



AValiação DO CICLO DE VIDA DO CONCRETO COMPOSTO POR FIBRAS NATURAIS DE COCO E CÂNHAMO

BRENDA GILLIAN PEREIRA- bgpereira@estudante.ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR- Sorocaba - PPGPUR-So

LILIANE RODRIGUES DE CAMARGO - lrcamargo@yahoo.com.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR- Sorocaba

ANA CAROLINA GODOY ALBINO – carolinagodoyalbino@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCAR- Sorocaba - PPGPUR-So

DIOGO APARECIDO LOPES SILVA – diogo.apls@ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar – Sorocaba-DEP-So

ÁREA: 9. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: 9.3 GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS E ENERGÉTICOS

RESUMO: A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL CONSOME MUITOS RECURSOS NATURAIS E ENERGIA. PORTANTO, O OBJETIVO DESSE ARTIGO É REALIZAR A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO CONCRETO COM FIBRA DE COCO E CÂNHAMO PARA COMPARAR COM A PRODUÇÃO TRADICIONAL, A FIM DE VERIFICAR ALTERNATIVAS MAIS SUSTENTÁVEIS PARA ESSE SEGUIMENTO. O ESTUDO FOI FEITO ATRÁVES DO SOFTWARE OPENLCA, FOI UTILIZADA A BASE DE DADOS ABERTA FORNECIDA PELA NEXUS E O MÉTODO APLICADO PARA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS FOI O CML 4.8 2016. OS RESULTADOS INDICARAM QUE O CONCRETO COM FIBRAS DE CÂNHAMO APRESENTOU MAIORES IMPACTOS EM MUDANÇA CLIMÁTICA, ECOTOXICIDADE MARINHA, ÁGUA E TERRESTRE, USO DE RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS, EUTROFIZAÇÃO, RECURSOS MINERAIS E DEPLEÇÃO DE OZÔNIO EM COMPARAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL. O CONCRETO COM FIBRAS DE COCO TAMBÉM MOSTROU IMPACTOS ELEVADOS NESSAS CATEGORIAS, DIFERIU SOMENTE NA REDUÇÃO DE 10% NO IMPACTO DE EUTROFIZAÇÃO EM RELAÇÃO AO CONCRETO COM FIBRAS DE CÂNHAMO. ESTE FATO EVIDENCIA QUE NÃO É CONCLUSIVO QUAL CULTURA É SUPERIOR, MAS DESTACA-SE COMO UMA ALTERNATIVA DE UTILIZAÇÃO DE UM PRODUTO DESCARTADO NA NATUREZA PARA AUMENTAR A RESISTÊNCIA DO CONCRETO.

PALAVRAS-CHAVES: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA; CONSTRUÇÃO CIVIL; BIOCOMPÓSITOS; MATERIAIS RENOVÁVEIS; SUSTENTABILIDADE.

1. INTRODUÇÃO

Em um panorama geral, o cimento, principal componente do concreto, é um dos produtos mais consumidos no mundo. Devido à alta demanda global, impulsionada pelo crescimento populacional e pela urbanização, o consumo de cimento foi de aproximadamente 4.286 milhões de toneladas em 2022. No Brasil, nesse mesmo ano, as vendas de cimento foram de 63 milhões de toneladas. Esse setor é, internacionalmente, um dos maiores emissores industriais do mundo, essas emissões ocorrem na calcinação das matérias-primas (CO_2) e na queima de combustíveis necessária para realizar essa calcinação, há também a emissão de SO_2 no transporte desses materiais, responsável pela acidificação (SNIC, 2022; MARINKOVIĆ, 2013).

O uso de fibras vegetais em compósitos, como coco e cânhamo, está crescendo devido a vantagens como disponibilidade, renovabilidade, menor peso, maior resistência e rigidez específica, biodegradabilidade e baixo custo. No entanto, essas fibras naturais têm limitações, como propriedades mecânicas inferiores às sintéticas e sensibilidade à umidade, afetando a tolerância do material (DA LUZ; DE SOUSA, 2018).

Para assegurar a sustentabilidade desses novos materiais, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta essencial, ela oferece uma análise abrangente dos impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até a disposição final, identificando os pontos críticos que causam maior impacto ambiental (DAS *et al.*, 2022).

No contexto dos biocompósitos, a ACV revela como o uso de materiais renováveis e biodegradáveis pode reduzir emissões de gases de efeito estufa, diminuir o consumo de energia e minimizar a geração de resíduos. Além disso, a ACV permite comparar a performance ambiental dos biocompósitos com materiais tradicionais, fornecendo dados valiosos para políticas de sustentabilidade e inovação (FITZGERALD *et al.*, 2021; AHMAD *et al.*, 2022). Na construção civil, a ACV promove práticas alinhadas com a economia circular e bioeconomia, incentivando o uso de recursos locais e renováveis, reduzindo a pegada de carbono e fortalecendo o compromisso com uma construção mais sustentável e resiliente (EBERHARDT *et al.*, 2020).

Neste contexto, este estudo visa avaliar a viabilidade e os impactos ambientais da utilização de fibras de coco e cânhamo no concreto, comparando-os com o concreto tradicional. Através da ACV, busca-se identificar os benefícios e desafios associados a esses

biocompósitos, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis na construção civil.

2. METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV é uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de melhorar a conscientização sobre a proteção ambiental e os impactos associados aos produtos, tanto na fabricação quanto no consumo. A ACV auxilia na melhoria do desempenho ambiental dos produtos, informa os tomadores de decisão, ajuda na seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes e apoia estratégias de marketing, como rotulagem ambiental e declarações ambientais de produtos (ISO 14040:2009 e 14044:2009).

Um estudo de ACV é composto por quatro fases:

a) **Fase de definição de objetivo e escopo:** essa etapa inclui definir a aplicação pretendida, o uso pretendido dos resultados, os limites do sistema, grau de detalhamento e os métodos de avaliação devem ser utilizados (Item 2.1);

b) **Fase de análise de inventário (ICV):** Nesse estágio, são coletados dados e realizado procedimentos de cálculo para quantificar entrada e saída relacionados ao sistema em análise, nos quais abrangem a utilização de recursos, emissões para a atmosfera, água e solo, além da geração de resíduos associados (Item 2.2);

c) **Fase de avaliação de impactos (AICV):** Essa fase consiste na avaliação dos potenciais impactos do sistema modelado, seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização, classificação e caracterização. A classificação deve atribuir os dados de entrada e saída do inventário (emissões, recursos e resíduos) às categorias de impacto escolhidas (Item 2.3);

d) **Fase de interpretação:** É a fase final, na qual devem ser identificadas questões ambientais significativas e discutidas como base para conclusões, recomendações e tomada de decisões, de acordo com a definição de objetivo, escopo e os resultados de um ICV e/ou de um AICV (Item 3).

2.1 ACV do concreto com fibra de coco - definição de objetivo e escopo

O estudo tem como objetivo avaliar a produção de concreto combinado com fibra de coco considerando diferentes porcentagens de fibra, comparando-a tanto com a produção tradicional quanto com outra fibra natural, a fibra do cânhamo. Serão também analisados os

impactos críticos relacionados ao fator distância, considerando os transportes marítimo e terrestre.

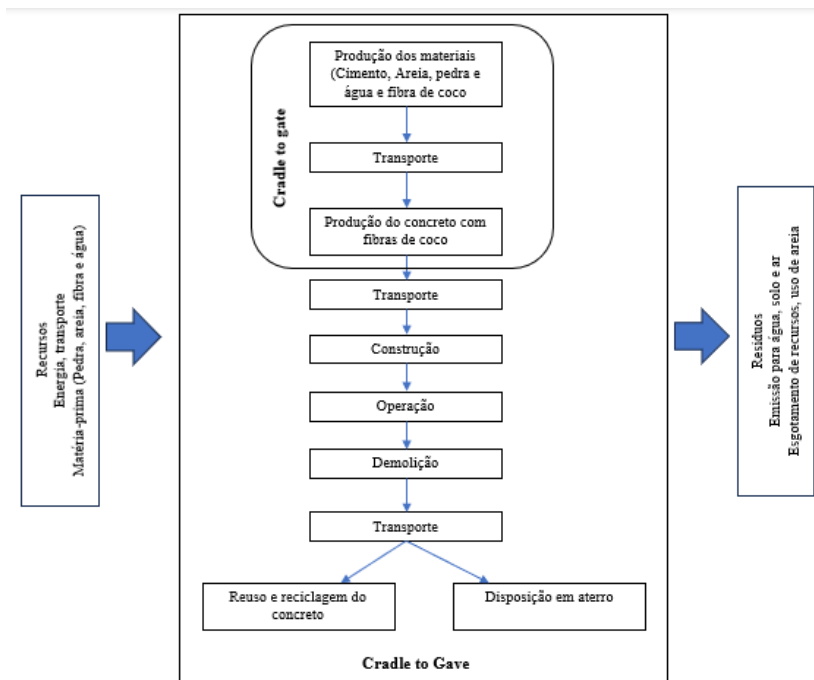
A função do produto é constituir obras de construção, portanto, considerou-se o a unidade funcional de 1 m³ de concreto e o fluxo de referência de 2.396,82 kg de concreto com fibra, esse valor foi estabelecido através da densidade (MARINKOVIĆ, 2013).

Para este trabalho foi adotado o limite de sistema “*Cradle to Gate*” (Figura 1), incluindo a extração das matérias-primas ("do berço") até a saída da fábrica ("ao portão"). O foco está exclusivamente no processo de produção do concreto, sem abordar o processamento do cimento, da produção do coco e cânhamo, também não engloba a utilização do produto pelo consumidor nem sua disposição final. A determinação do escopo geográfico foi baseada na origem dos dados utilizados em *software* (França) e do local de produção do cimento (Brasil, Votorantim- SP), no qual o espaço temporal foi de 2013.

2.2 ACV do concreto com fibra de coco - Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

Com base no objetivo e escopo, foi elaborado um diagrama do sistema de processo (Figura 1) que detalha as entradas de materiais, como brita, areia, fibra e água, os processos de manufatura (Figura 2) e as emissões correspondentes.

FIGURA 1 - Limite do sistema “*Cradle to Gate*” do processo de fabricação do concreto



Fonte: Autores, 2024 – Adaptado de Marinković, 2013.

Para elaborar este sistema de produto os dados de *background* foram extraídos da base de dados livres da Nexus e considera as tecnologias empregadas, especialmente no tratamento das fibras e na mistura do concreto. Para os *outputs* do concreto, utilizou-se informações referentes ao banco de dados Ecoinvent, estabelecido por Marinković (2013). Para aquecimento da água, de acordo com o artigo de Krishna *et al.* (2018), foi utilizado a energia, de 2,5 kWh como entrada do sistema de tratamento das fibras. Esta energia foi baseada em um boiler elétrico para aquecimento da água de 1250 W.

Para a ACV foi utilizado o *software* Open LCA versão 2.0. Baseando-se no estudo de Krishna *et al.* (2018), foram estabelecidas entradas para o sistema de fabricação do concreto com adição de fibras de coco e cânhamo, incluindo quantidades de cimento, fibras, agregado grosso, agregado fino e água. Vide Tabela 1 abaixo:

TABELA 1 - Mistura proporcional de concreto pela variação das porcentagens de fibras de COCO.

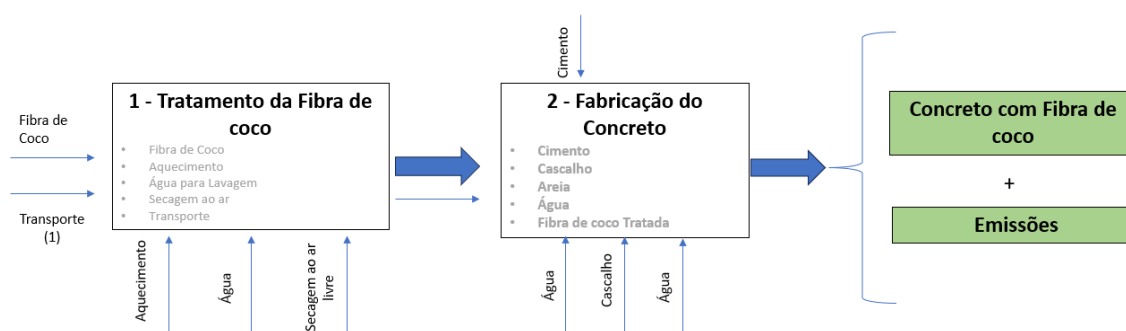
Porcentagem de adição de fibras de coco	Cimento em kg/m ³	Fibras de coco em kg/m ³	Agregado grosso em kg/m ³	Agregado fino em kg/m ³	Água em kg/m ³
0%	443,72	-	1114,34	637,36	190,8
0,5%	443,72	2,22	1114,34	637,36	190,8
1%	443,72	4,44	1114,34	637,36	190,8
1,5%	443,72	6,66	1114,34	637,36	190,8
2%	443,72	8,88	1114,34	637,36	190,8

Fonte: Krishna *et al.* (2018).

A porcentagem de fibras utilizada neste trabalho foi de 1%, e 1,5%. O dado de 1,5% foi apresentado no artigo de Krishna *et al.* (2018), como o valor ótimo de compressão do concreto após 28 dias de cura. Após a quantidade de 1,5% os valores de força na compressão começaram a cair. Neste caso, os valores de compressão do concreto mais altos foram verificados com as quantidades de fibras de 1% e 1,5% (47,5 e 51 N/mm²).

Abaixo segue a Figura 2 do fluxo de processos de tratamento das fibras e produção de concreto que referência este artigo de Krishna *et al.* (2018):

FIGURA 2 - Processo estabelecidos para fabricação do concreto com adição de fibras



Fonte: Adaptação dos autores - Krishna *et al.* (2018)

As saídas do processo de fabricação do concreto, foram baseados nos dados do artigo de Marinković (2013), para produção de 1 m³ de concreto, como mostra a Tabela 2 abaixo:

TABELA 2 - Dados de ICV para várias fases do ciclo de vida do concreto

Emissão para o	Produção de cimento	Produção de	Produção de
ar (g)	(kg)	agregado (kg)	concreto (1m ³)
CO	4,203224	0,003475	0,722680
NO _x	2,279068	0,015579	13,22440
SO _x	3,646948	0,005447	98,75360
CH ₄	1,002748	0,001296	0,433290
CO ₂	861,2028	1,377926	5698,210
N ₂ O	0,000756	0,000055	0,029100
HCl	0,067800		2,680210
HC	0,000580		0,023080
NMVOC	0,034732	0,000392	0,071040
Partículas	0,711981	0,001455	11,99120

Fonte: Adaptado de Marinković, 2013.

As suposições e limitações consideradas neste trabalho estão detalhadas na Tabela 4:

TABELA 4 - Suposições e Limitações apresentadas neste trabalho

Suposições	Limitações
A distância considerada entre o local do banco de dados da fibra (França) até Porto de Santos: 9.536 km e distância do porto de Santos até Votorantim: 190,8 km	Para as informações de <i>background</i> foi utilizado o banco de dados aberto, os <i>inputs</i> foram referenciados por Krishna <i>et al.</i> (2018), e os valores de <i>outputs</i> , foram retirados do Ecoinvent (MARINKÓVIC, 2013), os dois não correspondem a especificação regional.
Disponibilidade contínua das fibras	Variabilidade da qualidade das fibras de coco e cânhamo podem alterar o resultado da ACV

Fonte: Autores, 2024.

2.3 ACV do concreto com fibra de coco - Avaliação de impactos (AICV)

Para a fabricação do concreto, foi utilizado os materiais provenientes do banco de dados do Open LCA, como a fibra de coco (provedor da França) e a fibra de cânhamo (provedor da França), “*gravel*” como agregado grosso, do banco de dados Ecoinvent, “*tap water*” como a água para mistura, a areia sílica, como agregado fino e os transportes. Para os transportes, foi considerado o marítimo, cuja distância de 9.536 km entre a França e o Porto de Santos e o transporte de caminhão de 16 t para a distância de 190,80 km, sendo entre o porto de Santos até Votorantim.

O método utilizado para Avaliação dos impactos ambientais foi o CML 4.8 2016 (MARINKOVIĆ, 2016). Os impactos analisados foram a acidificação, mudança climática, ecotoxicidade em água fresca, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, utilização de energias renováveis, eutrofização, toxicidade humana, recursos materiais (minerais/metais), depleção do ozônio e formação de oxidante fotoquímico.

Abaixo segue a Tabela 5 com todos os processos avaliados neste trabalho:

TABELA 5 – Modelagens desenvolvidas para avaliação dos impactos

Processos
1 Fabricação do concreto sem fibras
2 Fabricação do concreto com fibra de coco tratada (6,66 kg)
3 Fabricação do concreto com fibra de cânhamo tratada (6,66 kg)
4 Fabricação do concreto com fibra de coco tratada (4,44 kg)
5 Fabricação do concreto com fibra de cânhamo tratada (4,44 kg)
6 Fabricação do concreto com fibra de coco não tratada (6,66 kg)
7 Fabricação do concreto com fibra de coco tratada com alteração do km (6,66 kg)

Fonte: Autores, 2024.

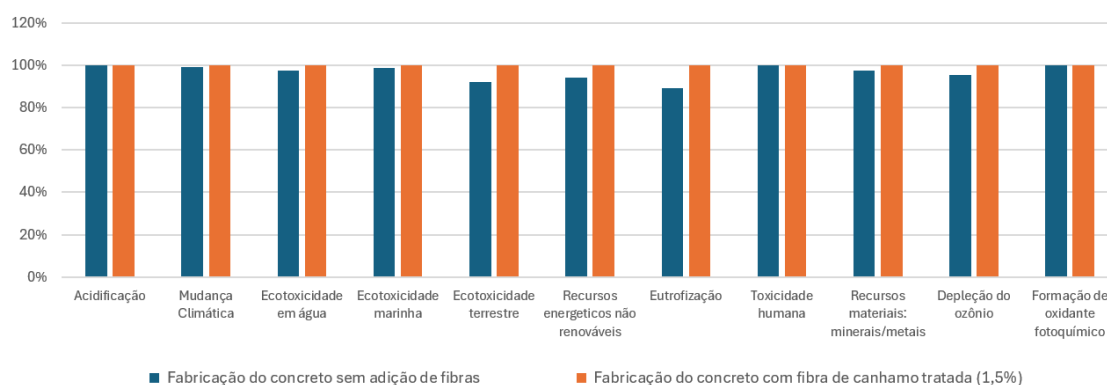
Para avaliação de sensibilidade, foi comparado os cenários de fabricação do cimento com adição de fibras de 1,5% com a extrapolação das distâncias nos transportes. A distância considerada para o marítimo foi de 1.000.000 km e para o terrestre de 10.000 km.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a inserção dos dados no *software* OpenLCA, foi analisada quantitativamente a avaliação do ciclo de vida ambiental.

A Figura 3 compara os impactos ambientais de dois tipos de concreto: concreto sem adição de fibras e concreto combinado com 1,5% de fibra de cânhamo tratada, para as categorias de impacto definidas no tópico 2.3 deste trabalho.

FIGURA 3 – Impactos ambientais nos processos de fabricação do concreto com adição de 6,6 kg de fibras de cânhamo tratadas (1,5%)



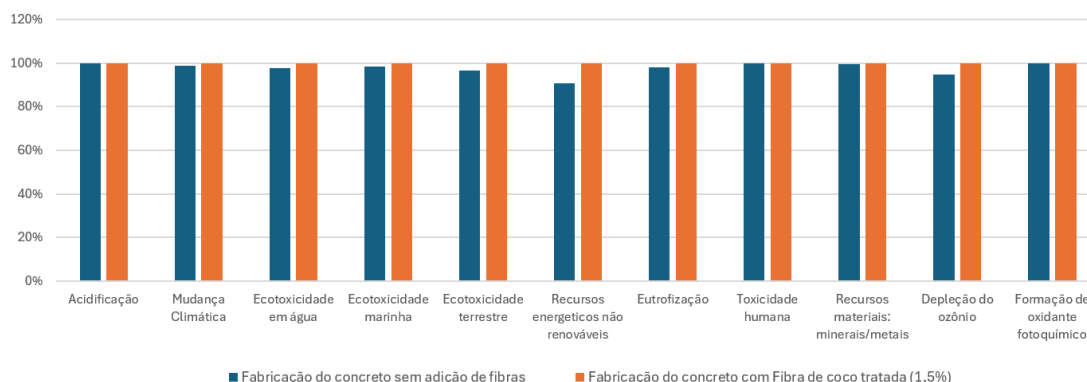
Fonte: Autores, 2024.

A análise da Figura 3 permite observar que, o concreto com adição de fibras de cânhamo se comparado ao concreto comum, apresenta impactos ligeiramente maiores para as categorias de mudanças climáticas, ecotoxicidades marinha, água e terrestre, recursos não renováveis, eutrofização, recursos minerais e depleção de ozônio.

O impacto que teve o maior valor em relação a produção do concreto sem fibra seria a eutrofização com diferença de 10,64% em relação a fabricação do concreto sem fibra. Isso sugere que a adição de fibras de cânhamo, mesmo em pequenas proporções e submetidas a tratamento, pode influenciar variavelmente os perfis de impacto ambiental do concreto.

De mesmo modo, a Figura 4 apresenta uma comparação entre os impactos ambientais associados à fabricação de concreto sem adição de fibras e concreto combinado com 1,5% de fibra de coco tratada.

FIGURA 4 – Impactos ambientais nos processos de fabricação do concreto com adição de 6,6 kg de fibras de coco tratadas (1,5%)



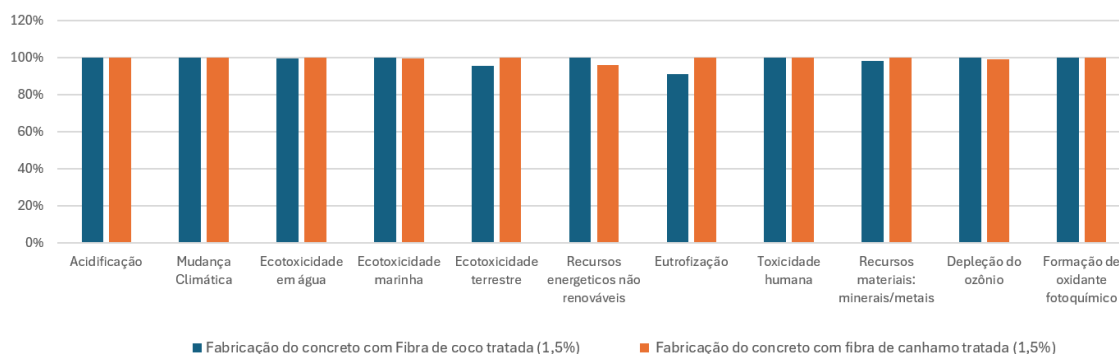
Fonte: Autores, 2024.

De acordo com a Figura 4, é possível observar que o concreto reforçado com fibra de coco tratada apresenta impactos ambientais comparáveis ou ligeiramente superiores aos do concreto sem adição de fibras em várias categorias. E de mesmo modo ao concreto combinado com fibra natural de cânhamo, é possível verificar que o concreto com adição de fibras de coco se comparado ao concreto comum, também tem maior impacto nas categorias de mudanças climáticas, ecotoxicidades marinha, água e terrestre, recursos não renováveis, eutrofização, recursos minerais, toxicidade humana e depleção de ozônio.

O impacto que teve o maior valor em relação a produção do concreto sem fibra seria a utilização de recursos não renováveis com diferença de 9,41% em relação a fabricação do concreto sem fibra.

A Figura 5 ilustra uma comparação dos impactos ambientais associados à fabricação de concreto com adição de 1,5% de fibras de coco tratadas e fibras de cânhamo tratadas.

FIGURA 5 – Impactos ambientais nos processos de fabricação do concreto com adição de 6,6 kg de fibras de coco e cânhamo tratadas (1,5%)



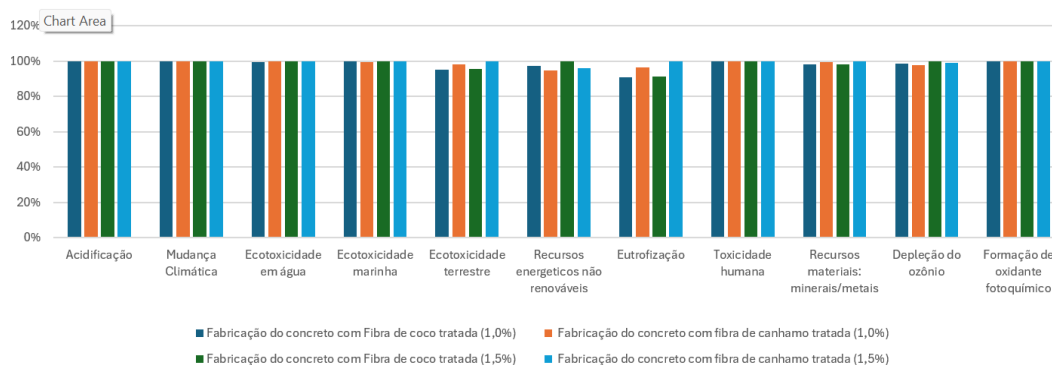
Fonte: Autores, 2024.

Quanto aos impactos ambientais apresentados na Figura 5, é notável que, embora o concreto com fibra de coco mostre impactos ambientais relativamente maiores em várias categorias em comparação com o concreto com fibra de cânhamo, a eutrofização é significativamente menor. Isso sugere que as fibras de cânhamo podem contribuir mais intensamente para o enriquecimento de nutrientes em ecossistemas aquáticos, o que pode levar a desequilíbrios ecológicos prejudiciais, como o crescimento excessivo de algas.

Além disso, é possível verificar que o concreto com adição de fibras de coco se comparado ao concreto com adição de fibras de cânhamo, tem o impacto ligeiramente maior nas categorias de ecotoxicidades marinha, água e terrestre, recursos não renováveis, eutrofização, recursos minerais e depleção de ozônio. O impacto que teve o maior valor de diferença entre o concreto produzido com as fibras de cânhamo e coco foi a eutrofização, onde o concreto com a fibra de coco teve 8,84% menor valor em relação ao concreto fabricado com a fibra de cânhamo. Este dado mostra que a adição da fibra de cânhamo promove maior impacto relacionado ao excesso de minerais e nutrientes nos recursos hídricos.

A Figura 6 abaixo evidencia a diferença nos impactos entre os processos da fabricação do concreto com fibra de cânhamo e coco, com as quantidades de fibra de 4,44 kg e 6,66 kg.

FIGURA 6 – Impactos ambientais nos processos de fabricação do concreto com adição de 6,6 kg e 4,44 kg de fibras de coco e cânhamo tratadas (1% e 1,5%)



Fonte: Autores, 2024.

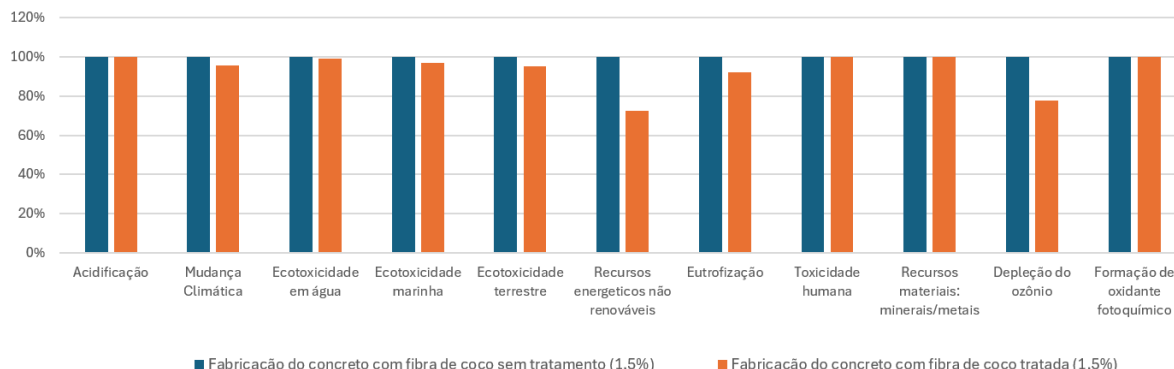
A Figura 6 acima mostra que tanto o concreto fabricado com a fibra de coco ou cânhamo nas quantidades de 4,44 kg apresentam valores menores nos impactos de ecotoxicidade terrestre, energia não renováveis, eutrofização e depleção de ozônio.

Além disso, O concreto com fibra de cânhamo mostra uma tendência de aumento nos impactos ambientais à medida que a concentração aumenta de 1% para 1,5%, particularmente nas áreas de ecotoxicidade e consumo de recursos não renováveis. Similarmente, o concreto reforçado com fibras de coco também exibe um aumento nos impactos ambientais com o aumento da concentração de fibras, embora em alguns casos, como na eutrofização e depleção do ozônio, os impactos parecem ser menos acentuados em comparação com o cânhamo.

Em muitas das categorias de impacto, o concreto com 1,5% de fibra de cânhamo tende a mostrar impactos mais elevados em comparação com 1,5% de fibra de coco, sugerindo que o cânhamo pode ser mais prejudicial em termos de certos impactos ambientais quando usado em maiores concentrações. Por outro lado, em concentrações mais baixas (1%), as diferenças entre os impactos do coco e do cânhamo não são tão pronunciadas, indicando que os efeitos adversos das fibras de cânhamo podem ser mitigados em menor escala.

Para avaliar se o processo de tratamento das fibras tem grande diferença nos impactos ambientais, foi comparado os dados do processo de fabricação do concreto com fibras de coco sem tratamento e com tratamento, como mostra a Figura 7 abaixo.

FIGURA 7 - Processo de fabricação do concreto com fibra de coco com tratamento e sem tratamento das fibras (6,66 kg)



Fonte: Autores, 2024.

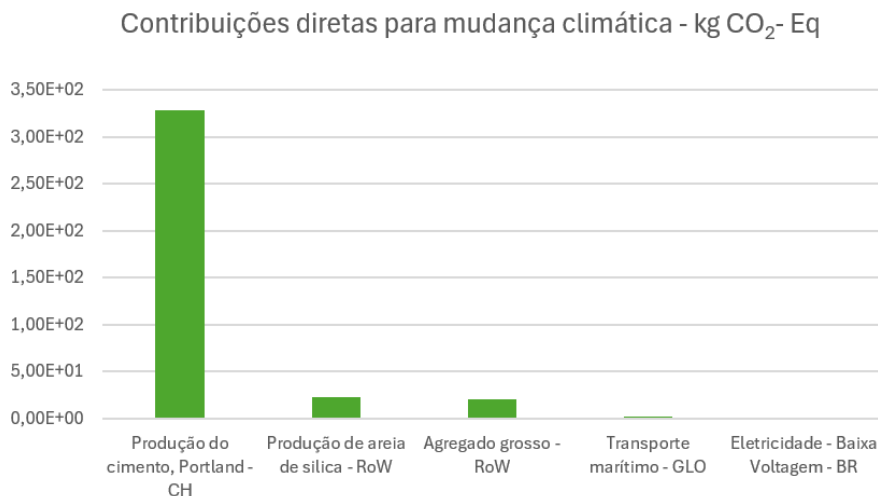
Esta Figura 7 acima, mostra que não há valores significativos na diferença dos impactos considerando os processos para tratamento da fibra de coco. Entretanto, nota-se que o concreto com fibras de coco tratadas tem impactos menores em categorias como eutrofização e ecotoxicidade (marinha, terrestre e em água), indicando que o tratamento das fibras pode ajudar a reduzir a liberação de substâncias nocivas ao meio ambiente.

Além disso, há uma diminuição nos impactos relacionados ao consumo de recursos energéticos não renováveis e materiais/minerais no concreto com fibras tratadas. Isso pode ser resultado de um processo de tratamento que torna as fibras mais eficientes e menos dependentes de recursos intensivos.

Inclusive, ao avaliar a categoria de depleção de ozônio associados ao uso de fibras de coco tratadas e não tratadas em concreto revela que o tratamento prévio das fibras pode diminuir as emissões de substâncias nocivas que contribuem para a degradação da camada de ozônio. Especificamente, o tratamento das fibras de coco antes de sua inclusão no concreto pode alterar sua composição de maneiras que reduzem a liberação de compostos orgânicos voláteis e outros catalisadores de depleção do ozônio (AHMAD, 2022).

A Figura 8 mostra que o maior impacto na mudança climática está associado ao cimento. De acordo com Marinković (2013), a principal razão para tal situação é uma grande emissão de CO₂ durante o processo de calcinação na produção de clínquer e uso de combustível fóssil. As contribuições das fases de produção de agregados e concretos são muito pequenas, enquanto a contribuição da fase de transporte está em algum lugar intermediário.

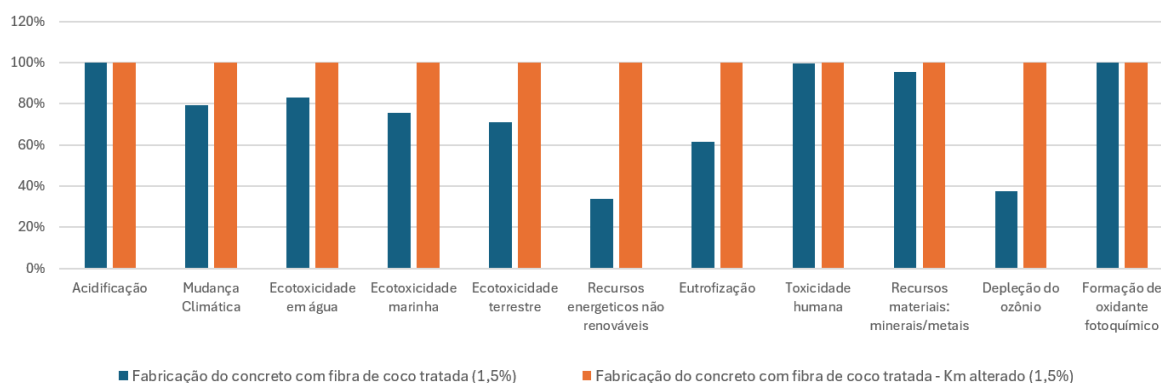
FIGURA 8 - Gráfico da contribuição das entradas que mais impactam no processo de fabricação do concreto com fibras de coco com tratamento (6,6 kg) na mudança climática



Fonte: Autores, 2024.

Para verificar o impacto total do transporte, foram somados o transporte marítimo mais o transporte terrestre em dois cenários diferentes. Devido ao resultado semelhante dos dois tipos de fibra, estabeleceu-se apenas o processo de fabricação do concreto com 1,5% de fibra de coco tratada (6,66 kg) para avaliar a influência da variação da distância nos transportes, como mostrados na Figura 9. Com o intuito de comparar as distâncias, os valores do trajeto foram extrapolados de 9.536 km para 1.000.000 km para o marítimo e de 190,8 km para 10.000 km para o terrestre.

FIGURA 9 - Fabricação do concreto com fibra de coco tratada (6.66 kg) - Considerando 9.536 km e 190,8 km (azul) e 1.000.000 km e 10.000 km (laranja)- Km alterado



Fonte: Autores, 2024.

Entre os tipos de transporte, terrestre e marítimo, verificou-se que o transporte marítimo causa mais impacto que o terrestre em todas as categorias de impacto, para

depressão de camada de ozônio e recursos energéticos o transporte marítimo gerou maior impacto ambiental que o cimento, o *hotspot* desse sistema de produto.

Com a variação da quilometragem na produção do concreto com tratamento da fibra de coco (Figura 9), observou-se que os impactos que tiveram maior variação foram a utilização de energia não renováveis, pelo uso de combustível fóssil utilizado por navios e caminhões, seguido por eutrofização, resultante das emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) e óxidos de enxofre (SOx) dos motores, depleção de ozônio, ecotoxicidade terrestre, marinha e água fresca, devido ao derramamento de óleo, vazamento de combustíveis e produtos químicos durante o transporte, mudança climática, pela emissão de CO₂ e outros gases de efeito estufa e por fim utilização de recursos materiais, decorrente do consumo de materiais para a construção e manutenção de navios e caminhões, além da infraestrutura necessária (portos e estradas).

4. CONCLUSÃO

Conforme aos dados mostrados da ACV do processo de fabricação do concreto com fibras de coco e cânhamo quando comparados ao processo de fabricação do concreto sem fibras, os impactos ambientais mais afetados apresentaram valores de aproximadamente 10%, de acordo com a metodologia analisada. Embora o concreto com fibras de cânhamo e coco apresente impactos ambientais próximos ou em algumas categorias ligeiramente superior comparado ao concreto tradicional, oferece a vantagem da utilização de materiais renováveis e possivelmente menos prejudiciais ao meio ambiente em longo prazo.

Os resultados indicaram que o concreto com fibras de cânhamo demonstrou maior impacto em categorias críticas como mudança climática e ecotoxicidade, enquanto o concreto com fibras de coco apresentou uma redução de impacto na eutrofização, sugerindo uma complexidade na escolha entre essas fibras que depende de uma avaliação mais profunda de suas propriedades e do tratamento aplicado. A comparação do processo de tratamento das fibras não apresentou grande variação nos valores dos impactos ambientais, assim como a mudança da quantidade das fibras (1% e 1,5%).

As fibras de coco e fibras de cânhamo, quando utilizadas como agregado de reforço do concreto não apresentaram diferenças significativas nos impactos ambientais. Destaca-se a diferença de 10% menor no impacto de eutrofização para a fibra de coco. Todavia, os resultados foram muito similares para os dois tipos de fibras, não sendo possível concluir qual sistema produtivo é superior.

No entanto, outro resultado foi encontrado por Krishna *et al.* (2018), que determinou que a adição de fibras na fabricação do concreto, aumenta a força de compressão e consequentemente a maior durabilidade, portanto o impacto ambiental gerado por este tipo de concreto será menor. Este fato acontece, pois, quanto mais uma estrutura durar, mais tempo os recursos irão se manter na natureza e maior será o tempo para repor os recursos utilizados na sua produção.

É importante que futuras pesquisas continuem explorando tratamentos e métodos de produção que possam mitigar os impactos ambientais negativos, ao mesmo tempo que maximizam os benefícios do uso de matérias-primas renováveis. Além disso, a integração de estratégias de economia circular e bioeconomia pode proporcionar uma redução mais significativa nos impactos ambientais.

Em conclusão, o uso de fibras de coco e cânhamo como reforços em concreto representa uma direção promissora para a inovação sustentável na indústria da construção. No entanto, é importante que a implementação dessas alternativas seja acompanhada de uma avaliação dos impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida, garantindo que os benefícios ambientais dessas inovações sejam realizados de maneira eficaz.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, H.; CHHIPI-SHRESTHA, G.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. A **Comprehensive Review on Construction Applications and Life Cycle Sustainability of Natural Fiber Biocomposites**. *Sustainability* 2022, 14, 15905. <https://doi.org/10.3390/su142315905>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - **Avaliação do ciclo de vida** - Princípios e estrutura. Brasil, 2009a. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, 2009b
- DA LUZ, S.M. and DE SOUSA, V.M.Z. (2018) ‘**LCA modelling for natural fibre composites**’, Int. J. Computer Aided Engineering and Technology, Vol. 10, Nos. 1/2, pp.166–178.
- DAS, SUBRATA C.; LA ROSA, ANGELA D.; GRAMMATIKOS, SOTIRIOS A. Life cycle assessment of plant fibers and their composites. In: **Plant Fibers, Their Composites, and Applications**. Woodhead Publishing, 2022. p. 457-484.
- EBERHARDT, M.; CHARLOTTE, L.; VAN STIJN, A.; RASMUSSEN, F. N.; BIRKVED, M.; BIRGISDOTTIR, H. 2020. "**Development of a Life Cycle Assessment Allocation Approach for Circular Economy in the Built Environment**" *Sustainability* 12, no. 22: 9579. <https://doi.org/10.3390/su12229579>
- FITZGERALD, A.; PROUD, W.; KANDEMIR, A.; MURPHY, R.J.; JESSON, D.A.; TRASK, R.S.; Hamerton, I.; Longana, M.L. **A Life Cycle Engineering Perspective on Biocomposites as a Solution for a Sustainable Recovery**. *Sustainability* 2021, 13, 1160. <https://doi.org/10.3390/su13031160>
- KRISHNA, N. KAARTHIK *ET AL*. Enhancement of properties of concrete using natural fibers. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 11, p. 23816-23823, 2018.
- MARINKOVIĆ, S. B. Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete. In: **Eco-efficient concrete**. Woodhead Publishing, 2013. p. 45-80.
- SNIC. Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. São Paulo, 2022. **Relatório Anual**. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2022.pdf.