

A Utilização do Concreto Estrutural com Adição de Fibras não Metálicas na Construção Civil: uma Prospecção Tecnológica

The Use of Structural Concrete with the Addition of Non-Metallic Fibers in Civil Construction, a Technological Prospect

Marcos Gottschalg Discher¹

Adriano Silva Fortes¹

Marcio Luis Valença Araújo¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, BA, Brasil

Resumo

A adição de fibras no concreto vem se mostrando uma ferramenta eficaz para o melhoramento do desempenho e da durabilidade de elementos estruturais nas edificações. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre a utilização de fibras não metálicas no concreto, identificando os tipos mais utilizados e as áreas de aplicação. Para isso, foi realizada prospecção tecnológica por meio de uma pesquisa exploratória com uma abordagem quantitativa e qualitativa, apoiando-se nos resultados das publicações científicas da Capes e Web of Science, e patentárias do INPI e Orbit. A prospecção apontou um crescimento do estudo da temática nos últimos dez anos, havendo uma liderança na utilização das fibras sintética, seguido pelas fibras poliméricas e em terceiro as fibras vegetais, sendo que, o concreto com a adição de fibras, vem sendo utilizado principalmente nas áreas em que a agressividade ambiental, a abrasão e os esforços de tração são determinantes para a estabilidade estrutural.

Palavras-chave: Concreto com Fibras. Fibras Sintéticas. Fibras Poliméricas.

Abstract

The addition of fibers in concrete has been proving to be an effective tool for improving the performance and durability of structural elements in buildings. The objective of this work was to carry out a study on the use of non-metallic fibers in concrete, identifying the most used types and areas of application. For this, technological prospection was carried out through exploratory research with a quantitative and qualitative approach, based on the results of scientific publications by CAPES and Web of Science, and patents by INPI and Orbit. The survey pointed to a growth in the study of the subject in the last ten years, with a leadership in the use of synthetic fibers, followed by polymeric fibers and thirdly by vegetable fibers, and concrete with the addition of fibers has been used mainly in areas where environmental aggressiveness, abrasion and tensile stresses are crucial for structural stability.

Keywords: Fibers Concrete. Synthetic Fibers. Polymeric Fiber.

Área Tecnológica: Propriedade Intelectual. Engenharia de Materiais. Engenharia Civil-Estruturas.



1 Introdução

O ramo da construção civil é um setor de relevância para a indústria e a economia de uma nação. No Brasil, segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021), a cadeia produtiva da Construção participa com 7,1% do PIB brasileiro. Particularmente, a Construção Civil responde por 44,1% do investimento executado no Brasil e emprega diretamente mais de dois milhões de trabalhadores com carteira assinada (CBIC, 2021).

Balaguer e Abderrahim (2008) já alertavam para o fato de que, apesar de sua importância e de a indústria da construção ser uma das mais antigas existentes, há uma grande defasagem tecnológica em relação a outros setores, assim como uma lenta utilização de novas tecnologias. Nesse contexto, para o desenvolvimento da construção civil e mais especificamente das estruturas importantes, é necessário o desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas (SUZART; LEITE, 2018). Observa-se, nos últimos anos, um esforço considerável da comunidade científica para superar esse desafio e desenvolver novos materiais e metodologias (FRANCKLIN *et al.*, 2019).

Muito utilizado na estrutura das edificações, o concreto é composto basicamente de água, cimento e agregados graúdos e miúdos. Elementos que, quando misturados, apresentam uma resistência à compressão satisfatória e adequada para serem usados na construção civil. No entanto, o concreto apresenta uma baixa resistência à tração, sendo necessária a adição de aço para resistir a esses esforços (GUPTA, 2014). Ao se adicionar o aço, forma-se o concreto armado.

Nas últimas décadas, aumentou a preocupação com a durabilidade e a estabilidade da estrutura ao longo de sua vida útil (SUZART; LEITE, 2018). Nesse universo, vem se tornando cada vez mais comum a utilização de fibras para o reforço do concreto, sendo as principais: fibras de aço, fibras sintéticas e fibras naturais. Entre as vantagens da adição de fibras, estão o aumento da resistência do concreto à tração e a abrasão (AMARAL; SILVA; MORAVIA, 2017), além do fato de que as fibras, sintéticas e vegetais, diminuem a massa específica e, conseqüentemente, o peso próprio da estrutura (NETO; PARDINI, 2006), reduzem a fissuração e, mesmo quando ocorre a fissuração, as fibras continuam conservando a transmissão de esforços de tração (DI PRISCO; PLIZZARI; VANDEWALLE, 2009).

Devido à facilidade e à velocidade alcançada na execução, o concreto com adição de fibras também vem sendo largamente utilizado para a reabilitação de estruturas que sofreram algum tipo de manifestação patológica ou deterioração de seus materiais constituintes, garantindo a estabilidade da estrutura e o aumento da sua vida útil (SUZART; LEITE, 2018).

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre a utilização de fibras não metálicas no concreto, armado ou não, identificando também os tipos de fibras mais adicionadas ao concreto, além de apontar em que situações esse concreto está sendo aplicado e utilizado na construção civil, norteador, assim, novas pesquisas e o desenvolvimento de materiais que possam aumentar a durabilidade e a vida útil do concreto utilizado nas estruturas das edificações.

2 Metodologia

O presente trabalho trata de uma prospecção tecnológica realizada por meio de buscas em bases de patentes e científicas, em nível nacional e internacional, com o intuito de realizar um levantamento sobre a utilização de fibras no concreto. A prospecção realizada adotou uma metodologia qualitativa e quantitativa como objetivo exploratório, em que foi realizada uma análise bibliométrica, dos artigos científicos revisados por pares, e patentária, dos pedidos de patentes nas bases do INPI e Orbit.

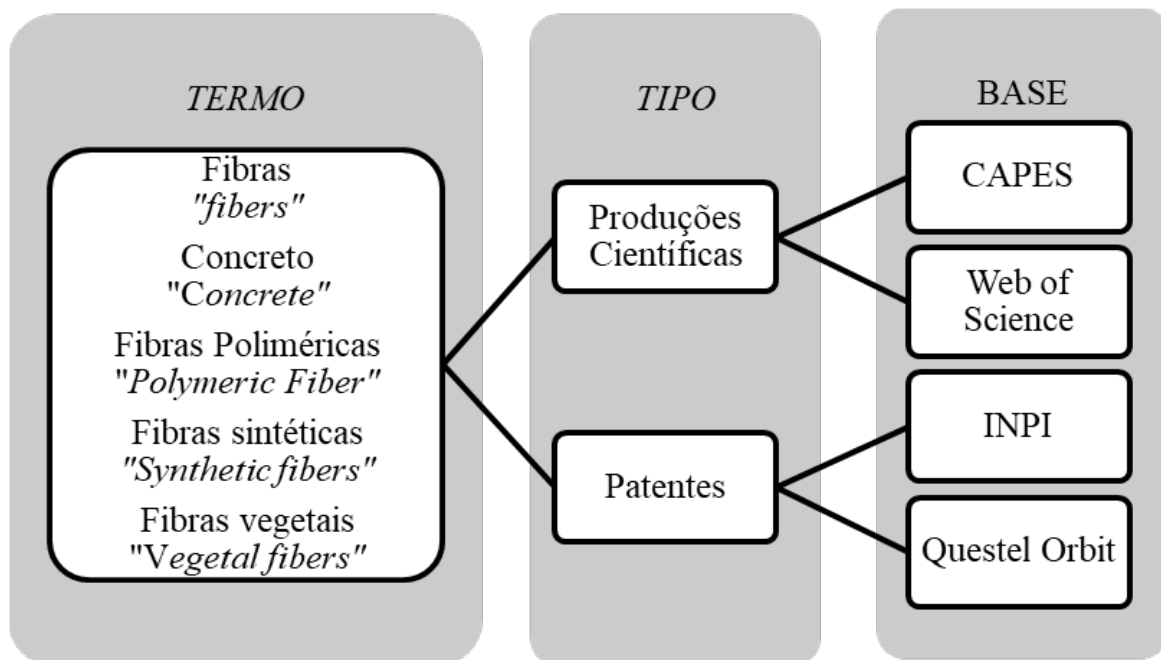
Em nível nacional, as buscas de pedidos de patentes foram realizadas na base do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Já as buscas internacionais, foram feitas no sistema Questel Orbit, por ser uma das mais reconhecidas plataformas internacionais de busca sobre informações contidas em patentes, além de apresentar muitas ferramentas para a análise de resultados. Utilizou-se o intervalo temporal de 2001 a 2021 para identificar os pedidos de patentes durante esse período.

O mesmo filtro temporal de 20 anos também foi utilizado nas buscas realizadas nas bases de produções científicas, com o objetivo de potencializar o estado da arte mais recente sobre a temática. As buscas foram realizadas nas bases da Web of Science e no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Essa pesquisa possibilitou a verificação da utilização de fibras, seja no concreto armado ou no concreto sem a adição de armaduras convencionais.

Nas buscas, foram utilizadas palavras-chave e termos combinando às palavras-chave, nos idiomas português e inglês, que relacionavam fibras com concreto. Os termos foram combinados utilizando os operadores booleanos AND ou OR, nos dois idiomas acima citados, nas bases de patentes e científicas. As palavras-chave e as bases utilizadas podem ser visualizadas de melhor forma na Figura 1.

Na base científica da Capes, a pesquisa foi realizada no campo “avançada” por meio do acesso “cafe”, o resultado apresenta artigos revisados por pares com os termos encontrados no título e no assunto. Na base científica Web of Science e na base patentária do INPI, a pesquisa também foi realizada no campo “avançada”, nessas bases, os resultados apresentam artigos revisados por pares com os termos encontrados no tópico, título e no resumo. Já na base patentária internacional do Questel Orbit, a pesquisa também foi realizada no campo “avançada”, e os resultados apresentam os pedidos de patentes com os termos encontrados no título, resumo, na descrição e no objeto da invenção.

Figura 1 – Metodologia para busca



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

A partir dos resultados encontrados, realizou-se primeiramente uma análise quantitativa dos dados, em que foi montada uma planilha eletrônica que continha todos os resultados separados por base de dados e palavras-chave pesquisadas. A partir desses resultados, foi possível realizar uma análise bibliométrica, e os resultados utilizando as palavras-chave “Fibra Polimérica” AND “Concreto”, “Fibra Vegetal” AND “Concreto” e em inglês “Synthetic Fiber” AND “Concrete”, “Polymeric Fiber” AND “Concrete” “Vegetal Fiber” AND “Concrete” trouxeram dados mais relevantes com a temática, possibilitando, assim, a última etapa, que foi a realização de uma análise qualitativa dos resultados.

3 Resultados e Discussão

Inicialmente foi montada a Tabela 1 com os resultados separados por termos e palavras-chave pesquisadas encontrados nas bases de buscas de artigos científicos da Capes e Web of Science e de patentes do INPI e do Orbit.

Tabela 1 – Resultado das buscas de patentes e artigos científicos – 2021

PALAVRAS-CHAVE	ARTIGOS CIENTÍFICOS		PATENTES	
	CAPEs	WEB OF SCIENCE	INPI	ORBIT
"Fibra"	20.601	7.344	15.338	89.068
"Fiber"	1.165.683	688.216	104	4.022.870
" Concreto"	77.966	497	3.915	28.613
"Concrete "	603.396	257.478	7	5.073.816
" Fibra Sintética "	125	1	704	1.386
" Synthetic Fiber "	13.882	11.338	1	219.156
" Fibra Polimérica "	49	2	489	1.926
"Polymeric Fiber "	2.977	11.176	0	94.586
"Fibra Vegetal"	133	13	278	1.878
"Vegetal Fiber"	514	624	1	3.860
"Fibra" AND "Concreto"	372	0	274	579
"Fiber" AND "Concrete"	52.521	26.413	0	120.523
"Fibra Sintética" AND "Concreto"	39	0	22	27
"Synthetic Fiber" AND "Concrete"	2027	689	0	8.890
"Fibra Polimérica" AND "Concreto"	32	0	13	23
"Polymeric Fiber" AND "Concrete"	467	304	0	2.969
"Fibra Vegetal" AND "Concreto"	20	0	11	21
"Vegetal Fiber" AND "Concrete"	92	19	0	133

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

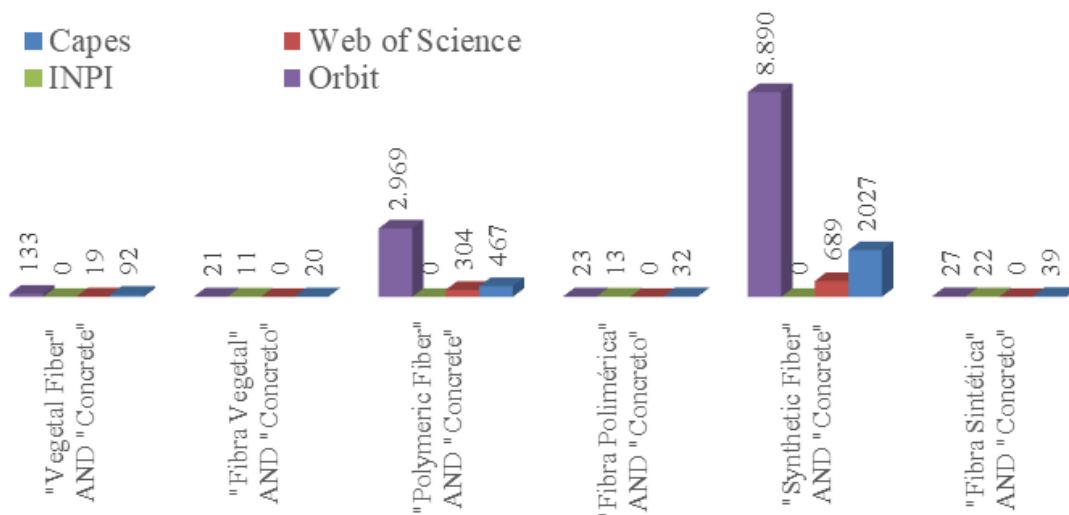
Observando-se os resultados encontrados nas bases científicas das Capes e da Web of Science apresentados na Tabela 1, percebe-se que, dos 18 termos procurados, apenas dois, “*Polymeric Fiber*” e “*Vegetal Fiber*”, apresentaram mais resultados na Web of Science; os outros 16 termos apresentaram mais resultados na base da Capes. O termo que apresentou o maior retorno na busca foi “*Fiber*” com 1.165.683 resultados, seguido por “*Concrete*” com 688.216 resultados, ambos obtidos na base da Capes. Percebe-se que, para ambas as bases de dados, os resultados encontrados para os termos em português são menores que os resultados encontrados para o mesmo termo, só que no idioma inglês. Inclusive, para os termos em português, “Fibra” AND “Concreto”, “Fibra Sintética” AND “Concreto”, “Fibra Polimérica” AND “Concreto”, “Fibra Vegetal” AND “Concreto” não foram encontrados resultados na base da Web of Science.

Diferente da proximidade de resultados encontrados nas buscas das bases bibliométricas, observa-se uma discrepância nos resultados obtidos nas bases de patentes do INPI e do Orbit. Mesmo levando em conta que a base do Orbit é internacional e que a maioria dos resultados é encontrada quando se realiza a busca utilizando-se os termos no idioma inglês, o Orbit também apresentou mais resultados do que o INPI quando realizadas buscas com termos no idioma português, demonstrando, assim, que o Orbit é uma ferramenta eficaz para realizar uma prospecção tecnológica internacional. Dos nove termos pesquisados em inglês, cinco não apresen-

taram nenhum resultado na base do INPI, e os outros quatro somados apresentaram apenas 113 resultados. Considerando a pesquisa nas duas bases, científica e patentária, percebe-se que a base patentária do Orbit foi a que apresentou o maior número de resultados para todas as bases, com o termo “concrete” despontando com 5.073.816 resultados.

Durante as buscas, observou-se que os resultados encontrados para os termos separadamente trouxeram dados numerosos, na ordem de milhões, como para os casos de “Fiber” e “concrete” na base do Orbit. Assim, as buscas realizadas com o uso de operadores booleanos AND ou OR, para se combinar os trabalhos que envolviam concreto com fibras, se mostraram mais eficientes para encontrar os resultados relevantes com a temática desejada. Dado isso, optou-se por montar o Gráfico 1 com o intuito de possibilitar uma melhor visualização dos resultados encontrados com os termos em português “Fibra Sintética” AND “Concreto”, “Fibra Polimérica” AND “Concreto”, “Fibra Vegetal” AND “Concreto” e em inglês “Synthetic Fiber” AND “Concrete”, “Polymeric Fiber” AND “Concrete” “Vegetal Fiber” AND “Concrete”.

Gráfico 1 – Total de Artigos e de Patentes encontrado nas bases de dados



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

No Gráfico 1, é possível observar a segmentação de artigos e de patentes encontrada por cada termo buscado. As barras na cor **azul** indicam os resultados encontrados na base da Capes; as barras na cor **vermelha** mostram os resultados na Web of Science; já as barras na cor **verde** apontam os resultados encontrados no INPI; e as barras na cor **lilás** apresentam os resultados na base do Orbit.

O formato em barras do Gráfico 1 permite observar a diferença proporcional entre os resultados encontrados. Com isso, percebe-se que os resultados encontrados para os termos buscados no idioma inglês são maiores que no português, demonstrando que a pesquisa no idioma inglês se mostra mais abrangente, no entanto, isso não necessariamente indica que o tema não é pesquisado no Brasil, esse fator será verificado ao se refinarem as buscar por país de publicação dos trabalhos. Percebe-se também que as barras em lilás, referentes aos resultados do Orbit, apresentam um valor maior que as outras bases de buscas, o que fornece uma quantidade de material mais abrangente para a determinação do estado da arte, referente à utilização de fibras no concreto.

Analisando somente os resultados das buscas encontradas na base bibliométrica, percebeu-se que os resultados encontrados com os termos separados apresentam dados muito genéricos, uma vez que existe um vasto campo de pesquisa sobre o concreto na engenharia e de fibras em várias áreas como na têxtil, farmacêutica, de cosméticos, entre outros. Porém, mesmo utilizando os termos combinados, dentro dos 52.521 resultados encontrados na base da Capes e dos 26.413 encontrados na Web of Science, para o termo “*Fiber*” AND “*Concrete*”, percebeu-se muitos trabalhos relacionados à utilização de fibras de aço dentro do concreto, tema que não é objeto desta pesquisa. Assim, após a exclusão desses trabalhos, foi possível montar a Tabela 2 com os resultados encontrados na base bibliométrica da Capes e da Web of Science, levando em consideração apenas os termos em inglês “*Synthetic Fiber*” AND “*Concrete*”, “*Polymeric Fiber*” AND “*Concrete*” “*Vegetal Fiber*” AND “*Concrete*”.

Tabela 2 – Resultado das buscas de artigos científicos – 2021

PALAVRAS-CHAVE	ARTIGOS CIENTÍFICOS	
	CAPE	WEB OF SCIENCE
" <i>Synthetic Fiber</i> " AND " <i>Concrete</i> "	2027	689
" <i>Polymeric Fiber</i> " AND " <i>Concrete</i> "	467	304
" <i>Vegetal Fiber</i> " AND " <i>Concrete</i> "	92	19

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Assim, analisando os resultados apresentados na Tabela 2, observou-se que os estudos de concreto com a inclusão de fibras se dividem em quatro grupos principais: concreto com adição fibras de aço, fibras sintéticas, fibras poliméricas e fibras vegetais. Fator também observado na pesquisa de Jacoski *et al.* (2014), na qual os autores também incluem as fibras cerâmicas nos resultados, no entanto, eles observam que as fibras cerâmicas não adicionam nenhuma função estrutural para o concreto. Analisando a Tabela 2 juntamente com o Gráfico 1, fica claro que o maior foco das pesquisas é encontrado para fibras sintéticas, seguido pelas poliméricas e finalizando nas fibras vegetais, esses dados também corroboram com os resultados das pesquisas de Jacoski *et al.* (2014). De posse dos resultados apresentado na Tabela 2, optou-se por se fazer uma leitura do título e do resumo dos artigos científicos, para, assim, fazer uma pré-seleção dos artigos que serviram de amostra e gerar um panorama dos assuntos que estão sendo pesquisados dentro da temática, que serão apresentados nos parágrafos a seguir.

Para a verificação das propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras, foram desenvolvidos protocolos e normas para testes por vários países. Entre os mais tradicionais, estão o europeu EN14651, de 2005, o americano ASTM C1609, de 2012, e o japonês JSCE-G 552, de 2013. Assim, alguns pesquisadores, como Manfredi e Silva (2020), realizam trabalhos comparativos entre os testes existentes, listando pontos fortes e fracos de cada teste e indicando a melhor situação de aplicabilidade de cada um. Salvador, Fernandes e Figueiredo (2015) também frisam a importância de que, na ausência de norma brasileira específica, é possível utilizar um dos métodos consagrados para ensaiar e validar o concreto reforçado com fibra (CRF).

Foram encontrados, também, trabalhos como o de Silva e Bandeira (2019), em que os pesquisadores traçam um comparativo entre o dimensionamento de vigas em concreto armado reforçadas com fibras de carbono utilizando a norma americana ACI 440.2R:2008 e a brasilei-

ra NBR 6118:2014. Feito o dimensionamento teórico, são ensaiados protótipos das vigas que permitem concluir que o resultado obtido utilizando a formulação do ACI 440.2R:2008 apresentou valores muito próximos dos ensaiados, enquanto os resultados da NBR 6118:2014 se mostraram muito conservadores, gerando, assim, a necessidade de utilização de mais reforço que o necessário.

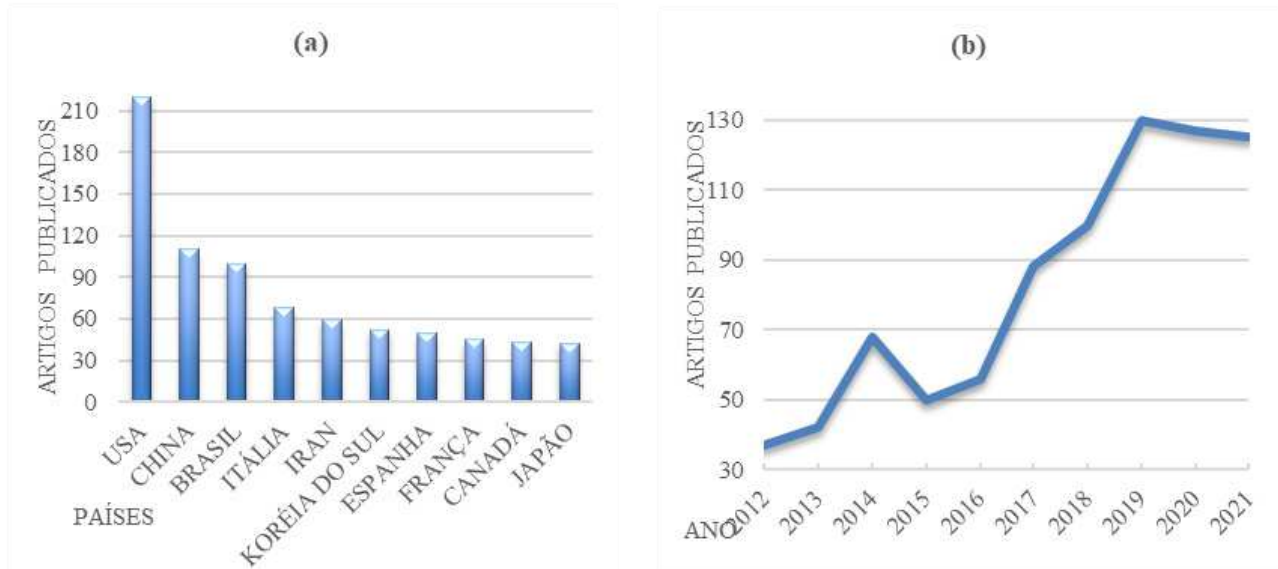
Também foram encontrados estudos sobre a utilização de concreto com adição de fibras em obras industriais (LUNA *et al.*, 2014); trabalhos que estudam a substituição das barras de aço por barras feitas de polímeros de fibras de vidro (FERNANDES; PALIGA; PALIGA, 2021); e estudos sobre a utilização de fibras em blocos de concretos utilizados em paredes de alvenaria estrutural (BERNARDES *et al.*, 2013). Outros trabalhos analisaram as propriedades do concreto reforçado com fibras quando exposto a temperaturas elevadas, avaliando a condutividade e a dilatação térmica (AMARAL; MORAVIA, 2020; HEO *et al.*, 2010) e até estudos avaliando modelos de reforço utilizando fibras para combater o esforço de punção em lajes (SANTOS *et al.*, 2014).

Fibras vegetais vêm sendo utilizadas como reforço de materiais há milhares de anos. Fibras como a do sisal, do rami, do bambu, cana-de-açúcar, coco, entre outras, passaram a ser estudadas e utilizadas no concreto. Entre as vantagens das fibras vegetais, pode-se incluir a baixa massa específica, a fácil reciclagem, o baixo custo e o baixo consumo de energia na produção. Borges, Motta e Pinto (2019) estudaram a possibilidade de substituição de fibras poliméricas por fibras de vegetais, de sisal e rami, em paredes estruturais. No estudo, o concreto com a adição de fibras vegetais foi avaliado no controle da retração, além de características físicas e mecânicas como a resistência, a compressão e tração, a massa específica, a capilaridade e o módulo de elasticidade. O estudo concluiu que, para todos os parâmetros estudados, o concreto com fibras poliméricas alcançou maiores resultados que as com fibras vegetais, no entanto, os resultados utilizando fibras vegetais não ficaram tão abaixo que os valores de referência, o que, a depender da utilidade da estrutura, não inviabiliza a substituição de fibras poliméricas por fibras vegetais. Porém o estudo de Borges, Motta e Pinto (2019) relatou a verificação da não homogeneidade da mistura entre o concreto e as fibras, o que pode ter prejudicado os resultados.

Já Francklin *et al.* (2019) realizaram um estudo parecido para a entender a viabilidade da utilização de compostos que utilizem uma matriz com compósitos epóxi e fibras de sisal no reforço de estruturas em concreto armado. Primeiramente, eles montaram e ensaiaram corpos de prova para encontrar a porcentagem ideal da proporção do compósito de resina epóxi reforçado com tecidos de sisal. Encontrada essa proporção, foram ensaiadas vigas reforçadas com fibras de carbono e outra com fibras de sisal. Após a análise comparativa dos resultados obtidos, conclui-se que compósitos utilizando fibras de sisal são viáveis para reforçar estruturas com desempenho similar aos já consagrados compósitos com fibras de carbono. Fator também corroborado pela pesquisa de Castold, De Souza e Silva (2019).

A seguir, é apresentado o Gráfico 2 com o intuito de gerar uma melhor visualização dos países e anos em que foram publicados trabalhos relacionados com a utilização de fibras vegetais, poliméricas ou sintéticas no concreto.

Gráfico 2 – Publicações de artigos científicos, por País (a) e por Ano (b), na base Web of Science utilizando as palavras-chave “Synthetic Fiber” AND “Concrete”, “Polymeric Fiber” AND “Concrete” “Vegetal Fiber” AND “Concrete”



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

Nos dados referentes aos países, o Gráfico 2 traz os Estados Unidos na liderança das publicações de artigos científicos, relacionados à utilização de fibras no concreto, com 220 publicações. Em segundo lugar, com metade dos resultados, vem a China com 110 publicações, seguida de perto pelo Brasil com cerca de 100 publicações. Com exceção dos Estados Unidos, que apresenta o dobro de publicações do segundo colocado, existe um certo equilíbrio no número de publicações dos demais países, e esses países estão distribuídos nas Américas do Norte e Sul, na Europa e na Ásia.

Já com relação às informações separadas por ano no Gráfico 2, observa-se o volume crescente de publicações relevantes ao decorrer dos últimos 10 anos. Partindo de 2012, e indo até 2016, percebe-se um pequeno crescimento no número de publicações. Em 2017 surge um salto considerável no número de publicações que se mantém crescendo no ano de 2018 chegando ao máximo de 130 publicações no ano 2019. Nos anos que se seguem, 2020 e 2021, percebe-se um novo patamar de estabilidade no número publicações. Saindo de um número de 30 publicações em 2012 e alcançando um patamar atual se 125 publicações anuais. Assim, pode-se concluir que a utilização de fibras no concreto vem ganhando força e sendo mais e essa utilização está sendo estudada nos últimos anos, demonstrando um grande potencial de desenvolvimento para os próximos anos.

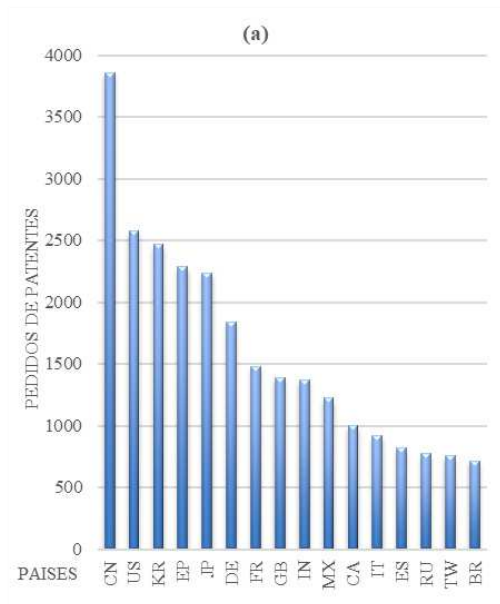
Vale ressaltar que, na data de realização desta pesquisa, o ano de 2021, ainda não estava finalizado, então ainda pode ser que tenham sido publicados mais trabalhos sobre o tema, aumentando, desse modo, o número de resultados em 2021. Outro fator a ser considerado é que, em 2020, o mundo passou pela parte mais intensa da pandemia da Covid-19, e esse fator também pode ter influenciado negativamente nos resultados de 2020 e 2021.

Passando a analisar agora os resultados das pesquisas realizadas nas bases patentárias, a busca que apresentou o maior número de resultados relevantes, conforme mostra a Tabela 1,

foi a combinação dos termos em inglês “Fiber” AND “Concrete”. O Gráfico 3 traz a divisão dos resultados por domínios de tecnologia (a) e subdivisões da engenharia civil (b).

Gráfico 3 – Pedidos de patentes na base do Orbit, utilizando o termo “Fiber” AND “Concrete”

(a) Domínios de Tecnologia



(b) Subdivisões da Engenharia Civil



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

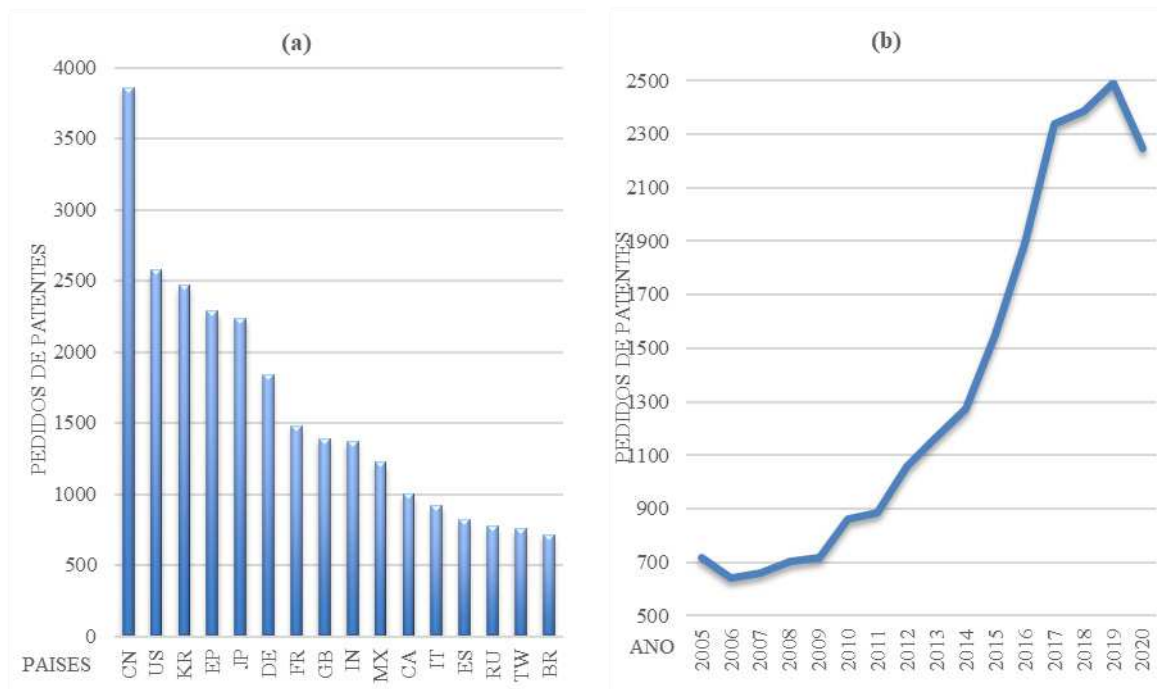
No Gráfico 3 (a), percebe-se um maior número de resultados para a área tecnológica da engenharia civil com 48,8% dos pedidos de patentes encontrados. Em segundo lugar, aparece “materiais e metalurgia” com 17,4% dos resultados e, em terceiro, “outras máquinas especiais” com 10,2%. O restante dos resultados se distribui na indústria têxtil, engenharia química, entre outros.

Ao se analisar as subdivisões da engenharia civil apresentadas no Gráfico 3 (b), percebe-se que o maior subgrupo encontrado é o *Concrete* (concreto), seguido por outras três parcelas de maior expressão, a *Cement Mortar* (argamassa de cimento), *Reinforcing* (Reforçando) e *Preservation* (Preservação). O termo preservação, aqui, surgiu atrelado também à sustentabilidade.

de, pois a possibilidade da utilização de materiais na construção civil, e, nesse caso, fibras e que sejam oriundas de materiais reciclados, é fundamental para o desenvolvimento de uma indústria da construção sustentável. Com a utilização de fibras, aumenta-se a vida útil do concreto e, conseqüentemente, das edificações. Com uma durabilidade maior das edificações, é possível uma menor retirada de materiais virgens da natureza, e se as fibras ainda forem oriundas de uma fonte reciclável, pode-se dizer que a preservação é duas vezes maior.

Para além da verificação de publicações de estudos científicos sobre a utilização de fibras no concreto, deseja-se observar o desenvolvimento tecnológico e o grau de proteção da tecnologia que está sendo desenvolvida. Para isso, montou-se o Gráfico 4 com o número de pedidos de patentes separados por países (a) e por ano (b), possibilitando, assim, a verificação de os países desenvolvem patentes relacionadas com a temática estudada e a evolução do desenvolvimento dessa tecnologia ao longo dos anos. Vale ressaltar que o período de graça de uma patente deve ser observado, e, assim, os resultados dos últimos 18 meses podem sofrer alterações em pesquisas futuras, dado o período de sigilo das patentes.

Gráfico 4 – Pedidos de patentes, por País (a) e por Ano (b), na base do Orbit utilizando as palavras-chaves “Synthetic Fiber” AND “Concrete”, “Polymeric Fiber” AND “Concrete” “Vegetal Fiber” AND “Concrete”



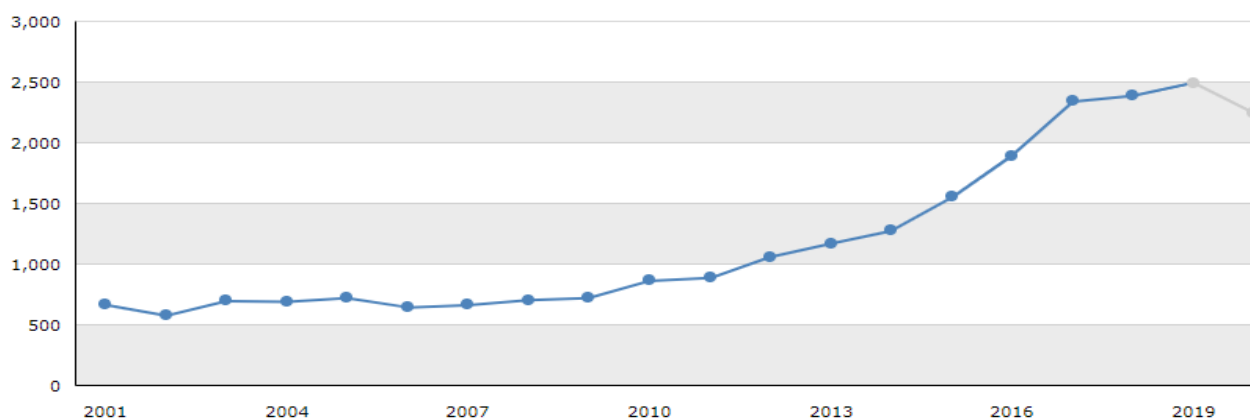
Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

Diferente do apresentado no Gráfico 2, que trazia as publicações de artigos científicos posicionando o Brasil na terceira posição dos países que mais publicam, o Gráfico 4 coloca o Brasil na 16ª colocação dos países que mais registram pedidos de patentes relacionadas com a temática estudada. Pode-se supor que isso ocorra pelo fato de o Orbit ser uma base internacional e os pedidos brasileiros estão na base do INPI, no entanto, a Tabela 1 mostra que, ao somar os pedidos de patentes no INPI, chega-se a 46 (22+13+11), se adicionar esse valor aos 713 encontrados para o Brasil na base do Orbit, chega-se a um total de 756 pedidos, levando o Brasil apenas para a 15ª posição. Esse fator revela o problema apontado pelo estudo realizado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) em parceria com a

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em que o distanciamento entre a academia e as empresas se apresenta como elemento dificultador para o desenvolvimento da CT&I no Brasil, pois, muitas vezes, a tecnologia pesquisada no laboratório não chega ao canteiro de obras (ANTAC; CBIC, 2013).

No Gráfico 4, é possível observar que a China reverte o resultado apresentado no Gráfico 2 e assume a liderança no número de pedidos de patentes, com um total de 3.857 pedidos, seguida pelos Estados Unidos na segunda posição com um valor de 2.581 pedidos. É importante lembrar que devido as Políticas de Promoção de Patentes adotadas pela China é comum encontrar a China liderando o *ranking* de pedidos de patentes. No entanto, esse número expressivo de pedidos de patentes nem sempre vem acompanhado de um fator qualitativo, comumente comprovado pela alta taxa de desistência dos pedidos seguida pelo baixo número de renovações das patentes (LONG; WANG, 2019). Com o intuito de investigar a relação entre a evolução do desenvolvimento dessa tecnologia com o volume de investimentos ao longo dos anos, foi montado o Gráficos 5, que mostra o volume de investimentos ao longo dos últimos 20 anos.

Gráfico 5 – Volume de investimentos por ano, na base do Orbit utilizando as palavras-chave “Synthetic Fiber” AND “Concrete”, “Polymeric Fiber” AND “Concrete” “Vegetal Fiber” AND “Concrete”



Tendência de investimento em tecnologia nos últimos 20 anos

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2021)

A exemplo do verificado no Gráfico 4, no Gráfico 5 também é possível observar um patamar nos investimentos entre os anos 2001 e 2010. A partir de 2011, nota-se um aumento gradativo, ano após ano, dos investimentos no desenvolvimento tecnológico de patentes, até chegar em seu nível máximo em 2019, apresentando um valor cinco vezes maior que o encontrado no início do período pesquisado.

O Gráfico 4 também corrobora com os resultados do Gráfico 2 e é o reflexo do aumento dos investimentos apresentados no Gráfico 5. Pode-se observar, comparando o Gráfico 4 com o Gráfico 5, que o volume de pedidos de patentes é diretamente proporcional ao volume de investimentos empregados na pesquisa. Os dados crescentes dos Gráficos 2, 4 e 5 nos últimos anos revelam que o tema está ganhando relevância no setor científico e tecnológico, o que mostra ter um potencial de crescimento nos próximos anos, permitindo-nos dizer que a utilização de fibras no concreto pode se tornar uma tendência nas próximas décadas.

O INPI não apresentou resultados, conforme mostrado na Tabela 1, para as buscas utilizando os termos em inglês que apresentaram os resultados mais relevantes deste trabalho, “*Synthetic Fiber*” AND “*Concrete*”, “*Polymeric Fiber*” AND “*Concrete*” “*Vegetal Fiber*” AND “*Concrete*”. No entanto, esse fator pode servir de base para a prospecção tecnológica no Brasil, uma vez que, entre os resultados encontrados para os termos na língua portuguesa, pode-se observar o panorama nacional da tecnologia.

Assim, entre as patentes encontradas no INPI, pode-se observar patentes relacionadas com os procedimentos para a fabricação de fibras sintéticas (BR 112016001546-0 A2), assim como patentes relacionadas à formulação de compósitos de fibras vegetais (BR 10 2017 018926 0 A2), poliméricos (BR 112020021494-9 A2) e de telas a base de fibras de polímeros (PI0800707-1 A2) para serem adicionadas ao concreto. Por fim, é possível notar utilidades específicas do concreto reforçado com fibras, como na construção de pisos e lajes (PI0705119-0 A2), telhas (BR 102016011622-8 A2), painéis estruturais de vedação (PI 05045374 A) e placas estruturadas com fibras de aço e sintéticas (MU 8602722-0 u).

4 Considerações Finais

O estudo possibilitou observar os cenários, nacional e mundial, no que se refere à utilização de fibras não metálicas para reforço estrutural do concreto. Pode-se constatar um crescimento considerável de utilização da tecnologia nos últimos dez anos, indicando, assim, uma forte tendência para a sua aplicação e utilização, principalmente em áreas em que a agressividade ambiental, a abrasão e os esforços de tração são fatores determinantes para o dimensionamento das peças estruturais. Além do fato de a utilização fibras estar ligada diretamente à sustentabilidade, pois o uso de fibras aumenta a durabilidade e, conseqüentemente, a vida útil da estrutura, diminuindo a utilização de materiais para a construção de novas edificações.

As prospecções revelaram que os países que lideram as pesquisas são os Estados Unidos e a China. O Brasil, apesar de aparecer na terceira posição na pesquisa bibliométrica, caiu para a 16ª posição quando realizada a pesquisa patentária. Esse fator pode apontar o distanciamento entre a academia e as empresas que se apresenta como elemento dificultador para o desenvolvimento da CT&I no Brasil, pois, muitas vezes, a tecnologia pesquisada no laboratório não chega ao canteiro de obras, como já mencionado.

Ademais, refinando as pesquisas, foi possível encontrar um número considerável de resultados sobre a utilização de fibras para reforço do concreto armado, havendo uma liderança das fibras sintética, em segundo lugar, as fibras poliméricas e, em terceiro, as fibras vegetais. Porém, encontrou-se muito pouco sobre a utilização de estruturas somente com a adição de fibras e sem a utilização de armaduras convencionais como o aço CA-50, sendo esse então um potencial norte para pesquisas futuras.

Outra possibilidade para um trabalho futuro é a realização de pesquisas que tratem somente da utilização do concreto com a adição de fibras recicladas e o impacto da utilização desse tipo de concreto na redução da retirada de materiais direto da natureza.

Vale ressaltar que a pesquisa demonstrou a inexistência de normativa nacional específica para a verificação das propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras, sendo ne-

cessária a utilização de métodos nacionais como o europeu EN14651 de 2005, o americano ASTM C1609 de 2012 e o japonês JSCE-G 552 de 2013. Assim, a partir desta prospecção, foram verificadas as possibilidades de utilização de fibras no concreto, além de se traçar um panorama para o desenvolvimento da tecnologia para os próximos anos.

5 Perspectivas Futuras

Entende-se ser essa uma tecnologia promissora e de muita importância para o desenvolvimento tecnológico das estruturas nas edificações. Acredita-se que, em breve, a utilização de fibras será uma constante no concreto estrutural, e é necessário que o Brasil invista em pesquisa e desenvolvimento nessa área, gerando, assim, novos produtos e um modelo de construção mais sustentável. Além do investimento para o desenvolvimento dessa tecnologia, é necessário estabelecer uma padronização, regulamentada pela NBR, para que sejam realizados os ensaios com o intuito de se estabelecer as propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras, garantido o amparo legal para o dimensionamento de estruturas que utilizam essa tecnologia.

Referências

AMARAL, J. C.; SILVA, L.; MORAVIA, W. G. Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. **Revista Matéria**, [s.l.], v. 22, n. 1, 2017.

AMARAL J. C.; MORAVIA W. G. Thermal properties of polypropylene and high modulus polyethylene fibers reinforced concretes. **IBRACON Structures and Materials Journal**, [s.l.], v. 13, n. 1, 2020.

ANTAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO; CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Estratégias para a formulação de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação para a indústria da Construção**. Brasília, DF: ANTAC; CBIC, 2013.

BALAGUER, C.; ABDERRAHIM, M. Trends in Robotics and Automation in Construction. **Robotics and Automation in Construction**. [S.l.]: Intech, 2008. ISBN 978-953-7619-13-8.

BERNARDES, E. E. *et al.* Comportamento pós-fissuração de blocos, prismas e pequenas paredes de concreto reforçado com fibra vegetal. **IBRACON Structures and Materials Journal**, [s.l.], v. 6, n. 4, 2013.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. C.; PINTO, E. B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. **Revista Matéria**, [s.l.], v. 24, n. 2, 2019.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Pós-obra: geração de renda e emprego na economia**; Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília, DF: CBIC, 2021.

CASTOLD, R. D.; DE SOUZA, L. M. S.; SILVA, F. D. Comparative study on the mechanical behavior and durability of polypropylene and sisal fiber reinforced concretes. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 211, p. 617-628, 2019.

DI PRISCO, M.; PLIZZARI, G.; VANDEWALLE, L. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. **Materials and Structures**, [s.l.], v. 42, n. 9, p. 415-425, 2009.

FERNANDES, T. V.; PALIGA, A. R.; PALIGA, C. M. Bending reinforced concrete beams with glass fiber reinforced polymer bars: an experimental analysis. **IBRACON Structures and Materials Journal**, [s.l.], v. 14, n. 3, 2021.

FRANCKLIN, H. M. *et al.* Estudo da viabilidade da utilização de compósitos epóxi e fibras de sisal como reforço de estruturas de concreto armado. **IBRACON Structures and Materials Journal**, [s.l.], v. 12, n. 2, 2019.

GUPTA, R. S. **Principals of structural design: wood, steel and concrete**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

HEO, Y. *et al.* Synergistic effect of combined fibers for spalling protection of concrete in fire. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 40, 2010.

JACOSKI, C. A. *et al.* Prospecção tecnológica de concreto com adição de fibras. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 7, n. 3, p. 368-376, jul.-set. 2014. DOI: 10.9771/S.CPROSP.2014.007.037. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/11522/pdf_46. Acesso em: 20 maio 2022.

LONG, C. X.; WANG, J. China's Patent Promotion Policies and Its Quality Implications. **Science & Public Policy**, [s.l.], v. 46, n. 1, p. 91-104, 2019. Disponível em: <https://doi.org.ez357.periodicos.capes.gov.br/10.1093/scipol/scy040>. Acesso em: 20 maio 2022.

LUNA, A. M. *et al.* Experimental mechanical characterization of steel and polypropylene fiber reinforced concrete. **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia**, [s.l.], v. 37, n. 2, p. 106 -115, 2014.

MANFREDI, R. P.; SILVA, F. D. Test Methods for the Characterization of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete: A Comparative Analysis. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [s.l.], v. 24, p. 856-866, 2020. DOI 10.1007/s12205-020-0741-7.

NETO, L. F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo, Blucher, 2006.

SANTOS, G. S. *et al.* Sistema de reforço à punção de lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC). **IBRACON Structures and Materials Journal**, [s.l.], v. 7, n. 4, 2014.

SALVADOR, R. P.; FERNANDES, J. F.; FIGUEIREDO, A. D. Avaliação do concreto reforçado com baixos teores de fibras para fins estruturais segundo a norma EN 14651-2007. **Revista Matéria**, [s.l.], v. 20, n. 4, p. 961-974, 2015.

SILVA A. S. C.; BANDEIRA A. A. Análise de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com fibras de carbono: abordagem teórica e computacional. **IBRACON Structures and Materials Journal**, [s.l.], v. 12, n. 2, 2019.

SUZART, R. Q.; LEITE, J. C. **O universo da Engenharia Civil: tecnologias, desafios, inovações e conquistas**. Salvador, BA: Mente Aberta, 2018.

Sobre os Autores

Marcos Gottschalg Discher

E-mail: marcosdischer@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9365-8925>

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia – IFBA em 2022.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Euclides da Cunha. Av. Renato Campos, n. 900, Nossa Sra. da Conceição, BR 116, Km-220, Euclides da Cunha, BA. CEP: 48500-000.

Adriano Silva Fortes

E-mail: adrianofortes@ifba.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2030-5432>

Doutor em Engenharia Civil pela UFSC, Universidade do Minho, PT, em 2004.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, BA. CEP: 40301-015.

Marcio Luis Valença Araújo

E-mail: maraujo.valenca@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2376-0160>

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, SENAI, Departamento Regional da Bahia em 2018.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Lauro de Freitas, Rua São Cristóvão, s/n, Itinga, Lauro de Freitas, Bahia. CEP: 42739-005.