



# UTILIZAÇÃO DE NANOMATERIAIS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS: REVISÃO DE LITERATURA

## ARTIGO DE REVISÃO

NASCIMENTO, Adlley Kaíque Silva do<sup>1</sup>, LAURSEN, Anderson<sup>2</sup>

NASCIMENTO, Adlley Kaíque Silva do. LAURSEN, Anderson. **Utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios: revisão de literatura.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 09, Vol. 02, pp. 77-97. Setembro de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/utilizacao-de-nanomateriais>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/utilizacao-de-nanomateriais

## RESUMO

Arelado ao próprio curso da história humana houve o desenvolvimento e o aprimoramento das técnicas de manipulação de materiais e suas estruturas, refletindo no surgimento da nanotecnologia, que lançou braço em todos os campos do conhecimento, inclusive no da construção civil. Os nanomateriais, frutos do advento da nanotecnologia, possibilitaram a alteração dos materiais já utilizados na construção promovendo o aperfeiçoamento do seu desempenho e de suas características. Em vista disso, o presente estudo guia-se pela seguinte questão norteadora: quais os efeitos apontados pela literatura quanto à utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios? Sendo assim, o objetivo geral deste estudo foi identificar os efeitos apontados pela literatura quanto à utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios. Para que o objetivo pudesse ser alcançado a metodologia definida foi a de revisão sistemática de literatura, utilizando a base de dados do Google Acadêmico para levantar pesquisas relevantes quanto ao tema, delimitando, para tal, o período de publicação dos trabalhos. Desta forma, foram analisados artigos científicos, monografias de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses doutorais. Conclui-se a partir desse estudo que os nanomateriais quando incorporados aos mais diversos compósitos cimentícios provocam efeitos muito desejados no campo da engenharia civil, como o aumento da resistência mecânica, a leveza dos compósitos, melhorias quanto à elasticidade, propriedade autolimpante, dentre



outros. Por tanto, atesta-se a importância da continuidade das pesquisas no campo dos nanomateriais devido às propriedades significativas que estes podem proporcionar aos elementos da construção civil.

Palavras-chave: Nanotecnologia, Nanomateriais, Compósitos cimentícios.

## 1. INTRODUÇÃO

A história dos materiais deu-se em uma tênue linha com a própria história do desenvolvimento da humanidade. Na antiguidade as pessoas tinham acesso apenas a materiais simples, que eram dispostos pela própria natureza (pedra, madeira, pele, alguns metais, por exemplo) e estes supriam suas necessidades. Com o passar do tempo, o desenvolvimento e formação de uma sociedade complexa trouxe consigo uma maior exigência no que diz respeito ao uso dos materiais e com isso o surgimento de novos materiais, formados a partir de combinações ou manipulações mais rústicas. Não foi senão nos últimos 100 anos que se percebeu que a estrutura dos materiais poderia ser manipulada com o propósito de alterar seu desempenho e suas propriedades de acordo com a necessidade do seu uso (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

A partir daí, o aprimoramento das técnicas de manipulação de materiais e as exigências das buscas por novas fontes tecnológicas culminaram no desenvolvimento da nanotecnologia, que “invadiu” todas as áreas do conhecimento, inclusive a da construção civil através do fornecimento de nanomateriais para trabalharem em conjunto com os tradicionais elementos da construção, aprimorando seu desempenho.

Em vista disso, com base nos elementos anteriormente citados, o presente estudo guia-se pela seguinte questão norteadora: quais os efeitos apontados pela literatura quanto à utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios?



Nesse raciocínio, a presente pesquisa tem o objetivo geral de identificar os efeitos apontados pela literatura quanto à utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios.

Este estudo quanto à abordagem caracteriza-se como quantitativo devido a sua natureza objetiva de investigação, onde os parâmetros podem ser observados e estudados matematicamente, independentemente assim da subjetividade do avaliador (CRESWELL, 2010). Quanto à natureza classifica-se como aplicado, pois direciona-se a um campo específico do conhecimento no intuito de destacar fatos relevantes provenientes dos resultados de pesquisas anteriores (CORRÊA, 2021). Quanto aos objetivos é descritivo, uma vez que, não é influenciado pelo pesquisador, tendo o intuito de caracterizar e trazer mais informações acerca do objeto de estudo (ARAGÃO; NETA, 2017). Por fim, quanto ao procedimento é bibliográfico, pois configura-se como um estudo secundário conduzido a partir de outros estudos já publicados, analisando-os e descrevendo seus resultados (MARCONI; LAKATOS, 2003).

O material de referência utilizado foi obtido na base de dados do Google Acadêmico, através de coleta de dados realizada do dia 01 de julho de 2022. A busca deu-se a partir da determinação de palavras-chave com expressiva representatividade quanto à temática abordada, a saber: nanomateriais, nanotecnologia, compósitos cimentícios, concreto, materiais de construção e construção civil. Obteve-se retorno de 1390 resultados, desta maneira foram estabelecidos três critérios do tipo inclusão/exclusão com a intenção de trabalhar com pesquisas que representassem melhor o posicionamento atual quanto ao tema de estudo. O primeiro foi quanto ao ano de publicação, sendo assim selecionadas apenas as pesquisas publicadas a partir de 2020, reduzindo o número de resultados para 226. O segundo critério foi o de relacionar-se diretamente ao tema de estudo, pois apesar de palavras-chave serem previamente definidas várias publicações não tinham ligação direta quanto ao



tema delimitado: “utilização de nanomateriais em compósitos”. Desta maneira, o universo inicial de análise foi composto por 29 pesquisas nas formas de artigos científicos, monografias de conclusão de curso de graduação, dissertações de mestrados, teses doutorais e capítulos de livro.

O terceiro critério consistiu em identificar os materiais abordados em cada pesquisa, assim como contabilizar sua incidência dentro do universo da análise. Sendo selecionados para os fins deste estudo os quatro principais nanomateriais (nanossílica, óxido de grafeno, nanotubos de carbono e nanotitânia), que juntos representaram mais da metade das ocorrências dentro do universo inicial.

Dito isto, todas as ocorrências dos materiais que foram considerados para esta pesquisa estão registradas em tabelas (apresentadas no desenvolvimento). Por fim, dos 29 estudos selecionados inicialmente, 21 citaram/abordaram os quatro nanomateriais tratados neste estudo, sendo considerados os marcos teóricos da pesquisa.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Como dito anteriormente, o presente trabalho tem o objetivo de identificar os efeitos apontados pela literatura quanto a utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios, através do levantamento de pesquisas científicas realizadas acerca da utilização de nanomateriais em compósitos científicos, a tabela abaixo informa os tipos de publicações que compuseram o universo inicial da pesquisa e, por conseguinte, o gráfico evidencia o percentual dos tipos de trabalhos consultados.

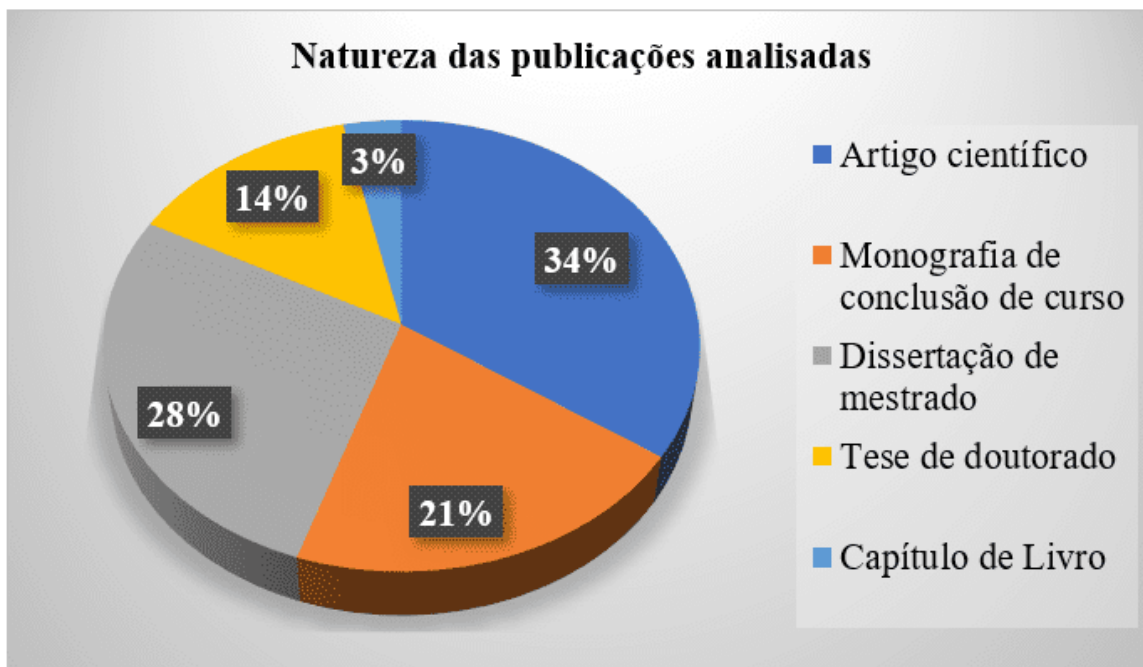
Tabela 1: Tipos de publicações analisadas

Natureza das publicações analisadas	Incidência
<b>Dissertação de mestrado</b>	8
<b>Artigo científico</b>	10
<b>Monografia de conclusão de curso</b>	6

Tese de doutorado	4
Capítulo de livro	1
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>

Fonte: Autor (2022).

Gráfico 1: Distribuição percentual dos tipos de trabalhos consultados



Fonte: Autor (2022).

## 2.1 NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Em termos claros a nanotecnologia pode ser entendida como a “tecnologia do super pequeno”, isso porque quando essa terminologia é utilizada refere-se a proporções muito inferiores às aquelas que se costuma lidar no dia a dia. Para ilustrar de maneira concreta a escala nano faz referência à ordem de medida da bilionésima parte de um metro. É como se uma vara de 1 metro de comprimento fosse dividida em 1 bilhão de partes equivalentes, uma dessas partes resultantes representaria a escala em questão. Essa técnica, aplicável nos mais diversos campos das ciências, permite a manipulação de materiais no intuito de obter um



aprimoramento nas suas características levando a avanços significativos no conhecimento e na indústria (GLEIZE, 2007).

A nanotecnologia tem sido aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento, desde eletrônicos (talvez a aplicação mais comum e intuitiva), até mesmo na indústria de alimentos e mais recentemente tem ganhado destaque e importância na construção civil. Isso decorre do fato de que a construção tem se tornado mais exigente e alternativas para o aperfeiçoamento das propriedades dos materiais têm sido largamente buscadas. O resultado foi o desenvolvimento dos estudos que tratam a respeito da aplicação da nanotecnologia para a melhoria dos materiais de construção civil (RIBEIRO; LENCIONI; SANTOS, 2021; VENTURA, 2020).

### **2.1.1 NANOMATERIAIS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Os nanomateriais são aqueles provenientes do avanço e do desenvolvimento do ramo da nanotecnologia e sua dimensão compreende-se no intervalo de 1 a 100 nanômetros. Quando se trata de uma escala tão pequena quanto a nano os materiais variam suas características de maneira muito nítida em relação às escalas micro e macro, propriedades como arranjo estrutural e coloração do material são exemplos de variações que podem ocorrer com a mudança de escala (RIBEIRO; LENCIONI; SANTOS, 2021).

Em decorrência dessa variância, diversos estudos e pesquisas têm sido realizados para compreender o comportamento e as implicações da incorporação de nanomateriais em elementos da construção civil, com o objetivo de obter características aprimoradas. Desta maneira, o presente estudo propôs-se a identificar os efeitos apontados pela literatura quanto à utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios.



A tabela abaixo ilustra todos os nanomateriais que foram identificados na análise das publicações levantadas, assim como sua incidência:

Tabela 2: Nanomateriais identificados nas pesquisas consultadas

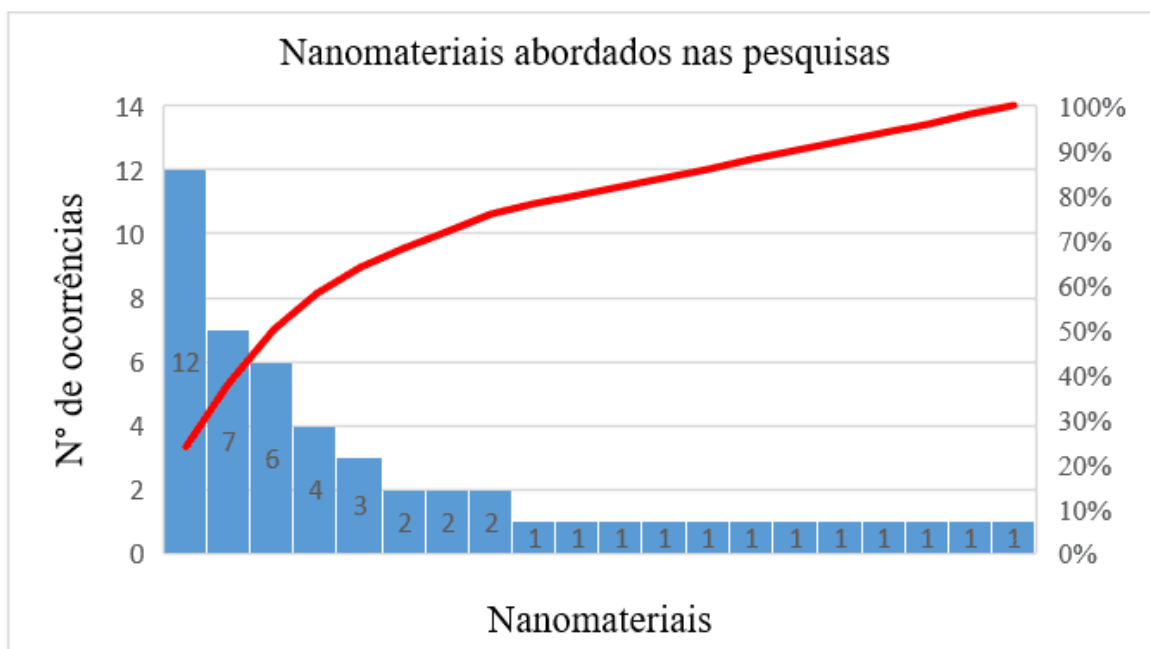
Nanomateriais abordados nas pesquisas	Número de ocorrências
<b>Nanossílica</b>	12
<b>Óxido de grafeno</b>	7
<b>Nanotubos de carbono</b>	6
<b>Nanotitânia</b>	4
<b>Óxido de zinco</b>	3
<b>Dióxido de zircônio</b>	2
<b>Nano-alumina</b>	2
<b>Óxido nano-férrico</b>	2
<b>Dióxido de titânio dopado com óxido de tungstênio</b>	1
<b>Nanocelulose</b>	1
<b>Nanocristais de celulose de resíduo de algodão</b>	1
<b>Nanofibras celulósicas de taboca</b>	1
<b>Nanofibras de carbono</b>	1
<b>Nanolátex</b>	1
<b>Nano-metacaulim</b>	1
<b>Nanopartículas de carbonato de cálcio</b>	1
<b>Nanopartículas magnéticas</b>	1
<b>Óxido de cromo</b>	1
<b>Óxido de nióbio</b>	1
<b>Pseudoboemita com poliacrilato de sódio</b>	1

Fonte: Autor (2022).

O gráfico de Pareto, abaixo, evidencia que mais da metade dos estudos analisados concentraram suas investigações nos seguintes nanomateriais: nanossílica, óxido de grafeno, nanotubos de carbono e nanotitânia. Com isso, esses serão os elementos abordados para os fins deste estudo.



Gráfico 2: Percentual acumulado da representatividade dos nanomateriais



Fonte: Autor (2022).

### 2.1.1.1 TABELAS-RESUMO DOS NANOMATERIAIS SELECIONADOS

Como discutido na metodologia, os marcos teóricos do presente estudo foram constituídos de 21 pesquisas analisadas e selecionadas a partir da definição de critérios. A seguir apresenta-se, distribuída da Tabela 3 até a Tabela 10, a síntese dos resultados observados em cada uma das pesquisas analisadas, resultados estes que conduziram a uma resposta para a questão norteadora deste estudo.





Tabela 3: Resumo dos autores (nanossilica – parte 1)

Autor (es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Henrique Thiago Roque Pedroso	2021	Análise da influência da nanossilica na resistência à compressão de concretos: uma revisão	Análise de publicações e trabalhos científicos quanto à adição de nanossilica (NS) nos teores de 1%, 1,5%, 2%, 3% e 5% para as idades de 7 e 28 dias	Apesar da adição da NS ter possibilitado o aumento da resistência à compressão de quase todas as amostras, por meio da análise estatística, observa-se que as variações não foram significativas em relação aos valores de referência, ou seja, os traços sem adição de NS. Embora essa adição não altere significativamente a resistência à compressão dos concretos, pode-se utilizá-la como substituta parcial do cimento Portland
João Paulo Fernandes dos Santos, Ivan Dias Marques Macedo, Yuri Sotero Bomfim Fraga	2021	Desempenho mecânico do concreto com misturas binárias e ternárias de cimento Portland, sílica ativa e nanossilica	Utilizou-se 4 traços distintos de concreto: um somente com CP V-ARI, um com adição de sílica ativa (SA) no teor de 10% (em relação à massa de cimento), um com adição de nanossilica (NS) no teor de 2% (em relação à massa de cimento) e um com uma combinação de SA e NA nos teores de 8% e 2%, respectivamente, também em relação à massa de cimento	No estado fresco houve diminuição da trabalhabilidade para os três traços contendo adições. No estado endurecido, foi avaliada a resistência à compressão nas idades de 1, 3, 7 e 21 dias. Para a adição de SA houve aprimoramento do desempenho mecânico, contudo a adição de NS não revelou ganhos significativos em comparação ao concreto base. Dessa maneira, chegou-se à conclusão que a adição de SA foi mais eficiente para o aprimoramento mecânico do concreto do que a incorporação de NS
Max Taylo A. Lima, Gisele P. Cavalcanti, Maria Paula C. Santos, Maria Eduarda de L. Gonçalves, Dayene G. de Almeida	2022	Diversidade de aplicações de nanomateriais no cimento: uma revisão	Revisão de literatura quanto aos efeitos que nanomateriais podem ter nas propriedades do concreto	Foram apontados efeitos quanto ao ganho de resistência do concreto, desempenho reológico, durabilidade, aceleração do processo de hidratação (densificando a microestrutura). Ressalta quanto ao excesso, que pode causar aglomeração de partículas
Guilherme Henrique de Melo Gurgel	2020	Efeito da incorporação da nanossilica em pastas de cimento com alto teor de filler calcário	Seis misturas foram realizadas: um traço de referência, um traço com substituição no teor 2% de nanossilica (NS), um traço com substituição no teor de 15% de filler calcário (FC), um traço com substituição no teor de 15% de filler sílico (FS), um traço com substituição nos teores de 13% e 2% de FC e NS, respectivamente, e, por fim, um traço com substituição nos teores de 13% e 2% de FS e NS, respectivamente	No estado fresco observou-se a redução da trabalhabilidade das amostras contendo adições, elevando o consumo de aditivos para a manutenção da consistência das misturas. Nas misturas binárias, a NS promoveu aumento da resistência e atenuou a formação de C-S-H, ao passo que, o FC e o FS prejudicaram seu desempenho. Já os números com a mistura ternária evidenciaram que, mesmo a NS apresentando um efeito benéfico no comportamento, este é insuficiente para contrapor o efeito negativo na incorporação de altos teores de filler

Fonte: Autor (2022).

Tabela 4: Resumo dos autores (nanossilica – parte 2)

Autor (es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Ana Luiza Rocha de Souza	2021	Efeitos da mistura de sílica ativa e nanossilica na durabilidade do concreto	Utilizou-se quatro traços distintos de concreto: o de referência, um com adição no teor de 10% de sílica ativa (SA), um adição no teor de 2% de nanossilica (NS) e um com a mistura nos teores de 10% e 2% de SA e NS, respectivamente. Em todas as amostras a adição foi realizada em substituição volumétrica	No estado fresco os traços com incorporação de NS obtiveram ganho de consistência, necessitando aumentar o quantitativo de aditivo para manter o abatimento fixado para o traço base. Já no estado endurecido, a utilização de NS levou a um aumento da resistência à compressão nas idades iniciais, embora em idade avançada a mistura de SA e NS mostrou-se mais vantajosa. Na análise de durabilidade do concreto realizada através da avaliação da absorção de água, a mistura de SA e NS em um único traço se mostrou mais eficiente. Contudo, no que se refere à resistividade elétrica superficial e volumétrica e migração de cloretos no estado não estacionário, ficou claro que a adição de SA proporcionou melhorias aos 63 dias de idade. Em relação a microestrutura do material cimentício, foi perceptível que o uso de adições ocasionou reações pozolônicas mais intensas e rápidas, principalmente com adição de NS
Geannina Terezinha dos Santos Lima, Alessandra Zaleskia, Luis Urbano Durlo Tambara Júnior, Janaide Cavalcante Rocha, Fernando Pelisser, Philippe Jean Paul Gleize	2022	Evaluation of the effect of nanosilica and recycled fine aggregate in Portland cement rendering mortars	Utilizou-se argamassa de reboco com agregado fino reciclado, substituindo o cimento Portland por nanossilica (NS) em diferentes teores: 0%, 0,4%, 0,6%, 0,8% e 1,0%	Os resultados apontaram que as misturas com 0,4% e 0,6% de NS obtiveram ganho na resistência de 55% e 58%, respectivamente, aos 28 dias, devido ao aumento na formação de C-S-H, em comparação à mistura base. As amostras com 0,4% de NS resultaram no teor ótimo de nanossilica, levando ao crescimento na resistência à compressão e diminuição na sorptividade de água, em relação às demais misturas. Os resultados da microscopia eletrônica de varredura apontam que a nanossilica reagiu com a portlandita formada a partir da hidratação do cimento, culminando em um enchimento eficiente dos poros da mistura, melhorando o desempenho microestrutural das amostras

Fonte: Autor (2022).

Tabela 5: Resumo dos autores (nanossílica – parte 3)

Autor (es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Juliana Oliveira Malta Cardoso	2020	Influência da adição de nanossílica e nano-metacaulim na formação de etringita tardia: estudos de dispersão das adições e caracterização microestrutural de pastas submetidas à cura térmica	Pasta de cimento CP-I com três configurações distintas: uma pasta de referência (sem adições), uma pasta com teor de 10% de nano-metacaulim (NMK) em substituição ao cimento, uma pasta com teor de 2% de nanossílica (NS) em substituição ao cimento e uma pasta com teores de 10% + 2% de NMK e NS, respectivamente, em substituição ao cimento	As análises revelaram suspensões estáveis até a idade analisada de 24 h, sendo o polycarboxilato o dispersante que levou a melhor estabilização do potencial zeta das suspensões. Sobre a formação de etringita tardia, a adição isolada de NS não demonstrou influência. Já a adição isolada de NMK levou o início da formação de etringita tardia de 28 para 180 dias. Na pasta com adição conjunta (NS e NMK), apesar da elevada atividade pozolânica, houve formação de etringita tardia aos 28 dias de hidratação, sendo que com 180 dias a microscopia eletrônica de varredura mostrou formação de etringita massiva
L. Vaca-Arciga, D. Cruz-Moreno, G. Fajardo-San Miguel, R. Orozco-Cruz, F. Tienda	2020	Uso de nano-SiO <sub>2</sub> como tratamento de superfície como manutenção preventiva em concreto envelhecido por carbonatação	Utilizou-se corpos de prova de concreto feitos a partir de cimento Portland comum, com uma relação água/cimento fixada em 0,65 e submetidos a um período de envelhecimento por exposição ao CO <sub>2</sub> . O tratamento foi feito por pulverização e foi composto por duas variantes. A primeira sendo uma dispersão de 0,1% de nanossílica (NS) em água e a segunda uma dispersão de 0,1% de nanopartículas funcionalizadas (NF) em água	A utilização das NF alcançou maior hidrofobicidade e estabilidade após 96 horas de aplicação. Em corpos de prova sem envelhecimento (ou seja, 0 mm de carbonatação), a perda de ângulo de contato pode ser atribuída a uma possível modificação que gera carbonatação entre os radicais CH <sub>3</sub> , conseguindo perder a hidrofobicidade. O efeito do envelhecimento inicial de 5mm e 10 mm não afetou a hidrofobicidade na superfície pelo uso do tratamento de NF. Quanto ao envelhecimento acelerado com CO <sub>2</sub> , observa-se que o tratamento com NS não apresentou os resultados esperados, uma vez que a NS possui o limite de Ca(OH) <sub>2</sub> que é consumido no processo de carbonatação
Guilherme Brand Ventura	2020	A nanotecnologia na construção civil: materiais, propriedades e aplicações	Revisão bibliográfica em estudos já publicados	Para o teor de 0% a 1% de nanossílica houve aumento da resistência mecânica, assim como para a faixa de 1% a 2%. Já nas amostras combinadas de nanossílica e micro sílica os resultados foram mais satisfatórios quando comparados aos da utilização individual

Fonte: Autor (2022).

Tabela 6: Resumo dos autores (nanossílica – parte 4)

Autor (es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Higor Vinícius Strapasson, Milena Zicatto, Mariana Zucchi Varags, Cristiana Vitorino da Silva, Fernanda Pavan Lora	2021	Efeito da nanossílica sobre as propriedades mecânicas de concretos de alta resistência	Adição de teores ideais (0%, 1,5% e 3%) de nanossílica (NS), em relação à massa de cimento, em concreto de alta resistência (CAR)	Para a resistência à compressão a adição de 1,5% não trouxe ganhos significativos, diferente da adição de 3% que resultou na diminuição da resistência. Na resistência à tração por compressão diametral nenhum dos dois teores de adição representaram resultados significativos. De forma semelhante, na resistência à tração na flexão também não houveram ganhos significativos, ficando na ordem de 6,48% para o teor de 1,5% e 9,88% para o teor de 3%. Já quanto ao módulo de elasticidade o teor de 3% apresentou resultado benéfico elevando o módulo de elasticidade em 10,7%, diferente do teor de 1,5% que não promoveu grandes alterações. Quanto à absorção de água houveram ganhos, mas estes não foram considerados significativos
Paulo Henrique Ribeiro, Julia Wippich Lencioni e Elias Barros Santos	2021	Nanotecnologia em materiais de construção civil: nanomateriais, propriedades e aplicações	Efetuar um levantamento atualizado da situação dos nanomateriais na construção civil, apontando características, usos, efeitos e propriedades	Aponta ganhos de resistência na ordem de 19,2% em argamassas, quando utilizado como aditivo de argamassa (os teores de incorporação não foram informados)
Pedro Henrique Pinheiro Soares	2021	Incorporação de nanopartículas em compostos cimentícios, uma pesquisa bibliográfica	Pesquisa bibliográfica em estudos já consolidados, analisando-os e caracterizando-os	Aceleração da taxa de hidratação do cimento, redução da trabalhabilidade da mistura (tomando o uso aditivos plastificante ou superplastificante imprescindível), produção de um concreto mais durável e resistente a processos de degradação química, resistência mecânica significativamente melhorada quando utilizado o teor ideal, em contrapartida os teores acima do ideal promovem o efeito inverso, o de redução de resistência

Fonte: Autor (2022).



Tabela 7: Resumo dos autores (óxido de grafeno – parte 1)

Autor (es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
André Rahuan Sogayar, Lunna Inez Ribeiro Dias, Mylena Cattani Pereira, Roberta Nunes Attili Franzin (Orientador)	2021	Utilização de óxido de grafeno em concreto com resíduos de construção civil	Quatro traços distintos: um traço como referência feito com concreto convencional, um traço referência com óxido de grafeno (OG), um traço de concreto reciclado utilizando resíduo de construção e demolição (RCD) e, por fim, um traço de concreto reciclado com RCD e OG. O teor de OG utilizado foi de 0,03% em relação ao consumo de cimento	Observou-se a redução da trabalhabilidade em todos os traços em relação ao concreto convencional. Contudo os traços contendo RCD reduziram em proporções muito maiores a consistência quando comparado ao traço apenas com OG. Os traços que continham OG mostraram maior coesão o que fez com que o traço contendo apenas OG obtivesse valores de resistência à compressão superiores
Vanessa Vilela Rocha, Ricardo Augusto dos Santos Horta, Júlia Nunes de Paula, Péter Ludvig	2021	Revisão teórica sobre o potencial da adição do óxido de grafeno em materiais cimentícios	Ampla revisão bibliográfica sobre os efeitos da adição do óxido de grafeno em compostos cimentícios	Ganhos expressivos na resistência à compressão, resistência à tração direta, resistência à tração na flexão e no módulo de elasticidade. Revelando assim um excelente aprimoramento do desempenho mecânico a partir da utilização do OG em compostos de cimento
Paulo Henrique Ribeiro, Julia Wippich Lencioni e Elias Barros Santos	2021	Nanotecnologia em materiais de construção civil: nanomateriais, propriedades e aplicações	Elaborar um levantamento atualizado da situação dos nanomateriais na construção civil, apontando características, usos, efeitos e propriedades	Melhoria na resistência mecânica e durabilidade do material aditivado, além da agregação de funcionalidades, como a propriedade anticorrosiva
Ricardo Augusto dos Santos Horta, Júlia Ferreira Murta, Júlia Nunes de Paula, José Márcio Fonseca Calixto	2021	Avaliação do comportamento reológico de pastas de cimento com adição de óxido de grafeno	Utilização de óxido de grafeno (OG) nos teores de 0,03% e 0,05% em pastas de cimento CP-III e CP-V para estudo do comportamento reológico devido a adição de OG	Foram utilizados dois métodos de análise: mini-slump e reometria rotacional de fluxo. No ensaio de mini-slump, verificou-se reduções no raio de espalhamento de 42,94% (CP-III) e de 23,34% (CP-V) em relação às amostras de referência, considerando a adição de 0,05% de OG. Para este mesmo percentual de adição e utilizando o reômetro, obteve-se aumentos na viscosidade de 125,49% (CP-III) e 31,51% (CP-V) e aumentos de 82,24% (CP-III) e 38,87% (CP-V) no limite de escoamento. Concluiu-se que há aumento na viscosidade da pasta à medida que uma maior quantidade de OG é incorporada à mistura

Fonte: Autor (2022).

Tabela 8: Resumo dos autores (óxido de grafeno – parte 2)

Autor (es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Milton Vizin Correa Neto, Karyne Cristina de Souza, Fernanda Franco Massante, Ananda Helena Heino Coelho, Eduardo Ariel Ponzo, Jackson Antônio Lamounier Camargos Resende	2020	Efeitos do reforço na pasta de cimento Portland com óxido de grafeno obtido por métodos de química verde	Para a produção das pastas de cimento Portland foram feitos traços com a adição de 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5%, 0,75% e 1% de óxido de grafeno obtido por química verde (OGv) - adição em relação à massa de cimento	Observou-se eficiência máxima na propriedade de resistência mecânica com adição de 0,3% de GOv no traço (aumento de até 65,6%). Em estudos comparativos de microscopia eletrônica nos traços de 0,3% contra 1,0% de GOv constatou-se a agregação das lamelas de OG nos traços de maior concentração, o que resulta em menor resistência
Rafael Aparecido Rodrigues dos Santos, Vinicius Marcelino Bispo, Victor Tedeschi	2021	Nanociência na engenharia civil: um estudo exploratório do grafeno na construção civil	Revisão bibliográfica baseada na análise de artigos científicos publicados	A utilização do grafeno nos materiais cimentícios proporciona elevação da resistência à compressão, além de proteção com relação às ações mecânicas e químicas. Sua utilização pode ampliar-se para o campo da preservação de edificações, conferindo efeito antivegetativo e anticorrosivo em associação com a cal
Pâmela Herrera Dutra, Eduarda Gameleira Bernardino, Natalia Ueda Yamaguchi	2022	Incorporação de óxido de grafeno em concreto: avaliação das resistências à compressão e tração	Três tipos de corpos de prova: um deles sendo o traço piloto, e os outros dois com incorporação de dois teores de óxido de grafeno (OG) no concreto, 0,01% e 0,03%	A adição de 0,01% de OG apresenta o maior aumento nas resistências, obtendo em seu desempenho uma melhora de 42,4% na resistência à compressão, e 69,7% na resistência à tração por compressão diametral, ao passo que, o teor de 0,03% implicou na redução das resistências em percentuais de 25,4% e 2,3%, em relação à compressão e à tração, respectivamente

Fonte: Autor (2022).



Tabela 9: Resumo dos autores (nanotubos de carbono)

Autor(es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Max Taylo A. Lima, Gisele P. Cavalcanti, Maria Paula C. Santos, Maria Eduarda de L. Gonçalves, Dayene G. de Almeida	2022	Diversidade de aplicações de nanomateriais no cimento: uma revisão	Revisão de literatura quanto aos efeitos que nanomateriais podem ter nas propriedades do concreto	Efeitos nas propriedades mecânicas e elétricas do concreto. Redução da formação e crescimento de microfissuras no concreto, além do alto desempenho mecânico. Comportamento de detecção de deformação, permitindo o desenvolvimento de sistemas de detecção de deformação de estruturas de concreto
Paulo Henrique Ribeiro, Julia Wippich Lencioni e Elias Barros Santos	2021	Nanotecnologia em materiais de construção civil: nanomateriais, propriedades e aplicações	Elaborar um levantamento atualizado da situação dos nanomateriais na construção civil, apontando características, usos, efeitos e propriedades	Para as porcentagens, em massa, de 0,05% a 0,2% percebeu-se o aumento da capacidade de resistência à compressão
Laura Silvestro	2022	Incorporação de nanotubos de carbono funcionalizados com silano em pastas de cimento Portland	Utilização de pastas cimentícias para avaliar os efeitos da funcionalização dos nanotubos de carbono (NTC)	Apenas os silanos APTES e APTMS efetivamente funcionalizaram a superfície dos NTC reduzindo sua tendência de aglomeração
Pedro Henrique Pinheiro Soares	2021	Incorporação de nanopartículas em compostos cimentícios, uma pesquisa bibliográfica	Pesquisa bibliográfica em estudos já consolidados, analisando-os e caracterizando-os	Incorporação de NTC aumenta a viscosidade e reduz a fluidez do compósito, prejudicando a trabalhabilidade e levando a necessidade do uso de aditivos químicos. Quanto ao desempenho mecânico, houve aumento significativo em suas características
Guilherme Brand Ventura	2020	A nanotecnologia na construção civil: materiais, propriedades e aplicações	Revisão bibliográfica em estudos já publicados	Os efeitos observados foram alterações nas propriedades mecânicas e nas propriedades relacionadas ao estado fresco das misturas. Nos teores de 0,05% a 0,1% não houveram aumentos nas propriedades mecânicas, de 0,1% a 0,5% as mudanças não foram estatisticamente significativas, de 0,2% a 0,3% melhoramento das propriedades mecânicas (sendo o teor 0,3% apontado como ideal por diversos autores), de 0,4% a 0,75% os resultados foram divergentes
Simoni Barros da Silva	2020	Estudo comparativo das propriedades mecânicas entre argamassas de cimento Portland convencional e argamassa com adição de nanotubo de carbono – NTC	Avaliar o comportamento mecânico da argamassa de cimento Portland, com adição de nanotubo de carbono (NTC) nos teores de 0,20% e 0,30%, em comparação com a argamassa convencional	Diminuição do índice de consistência à medida que se aumenta o teor da adição, diminuição da densidade e aumento do ar incorporado com o aumento do teor de NTC. Os resultados dos ensaios de compressão simples, tração na flexão e compressão dos prismáticos revelaram ganhos na resistência mecânica das argamassas em grande parte dos traços em comparação aos de referência. Destaca-se a resistência à compressão das argamassas prismáticas com adição de 0,30%, onde obteve resistência superior a da argamassa de referência em todas as idades, tendo um acréscimo de 14,90% aos 28 dias

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10: Resumo dos autores (nanotitânia)

Autor(es)	Ano	Título do estudo	Características do estudo	Resultados obtidos
Max Taylo A. Lima, Gisele P. Cavalcanti, Maria Paula C. Santos, Maria Eduarda de L. Gonçalves, Dayene G. de Almeida	2022	Diversidade de aplicações de nanomateriais no cimento: uma revisão	Revisão de literatura quanto aos efeitos que nanomateriais podem ter nas propriedades do concreto	Propriedade de autolimpeza para o concreto, propriedade fotocatalítica de poluentes (catalisa a degradação da matéria orgânica)
Rodrigo Miguel de Oliveira Praça	2022	Incorporação de nanopartículas em sistemas de fachadas: estudo dos efeitos nas propriedades superficiais e no desempenho higratérmico	Desenvolveu-se duas argamassas à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e foram testados três tipos de nanopartículas com dois pigmentos diferentes	Grau elevado de saturação na mistura quando incorporado em teores superiores a 12%. Houve alteração de cor (de preto para cinza) à medida que a mistura ia sendo homogeneizada. As amostras submetidas a envelhecimento acelerado apresentaram um incremento na refletância de 20%
Paulo Henrique Ribeiro, Julia Wippich Lencioni e Elias Barros Santos	2021	Nanotecnologia em materiais de construção civil: nanomateriais, propriedades e aplicações	Elaborar um levantamento atualizado da situação dos nanomateriais na construção civil, apontando características, usos, efeitos e propriedades	Propriedade fotocatalítica, quando expostas a radiação UV, mantendo-se mais limpas do que as peças de argamassa sem o nanoaditivo
Guilherme Brand Ventura	2020	A nanotecnologia na construção civil: materiais, propriedades e aplicações	Revisão bibliográfica em estudos já publicados	Os principais resultados pontuados foram quanto às propriedades fotocatalíticas destas partículas. Mas também foram observados efeitos quanto às propriedades mecânicas nas argamassas. Com o teor de 0% a 1% ocorreu redução da resistência mecânica; de 1% a 2,5% houve aumento da resistência mecânica e redução de poluentes (efeito fotocatalizador); de 2,5% a 5% ocorreram resultados divergentes quanto ao desempenho mecânico e houve redução de poluentes (mas sem relação direta com o teor incorporado); de 5% a 10% redução de poluentes e leve aumento do desempenho mecânico

Fonte: Autor (2022).





### 2.1.1.2 NANOSSÍLICA

A nanossílica consiste no  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silício) tratado em escala nano, que permite a alteração de suas características no intuito de obter propriedades específicas. Quando o dióxido de silício é incorporado a compósitos cimentícios o desempenho destes pode ser sensivelmente alterado com base no controle das características daquele. Isso justifica o crescente número de pesquisas que têm sido desenvolvidas no intuito de buscar aprimoramento nesta técnica (GURGEL, 2020).

No estudo conduzido por Strapasson et al. (2021) foi avaliado os efeitos da incorporação da nanossílica ao concreto de alta resistência (CAR) em diferentes teores, 1,5% e 3,0%, em relação a massa de cimento. Foi possível concluir que os efeitos significativos foram observados apenas para o teor de 3,0% quando comparado ao traço base (sem nenhuma incorporação). O principal efeito notado foi quanto ao módulo de elasticidade do material, benefícios quanto à resistência mecânica não foram obtidos, apesar de serem esperados. No mais houve elevação no consumo de água o que prejudica a zona de transição do material elevando a fragilidade e a possibilidade de ataques ao material. Muito provavelmente a limitação dos resultados obtidos deve-se ao fato de não ter sido realizada a dispersão/funcionalização do material, como relata o próprio autor.

A pesquisa de Pedroso (2021) com o objetivo de analisar os efeitos da incorporação da nanossílica, com diferentes teores em relação a massa de cimento, ao concreto nas idades de 7 e 28 dias também não revelou resultados significativos no que diz respeito a melhoria do desempenho mecânico. Porém o autor atribui a possibilidade do resultado obtido a não heterogeneidade das características das amostras. Já a dissertação de Souza (2021) revelou resultados positivos quanto a incorporação da nanossílica ao concreto, com o teor de 2% em substituição ao volume de cimento. Os resultados observados foram a elevação



da resistência nas idades iniciais, em contrapartida houve aumento da absorção de água e redução da trabalhabilidade demandando uma maior quantidade de aditivos para a manutenção desta.

### **2.1.1.3 ÓXIDO DE GRAFENO**

Na pesquisa conduzida por Correa Neto et al. (2020) com incorporação de diversos teores do óxido de grafeno à pasta cimentícia, pode-se observar características muito positivas no que diz respeito ao ganho de resistência mecânica à compressão, o teor de 0,3% revelou o melhor desempenho possível com ganhos de resistência variando até 65,6%. Em contrapartida, os teores mais altos revelaram a formação de estruturas lamelares na zona agregado/pasta cimentícia fragilizando-a e consequentemente reduzindo a propriedade de resistência mecânica.

A análise realizada por Santos; Bispo; Tedeschi, (2021) revela que apesar de as pesquisas ainda estarem em seus primeiros passos quanto à utilização de nanomateriais na construção civil, os efeitos já se tornam evidentes. Foram pontuados os efeitos de ganho de resistência mecânica à compressão, além da melhoria da aderência das pastas cimentícias assim como sua resistência à tração quando incorporado, o óxido de grafeno, aos mais diversos compósitos cimentícios.

### **2.1.1.4 NANOTUBOS DE CARBONO (NTC)**

No trabalho conduzido por Silva (2020) foram determinados três traços distintos para a avaliação dos resultados quanto à incorporação dos nanotubos de carbono, sendo um traço de referência (sem NTC), um com teor de 0,2% e um terceiro com o teor de 0,3%. No que se diz respeito aos resultados foram obtidas melhorias consideráveis, como o ganho de resistência mecânica. Para o teor de 0,2% as resistências aos 7 e 14 dias foram superiores às do traço de referência, já aos 28



dias foi inferior tanto em relação ao traço de referência (na mesma idade) quanto aos resultados de 7 e 14 dias (para o mesmo teor). Já para o teor 0,3% apesar de não haver decréscimos nas resistências os resultados se mostraram inferiores aos resultados do traço de referência. Ademais, com o aumento do teor houve aumento no ar incorporado e consequente diminuição de densidade de massa, por fim, sobre a resistência à tração na flexão houve melhoria de desempenho em todos os casos, com exceção do teor 0,2% na idade de 28 dias.

Uma justificativa plausível para os decréscimos pontuais evidenciados no trabalho anterior pode ser observada na tese doutoral de Silvestro (2022), ele aborda as excelentes propriedades que os NTC apresentam, tais como: módulo de elasticidade, resistência na tração e na compressão, estabilização química, quando não associados a outros materiais. Porém quando eles são incorporados em compósitos cimentícios dois são os principais desafios a serem superados: as dificuldades de dispersão dos NTC e a reduzida interação entre as interfaces dos nanotubos e dos demais materiais. Desta maneira, baseando-se nos resultados obtidos pelo pesquisador, possivelmente uma dispersão e funcionalização com materiais adequados pudessem resolver a questão dos decréscimos de resistência encontrados no trabalho anterior.

### **2.1.1.5 NANOTITÂNIA**

A nanotitânia ou nano-TiO<sub>2</sub> (nano – dióxido de titânio) é um dos nanomateriais mais interessantes, com uma propriedade de grande utilidade no contexto da construção civil, a propriedade autolimpante, como observa-se a seguir:

**A adição de nano-TiO<sub>2</sub> em amostras de concreto pode fornecer propriedades de autolimpeza para o concreto. O concreto contendo essas nanopartículas pode permitir uma degradação fotocatalítica de poluentes (por exemplo, VOCs, CO, NOx, aldeídos e clorofenóis). Porém, este efeito é menos eficiente com o envelhecimento devido à**





**carbonatação [4,23]. Isso é devido a um filme fino de  $\text{TiO}_2$  na superfície do concreto que pode fornecer oxigênio ativo sob a luz UV presente em luz solar. Assim, catalisa a degradação da matéria orgânica localizada no nano- $\text{TiO}_2$  que reveste a superfície de concreto (LIMA et al., 2022, p. 4).**

Na avaliação realizada por Ribeiro; Lencioni; Santos (2021) pode-se observar a corroboração da mesma característica para as nanopartículas de dióxido de titânio, destacando sua propriedade fotocatalítica comparando amostras de argamassa expostas a radiação UV, onde as que possuem incorporação de nano- $\text{TiO}_2$  conseguem permanecer mais limpas com o decorrer do tempo.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É notório que apesar da presença nos mais diversos campos de estudo, na construção civil a entrada da nanotecnologia foi tardia, implicando não só o atraso das pesquisas sobre nanotecnologia nessa área, mas também a não popularização das técnicas no dia a dia dessa ciência. Mesmo assim, dentre as publicações consideradas para esse estudo foram identificados e registrados 19 diferentes tipos de nanomateriais/nanopartículas, essa diversidade indica que, de fato, esse campo tem se destacado e cada vez mais novas pesquisas têm sido realizadas.

Com isso, retoma-se a questão norteadora que orientou esse estudo: quais os efeitos apontados pela literatura quanto à utilização de nanomateriais em compósitos cimentícios? A resposta que se pôde obter é que para todos os nanomateriais avaliados observou-se a diminuição da trabalhabilidade das misturas, levando a necessidade da utilização de aditivos químicos (plastificante ou super plastificante) para compensar essa perda e ser possível atingir um abatimento estabelecido previamente em projeto. Esse fato se deve a dimensão das nanopartículas que elevam a absorção da água incorporada à mistura. Também foram evidenciados efeitos quanto ao desempenho mecânico,



principalmente referente ao ganho de resistência, sendo o óxido de grafeno e os nanotubos de carbono os materiais que mais representaram desempenho nesse quesito e a nanotitânia o menos expressivo nesse campo. A incorporação de ar na mistura, foi observada para todos os materiais estudados, devido a fineza das partículas utilizadas. No que se refere a propriedades arquitetônicas, o grande destaque vai para o  $\text{TiO}_2$  por sua capacidade fotocatalítica quando exposto a raios UV, auxiliando na manutenção da coloração de fachadas de edificações.

Em vista dos efeitos observados, é necessário que pesquisas continuem sendo realizadas para que haja uma popularização do uso dessas técnicas, não somente nos laboratórios, mas especialmente no canteiro de obras e nas indústrias de insumos da construção civil. O barateamento dessa tecnologia, assim como a determinação de novas formas de síntese desses materiais poderão proporcionar essa disseminação.

O estudo demonstrou que a utilização dos nanomateriais é benéfica para a engenharia civil, proporcionando benefícios quanto à resistência dos materiais, o módulo de elasticidade, a incorporação de ar, a leveza dos compósitos cimentícios, o melhoramento das zonas de interface agregado/pasta cimentícia, até mesmo propriedades importantes no campo arquitetônico como a autolimpeza de revestimentos. Portanto, o desenvolvimento da pesquisa em nanotecnologia no setor da construção civil proporciona em grande escala a solução de problemáticas e o aprimoramento do desempenho de materiais.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, José Wellington Marinho de; NETA, Maria Adelina Hayne Mendes. **Metodologia científica**. Salvador: UFBA, Faculdade de Educação, Superintendência de Educação a Distância, 2017, 51 p.

ARCIGA, Laura Vaca *et al.* Uso de nano- $\text{SiO}_2$  como tratamento de superfície como manutenção preventiva em concreto envelhecido por carbonatação. **Revista**



**ALCONPAT**, v. 10, n. 3, 1 set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.487>. Acesso em: 01/07/2022.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução, 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, 817 p.

CARDOSO, Juliana Oliveira Malta. **Influência da adição de nanosílica e nano-metacaulim na formação de etringita tardia**: estudos de dispersão das adições e caracterização microestrutural de pastas submetidas à cura térmica. 2020. 166f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, 2020.

CORRÊA, Agenilton Marques. **Manual básico de normas para elaboração de trabalhos acadêmicos (SALT)**: baseado nas normas da ABNT, 4ª ed. Cachoeira-BA: SALT, 2021, 163 p.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto, 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 296 p.

DUTRA, Pâmela Herrera; BERNARDINO, Eduarda Gameleira; YAMAGUCHI, Natalia Ueda. Incorporação de óxido de grafeno em concreto: avaliação das resistências à compressão e tração. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 155 – 166, mar. 2022. Disponível em <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/issue/view/857>. Acesso em: 01/07/2022.

GLEIZE, Philippe J. P. Nanotecnologia e materiais de construção. *In*: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência de materiais**, 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v 2, p. 1659-1685.

GURGEL, Guilherme Henrique de Melo. **Efeito da incorporação da nanossílica em pastas de cimento com alto teor de fíler calcário**. 2020. 129f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

HORTA, Ricardo Augusto dos Santos *et al.* Avaliação do comportamento reológico de pastas de cimento com adição de óxido de grafeno. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13013>. Acesso em: 01/07/2022.

LIMA, Geannina Terezinha dos Santos *et al.* Evaluation of the effect of nanosilica and recycled fine aggregate in Portland cement rendering mortars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 15, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952022000500009>. Acesso em: 01/07/2022.



LIMA, Max Taylo A. *et al.* Diversidade de aplicações de nanomateriais no concreto: uma revisão. *In: CONGRESSO ONLINE NACIONAL DE QUÍMICA (CONDEQUI)*, 2022. Anais eletrônicos... 2022. Disponível em: <https://cdn.congresse.me/cn2b90h0roex48vn5t4a47nriv46>. Acesso em: 01/07/2022.

MARCONI, Maria de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**, 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003, 310 p.

NETO, Milton Vizini Correa *et al.* Efeitos do reforço na pasta de cimento portland com óxido de grafeno obtido por métodos de química verde. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/40209/21898>. Acesso em: 01/07/2022.

PEDROSO, Henrique Thiago Roque. **Análise da influência da nanosílica na resistência à compressão de concretos**: uma revisão. 2021. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

PRAÇA, Rodrigo Miguel De Oliveira. **Incorporação de nanopartículas em sistemas de fachada**: estudos dos efeitos nas propriedades superficiais e no desempenho higratérmico. 2022. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2022.

RIBEIRO, Paulo Henrique; LENCIONI, Julia Wippich; SANTOS, Elias Barros. Nanotecnologia em materiais de construção civil: nanomateriais, propriedades e aplicações. *In: FERREIRA, Josimar Batista (Ed.). Engenharias, Ciências Exatas e da Terra: Pesquisas Básicas e Aplicadas*. Stricto Sensu Editora, 2021. p. 110–120. Disponível em: <https://sseditora.com.br/ebooks/engenharias-ciencias-exatas-e-da-terra-pesquisas-basicas-e-aplicadas/>. Acesso em: 01/07/2022.

ROCHA, Vanessa Vilela *et al.* Revisão teórica sobre o potencial da adição do óxido de grafeno em materiais cimentícios. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13002>. Acesso em: 01/07/2022.

SANTOS, João Paulo Fernandes dos; MACEDO, Ivan Dias Marques; FRAGA, Yuri Sotero Bomfim. Desempenho mecânico do concreto com misturas binárias e ternárias de cimento Portland, sílica ativa e nanossílica. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES*, 2021. Anais eletrônicos... Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2021. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/CINPAR.2021.125>. Acesso em: 01/07/2022.



SANTOS, Rafael Aparecido Rodrigues dos; BISPO, Vinicius Marcelino; TEDESCHI, Victor. Nanociência na engenharia civil: um estudo exploratório do grafeno na construção civil. **Revista Tecnológica da FATEC-PR**, Curitiba, Edição Especial, p. 38–46, 2021. Disponível em: <http://chamadosfatecpr.com.br/revista/index.php/fatec/article/view/51/46>. Acesso em: 01/07/2022.

SILVA, Simoní Barros da. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas entre argamassa de cimento Portland convencional e argamassa com adição de nanotubo de carbono - NTC**. 2020. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes – RO, 2020.

SILVESTRO, Laura. **Incorporação de nanotubos de carbono funcionalizados com silano em pastas de cimento Portland**. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SOARES, Pedro Henrique Pinheiro. **Incorporação de nanopartículas em compósitos cimentícios, uma pesquisa bibliográfica**. 2021. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças – MT, 2021.

SOGAYAR, André Rahuan; DIAS, Luana Inez Ribeiro; PEREIRA, Mylena Cattani. **Utilização de óxido de grafeno em concreto com resíduos de construção civil**. 2021. 22f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2021.

SOUZA, Ana Luiza Rocha de. **Efeitos da mistura de sílica ativa e nanossílica na durabilidade do concreto**. 2021. 172f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

STRAPASSON, H. V. et al. Efeito da nanossílica sobre as propriedades mecânicas de concretos de alta resistência. **CONCRETO & Construções**, v. XLIX, n. 103, p. 74–79, 2021.

VENTURA, Guilherme Brand. **A nanotecnologia na construção civil: materiais, propriedades e aplicações**. 2020. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça – SC, 2020.



Enviado: Agosto, 2022.

Aprovado: Setembro, 2022.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil. ORCID: 0000-0002-3227-0326.

<sup>2</sup> Orientador. ORCID: 0000-0002-9941-905X.