eutrofização, água doce	(1) Madeira serrada, (2) Eletricidade, (3) Madeira compensada, (4) Madeira para celulose, (5) Metileno difenil	(1) Processo de serragem da madeira, (2) Tratamento dos resíduos de mineração de lignito, (3) Corte da madeira serrada, (4) efluente gerado no processamento, (5) Produção de nitrobenzeno
Uso do solo	(1) Madeira serrada, (2) Chapa de OSB, (3) Madeira para celulose	(1) Processo de serragem da madeira, (2) Produção de madeira para celulose, (3) uso da terra para produção da madeira
Uso de água	(1) Resina de formaldeído, (2) Madeira compensada, (3) Resina fenólica, (4) Eletricidade, (5) Metileno difenil	(1) Produção de melamina (produção de ureia), (2) Resina de ureia formaldeído, (3) Produção de fenol (cumeno – benzeno), (4) Não identificado, (5) Produção de nitrobenzeno
Uso de recursos fósseis	(1) Madeira serrada, (2) Eletricidade, (3) Madeira compensada, (4) Chapa de OSB, (5) Resina fenólica, (6) Metileno difenil	(1) Processo de serragem da madeira, (2) Não identificado, (3) Resina de ureia formaldeído, (4) Produção do Metileno difenil, (5) Produção de fenol (cumeno – benzeno), (6) Produção do nitrobenzeno
Uso de recursos minerais e metais	(1) Madeira serrada**,** (2) Eletricidade, (3) Madeira compensada, (4) Chapa de OSB, (5) Resina fenólica, (6) Metileno difenil	(1) Processo de serragem, (2) Operação de mina de zinco, (3) Resina de ureia formaldeído, (4) Produção do Metileno difenil, (5) Produção de fenol – uso de zinco, (6) Produção de nitrobenzeno – produção de ácido sulfúrico – consumo de cinco.
Mudança climática - fóssil	(1) Madeira serrada, (2) Eletricidade (3) Madeira compensada, (4) Chapa de OSB, (5) Resina fenólica, (6) Metileno difenil	(1) Processo de serragem, (2) Geração de energia a partir de carvão, (3) Resina de ureia formaldeído e eletricidade (RNA), (4) Produção do Metileno difenil e eletricidade, (5) Produção de fenol (cumeno – benzeno), (6) Produção de nitrobenzeno

Tabela 2. Resumo das principais categorias de impacto e *hotspots.*

A partir dos produtos estudados foi possível constatar os seguintes *hotspots* e causas à montante e a relação com as categorias de impacto avaliadas:

A madeira serrada tem seus impactos principalmente relacionados ao processo de corte (serragem) da madeira, que depende dos equipamentos e fontes utilizados neste processo;

A madeira compensada tem seus impactos originados especialmente a partir da produção da resina de ureia formaldeído, que é um processo que apareceu na maioria das categorias de impacto. Isto se dá devido ao seu processo, que é energo-intensivo, e a composição química de alguns de componentes que possuem elevada toxicidade;

As chapas de OSB tem seus impactos majoritariamente oriundos da produção de metileno difenil, que, por sua vez, tem seus impactos originados a partir, sobretudo , da produção de nitrobenzeno e fosgênio;

A geração de calor tem seus impactos como consequência da queima de cavacos de madeira (fonte energética considerada nos inventários) que libera principalmente material particulado e monóxido de carbono. Esta atividade foi relevante para impactos associados à presença desses materiais, entre eles: "Formação de ozônio fotoquímico", "Material particulado" e "Toxicidade humana – não cancerígena".

A eletricidade varia de acordo com o país considerado. Em grande parte dos produtos avaliados foi utilizado o dado do Canadá, não aparecendo nos impactos quando esse país é utilizado, a não ser para a produção de chapa de partículas orientadas para a categoria de "Uso de Água". No entanto, não foi possível identificar o motivo que leva a isso. Por outro lado, para o conjunto de países europeus {RER}, a Alemanha tem uma influência para as categorias de "Eutrofização", devido ao tratamento dos resíduos de mineração, e no "Uso de recursos minerais e metais", devido à mineração de zinco para o processo de dessulfurização. A França tem influência para a categoria de "Radiação Ionizante" como consequência do tratamento dos resíduos nucleares. Para o conjunto de países do resto do mundo {RoW}, a eletricidade teve uma influência considerável para o impacto de "Mudanças Climáticas" devido à participação da matriz chinesa que possui elevada parcela vinda de carvão mineral.

De forma geral, notou-se que as atividades mais impactantes no processo produtivo dos produtos de madeira engenheirada avaliados são os adesivos, que, de acordo com os dados do Ecoinvent, são majoritariamente produtos químicos orgânicos (como o formaldeído) e o processo de obtenção da madeira. Estes achados vão ao encontro da literatura científica (CALDAS *et al.*, 2021; GONZÁLEZ-GARCIA *et al.*, 2019). González-García *et al.* (2019) realizaram um estudo de ACV para chapas de particulados no Brasil e constataram que as atividades mais impactantes eram: óleo combustível e madeira virgem como fonte de energia e matéria-prima, respectivamente, bem como emissões de formaldeído.

Sendo assim, uma sugestão para a redução dos IA destes produtos seria o uso de adesivos à base de produtos biológicos e com menor grau de toxidade. O calor utilizado tem seu impacto relacionado à fonte empregada. Embora seja interessante aproveitar resíduos de madeira gerados na própria indústria como fonte de calor, alguns impactos, essencialmente os relacionados à saúde humana, podem aumentar (*trade-off*). A eletricidade tem um impacto que também depende da fonte de geração. Desta forma, uma solução interessante pode ser a produção a partir de geração distribuída com fontes renováveis, como a solar fotovoltaica. Quando a viga de madeira serrada e planificada seca em forno é avaliada, percebe-se que para todas as categorias de impacto a atividade de secagem no forno é a mais sig-

nificativa. Com base nos achados desta pesquisa, é possível pensar em estratégias de mitigação dos IA fundamentadas na Gestão do Ciclo de Vida (GCV).

Na Figura 4 é apresentada uma comparação das emissões de GEE e energia incorporadas dos produtos avaliados (marcados em vermelho) em comparação com outros produtos de madeira, utilizando dados do Ecoinvent, adaptados ao contexto brasileiro.

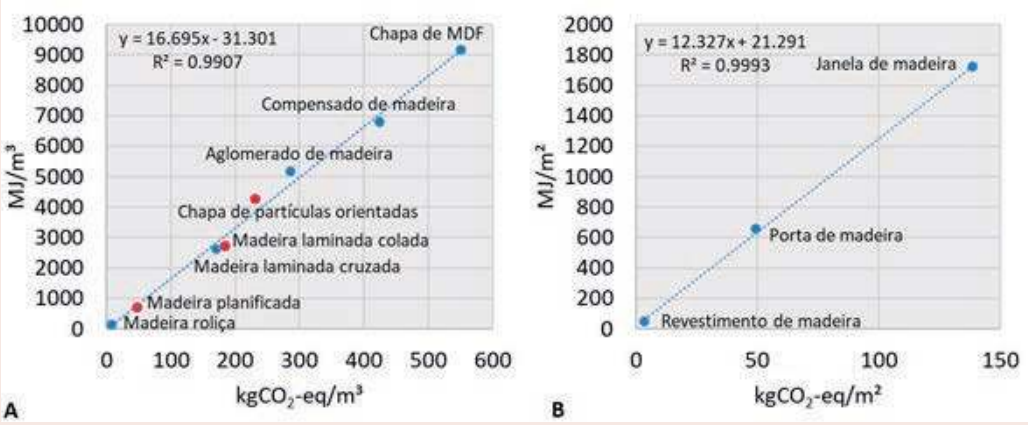


Figura 5. Comparação indicadores de emissões de GEE e energia incorporadas de produtos de madeira. (A) Unidade volumétrica (em m^3). (B) Unidade área (m^2).

Este tipo de comparação é importante para se começar a ter valores de referência (*benchmarks*), que poderão ser utilizados como dados de entrada iniciais para projetos ou ferramentas de avaliação do desempenho ambiental no país. Os indicadores de emissões de GEE e energia incorporadas foram escolhidos por serem aqueles que tem recebido maior atenção dos projetistas e verifica-se um alto nível de correlação entre os dois indicadores, indicando que grande parte das emissões de GEE são originados do consumo e queima de combustíveis fósseis. Verifica-se que produtos menos industrializados como a madeira roliça e planificada e revestimento de madeira possuem valores muito menores, com uma diferença de até duas ordens de grandeza dos mais industrializados como por exemplo, o compensado de madeira, chapa de MDF e a janela de madeira.

É importante ressaltar que para o caso das emissões de GEE não foi contabilizado o carbono biogênico (biológico) que é originado do processo de fotossíntese das árvores. A sua consideração como uma emissão negativa (considerando que ele é absorvido e estocado na madeira) mudaria completamente os resultados, podendo em alguns casos resultar em emissões negativas. A sua consideração nos estudos de ACV ainda é um tema de grande debate e discussão na literatura científica, pois tem uma relação direta do tempo que este carbono fica armazenado e tipo de fim de vida do material (HOXHA *et al.*, 2020).

4. CONCLUSÕES

Este estudo contribui por apresentar os potenciais impactos ambientais e oportunidades que produtos engenheirados de madeira podem ter durante sua produção, sendo informações valiosas para a busca de uma maior sustentabilidade ambiental e melhoria dos processos. O método utilizado nesta pesquisa para identificar os *hotspots* pode ser empregado para a avaliação de outros materiais do Ecoinvent (ou outro banco de dados). Ainda, este trabalho pode ser particularmente útil para aqueles que estão começando a estudar algum novo material ou grupo de materiais a partir da metodologia de ACV, especialmente se for levado em consideração que o Ecoinvent é o banco de dados mais empregado à nível científico para se estudar produtos da indústria da AEC. Os indicadores de emissão de GEE e energia incorporada dos produtos apresentados podem servir como dados de entrada iniciais para ferramentas de avaliação do desempenho ambiental da construção no Brasil.

É importante ressaltar que o presente trabalho é uma parte inicial de uma pesquisa maior, onde se pretende obter dados primários de alguns dos produtos aqui avaliados. Como estudos futuros, seria interessante, além da coleta dos dados primários, avaliar outros produtos de madeira engenheirada e indicadores, além das emissões de GEE e energia, o carbono biogênico e verificar se as atividades e *hotspots* identificados como críticos estão disponíveis em indústrias brasileiras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT ISO 1404. (2009). Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro.

Caldas, L.R.; Sierra-Pérez, J.; Filho, R.D.T.; Silvoso, M.M. (2021). Evaluation of GHG Emissions From the Production of Cross-Laminated Timber (CLT): Analysis of Different Life Cycle Inventories, in: 4th International Conference on Bio-Based Building Materials. Barcelona, pp. 613–618.

D'Amico, B.; Pomponi, F.; Hart, J. (2021). Global potential for material substitution in building construction: The case of cross laminated timber. J. Clean. Prod. 279, 123487.

Dias, A.M.A.; Dias, A.M.P.G.; Silvestre, J.D.; Brito, J. de. (2020). Comparison of the environmental and structural performance of solid and glued laminated timber products based on EPDs. Structures 26, 128–138.

Durão, V.; Silvestre, J.D.; Mateus, R.; de Brito, J. (2020). Assessment and communication of the environmental performance of construction products in Europe: Comparison between PEF and EN 15804 compliant EPD schemes. Resour. Conserv. Recycl. 156, 104703.

Ferro, F. F.; Silva, D. A. L.; Icimoto, F.H.; Lahr, F. A. R.; Moreira, M. T. González-García, S. (2018). Environmental Life Cycle Assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests. Science of The Total Environment. 640, 599-608.

González-García, S.; Ferro, F. F.; Silva, D. A. L.; Feijoo, G.; Lahr, F. A. R.; Moreira, M. T. (2019). Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. Resources, Conservation and Recycling. 150, 104434.

Hart, J.; D'Amico, B.; Pomponi, F. (2021). Whole-life embodied carbon in multistory buildings: Steel, concrete and timber structures. J. Ind. Ecol. 25, 403–418. https://doi.org/10.1111/jiec.13139

Hoxha, E.; Passer, A.; Saade, M.R.M.; Trigaux, D.; Shuttleworth, A.; Pittau, F.; Allacker, K.; Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. Build. Cities 1, 504–524. https://doi.org/10.5334/bc.46

UNEP (2019). Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector.