

APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA BREVE REVISÃO

Data de aceite: 03/07/2023

Jânio Teles dos Santos

Graduando em Engenharia Civil,
Faculdade de Ilhéus

Felipe José Estrela Marinho

Professor do Curso de Engenharia Civil,
Faculdade de Ilhéus

Ozana Almeida Lessa

Doutora em Engenharia de Processos
Químicos e Bioquímicos, Universidade
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

RESUMO: O setor da construção civil está em constante busca por inovações capazes de otimizar características dos materiais aplicados na área com o objetivo de se obter construções cada vez mais modernas, resistentes e, ao mesmo tempo, confortáveis e tecnológicas. Dentro dessa perspectiva a nanotecnologia tem emergido como uma ciência com potencial de atribuir características com alto desempenho, durabilidade, renovabilidade e, ainda ser ambientalmente amigável. Esses materiais, por possuírem partículas em escala nanométricas são chamados de nanomateriais. Por se tratar de uma tecnologia nova e em crescimento este

trabalho tem por objetivo realizar uma busca na literatura sobre essa temática especificamente na área da construção civil ressaltando suas aplicações. É possível encontrar materiais oriundos de nanoceluloses robusta e biodegradável, aplicações em concretos melhorando suas características, vidros com capacidade antiembaçadora, aços resistentes e leves e pinturas com resistência à sujeira e ao desbotamento, por exemplo. As pesquisas apontam para perspectivas de nanomateriais surpreendentes e com capacidades ainda inimagináveis, tudo isso faz com que, atualmente, a nanotecnologia seja considerada a tecnologia do futuro.

PALAVRAS-CHAVES: Nanocelulose. Nanomateriais. Nanociência.

APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY IN CIVIL CONSTRUCTION: A BRIEF REVIEW

ABSTRACT: The civil construction sector is in constant search for innovations capable of optimizing the characteristics of the materials applied in the area, with the objective of obtaining increasingly modern constructions that are resistant and, at the same time, comfortable and technological.

Within this perspective, nanotechnology has emerged as a science with the potential to attribute characteristics with high performance, durability, renewability and still being environmentally friendly. These materials, because they have particles on the nanometer scale, are called nanomaterials. As it is a new and growing technology, this work aims to carry out a literature search on this topic specifically in the field of civil construction, highlighting its applications. It is possible to find materials from robust and biodegradable nanocelluloses, applications in concrete improving its characteristics, glass with anti-fogging capacity, resistant and light steels and paints with resistance to dirt and fading, for example. Research points to prospects for surprising nanomaterials with still unimaginable capabilities, all of which makes nanotechnology currently considered the technology of the future.

KEYWORDS: Nanocellulose. Nanomaterials. Nanoscience.

1 | INTRODUÇÃO

O homem sempre buscou aprimorar os materiais com o qual executa seus trabalhos e, aliado à ciência, tecnologia e inovação a nanociência tem sido promissora em produção de materiais inteligentes e super capazes. Para isso, ela lança mão da manipulação de características dos compostos de materiais já existentes em minúsculas dimensões, chamados de nanomateriais, pois se trata de unidades nanométricas (SABRY, 2022).

A redução para escala nanométrica tende a proporcionar propriedades físico-químicas inteiramente novas e interessantes aos materiais, podendo ser aplicados em segmentos como revestimento, impermeabilizantes, argamassas poliméricas, adesivos e selantes, lubrificantes atóxicos, solventes biodegradáveis e ao concreto. A perspectiva de se melhor explorar as propriedades destes materiais tem levado pesquisadores e empresários do mundo inteiro a estudar e investir nessas áreas de nanociência e nanotecnologia (MIHINDUKULASURIYA E LIM, 2014).

Para MORAIS, 2012 essa tecnologia parece possuir a chave que permite que os materiais de construção reproduzam as características dos sistemas naturais que foram melhoradas até a perfeição durante milhões de anos.

Os polímeros derivados do petróleo foram apresentados ao mundo no início do século 20 como substitutos de materiais como seda e borracha de recursos naturais, mas foram projetados para se tornarem materiais convencionais de baixo custo e com propriedades superiores, representando a diminuição do uso de polímeros naturais. No entanto, uma transição da petroquímica para a bioeconomia, envolvendo o renascimento de polímeros renováveis, é esperado no 21 século (MÜLHAUPT, 2013).

Dentro desse contexto a nanotecnologia é a capacidade de criar objetos de qualidade superior aos existentes hoje, a partir da organização dos átomos e moléculas da forma desejada. Essa qualidade diz respeito a maior resistência, segurança e um baixo custo de produção (LESSA et al., 2021).

Especificamente na área de materiais e construção civil conseguir aliar materiais com alto poder de resistência, baixo custo e renovabilidade tem sido o alvo de pesquisas

pelo mundo. Assim, produtos como vidros, concretos, materiais de designers e outros tem sido desenvolvido e aplicado com sucesso em construções modernas.

Por se tratar de um assunto relativamente novo e promissor, foi realizada pesquisa exploratória através do site de busca Google Acadêmico utilizando associação de palavras na busca como “nanotecnologia + construção civil”; “nanotecnologia + engenharia civil”; “nanomateriais + construção civil”; “nanomateriais + engenharia civil”; “nanocelulose + engenharia civil”; “nanocelulose + construção civil”. A mesma combinação de palavras foi usada no site de busca de patentes Google Patents. Foi feita uma leitura minuciosa dos materiais encontrados (artigos, trabalhos de conclusão de curso, monografias, teses e pedidos de patentes ou patentes concedidas) e um compilado de ideias do que já se tem de aplicações na área da engenharia civil.

Diante do exposto, essa revisão tem como objetivo fazer um levantamento através de busca em periódicos sobre os avanços da nanotecnologia, mais especificamente do uso e aplicação na área da construção civil.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A nanociência e nanotecnologia

A Nanociência e a Nanotecnologia são associadas a termos como revolução invisível, miniaturização de estruturas, revolução industrial, admirável mundo novo, ficção científica, ciência e tecnologia dos materiais, entre outros. Todos esses termos expressam a ciência e a tecnologia capaz de produzir uma grande variedade de materiais com propriedades específicas e otimizadas para aplicações industriais diversas (MILLER, 2005). Trata-se de uma ciência multidisciplinar, por isso consegue destaque em todas as áreas do conhecimento, inclusive na engenharia de materiais.

Delas derivam materiais que são chamados de nanomateriais que, por definição, os materiais nanoestruturados apresentam, pelo menos, uma de suas dimensões em tamanho nanométrico. Segundo o Sistema Internacional de medidas (SI) o símbolo para medidas em nanômetro é nm, ou seja, em escala 1/1.000.000.000, ou um bilionésimo do metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nessa escala de tamanho, os materiais apresentam novas propriedades, antes não observadas quando em tamanho micro ou macroscópico, por exemplo, a tolerância à temperatura, a variedade de cores, as alterações da reatividade química e a condutividade elétrica (GALEMBECK e RIPPEL, 2004).

Para FERREIRA e RANGEL, 2009 a essência da nanotecnologia consiste na habilidade de se trabalhar em nível atômico, molecular e macromolecular a fim de criar materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e aplicações fundamentalmente novas.

Por se tratar de uma tecnologia multidisciplinar possui um vasto campo de aplicação, se destacando em várias áreas, inclusive na construção civil, já que permite

o aprimoramento de materiais, tornando-os sustentáveis, econômicos e ecologicamente corretos.

O uso da nanotecnologia é uma alternativa promissora, visto que, possibilita grandes melhorias no processo construtivo, contribuindo para o aperfeiçoamento de materiais que ao serem utilizados concebem longevidade, segurança e praticidade às obras da construção civil (SOUZA, et al., 2019).

Apesar dessa nanorevolução os críticos costumam questionar se mexer com escalas tão minúsculas pode oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente já que não se pode controlar e ainda não há estudos provando como essas nanopartículas se comportam após anos no organismo e na natureza. Outro ponto que ainda é um entrave para as aplicações de nanomateriais nos processos construtivos é o alto custo de acesso tanto aos matérias, quanto às pesquisas nessa área, sendo esse ponto algo comum em novas tecnologias.

2.2 Aplicações na Construção Civil

A versatilidade e as vantagens de aplicações da nanotecnologia também são perceptíveis na área da construção civil. Materiais tradicionais da área tem sido modificados, aprimorados e reforçados com a inclusão de nanopartículas. Os que mais tem ganhado destaque no mercado são abordados a seguir.

2.2.1 Aplicações em Concreto

Por ser um material que com características mecânicas de alta resistência à compressão, o concreto é o mais utilizado na construção civil (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo BATISTON (2012, p. 2) a adição de nano objetos ao cimento pode permitir o controle e o melhoramento do comportamento destes materiais, modificando sua nanoestrutura, o que pelas técnicas atuais não poderia ser alcançado. A possibilidade de controle da difusão progressiva de aditivos, o autorreparo através da utilização de nanocápsulas com material adesivo, o controle da fluência, e o aumento da resistência mecânica são alguns exemplos do que pode ser desenvolvido através da aplicação dos conceitos e técnicas geradas pela nanotecnologia.

A Figura 1 mostra um nanocimento. O produto é obtido com base na síntese de fibras nanométricas diretamente sobre o cimento. Elas modificam as propriedades mecânicas do material original após o acréscimo de água, resultando em um produto mais “enriquecido” e mais resistente a fissuras e à compressão e foi patenteado pelo grupo de pesquisas que o desenvolveu na UFGM (Universidade Federal de Minas Gerais).



Figura 1. Cimento desenvolvido pela UFMG com síntese de nanotubo de carbono.

Fonte: ufmg.br.

Já para SOBOLEV e SHAH, 2008 os benefícios das nanopartículas no desempenho de materiais cimentícios se dariam por alguns fatores como:

- A boa dispersão das nanopartículas eleva a viscosidade na fase líquida, auxiliando a suspensão das partículas de cimento e agregados, o que eleva a resistência à segregação;
- Aumento da densidade da estrutura, com o preenchimento dos vazios entre grãos pelo nanomaterial;
- Aumento da velocidade do processo de hidratação do cimento, uma vez que estas partículas atuam como centro de cristalização;
- As nanopartículas colaboram para o desenvolvimento da composição da zona de transição, ocasionando uma melhor ligação agregado e pasta de cimento.

2.3 Aplicações em vidros

Embora a nanotecnologia seja considerada uma ciência recente e emergente, estudos apontam o uso da tecnologia sem conhecimento específico do que se tratava há séculos atrás. Dentre os exemplos, relata-se que na Europa, o colorido dos vitrais das igrejas medievais, tão ricamente trabalhados pelos artesões, era o resultado da formulação do vidro com nanopartículas de ouro (ALVES, 2004).

Conforme STAMATE e LAZAR (2007) *apoud* AUSTRIA, 2015 dentre as diversas área de aplicação e utilização dos efeitos fotocatalíticos da nanotitânia, pode-se citar algumas que são aplicadas a vidros e espelhos como, efeito autolimpante, propriedades antibacterianas e efeito antiembaçante. O efeito autolimpante devido a fotocatalise da nanotitânia ocorre com o desprendimento da nanotitânia à medida que ela recebe a incidência de luz e inicia, assim, o processo de degradação dos poluentes. No vidro, age também como autolimpante, anti-incrustante, esterilizando a superfície envidraçada.

A Figura 2 apresenta um nano produto indicado para proteção de vidros e espelhos comercializado no Brasil chamado de nanotecnologia protetiva com nano partículas de titânio para superfícies de vidro com ação hidro-repelente, indicado para vidros e espelhos das indústrias e hospitais, mantendo o brilho intenso do local pertencente à Nanoclean® Titânio Vidro.

As características básicas prometidas do Nanoclean® TITÂNIO VIDRO são: Atua como agente hidro repelente e anti sujeidade; Promove a remoção de sujidades com facilidade; Economia de água e detergentes; Redução no tempo de limpeza; Suja menos; Evita a formação de biofilmes; Evita manchas; Fácil aplicação; Longevidade de 10 anos em vidros prediais; Longevidade de 3 anos em box de banheiro; Baixo risco tóxico; Resistente aos raios UV; Não removível com detergentes, soluções cloradas, produtos alcalinos e produtos ácidos (Informações obtidas no site da empresa Nanoclean® Titânio Vidro).



Figura 2. Nanotecnologia aplicada em vidros.

Fonte: nanoclean.ind.br.

Essa característica adquirida através da aplicação da nanotecnologia garante um vidro muito mais duradouro, translúcido e sem necessidade de limpeza manual frequente, o que colabora com a diminuição nos custos de manutenção.

2.4 Compósitos nanocelulósicos

O termo “nanocelulose” é amplamente usado para descrever a celulose na forma de fibras ou cristais com comprimento em poucos micrômetros ($< 5000 \mu\text{m}$) e diâmetro $< 100 \text{ nm}$, podendo ser extraído de fibras naturais de celulose (NASIR et al., 2017). A síntese e aplicação dessas nanopartículas celulósicas alcançou um crescimento notável devido à sua natureza biodegradável, grande área específica, excelentes propriedades mecânicas, alta resistência química, cristalinidade e fácil funcionalização da superfície (CHEN et al., 2018; THOMAS et al., 2018).

Essas propriedades físico-químicas exclusivas da nanocelulose permitem que elas sejam potencialmente usadas em muitos campos como, por exemplo, em automóveis, interiores e estruturas aeroespaciais, dispositivos de energia, embalagens, impressão 3D, membrana, eletrônica flexível (FANG et al., 2019). A Figura 3 mostra possíveis aplicações da nanocelulose.

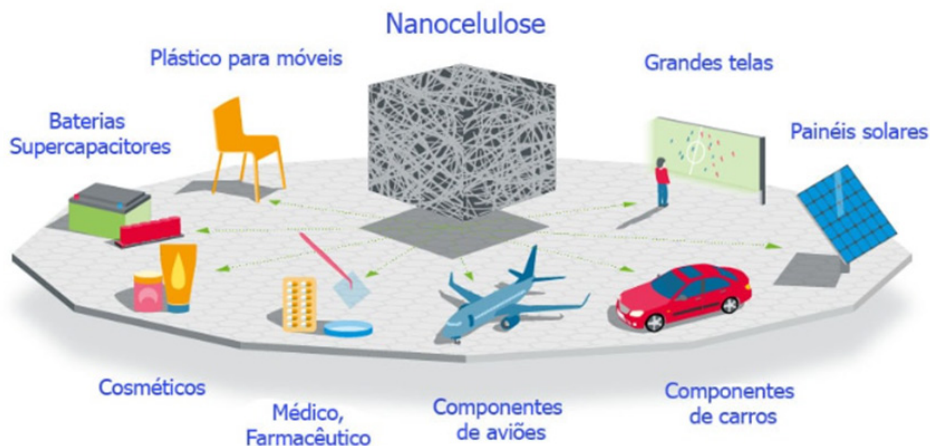


Figura 3. Possíveis Aplicações da Nanocelulose.

Fonte: stylourbano.com.br,2023.

Os nanocompósitos consistem na mistura de nanoceluloses com materiais já utilizados pelas indústrias, como por exemplo os materiais poliméricos, agregando robustez, renovabilidade e atenuando os impactos ambientais causados pelos resíduos da construção civil.

O crescente interesse em melhorar a qualidade do meio ambiente, aliado ao acúmulo de lixo não biodegradável, tem incentivado pesquisas em todo o mundo no sentido de incrementar e desenvolver materiais biodegradáveis provenientes de fontes renováveis (THARANATHAN, 2003; PORTES et al., 2008; PEREIRA et al., 2017).

2.5 Aplicações em Aço

O aço é considerado um dos elementos mais importantes na construção civil. E, por isso, também é alvo de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos. As características primordiais que buscam aperfeiçoar no aço são: dar maior resistência a esse elemento, aprimorar a capacidade antioxidante para acabar com o processo corrosivo e melhorar sua soldabilidade tornando o processo mais simples e duradouro (NARDIN, 2008).

Alguns aços já foram desenvolvidos com aplicação da nanotecnologia em outros países. Estes aços apresentam propriedades mecânicas superiores aos outros aços de alta resistência, como por exemplo, maior resistência à tração, ductilidade e resistência à fadiga.

Tais propriedades podem levar a maior vida útil em ambientes corrosivos e menores custos de construção. Os aços de alto desempenho são voltados para projetos que requerem designs leves e rígidos.

Além das aplicações apresentadas uma vasta possibilidade de materiais tem sido desenvolvido e comercializado, dentre outros materiais de igual importância para a construção civil. tais como:

- Materiais de revestimentos, como tintas inteligentes;
- Nanosensores com capacidade de economia de energia;
- Nanoplásticos com alta resistência e biodegradabilidade;
- Capeamento de vidros e aplicações antierosão a metais;
- Filtros de proteção solar;
- Material para proteção contra raios ultravioleta;
- Nano-cola capaz de unir qualquer material a outro;
- Produtos para limpar materiais tóxicos;
- Sistemas de filtração do ar e de água.

2.6 Inovações

Diversas pesquisas tem sido feitas em busca de materiais de alta performance e os pedidos de patentes junto ao INPI (Instituto Nacional de Pesquisa e Inovação) envolvendo nanotecnologia com possíveis aplicações na área da engenharia civil tem crescido. A Tabela 1 apresenta algumas patentes/ pedidos de patentes e suas funcionalidades para a construção civil.

Título	Registro / Inventores	Breve descrição
Peças de gesso de alta resistência e método de obtenção de tais peças	BRPI0506033B1. Milton Ferreira De Souza; Hebert Luis Rossetto; Wellington Massayuki Kanno	Peças de gesso de alta resistência e método de obtenção de tais peças refere-se à formação de peças de gesso (sulfato de cálcio dihidratado) com alta resistência mecânica obtida com o auxílio de películas de água com espessura nanométrica.
Nanocelulose da casca da amêndoa do cacau processos e produção	BR102020003432A2. Ozana Almeida Lessa; Marcelo Franco	As nanofibrilas da casca da amêndoa do cacau possuem potencialidade de aplicação em produção de embalagens... aplicação como matriz polimérica, termoplástica ou termofixa nas indústrias de materiais, construção civil, agricultura, indústria farmacêutica e de papel.
Processo de produção de espumas poliolefinicas, processo obtenção de nanocelulose acetilada, espumas poliolefinicas e uso das mesmas	BR102017021270A2. Ademir José Zattera; Ruth Marlene Campomanes Santana; Matheus Vinícius Gregory Zimmermann	Nanoestrutas de celulose em composições de espumas poliolefinicas, promovendo uma maior nucleação de células, obtendo resultados e propriedades superiores se comparado ao uso das microcargas convencionais.

Cimento pozolânico nanoestruturado com adição de argila calcinada enriquecida com nanotubos de carbono	BR102021016774A2. Viviany Geraldo De Moraes et al.	Obtenção de argila pozolânica enriquecida com nanotubos de Carbono (NTC), para aplicação em matrizes cimentícias.
Bloco de concreto celular nanoestruturado, processo de obtenção de blocos de concreto celular nanoestruturado, uso de cinza de casca de arroz, uso de resíduo de ágata e uso de nanocompósito	BR102019007250A2. Jocenir Boita; Marcela Trojahn Nunes; Fabiele Schaefer Rodrigues	Blocos de concreto celular nanoestruturado que compreendem cimento e resíduo em nanocompósitos, sendo que esses resíduos podem ser selecionados entre resíduo de ágata e cinza de casca de arroz.
Disposição construtiva aplicada em manta aluminizada nanotérmica asfalto adesiva	BR202022007911U2. José Gonçalves Da Silva Luis	um novo produto, com emprego da nanotecnologia, capaz de realizar quatro funções simultâneas, isolamento térmico, isolamento acústico, vedação e impermeabilização.

Tabela 1. Algumas inovações aplicáveis à construção civil disponíveis no Google Patents como patente ou pedido de patente junto ao INPI.

BORSCHIVER e colaboradores em 2015 fizeram um levantamento de patentes na área de nanotecnologia e afirmaram que as primeiras patentes envolvendo este assunto começaram a ser publicadas na metade da década de 80, havendo a partir de então um crescente aumento no número de depósitos. E ainda complementam que patentes envolvendo materiais poliméricos nanoestruturados, só apareceram na década de 90.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a nanotecnologia seja uma ciência que vem em crescente nos últimos anos, o acesso aos conhecimentos e produtos gerados por ela ainda não se tornaram popular. Uma das barreiras da popularização do conhecimento está na complexidade de entendimento das questões multidisciplinar que envolve as pesquisas e, quanto aos produtos nanoestruturados já comercializados, o custo elevado.

No tocante às aplicações na engenharia civil, os avanços tem sido visíveis e benéficos; as pesquisas apontam para perspectivas de nanomateriais surpreendentes e com capacidades ainda inimagináveis, tudo isso faz com que atualmente a nanotecnologia seja considerada a tecnologia do futuro.

É interessante que o profissional engenheiro civil acompanhe as mudanças e descobertas nos anos vindouros para estar atualizado e os nanomateriais possam ser cada vez mais utilizados e valorizados em obras.

REFERÊNCIAS

ALVES, O. L.; Parcerias Estratégicas, 18, 23, 2004.

AUSTRIA, Gabriela Cortes. Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: O efeito das Propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO₂). Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BATISTON, Eduardo Roberto. Incorporação de nanotubos de carbono em matriz de cimento portland. 2012. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

BORSCHIVER, S.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; SANTOS, T. N. dos, SILVA, F. C. da; BRUM, P. R. C. Patenteamento em nanotecnologia: Estudo do setor de materiais poliméricos nanoestruturados. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 15, 4, 245-248, 2005.

CHEN C., LI D., ABE K., YANO H. Formation of high strength double-network gels from cellulose nanofiber / polyacrylamide via NaOH gelation treatment. Cellulose, 25, 5105–5113, 2018.

FANG, Z., HOUA, G., CHENB, C., HUB, L. Nanocellulose-based films and their emerging applications. Current Opinion in Solid State & Materials Science. Cap. 23, 2019.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. do C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. Quím. Nova 32 (7), 2009.

GALEMBECK, F.; RIPPEL, M. M.; Parcerias Estratégicas, nº18, 43, 2004.

GÓMEZ, H.C., PUTAUX, J.-L., ZULUAGA, R. Influence of combined mechanical treatments on themorphology and structure of cellulose nanofibrils: thermal and mechanical properties of the resulting films. Ind. Crops Prod. 85, 1–10, 2016.

LESSA, O. A.; CARVALHO, I. M. ; SOUZA, L. O. ; TIENNE, L.G.P. ; DIAS, M. C. ; TONOLI, G. H. D. ; VILAS BOAS, E. V. B. ; LEITE, S. G. F. ; GUTARRA, M. L. E. ; IRFAN, M. ; BILAL, M. ; FRANCO, M. . New biodegradable film produced from Cocoa Shell Nanofibrils containing bioactive compounds. JCT Research, 2021.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, L. -T. Nanotechnology development in food packaging: A review. Trends in Food Science & Technology. Special Issue: Nanotechnology in Foods: Science behind and future perspectives, (2): 149–167, 2014.

MILLER, JOHN C., SERRATO, R., KUNDAHL, G. The Handbook of Nanotechnology: Business, Policy and Intellectual Property Law. First Edition, New Jersey, Wiley, 2005.

MORAIS, J. F de. Aplicações da nanotecnologia na indústria da construção: Análise experimental em produtos cimentícios com nanotubos de carbono. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, 2012.

MÜLHAUPT, R. Green polymer chemistry and bio-based plastics: dreams and reality. Macromolecular Chemistry and Physics, 214, 159–174, 2013.

NARDIN, F. A. A Importância da Estrutura Metálica na Construção Civil. Itatiba: Universidade São Francisco (USF), 2008.

PORTES, E.; GARDRAT, C.; CASTELLAN, A.; COMA, V. Environmentally friendly films based on chitosan and tetrahydrocurcuminoid derivatives exhibiting antibacterial and antioxidative properties. *Carbohydrate Polymers*, 76, 4, 578-584, 2009.

SABRY, Fouad. *Nanomaterials*. Editora Um Bilhão Bem Informado. Livro digital, 370 p. 2022.

SOBOLEV, K.; SHAH, S.P. *Nanotechnology of concrete: recent developments and future perspectives*. American Concrete Institute, 254, 93-120, 2008.

THARANATHAN, R.N. *Biodegradable films and composite coatings: past, present and future*. Trends in Food Science & Technology, Cambridge, v.14, p.71-78, 2003.

SOUZA L. O., LESSA O. A, DIAS M. C, TONOLI G. H. D., REZENDE D. V. B., MARTINS M. A., NEVES I. C. O., RESENDE J. V., CARVALHO E. E. N., VILAS BOAS E. V., DE OLIVEIRA J. R., FRANCO M. Study of morphological properties and rheological parameters of cellulose nanofibrils of cocoa shell (*Theobroma cacao* L.). *Carbohydrate Polymers*. 214,152–158, 2019.

THOMAS, B., RAJ, M. C., JOY, J., MOORES, A., DRISKO, G. L., SANCHEZ C. *Nanocellulose, a versatile green platform: from biosources to materials and their applications*. *Chemical Reviews*., 118. 11575–11625, 2018.

VELÁSQUEZ-COCK, J., GANÁN, P., POSADA, P., CASTRO, C., SERPA, A., GÓMEZ, H.C., PUTAUX, J.-L., ZULUAGA, R. Influence of combined mechanical treatments on themorphology and structure of cellulose nanofibrils: thermal and mechanical properties of the resulting films. *Ind. Crops Prod.* 85, 1–10, 2016.