# INFLUÊNCIA DA CELULOSE NANOFIBRILADA SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

**MARTINS, S. K. (1); MARTINI, S. (2); BUENO, R. M. (3); SALVADOR, R. P. (4)**

(1) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, skmartins95@gmail.com;

(2) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, prof.martini@usjt.br;

(3) Universidade São Judas Tadeu; São Paulo, SP, robertomunhozbueno@gmail.com;

(4) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, prof.renansalvador@usjt.br

**Resumo:** *Com o advento da nanotecnologia, a incorporação de nanomateriais em matrizes cimentícias tem gerado uma melhora das propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios. Dentro dessa nova perspectiva, a utilização da celulose nanofibrilada ganha destaque por suas qualidades mecânicas e baixo impacto ambiental. A proposta deste trabalho foi estudar a influência de diferentes teores de celulose nanofibrilada sobre as propriedades mecânicas de argamassas cimentícias. Para os ensaios foram propostas argamassas cimentícias com diferentes teores de incorporação de celulose nanofibrilada em relação à massa de cimento. Ensaios foram realizados aos 3, 7 e 28 dias após a fabricação das argamassas. Foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão e à compressão. Para a determinação do módulo de deformação das argamassas foi determinada a velocidade de pulso ultrassônico e a resistividade elétrica. Os resultados foram comparados ao traço de referência e apresentaram valores superiores na resistência à compressão, flexão e módulo de elasticidade. Os valores de resistividade elétrica indicam uma menor quantidade de poros na argamassa, o que influencia positivamente as propriedades mecânicas.*

**Palavras-chave:** *Nanotecnologia. Celulose nanofibrilada. Argamassas.*

**Área do Conhecimento:** *Engenharia Civil, Construção Civil, Materiais e Componentes de Construção, Tecnologia de componentes para construção.*

## 1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia sendo uma área capaz de manipular a estrutura atômica dos materiais, conferindo-lhes novas características ou aprimorando as já existentes, abriu um conjunto de oportunidades nas mais diversas áreas do conhecimento, inclusive no setor da construção civil. Atualmente, o leque de aplicações no setor de construção é bem amplo e promissor. O relatório RILEM TC 197-NCM, Nanotechnology in construction materials foi o primeiro documento a discutir e indicar o potencial da nanotecnologia no desenvolvimento e melhoria dos materiais de construção (ZHU; BARTOS; PORRO, 2004). A incorporação de nanomateriais em matrizes cimentícias tem como principal função melhorar as propriedades mecânicas de compósitos cimentícios e, por essa razão, tem-se destacado das demais como a mais promissora aplicação dentro do campo da construção civil (SANCHEZ, 2010; RECHES, 2018; KAWASHIMA, 2013).

A utilização da celulose nanofibrilada em compósitos cimentícios tem despertado o interesse nos últimos anos. Celulose nanofibrilada são fibrilas com largura em escala nanométrica e comprimento na faixa do micrômetro, formando uma estrutura em forma de rede. A utilização da celulose nanofibrilada ganha destaque por suas qualidades como baixo custo, baixa densidade, alta resistência, não são materiais abrasivos, não desgastam os equipamentos de processo, não são tóxicos, podem ser facilmente modificados por agentes químicos, são uma classe de polímeros mais abundantes na natureza e originados de fontes renováveis, além de conter propriedades mecânicas similares as fibras sintéticas (MEJDOUB, 2017; ARDANUY, 2012).

O objetivo deste trabalho foi investigar a influência da adição de celulose nanofibrilada sobre as propriedades mecânicas de argamassas cimentícias. Para isso foram produzidas argamassas cimentícias com diferentes teores de celulose nanofibrilada. Foram realizados ensaios de resistências à compressão e à tração na flexão, além de ultrassom e resistividade elétrica. Os resultados experimentais mostraram uma melhora nos esforços mecânicos da argamassa com a adição de celulose nanofibrilada.

## 2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

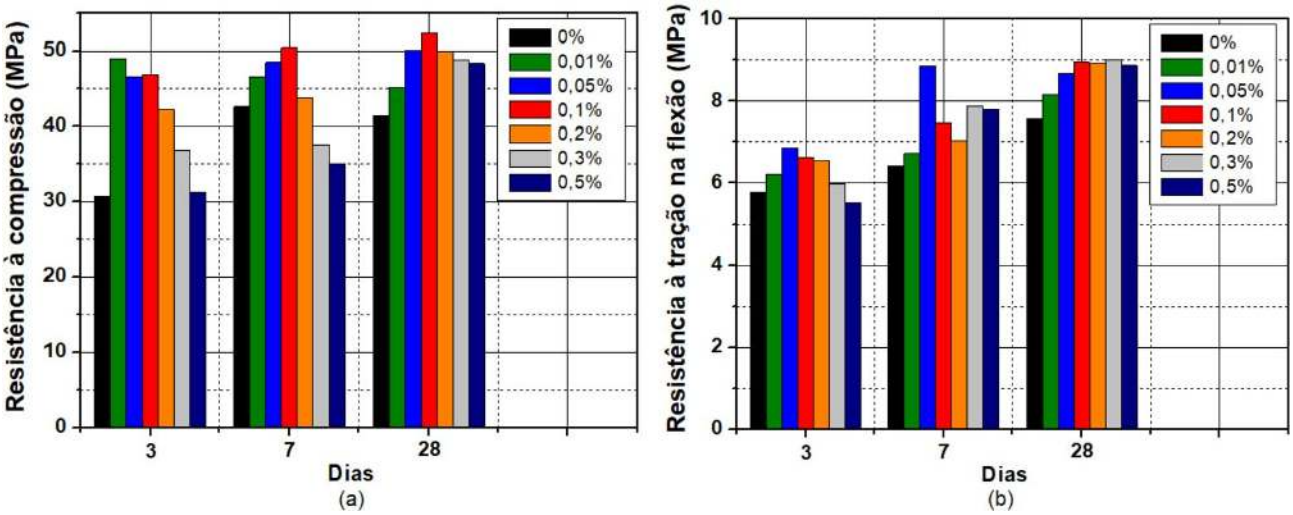
As matérias-primas utilizadas foram: cimento Portland CP V – ARI da Votorantim Cimentos; areia de fração média com granulometria entre 0,20 e 0,60 mm; celulose nanofibrilada fornecida pela empresa Suzano Polpa e Papel (Suzano Pulp and paper), extraída da polpa branqueada de eucalipto, com concentração de 3% em relação à dispersão e água potável fornecida pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

O traço utilizado na preparação das amostras foi 1:3 (cimento:areia). Foram realizadas 6 misturas com concentrações de celulose nanofibrilada de 0,01%, 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,3% e 0,5% por massa de cimento, além de uma mistura sem a adição de nanocelulose utilizada como referência. A relação água/cimento foi mantida em 0,48 para todos os traços. Para garantir uma melhor dispersão, a celulose nanofibrilada foi diluída em água em um mixer, por 5 minutos e, logo após, misturada ao cimento e areia em uma argamassadeira por 10 minutos. Após a mistura, a argamassa foi depositada em moldes prismáticos de 40x40x160 mm. O adensamento dos corpos de prova foi feito em 3 camadas de 25 golpes. Após a moldagem, as formas foram depositadas na câmara úmida por 24 horas. Após 24 horas, os corpos de prova foram removidos dos moldes, identificados e deixados em cura submersa em água até atingir as idades desejadas para os ensaios (3, 7 e 28 dias). Foram realizados ensaios de resistências à compressão e à tração na flexão, módulo de elasticidade, e resistividade elétrica, segundo as normas NBR 13279 (2005), NBR 8802 (2013) e NBR 9204 (2016), respectivamente.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta o comportamento da resistência à compressão e resistência à tração na flexão para os diferentes teores de celulose nanofibrilada em diferentes idades de ensaio. Na resistência à compressão, para as primeiras idades, o aumento é mais significativo em comparação aos valores de referência (0% de celulose nanofibrilada). Aos 3 dias, com a adição de 0,01% o aumento foi de 56,6% e, aos 7 dias com 0,1% de incorporação, o aumento foi de 18,6%. Aos 28 dias observou-se um aumento de 26,6% com 0,1% de adição. Nota-se que acima de 0,2%, a adição de nanocelulose prejudica a resistência à compressão das primeiras idades. Aos 3 dias houve uma queda de 56,4% em relação a resistência máxima atingida, aos 7 dias a queda foi de 44,1%. Para os valores de resistência à tração na flexão, nas primeiras idades, o melhor teor de incorporação foi de 0,05%, que resultou num aumento de 18,3% e 37,8%, aos 3 e 7 dias, respectivamente. Já aos 28 dias, para uma incorporação de 0,3%, houve um aumento de 18,73% em relação ao valor de referência.

**Figura 1 – Resistências à (a) compressão e (b) à tração na flexão. As legendas se referem às concentrações de celulose nanofibrilada.**



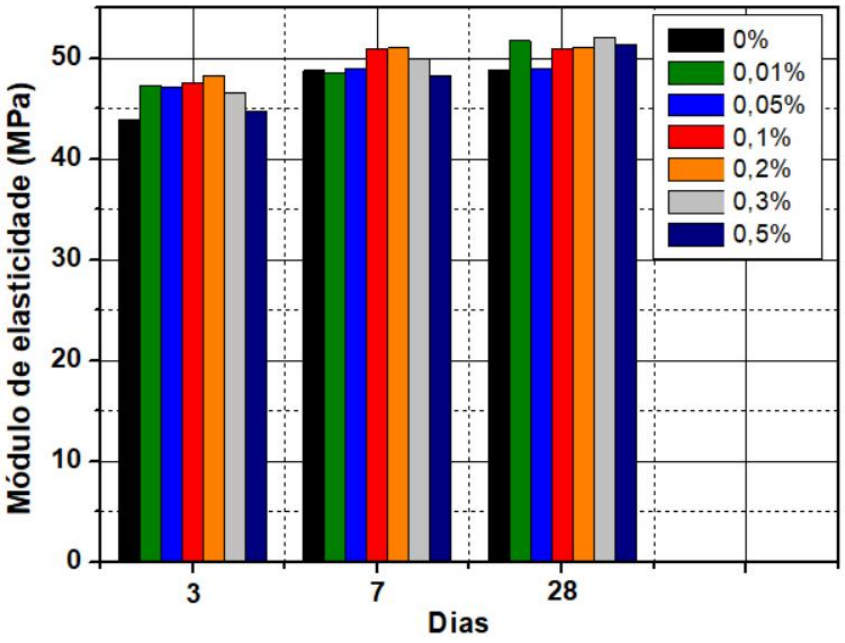

Fonte: Autores.

Segundo Majdoub et al. (2017), a adição da celulose nanofibrilada promove um aumento no grau de hidratação do cimento, produzindo mais portlandita ($Ca(OH)_2$) e gel de silicato de cálcio, que é provavelmente a principal razão responsável pelo forte aumento na resistência à compressão. Ainda segundo este autor, existem dois mecanismos propostos para explicar o aumento do grau de hidratação do cimento. O primeiro mecanismo é a estabilização estérica, responsável pela dispersão das partículas de cimento. O segundo mecanismo é que a celulose nanofibrilada fornece um canal para o transporte de água através do anel de produtos de hidratação (ou seja, C-S-H de alta densidade) para as partículas de cimento não hidratadas e, assim, melhorando a hidratação, este último mecanismo é conhecido como difusão por curto-circuito (CAO et al., 2015). Ainda segundo este autor, uma possível explicação para a queda das resistências com elevados teores de celulose nanofibrilada pode ser devido à sua dispersão não homogênea, deixando as fibras aglomeradas dentro da matriz cimentícia.

Vale ainda ressaltar, que durante o endurecimento, o produto de hidratação forma uma camada em torno da partícula de cimento não hidratada, retardando a difusão da água para o seu interior. Esse fenômeno limita a taxa de hidratação e, como resultado, os núcleos de partículas de cimento hidrata lentamente. Quando a celulose nanofibrilada está presente na pasta de cimento, ela pode formar um caminho para o transporte da água a partir dos poros para o núcleo de cimento não hidratado. Isto facilita a reação da água para uma porção maior de cimento em comparação com as pastas de cimento sem celulose nanofibrilada.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados para o módulo de elasticidade. Pelos valores obtidos, nota-se que o aumento nas primeiras idades foi de 9% e 4%, aos 3 e 7 dias respectivamente, ambas com concentração de 0,2%. Aos 28 dias o aumento foi de aproximadamente 7% com a adição de 0,3% de nanomaterial. Segundo Claramunt et al. (2011), com a adição das fibras a interação fibra/matriz aumenta e, consequentemente, há uma diminuição na capacidade de deformação da matriz. Por este motivo temos valores mais elevados de módulo de elasticidade.

**Figura 2 – Módulo de elasticidade. A legenda se refere às concentrações de celulose nanofibrilada.**

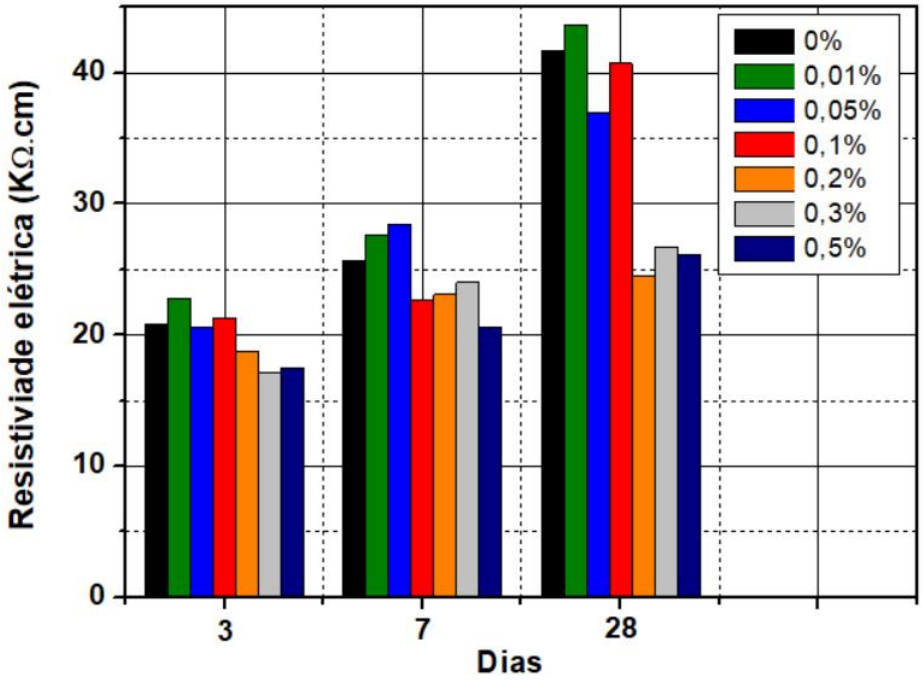



Fonte: Autores.

Na Figura 3 estão os valores da resistividade elétrica obtidos para as diferentes idade e teores. A resistividade elétrica é a propriedade elétrica que caracteriza a dificuldade com que os íons se movimentam na matriz, sendo altamente sensível ao teor de umidade de equilíbrio e à temperatura. Observa-se que com a adição de celulose nanofibrilada na matriz cimentícia, há uma significativa redução do tamanho dos poros do material, apresentado uma importante influência na resistividade elétrica. A resistividade elétrica está relacionada, também, a composição química dos cimentos, uma vez que exercem influência na composição

química da solução aquosa dos poros dos concretos.

**Figura 3 – Resistividade elétrica. A legenda se refere às concentrações de celulose nanofibrilada.**




Fonte: Autores

A resistividade elétrica teve valores mais baixos nas primeiras idades comparados com os resultados obtidos aos 28 dias. Como mencionado anteriormente, maiores teores de celulose nanofibrilada prejudicam a mistura. Isso é também observado pelo teste de resistividade. Em concentrações maiores a resistividade é menor, indicando que há uma maior quantidade de poros na mistura.

## 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram investigados a adição de nanocelulose como reforço para matrizes cimentícias. Os resultados experimentais mostraram uma grande melhora nos esforços mecânicos da argamassa cimentícia. Os valores de resistência a flexão, compressão e módulo de elasticidade apresentaram um aumento significativo com a adição de celulose nanofibrilada. A porosidade diminui com a incorporação da celulose nanofibrilada. Isso foi comprovado pelos valores de resistividade elétrica. Portanto, conclui-se que a incorporação de celulose nanofibrilada com concentrações entre 0,05% a 0,2%. pode produzir uma melhora nas propriedades mecânicas da matriz cimentícia. Porém deve observar que valores elevados de incorporação de celulose nanofibrilada podem afetar negativamente as características físicas da matriz.

## 5 REFERÊNCIAS

ARDANUY, M.; et. al. Nanofibrillated cellulose (NFC) as a potential reinforcement for high performance cement mortar composites. **BioResources**, v. 7, n. 3, p. 3883–3894, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR** 13279: 2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR** 8802: 2013: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR** 9204: 2012: Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrico-volumétrica — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

CAO, Y.; ZAVATERRI, P.; YOUNGBLOOD, J.; MOON, R., WEISS, J. The influence of cellulose

nanocrystal additions on the performance of cement paste. **Cement & Concrete Composites**, v. 56 , p. 73–83, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.11.008.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; CARRASCO, L.F. Wet/Dry Cycling Durability of Cement Mortar Composites Reinforced with Micro- and Nanoscale Cellulose Pulps. **BioResources**, v. 10, n. 2, p. 3045-3055, 2015.

KAWASHIMA, S.; HOU, P.; CORR, D. J.; SHAH, S. P. Modification of cement-based materials with nanoparticles. **Cement and Concrete Composites**, v. 36, p. 8-15, Feb. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.012.

MEJDOUB, R.; et. al. Nanofibrillated cellulose as nanoreinforcement in Portland cement: Thermal, mechanical and microstructural properties. **Journal of Composite Materials**, v. 51, n. 17, p. 2491–2503, out. 2017. DOI: https://doi.org/10.1177/0021998316672090.

RECHES, Y. Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 483-495, June 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214.

SANCHEZ, F.; SOBOLEV, K. Nanotechnology in concrete – A review. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 2060-2071, Nov. 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014.

ZHU, W.; BARTOS, P.; PORRO, A. Application of nanotechnology in construction. Summary of a state-of-the-art report. RILEM TC 197-NCM. **Mater Struct**, v. 37, p. 649–58, 2004.