



## A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRA COMO UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA CONSTRUÇÕES: REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Luis Felipe Oliveira Santos, PUC de Campinas, [luis.ofsantos@gmail.com](mailto:luis.ofsantos@gmail.com)  
Nádia Cazarim da Silva Forti, PUC de Campinas, [nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br](mailto:nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br)  
Regina Marcia Longo, PUC de Campinas, [regina.longo@puc-campinas.edu.br](mailto:regina.longo@puc-campinas.edu.br)

### Resumo

O conceito de construção sustentável exige projetos que reflitam sobre a minimização do impacto ambiental e do custo ao longo de toda a vida útil das estruturas. É conhecido que os materiais FRP podem atender às necessidades estruturais com um impacto ambiental reduzido a longo prazo. Contudo, ainda assim, com a grande utilização de materiais FRP na construção civil, existe a necessidade de maior estudo acerca dos efeitos ambientais e econômicos para construção de maior base de dados e informações. A utilização de metodologias como as avaliações do ciclo de vida (LCAs) e as análises de custo do ciclo de vida (LCCs), permitem uma vasta abordagem dos efeitos ambientais e do custo-benefício desses materiais, respectivamente. Dessa forma, nesse trabalho foi realizado um levantamento bibliométrico, para quantificar o estudo da sustentabilidade de materiais FRP, com foco nos trabalhos que abordam os métodos LCA e LCC. Para isso foram levantados os trabalhos produzidos no período de 10 anos na base de dados Scopus. Foram encontrados, cinquenta e sete trabalhos com as Strings de busca utilizadas, onde foi observado uma predominância de trabalhos cujo termo LCA, em comparação com trabalhos que utilizaram o termo LCC, e a falta de publicações no Brasil acerca da temática.

**Palavras-chave:** LCA, LCC, FRP, REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.

### 1. Introdução

As mudanças climáticas e a perda de biodiversidade são alguns dos maiores desafios atualmente, destacando a grande importância da atividade humana no aquecimento global. Diante disso, o conceito de construções sustentáveis tornou-se tendência, tendo em vista diversos efeitos ambientais negativos oriundos do setor, estimando-se que a indústria da construção seja responsável por 36% das emissões de carbono na Europa (JENA; KAEWUNRUEN, 2021; PAVLOVIĆ et al., 2022).

Construções tradicionais tem como foco o custo inicial e no desempenho estrutural. Diante do problema ambiental que cerca a indústria da construção, o projeto e a construção sustentável adicionam a isso, a minimização do impacto ambiental e do custo ao longo de toda a vida útil das estruturas (MARA; HAGHANI; HARRYSON, 2014).

Dessa forma, um desenvolvimento sustentável deve estar relacionado a três fatores: desenvolvimento social, desenvolvimento econômico e proteção ambiental; assim, novos projetos



de construção devem considerar aspectos ambientais e avaliarem seu impacto (JENA; KAEWUNRUEN, 2021; PAVLOVIĆ et al., 2022).

Diante deste cenário e da crescente utilização dos materiais compósitos poliméricos reforçados com fibra (FRP) na construção civil, cabe-se discutir a questão de sustentabilidade desses materiais. Para isso, avaliações do ciclo de vida (LCAs) são uma ferramenta comumente utilizada na indústria para avaliar os impactos ambientais de um produto durante todo o seu ciclo de vida. Da mesma forma, a análise de custo do ciclo de vida (LCC) é uma ferramenta de avaliação econômica que pode ser usada para vários propósitos, incluindo otimização de projeto, eficiência de construção ou benefícios financeiros (JENA; KAEWUNRUEN, 2021).

O método LCA é uma técnica de análise para avaliar os impactos ambientais associados a todos os estágios da vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até o processamento, fabricação, distribuição e uso de materiais (DI MARIA; EYCKMANS; VAN ACKER, 2020; MURALIKRISHNA; MANICKAM, 2017).

O método LCC avalia todos os custos de um produto ou serviço ao longo de sua vida útil. Comparando as duas metodologias, o LCA avalia e compara os efeitos ambientais de produtos alternativos, enquanto LCC compara o custo-benefício dessas alternativas na visão política econômica. Ambos possuem vantagens que se completam, podendo apoiar as políticas públicas, fornecendo uma boa análise ambiental e econômica (DI MARIA; EYCKMANS; VAN ACKER, 2020).

Em relação a sustentabilidade desses materiais há uma lacuna de discussão, visto que, diferentes processos do ciclo de vida dos compósitos podem ser prejudiciais ao meio ambiente. Por exemplo, no Reino Unido o único método de descarte dos resíduos gerados a partir da utilização desses materiais é por meio de aterros. Entretanto, ainda assim, é conhecido que os materiais FRP podem atender às necessidades estruturais com um impacto ambiental reduzido a longo prazo, devido a sua grande durabilidade (JENA; KAEWUNRUEN, 2021).

Desta forma, dada a crescente utilização dos materiais compósitos poliméricos pela construção civil, cresce também a necessidade do estudo quanto as consequências ambientais devido ao seu uso. Este artigo se propõe a realizar um levantamento bibliométrico da literatura dos últimos 10 anos, buscando quantificar e avaliar a necessidade de aprofundar o estudo da influência ambiental dos compósitos de FRP, tendo como foco a abordagem das metodologias de análise LCA e LCC nos trabalhos coletados.

## 2. Fundamentação teórica

Os compósitos de FRP estão sendo aplicados com sucesso em obras como: tubulações, tanques de armazenamento subterrâneos, fachadas de edifícios e como componentes arquitetônicos. Demonstrando que com a fabricação correta e projetos adequados, a utilização de materiais de FRP podem proporcionar vida útil mais longa e custos de manutenção mais baixos em comparação com estruturas reforçadas com aço (ACI 440.9R-15, 2015).



Com isso, definir o conceito de desenvolvimento sustentável é muito importante nos diferentes campos da engenharia. A sustentabilidade dentro da engenharia deve ser pensada em relação a impactos ambientais, aos recursos naturais e as restrições econômicas, se relacionando a um desenvolvimento social, a uma proteção ambiental e ao desenvolvimento econômico (MARA; HAGHANI; HARRYSON, 2014).

O método LCA é um procedimento padronizado que visa medir e comparar os impactos ambientais associados a fabricação, ao uso e ao descarte dos produtos analisados. Uma pesquisa baseada no LCA inicia pela definição do ciclo de vida do produto e os critérios de avaliação. A partir disso, é possível definir o fluxo de materiais e de energia dentro desse ciclo, avaliando a interação com o meio ambiente. Podendo auxiliar na compreensão dos impactos, na tomada de decisão e na melhoria do produto (MURALIKRISHNA; MANICKAM, 2017; PAVLOVIĆ et al., 2022)

Mara et al. (2014), estudaram a substituição total ou parcial de uma superestrutura do tabuleiro de uma ponte de concreto reforçado com aço por um tabuleiro de GFRP, analisando os aspectos sociais, ambientais e econômicos dessa proposta. Os autores verificaram em seu estudo que a utilização do material FRP contribui para uma economia financeira durante o ciclo de vida da estrutura, associado a um impacto ambiental reduzido.

Em relação aos aspectos sociais, os autores utilizaram três indicadores: segurança do trabalho, comodidade do usuário e emissões de ruído e poeira. Em geral, as análises realizadas pelos autores indicaram que é necessário um bom planejamento, com antecedência e materiais de proteção para garantir a segurança na zona de trabalho, o que não difere de obras comuns. Além disso, é citado que a utilização do FRP acelera o processo construtivo, resultando em menor atraso no tráfego e diminuição na intensidade de ruídos durante a construção, trazendo maior conforto aos usuários (MARA; HAGHANI; HARRYSON, 2014).

Em relação aos aspectos ambientais, os autores analisaram o consumo de energia, as emissões (em água, ar e solo), a geração de resíduos e o uso de material virgem. Para o consumo de energia e das emissões, os autores analisaram o ciclo de vida do material, como: aquisição/fabricação de materiais, construção, manutenção e descarte final ou reciclagem (MARA; HAGHANI; HARRYSON, 2014).

A etapa de aquisição e/ou fabricação do material FRP corresponde a maior parte do consumo de energia, denominada energia incorporada. A energia incorporada do FRP pode variar conforme o tipo de fibra e aos seus processos de fabricação, Figura 1. Contudo, vale-se ressaltar que, por exemplo, os materiais FRP apesar de possuírem uma energia incorporada superior ao concreto, possuem um consumo menor de material, demonstrando uma economia substancial no consumo de energia para uma ponte onde sua superestrutura é de GFRP (MARA; HAGHANI; HARRYSON, 2014).



# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

## WORKSHOP INTERNACIONAL

### Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO  
GRATUITO  
TOTALMENTE  
ONLINE

Realização:



SUSTENTARE  
PUC MINAS



WIPIS  
2022

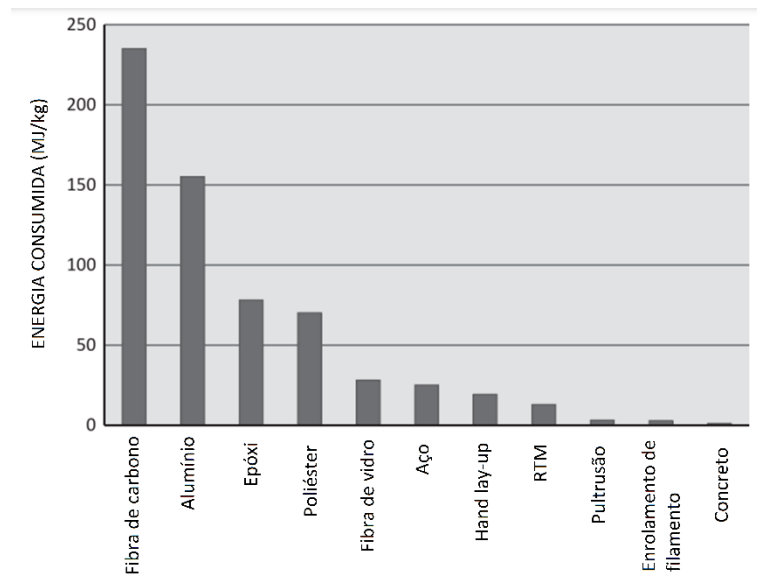
Apoio:



Agência das Rocias PCJ



COMITÊS PCJ



**Figura 1: Consumo de energia para produção de materiais e para processos de fabricação**

**Fonte:** Mara et al. (2014) - ADAPTADO

Em relação as emissões de carbono, segundo Mara et al. (2014), o FRP apesar de apresentar uma alta emissão de carbono durante sua fase de produção, por meio de avaliações do ciclo de vida, demonstram que a redução de carbono ocorre durante as etapas de construção, manutenção e/ou descarte. A menor emissão de carbono foi atribuída à redução de material necessário para a subestrutura devido ao peso leve do material FRP e ao método de transporte utilizado para os elementos FRP.

Pavlović et al. (2022), em seu estudo apresentou uma avaliação do impacto ambiental das barras de reforço de BFRP por meio de análises LCA, buscando analisar a utilização de BFRP para a criação de estruturas de concreto armado mais sustentáveis. Apresentando como resultados que as barras de BFRP podem contribuir para uma grande redução das emissões incorporadas em comparação com aço e outros materiais de reforço.

Segundo Pavlović et al. (2022), a área do ciclo de vida das barras de BFRP que mais contribui, levando em conta o aquecimento global e a escassez de recursos hídricos, é a queima do gás natural utilizado para produção da fibra de basalto, ressaltando que a melhoria da sustentabilidade pode estar apoiada na substituição da fonte de energia utilizada por meios renováveis. Além disso, os autores destacam que, conforme analisado em seu trabalho, as barras de BFRP demonstraram o menor impacto ambiental entre o aço, o aço inoxidável, o aço galvanizado e as barras de GFRP como reforço para estruturas de concreto. Sendo analisados 18 indicadores, como: potencial de aquecimento, radiação ionizante, formação de material particulado fino, eutrofização de água doce, escassez de recursos minerais, escassez de recursos fósseis, consumo de água etc.



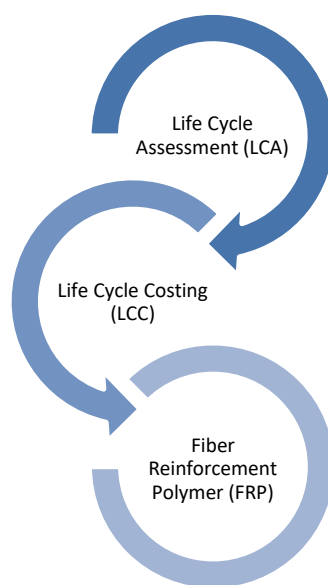
Para análise do custo do ciclo de vida (LCC), Mara et al. (2014) citam que a utilização do tabuleiro de FRP está associada a economia nos custos sociais durante a construção e/ou substituição, tornando os tabuleiros de pontes de FRP mais econômicos do que os de concreto. Dessa forma, os tabuleiros de FRP podem ser uma alternativa econômica de ciclo de vida aos tabuleiros de concreto convencionais reforçados com aço.

De modo semelhante, Jena et al. (2021) avaliaram, por meio de análises LCAs e LCC, a sustentabilidade de uma passarela desenvolvida pela Network Rail, construída a partir de materiais compósitos de FRP. Concluíram que a construção apresentou economia, devido a custos de construção reduzidos, contudo, a sustentabilidade dos materiais pode ser discutível em um curto prazo de serviço devido, principalmente, ao seu processo produtivo. Com uma maior vida útil da estrutura pode-se ter um substancial benefício para o meio ambiente.

### 3. Metodologia

Este trabalho tem como proposta realizar um mapeamento sistemático da literatura acerca da questão de sustentabilidade dos materiais compósitos poliméricos, com o tema de “A utilização de materiais compósitos poliméricos reforçados com fibra como uma alternativa sustentável para construções: Revisão Bibliométrica”. Para isso, este trabalho está dividido em duas partes: definição das Strings de busca e pesquisa e coleta de dados na base de dados Scopus.

Para definição das Strings, inicialmente foram escolhidos os termos de busca. Primeiramente foram escolhidos os métodos de avaliação Life Cycle Assessment (LCA) e Life Cycle Costing (LCC), sendo o primeiro um procedimento para calcular o impacto ambiental ao longo da vida de um produto e o segundo um método de análise dos custos monetários relacionados ao produto durante seu ciclo de vida. Foram relacionados as palavras Life Cycle Assessment (LCA) e Life Cycle Costing (LCC), com o termo Fiber Reinforcement Polymer (FRP), Figura 2.



**Figura 2: Termos de busca**

A partir destes três termos, foram definidas duas Strings de busca para publicações que se encontram no período de 2012 a 2022. Na primeira foram relacionados os termos LCA e FRP (String 1) e na segunda foram relacionados os termos LCC e FRP (String 2), Figura 3.

String 1: ( TITLE-ABS-KEY ( "LCA" OR "Life Cycle Assessment" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "FRP" OR "fiber reinforcement polymer" ) ) AND PUBYEAR > 2011

String 2: ( TITLE-ABS-KEY ( "LCC" OR "Life Cycle Costing" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "FRP" OR "fiber reinforcement polymer" ) ) AND PUBYEAR > 2011

**Figura 3: Strings de busca utilizadas**

No dia 03 de outubro de 2022 foi realizada uma pesquisa na base de dados Scopus utilizando as duas Strings anteriores. Diante da pesquisa foram encontrados dos dados expostos na Tabela 1.



Tabela 1 : Quantidade de documentos encontrados na base de dados Scopus

Tipo	String 1	String 2	Total
Artigo	28	9	37
Conferência	19	7	26
Outros	11	1	12
<b>Total</b>	58	17	75

Os dados foram coletados e analisados no software Microsoft Excel com a finalidade de verificar trabalhos duplicados. Foi encontrado 1 trabalho semelhante entre as Strings, totalizando 74 trabalhos em 10 anos de produção.

Para análise dos dados coletados, foram avaliados os principais autores, os principais países e a quantidade de artigo por ano de publicação, buscando auxiliar no desenvolvimento de futuras pesquisas e demonstrar a necessidade de novas pesquisas acerca do tema. Para melhor visualização, foi utilizado recursos gráficos na apresentação dos dados coletados.

#### 4. Resultados

Diante das Strings propostas, foram analisados três indicadores: autores que mais publicaram, países que mais publicaram e os anos na qual mais foi publicado.

Para a String 1, onde foram relacionados os termos LCA e FRP, foram identificados 58 trabalhos. Como pode ser observado na Figura 4, para os 58 trabalhos produzidos no período analisado, estão presentes 159 autores. Podendo afirmar que diferentes autores estão buscando pesquisar acerca do tema, demonstrando a construção de uma vasta base de dados para o tema da sustentabilidade associada aos compósitos de FRP, permitindo o desenvolvimento de diferentes opiniões e análises.

# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

## WORKSHOP INTERNACIONAL

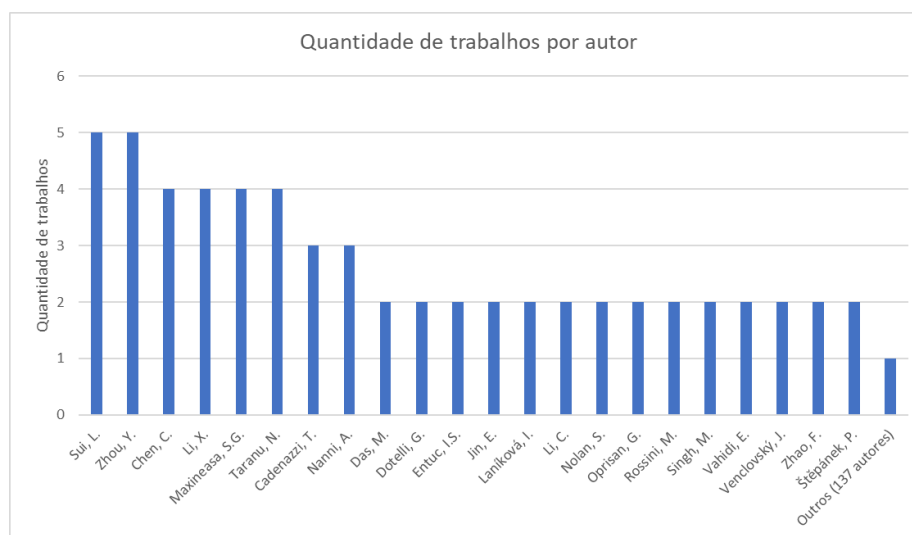
### Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

**EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE**

Realização:

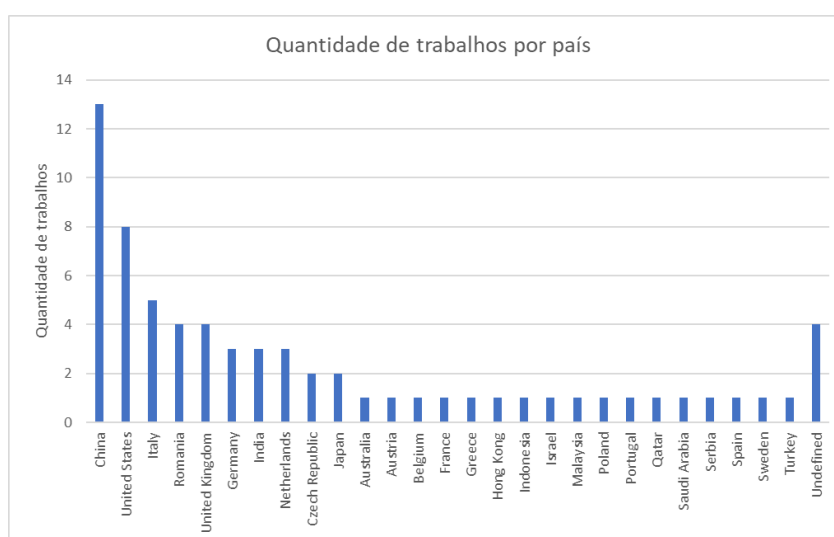
Apoio:



**Figura 4: Quantidade de documentos por autor para a String 1**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO

Dentre os países que mais publicaram se destacam a China e os Estados Unidos, com 13 e 8 trabalhos publicados, respectivamente. Vale destacar a produtividade elevada da China, sendo muito superior à média de produção, calculada em aproximadamente 2 trabalhos por país, não incluindo os países indefinidos. Contudo, observa-se que são necessários maiores estudos no Brasil, tendo em vista que não foram apresentados trabalhos nacionais acerca do tema, Figura 5.



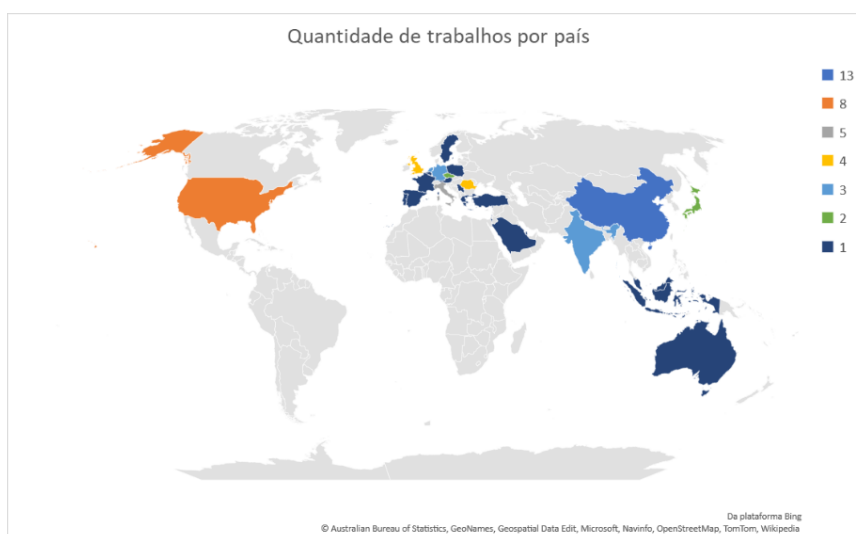
**Figura 5: Quantidade de documentos por país para a String 1**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO





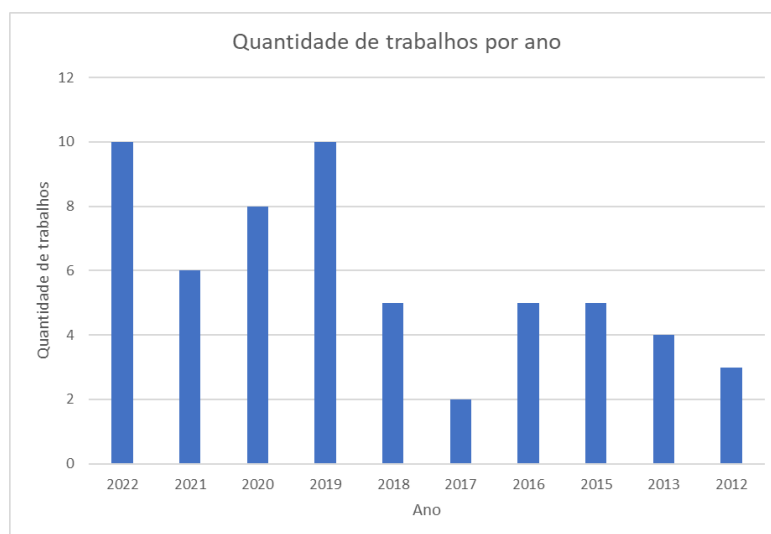
A Figura 6 apresenta a distribuição da produção no mundo, de maneira mais visual expressando que a falta de produção acerca do tema não é só nacional, mas se estende por toda a América do Sul.



**Figura 6: Quantidade de documentos por país para a String 1 no mapa**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO

Como pode ser observado na Figura 7, no ano de 2019 e 2022 foram publicados 10 trabalhos, número superior aos outros anos analisados. Contudo, apesar de uma queda no número de publicações para os anos de 2020 e 2021 é observado uma tendência de crescimento na quantidade de publicações a partir do ano de 2012, sugerindo um avanço para os próximos anos.

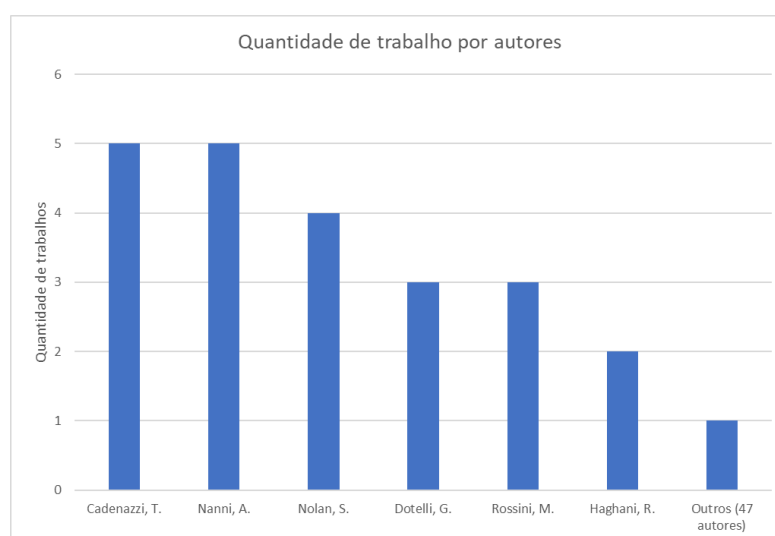


**Figura 7: Quantidade de documentos por ano para a String 1**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO



Para a String 2, onde foram relacionados os termos LCC e FRP, foram identificados 17 trabalhos. Assim como na String 1, foi verificado que diferentes autores estão buscando estudar o tema, Figura 8, demonstrando que está sendo construída uma rica base de dados sobre o tema de sustentabilidade associada aos compósitos de FRP, permitindo o desenvolvimento de diferentes opiniões e análises. Para os 17 trabalhos coletados estão associados 51 pesquisadores.



**Figura 8: Quantidade de documentos por autor para a String 2**

**Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO**

Dentre os países que mais publicaram se destaca os Estados Unidos, com 6 trabalhos. Quando comparado com os dados coletados a partir da String 1, observa-se que a China não aparece em destaque, tendo somente 1 trabalho publicado. Assim como foi observado para a primeira String são necessários maiores estudos no Brasil, tendo em vista que não foram apresentados trabalhos nacionais acerca do tema, Figura 9.

# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

## WORKSHOP INTERNACIONAL

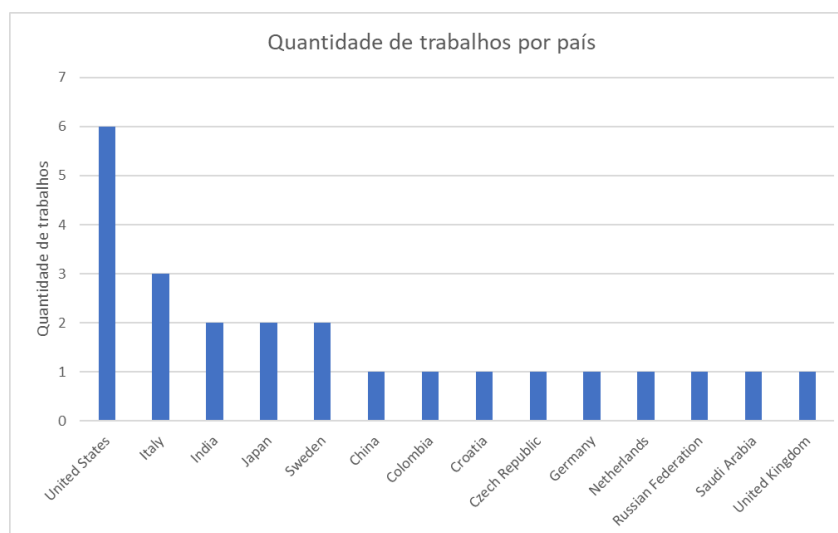
### Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:

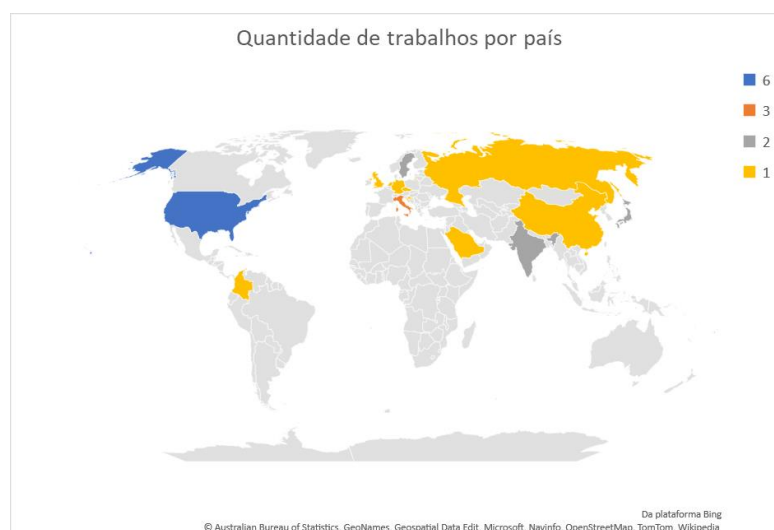
Apoio:



**Figura 9: Quantidade de documentos por país para a String 2**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO

A Figura 10 demonstra distribuição da produção no mundo de maneira mais visual, expressando a falta de produção acerca do tema no cenário nacional. Entretanto, ao contrário do que foi observado para a pesquisa com a String 1, a Colômbia representa a América do Sul com um artigo produzido no período analisado.



**Figura 10: Quantidade de documentos por país para a String 2 no mapa**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO

Como pode ser observado na Figura 11Figura 7, os anos de 2019 a 2022 apresentaram um comportamento constante, todo os anos com 3 trabalhos publicados. Além disso, pode-se observar que não foram encontradas publicações para os anos de 2012, 2014 e 2018.



**Figura 11: Quantidade de documentos por ano para a String 2**

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. - ADAPTADO

## 5. Conclusões

Diante do trabalho realizado, cujo objetivo visa quantificar e analisar os estudos relacionados ao tema de sustentabilidade dos materiais FRP, pode-se concluir que:

- Os métodos LCA e LCC são bons procedimentos de análise do ciclo de vida e do custo do ciclo de vida. Sendo necessário maior aprofundamento de ambos os procedimentos aplicados à utilização dos compósitos FRP;
- Conforme observado na bibliografia, as barras de FRP se mostram sustentáveis no decorrer de seu ciclo de vida, sendo que o maior impacto ambiental se encontra em seu processo produtivo, estando associado ao tipo de energia utilizada. Com um maior aprofundamento dos impactos associados ao ciclo de vida desses materiais é possível estabelecer os problemas e definir as soluções, tornando o material ainda mais sustentável;
- Em relação ao custo do ciclo de vida das barras de FRP, é mais concordante na bibliografia a diminuição de custos com a utilização desses compósitos. Entretanto, são necessários estudos comparativos entre os tipos de barras de FRP, como as reforçadas com fibra de vidro, basalto, carbono etc.;
- Os trabalhos cujo termo LCA é utilizado são mais frequentes do que os que tratam do tema LCC, tendo em vista que foram encontrados 58 trabalhos com o termo LCA e 17 trabalhos com o termo LCC. Isso sugere que os autores, atualmente, demonstram maior preocupação com a pesquisa dos efeitos ambientais do ciclo de vida dos compósitos FRP;

- Para ambas as Strings analisadas são observados muitos autores, o que permite diferentes opiniões, trazendo maior ganho para o tema. Possibilitando assim diferentes análises que podem apoiar políticas ambientais e econômicas;
- O estudo desse tema na América do Sul e, em especial no Brasil, não apresentou resultados, exigindo assim maior aprofundamento e incentivo a pesquisa acerca do tema no País;
- A China e os Estados Unidos são os países que mais produzem artigos com a temática, sendo a China o que mais produz com o tema LCA e os Estados Unidos o que mais produz com o tema LCC;
- Para ambas as Strings analisadas é observada uma tendência de aumento na quantidade de trabalhos produzidos nos últimos quatro anos, representando aproximadamente 58% e 70% dos trabalhos produzidos nos últimos dez anos, para a String 1 e String 2, respectivamente.

Para trabalhos futuros que visem realizar análises semelhantes acerca do tema, é sugerido que os autores realizem pesquisas em outras bases de dados, buscando quantificar e analisar trabalhos produzidos no Brasil, investigando e procurando incentivar a possibilidade de crescente do tema no país.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Condido de Financiamento 001.

## 7. Referências bibliográficas

- ACI 440.9R-15. **Guide to accelerated conditioning protocols for durability assessment of internal and external fiber-reinforce polymers (FRP) reinforcement : reported by ACI Committee 440.** [s.l.] American Concrete Institute, 2015.
- DI MARIA, A.; EYCKMANS, J.; VAN ACKER, K. 26 - Use of LCA and LCC to help decision-making between downcycling versus recycling of construction and demolition waste. Em: PACHECO-TORGAL, F. et al. (Eds.). **Advances in Construction and Demolition Waste Recycling.** [s.l.] Woodhead Publishing, 2020. p. 537–558.
- DONG, S.; LI, C.; XIAN, G. Environmental impacts of glass-and carbon-fiber-reinforced polymer bar-reinforced seawater and sea sand concrete beams used in marine environments: An lca case study. **Polymers**, v. 13, n. 1, p. 1–16, 1 jan. 2021.
- JENA, T.; KAEWUNRUEN, S. Life cycle sustainability assessments of an innovative frp composite footbridge. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 23, 1 dez. 2021.
- MARA, V.; HAGHANI, R.; HARRYSON, P. Bridge decks of fibre reinforced polymer (FRP): A sustainable solution. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 190–199, 2014.
- MURALIKRISHNA, I. V.; MANICKAM, V. Chapter Five - Life Cycle Assessment. Em: MURALIKRISHNA, I. V.; MANICKAM, V. (Eds.). **Environmental Management.** [s.l.] Butterworth-Heinemann, 2017. p. 57–75.
- PAVLOVIĆ, A. et al. Sustainability of alternative reinforcement for concrete structures: Life cycle assessment of basalt FRP bars. **Construction and Building Materials**, v. 334, 6 jun. 2022.
- PETRILLO, A. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) analysis model for a stand-alone hybrid renewable energy system. **Renewable Energy**, v. 95, p. 337–355, 1 set. 2016.

**IV SUSTENTARE & VII WIPIS**  
**WORKSHOP INTERNACIONAL**  
**Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos**  
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:  
SUSTENTARE FUD-CAMPINAS  
WIPES WIPES

Apoio:  
Agência das Bacias PCJ  
COMITÊS PCJ

YOUNIS, A.; EBEAD, U.; JUDD, S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 152–160, 30 jun. 2018.