

## Estudo do potencial de utilização da adição de microcelulose cristalina em argamassas de revestimento

### Study on the potential use of adding crystalline microcelulose in coating mortars

Sidnei Marcondes de Jesus<sup>1</sup>, Eloisa Navroski Magatão<sup>1</sup>, Géssica Katalyne Bilcati<sup>1</sup> , Henrique Ajuz Holzmann<sup>1</sup>, Eloise Aparecida Langaro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Civil. Guarapuava, PR, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil. Ponta Grossa, PR, Brasil.

e-mail: sidemarcondes93@gmail.com, eloisanavroski@alunos.utfpr.edu.br, gessicak@utfpr.edu.br, haholzmann@utfpr.edu.br, ealangaro@uepg.br

#### RESUMO

A compreensão dos efeitos da microcelulose cristalina em argamassas de revestimento é essencial para projetar materiais mais duráveis, resistentes e eficientes na construção. Dessa forma, o presente trabalho tem por finalidade verificar a influência da adição de teores de 0,2%, 0,4% e 0,6% de microcelulose cristalina (MCC) em relação à massa do cimento nas propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas de revestimento. O estudo foi desenvolvido considerando o impacto das adições de microcelulose nas argamassas de revestimento através da consistência, por meio do ensaio *flow-table*, da densidade de massa, do teor de ar incorporado e do comportamento reológico através do ensaio de *squeeze-flow*, como também resistência à compressão e à tração na flexão e o módulo de elasticidade dinâmico. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que a incorporação de microcelulose cristalina resultou na diminuição da consistência das argamassas. Nas concentrações de 0,2% e 0,4% houve um aumento na incorporação de ar, na plasticidade em quinze minutos da mistura e na redução da densidade de massa, indicando que esses percentuais podem atuar melhorando o processo de aplicação, facilitando a execução das argamassas de revestimento. Contudo, após trinta minutos de mistura, foi possível observar uma mudança no comportamento reológico, onde as argamassas com adição de microcelulose cristalina apresentaram uma redução nos deslocamentos em relação à referência, indicando que a alta capacidade de retenção de água da microcelulose cristalina pode influenciar na plasticidade das argamassas ao longo do tempo da mistura. No estado endurecido, foi possível concluir que as adições de microcelulose cristalina de 0,2% e 0,4% não resultaram em melhorias nas propriedades das argamassas de revestimento.

**Palavras-chave:** Microcelulose; Sistemas cimentícios; *Squeeze-flow*; Módulo de elasticidade.

#### ABSTRACT

Understanding the effects of crystalline microcellulose in rendering mortars is essential for designing more durable, resistant, and efficient construction materials. Therefore, this study aims to verify the influence of adding 0.2%, 0.4%, and 0.6% of crystalline microcellulose (MCC) relative to the cement mass on the fresh and hardened properties of rendering mortars. The study was developed considering the impact of microcellulose additions on the rendering mortars through consistency, (using the *flow-table* test), bulk density, incorporated air content, and rheological (using the *squeeze-flow* test), as well as compressive and flexural tensile strength, and dynamic modulus of elasticity. Based on the results obtained, it was concluded that the incorporation of crystalline microcellulose resulted in the consistency of the mortars. At concentrations of 0.2% and 0.4%, there was an increase in air incorporation, plasticity after fifteen minutes of mixing, and a reduction in bulk density, indicating that these percentages may improve the application process, facilitating the execution of rendering mortars. However, after thirty minutes of mixing, a change in rheological behavior was observed, where mortars with crystalline microcellulose addition showed a reduction in displacements compared to the reference, indicating that the high water retention capacity of crystalline microcellulose may influence the plasticity of the mortars

over the mixing time. In the hardened state, it was concluded that additions of crystalline microcellulose did not result in improvements in the properties of rendering mortars.

**Keywords:** Microcellulose; Cement system; *Squeeze-flow*; Elastic modulus.

## 1. INTRODUÇÃO

As argamassas desempenham um papel crucial nos sistemas de revestimento, tanto internos quanto externos das edificações, sendo um fator essencial para a regularização de superfícies, durabilidade, estética, conforto e estanqueidade das paredes [1]. As propriedades reológicas e mecânicas das argamassas influenciam diretamente o desempenho de seus revestimentos, os quais devem ser capazes de atender eficientemente às exigências ambientais. Assim, é essencial que os revestimentos aplicados nas edificações sejam cuidadosamente projetados para resistir às variadas condições ambientais, dada sua vulnerabilidade à ação do meio [2].

Para otimizar o desempenho das argamassas de revestimento no estado fresco, é crucial garantir a facilidade de aplicação na alvenaria, apresentando boa coesão, plasticidade e baixa densidade na mistura fresca. Essas características têm um impacto direto no estado endurecido, no qual é essencial para as argamassas de revestimento promover melhorias na resistência à tração na flexão e alcançar módulos de elasticidade baixos, evidenciando uma maior capacidade de deformação [2, 3].

No setor de engenharia civil, o método *squeeze-flow* tem sido utilizado para avaliar o comportamento reológico de argamassas de revestimento. Esse método é aplicado para simular condições de processamento e aplicação, como espalhamento e acabamento dos revestimentos argamassados, como também o assentamento de tijolos [4].

A construção civil é um setor fundamental na economia mundial, a busca por inovações que melhorem o desempenho e a durabilidade dos materiais de construção tornou-se uma prioridade, abordando questões de resistência à degradação ambiental e qualidade dos materiais de construção, essas buscas por inovações promovem práticas construtivas mais conscientes e duradouras [5, 6]. Nesse contexto, iniciativas que englobam a incorporação de microcelulose cristalina em argamassas de revestimento podem apresentar uma solução técnica inovadora.

Na área de micromateriais, há avanços visíveis em materiais e processos de fabricação em vários setores, inclusive na construção civil. Os micromateriais têm uma área superficial específica elevada, o que possibilita melhorias nas propriedades mecânicas e na durabilidade dos compósitos cimentícios. A nanoengenharia abrange técnicas de manipulação de estruturas em escalas micro ou nanométricas para desenvolver uma nova geração de compósitos cimentícios multifuncionais (ou seja, físico, mecânico elétrico e térmico), os quais se destacam por suas propriedades aprimoradas de alto desempenho [7, 8].

As microceluloses cristalinas possuem estruturas altamente cristalinas, que são menos suscetíveis às condições de degradação em comparação com as fibras de celulose, as quais contêm uma quantidade significativa de constituintes amorfos [9]. Uma maior área superficial específica aumenta a capacidade das micropartículas de aderir à matriz de cimento e entre si, melhorando assim as propriedades mecânicas [10]. Os benefícios mais notáveis do uso de micro e nanoceluloses incluem uma adesão superior à matriz e propriedades mecânicas mais elevadas [11]. Apesar das vantagens da utilização das microceluloses cristalinas, pouca pesquisa tem se concentrado em sua adição aos compósitos cimentícios, em comparação com as nanoceluloses, mesmo considerando que as MCC's são mais amplamente disponíveis comercialmente e mais fáceis de serem aplicadas na construção [9].

No que diz respeito ao comportamento reológico, a adição de microcelulose cristalina em sistemas cimentícios pode desencadear interações com as partículas de cimento. Essas interações resultam em uma dispersão mais eficaz das partículas, potencialmente aprimorando a fluidez da mistura [12]. As MCC's interagem com a água, estando disponíveis durante o processo de hidratação, melhorando a fluidez das argamassas de revestimento [13]. No entanto, as vantagens do uso de microceluloses cristalinas são limitadas pelo fator de formulação e pela dispersão das microceluloses cristalinas na matriz cimentícia. A dispersão não homogênea das microceluloses cristalinas em sistemas cimentícios pode resultar na redução da trabalhabilidade e no desempenho mecânico do sistema [14].

Os melhores resultados obtidos na trabalhabilidade de argamassas com microcelulose cristalina foram obtidos com porcentagens de 0,2% em relação à massa de cimento [15]. Assim como, a melhoria da densidade aparente e do desempenho mecânico dos compósitos MCC foi maior em concentrações mais baixas de MCC (0,2%) e nos primeiros dias de hidratação (3 e 7 dias). As melhorias máximas na resistência à flexão e à compressão foram com os teores de 0,2% e 0,6% de MCC [13].

A inovação na composição das argamassas de revestimento com a incorporação de micropartículas, pode apresentar uma mudança positiva nas suas propriedades, podendo resultar em maior desempenho mecânico,

melhor comportamento reológico e maior durabilidade dos revestimentos argamassados. Portanto, a pesquisa sobre a influência da adição de microcelulose cristalina nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas para revestimento é de substancial importância e representa um campo de estudo que pode catalisar inovações e melhorias significativas no setor da construção. Neste contexto, o intuito desse estudo é propor e avaliar argamassas de revestimento com adição de microcelulose cristalina e analisar de que forma essa adição afeta as propriedades finais dos revestimentos argamassados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

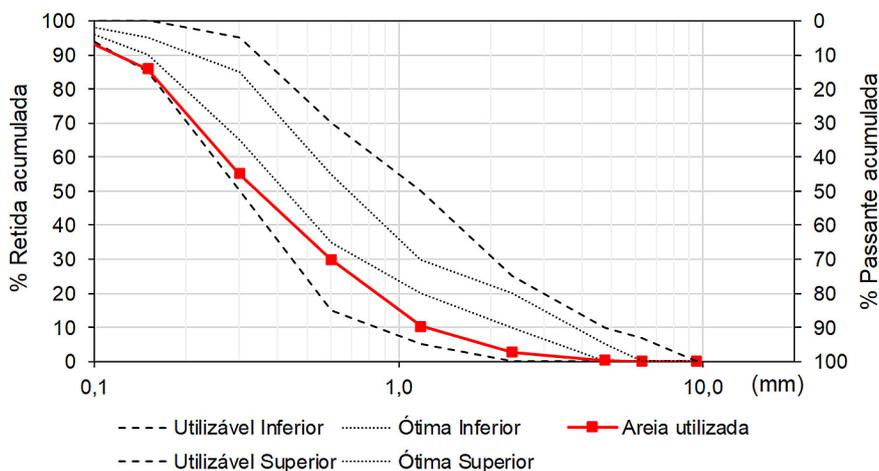
O cimento Portland utilizado na produção das argamassas de revestimento foi do tipo CP II F-32 conforme especificado na NBR 16697 [16], de massa específica e unitária, respectivamente 2,84 g/cm<sup>3</sup> e 1,00 g/cm<sup>3</sup>. O teor de óxido e a caracterização química do cimento fornecidos pelo fabricante, são mostrados na Tabela 1.

A cal foi designada como CH – III, seguindo a NBR 17054 [17], cuja massa específica e unitária são respectivamente, 2,82 g/cm<sup>3</sup> e 0,62 g/cm<sup>3</sup>. A areia natural de rio foi o agregado miúdo empregado na composição das argamassas, tendo sido submetido a uma avaliação granulométrica de acordo com a norma a NBR 17054 [17]. Na Figura 1 é possível verificar a distribuição granulométrica da areia empregada na pesquisa.

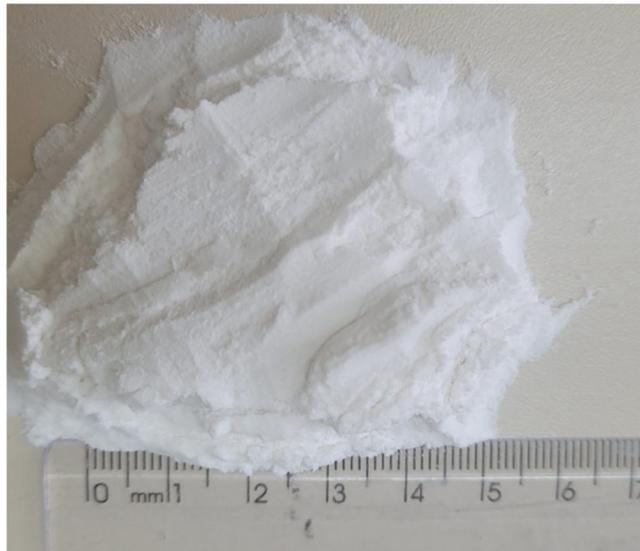
Com os dados da análise granulométrica da amostra de areia, foi calculado o módulo de finura, com resultado obtido de 1,84 e as massas específica e unitária foram de 2,59 g/cm<sup>3</sup> e 1,63 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Foi possível observar que a areia natural utilizada está entre a zona ótima inferior e zona utilizável inferior. Portanto, pode-se concluir, que a areia utilizada na produção das argamassas está em conformidade com os padrões aceitáveis estabelecidos pela a NBR 17054 [17].

**Tabela 1:** Composição química do cimento portland CP II F 32.

COMPONENTES	PERCENTUAL EM MASSA (%)
SiO <sub>2</sub>	21,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,23
CaO	52,74
MgO	2,69
SO <sub>3</sub>	2,55
Perda ao fogo	7,12
Cal livre	0,87
Resíduo insolúvel	10,92
Equiv. Alcal. (NaEq%)	0,77
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3,743



**Figura 1:** Curva granulométrica da areia.



**Figura 2:** Amostra de microcelulose cristalina.

**Tabela 2:** Densidade e tamanho médio da microcelulose cristalina.

AMOSTRAS	DENSIDADE APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	COMPRIMENTO MÉDIO	DIÂMETRO MÉDIO	RAZÃO DE ASPECTO
Microcelulose cristalina	0,35–0,46	65 µm	15 µm	4,33

Fonte: Dados fornecidos pela empresa (2023).

A microcelulose cristalina (Figura 2) empregada como adição em argamassas de revestimento é um produto comercial obtido de acordo com o fabricante através de fibra de celulose purificada submetida à hidrólise ácida sob condições controladas. Na primeira etapa, a polpa da fibra de celulose foi tratada com solução ácida diluída. Durante a hidrólise, as moléculas ácidas atuaram nas regiões amorfas e romperam as ligações  $\beta$ . Os oligossacarídeos celulósicos hidrossolúveis resultantes e glicoses foram removidos no processo seguinte. Posteriormente, a pasta foi submetida a lavagem, filtração e moagem, para obtenção das partículas desejadas de microcelulose cristalina. Na Tabela 2 são mostradas a densidade e o tamanho médio da microcelulose cristalina.

## 2.2. Procedimentos experimentais

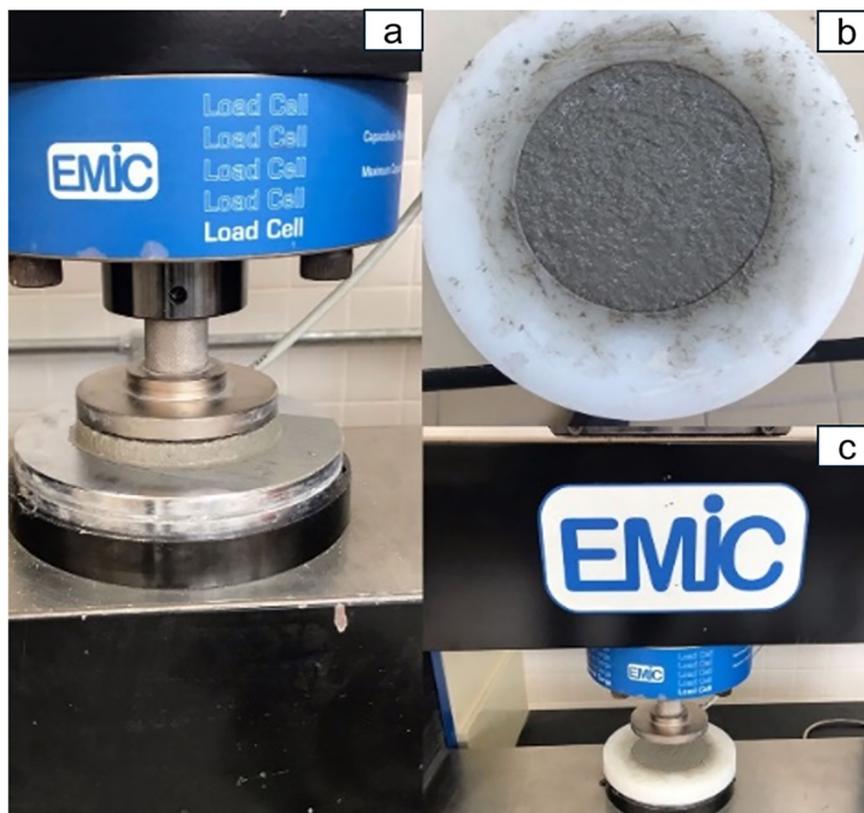
A argamassa de referência foi preparada na proporção 1:2:8 (cimento:cal:areia) em volume, a partir da qual foram elaboradas outras três formulações de argamassa. A microcelulose cristalina foi adicionada às formulações em teores de 0,2%, 0,4% e 0,6% em relação à massa do cimento. Para determinar a relação água/materiais secos, foi fixada a consistência segundo a norma NBR 13276 [18] para as argamassas de referência. Para isso, foi ajustado o teor de água nas argamassas de revestimento da referência para a obtenção do espalhamento padronizado dentro do intervalo de  $260 \pm 5$  mm. Na Tabela 3 são apresentados os consumos dos materiais e traços (em massa e volume).

Semelhante a outros nano e micromateriais, a dispersão não homogênea de microcelulose cristalina pode ser a principal causa da redução do desempenho mecânico, pois a aglomeração de MCC pode diminuir a eficiência da adição e introduzir defeitos nos materiais cimentícios [14]. Portanto, a dispersão adequada das microceluloses cristalinas em sistemas cimentícios é um fator crucial a ser considerado na produção de compósitos cimentícios. O método de dispersão da microcelulose cristalina em sistemas de aglomerantes minerais foi baseado no trabalho de BILCATI *et al.* [19], o qual se concentrou no desenvolvimento de uma técnica mais simples e menos intensiva para obter uma dispersão homogênea da microcelulose cristalina. As microceluloses cristalinas (0,2%; 0,4% e 0,6%) foram adicionadas à água e a solução foi armazenada por 24 horas para permitir a hidratação das micropartículas. Após esse período, as soluções aquosas foram agitadas manualmente por 5 minutos e adicionadas imediatamente aos materiais secos no

**Tabela 3:** Traço e consumo dos componentes empregados nas argamassas de revestimento.

FORMULAÇÃO	TRAÇO (massa)	RELAÇÃO a/ms	CIMENTO (g)	CAL (g)	AREIA (g)	ADIÇÃO DE MCC (g)
REF	1:1,27:13,21	0,16	100	126	1320	0
MCC 0,2%						0,20
MCC 0,4%						0,40
MCC 0,6%						0,60

Onde: a/ms = água/materiais secos.

**Figura 3:** Amostras sendo submetidas ao ensaio de *squeeze-flow* (a) (c); preparação para ensaio (b).

agitador mecânico para produção das argamassas de revestimento. O procedimento de mistura das argamassas seguiu as recomendações da NBR 16541 [20].

### 2.2.1. Ensaio realizado nas argamassas de revestimento

No estado fresco, as argamassas foram avaliadas quanto à densidade e o teor de ar incorporado através da norma NBR 13278 [21]. Adicionalmente, foram analisadas quanto ao índice de consistência, conforme estabelecido pela norma NBR 13276 [18] e foram ensaiadas em relação ao comportamento reológico pelo método *squeeze-flow*, conforme a norma NBR 15839 [22]. No ensaio de *squeeze-flow*, conforme mostrado na Figura 3, a argamassa foi submetida a uma compressão de carga, em velocidade constante de 0,1 mm/s. O ensaio foi concluído quando o deslocamento da punção atingiu 9 mm ou quando a carga máxima atingiu 1 kN, e os resultados foram apresentados em um gráfico contendo a curva de tensão versus deformação. O ensaio de *squeeze-flow* foi realizado com 15 e 30 minutos após o início da mistura.

No estado endurecido, as argamassas foram testadas quanto à resistência à compressão e à tração na flexão, seguindo as diretrizes estabelecidas na norma NBR 13279 [23]. Além disso, o módulo de elasticidade dinâmico foi determinado de acordo com as especificações da norma NBR 15630 [24]. Os ensaios no estado endurecido foram avaliados em duas idades distintas: 7 e 28 dias.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterização das argamassas no estado fresco

Na Figura 4 são apresentados os resultados do índice de consistência das argamassas de revestimento produzidas.

Todas as adições empregadas de microcelulose cristalina demonstrou uma diminuição no índice de consistência.

MORAES *et al.* [15] analisou que a adição de microcelulose cristalina às argamassas resulta em uma diminuição no índice de consistência, isso ocorre porque a microcelulose cristalina possui grupos hidroxílicos em sua estrutura molecular, o que faz com que ela absorva a água utilizada na dosagem de argamassas de revestimento. Da mesma forma na pesquisa de MENDES *et al.* [5] e PESCAROLO *et al.* [2] a adição de micromateriais de celulose nas argamassas também indicaram redução no índice de consistência.

De acordo com a análise estatística da ANOVA e Tukey, a adição das microceluloses cristalinas reduziu significativamente a consistência das argamassas de revestimento, conforme mostrado na Figura 4. Essas reduções foram de 5,6%, 3,64% e 9,5% para as adições de MCC 0,2%, MCC 0,4% e MCC 0,6%, respectivamente, em relação à referência. Podendo concluir que a adição de microcelulose tem significativo impacto na consistência das argamassas de revestimento. Isso pode indicar que as microceluloses cristalinas podem ser prejudiciais ao desempenho da argamassa no estado fresco, especialmente com adições superiores a 0,6%, que podem reduzir a produtividade dos revestimentos argamassados.

Na Figura 5 são mostrados os valores médios da densidade de massa e o teor de ar incorporado das argamassas de revestimento com adição de microcelulose cristalina.

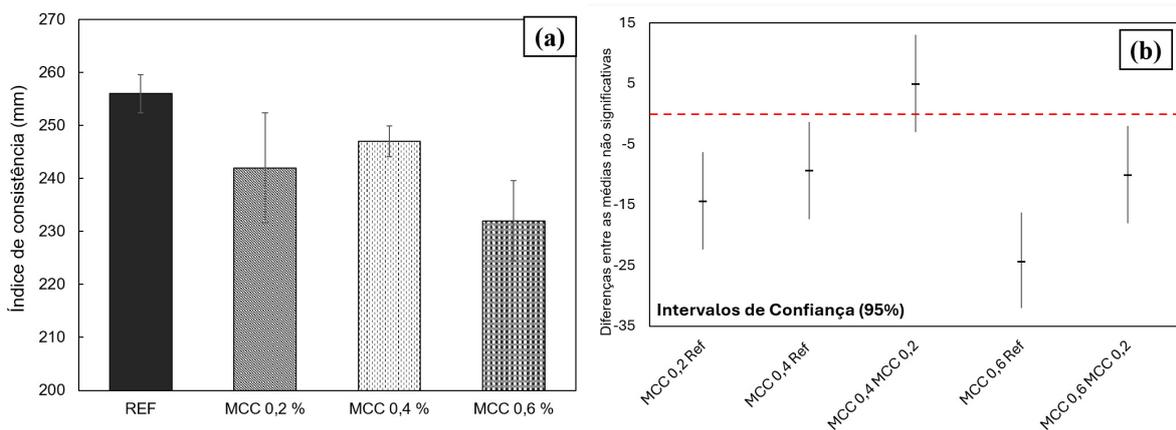


Figura 4: Valores médios do índice de consistência (a) e análise estatística (b).

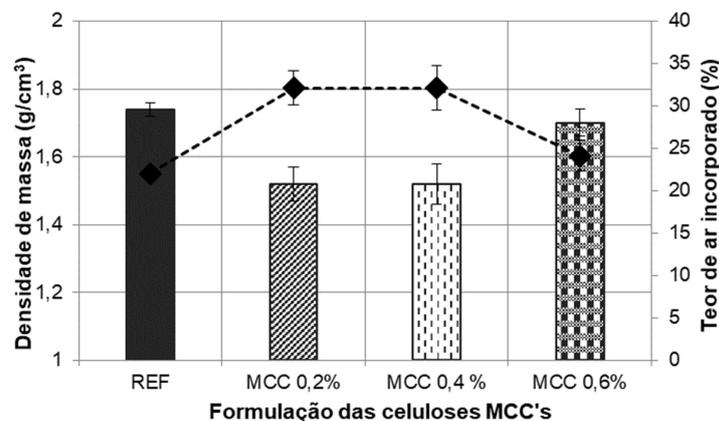


Figura 5: Valores médios de densidade de massa (coluna) e teor de ar incorporado (linha).

Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que a adição de microcelulose cristalina promoveu a incorporação de ar e consequentemente a redução da densidade de massa das argamassas de revestimento. No estudo realizado por PESCAROLO *et al.* [2], foi observado que o contato das partículas de celulose com a matriz cimentícia provoca um efeito parede, gerando bolhas dentro do sistema, assim o efeito das partículas de celulose sobre a incorporação de ar do sistema cimentício, por sua vez, resulta na redução da densidade das argamassas.

Por meio da análise estatística utilizando o teste de Tukey e considerando intervalos de confiança de 95%, foi observado que as formulações apresentaram diferenças significativas entre as médias dos ensaios de densidade de massa (a) e teor de ar incorporado (b), conforme evidenciado na Figura 6.

Em relação aos resultados obtidos de densidade de massa, foi observado que os valores médios para as formulações com adição de MCC 0,2 e MCC 0,4 apresentaram uma redução significativa em comparação com a referência. Adicionalmente, constatou-se que as adições de MCC 0,2 e MCC 0,4 resultaram em um aumento significativo no teor de ar incorporado em relação à referência. Com a redução da densidade de massa da argamassa de revestimento e o aumento do teor de ar incorporado, é possível concluir que as adições de microcelulose cristalina em 0,2% e 0,4% melhoram a trabalhabilidade e plasticidade, facilitando o processo de execução das argamassas de revestimento e resultando em menor esforço para manusear a argamassa e maior produtividade [25].

A adição máxima de MCC 0,6 apresentou valores médios que foram similares à referência, o que permite concluir que essa formulação não proporciona melhoria na densidade e no teor de ar incorporado nas argamassas de revestimento. Esse fenômeno pode ter ocorrido devido ao alto teor de microcelulose cristalina, que pode causar dificuldades na mistura e dispersão, resultando na redução significativa das propriedades no estado fresco, diminuindo a densidade de massa e aumentando a incorporação de ar.

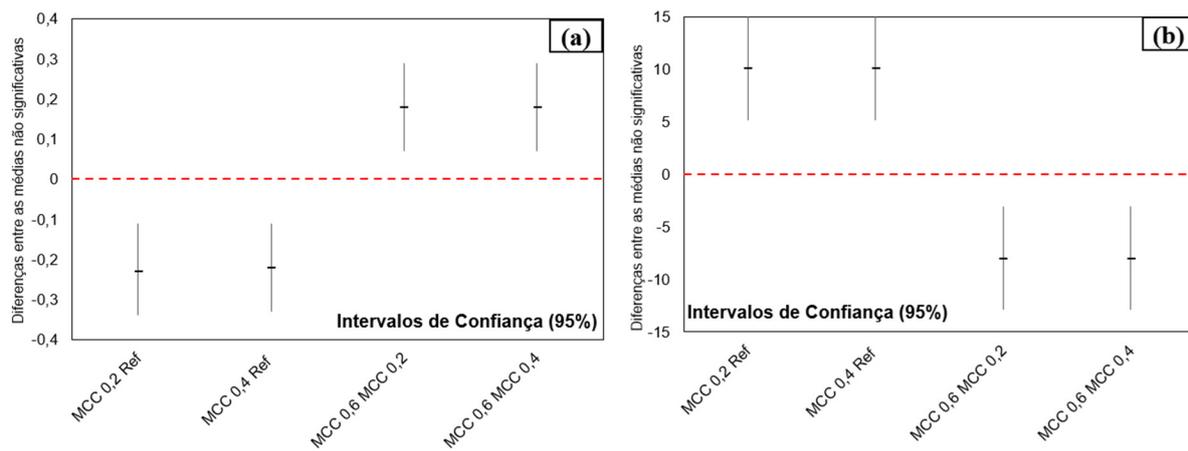


Figura 6: Análise estatística da densidade de massa (a) e teor de ar incorporado (b).

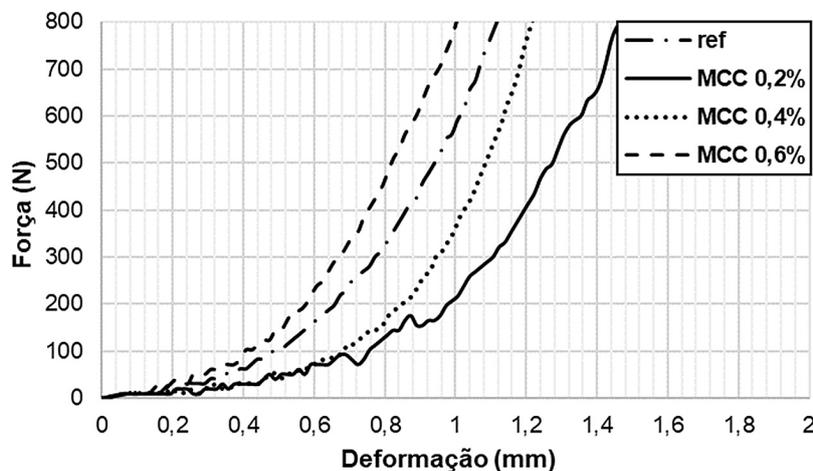


Figura 7: Resultado de *squeeze-flow* em 15 minutos de mistura.

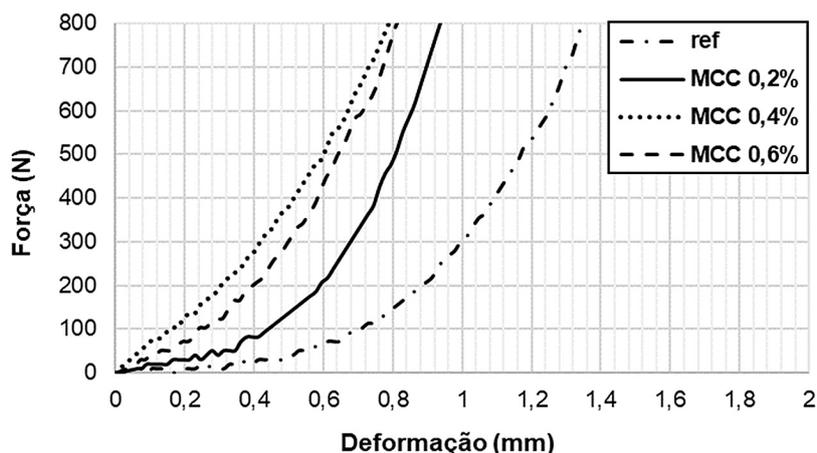


Figura 8: Resultado de *squeeze-flow* em 30 minutos de mistura.

Os resultados do teste de *squeeze-flow* são dados a partir da tensão de compressão (calculada a partir da força de compressão dividida por área de amostra) vs. deslocamento da placa superior para cada teste. Nas Figuras 7 e 8 são mostrados os resultados do ensaio de *squeeze-flow* das argamassas de revestimento após 15 e 30 minutos de mistura, respectivamente.

No entanto, com resultados obtidos através do ensaio de *squeeze-flow*, no período de 30 minutos, foi possível verificar uma significativa mudança de comportamento reológico nas argamassas de revestimento, onde as microceluloses cristalinas proporcionaram um deslocamento menor quando comparadas com a referência. Este fenômeno pode ser atribuído à alta capacidade de retenção de água da microcelulose cristalina que reduziu a água de amassamento das argamassas de revestimento, resultando na redução dos deslocamentos em comparação com a argamassa de revestimento de referência. Os materiais à base de celulose possuem alta capacidade de retenção de água, devido a sua natureza hidrofílica. Isso permite interagir com os produtos de hidratação, desempenhando papel de agente de cura interna em sistemas cimentícios [27, 28].

### 3.2. Caracterização das argamassas no estado endurecido

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os valores médios de resistência à tração na flexão e à compressão, juntamente com a análise estatística que destaca as diferenças significativas entre as médias.

De maneira geral, as adições de microceluloses cristalinas não influenciaram significativamente as propriedades de resistência à tração na flexão, aos 7 dias, com todos os valores médios das adições estudadas sendo similares às argamassas de revestimento de referência. O resultado pode ser justificado devido à escala micrométrica das microceluloses cristalinas. ZHANG *et al.* [29] avaliaram materiais celulósicos em escalas de  $\mu\text{m}$  e  $\text{mm}$ , concluindo que somente em escala de  $\text{mm}$  houve uma melhoria significativa na resistência à tração na flexão de compósitos cimentícios, enquanto em escala  $\mu\text{m}$  não houve contribuição para o desempenho mecânico à tração na flexão. No contexto de argamassa de revestimento, o objetivo é alcançar maiores valores de resistência à tração na flexão [3]. No entanto, os resultados obtidos nessa pesquisa indicam que as adições de microcelulose cristalina não proporcionaram melhoria das argamassas de revestimento no estado endurecido, aos 7 dias.

Aos 28 dias, as argamassas de revestimento com adição de microcelulose cristalina apresentaram comportamentos distintos em comparação aos 7 dias. As adições de MCC 0,6% apresentaram um aumento significativo na resistência à tração na flexão em comparação com a referência, podendo indicar que essa adição pode atuar melhorando as propriedades das argamassas de revestimento no estado endurecido. Já a incorporação de MCC 0,4% reduziu significativamente a resistência à tração na flexão e a adição MCC 0,2% apresentou um incremento de 45% na resistência à tração na flexão em relação à referência, contudo esse aumento não foi sensível ao nível de 95% no teste Tukey.

Com base na análise estatística, foi observado que a adição de MCC 0,2% nas argamassas de revestimento resultou em um aumento significativo na resistência à compressão em comparação com as demais formulações, aos 7 dias. SOUZA FILHO *et al.* [30] também identificaram um aumento da resistência mecânica à compressão devido à adição da microcelulose cristalina em compósitos cimentícios, atribuindo esse efeito ao aumento no grau de hidratação do cimento. No entanto, aos 28 dias, todas as formulações avaliadas apresentaram resultados similares, não apresentando diferenças significativas entre elas.

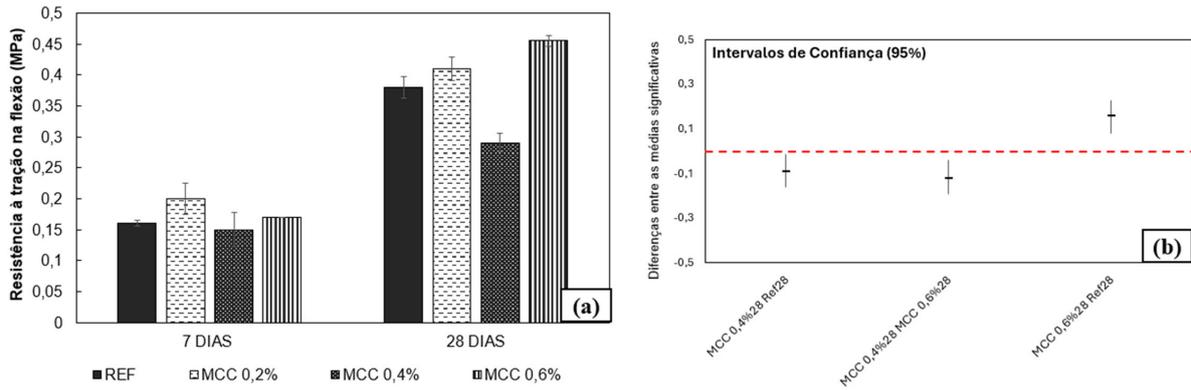


Figura 9: Valores médios de resistência à tração na flexão (a) e análise estatística (b).

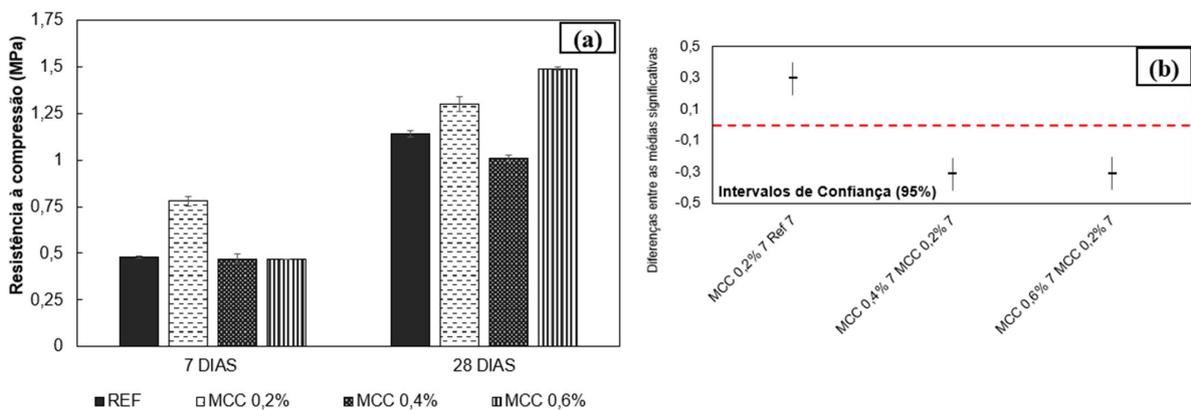


Figura 10: Valores médios de resistência à compressão (a) e análise estatística (b).

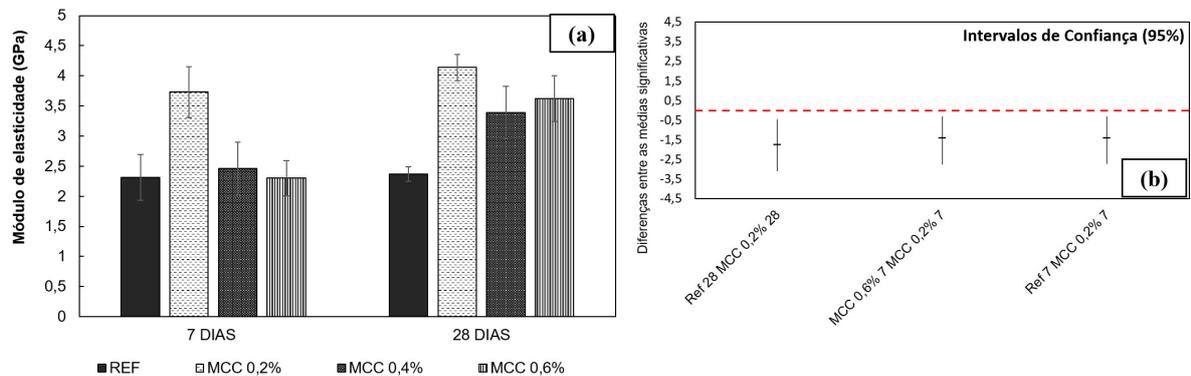


Figura 11: Valores médios, em GPa, do módulo de elasticidade (a) e análise estatística (b).

Na Figura 11 exibe os resultados de módulo de elasticidade dinâmico aos 7 e 28 dias de idade, juntamente com a análise estatística correspondente.

O módulo de elasticidade dinâmico é um parâmetro que descreve a elasticidade de um material. Quanto maior o valor do módulo de elasticidade dinâmico, maior rigidez do material (menos deformável), enquanto valores baixos correspondem a materiais com alta deformabilidade. No contexto de uma argamassa de revestimento, um valor mais baixo do módulo de elasticidade é considerado positivo, pois indica que o material pode suportar maiores tensões internas antes de fissuração [1, 3].

Com base nos resultados obtidos através da análise estatística, foi possível observar que a adição de microcelulose cristalina em 0,2% aumentou significativamente os valores médios de módulo de elasticidade

dinâmico em comparação com a argamassa de revestimento de referência, tanto aos 7 quanto aos 28 dias, mostrando que a adição de microcelulose cristalina tornaram as argamassas mais rígidas. Assim, para essa adição, pode-se observar aumento significativo de resistência à compressão aos 7 dias. Com base nesses resultados, pode-se observar que a microcelulose cristalina em 0,2% não apresentou ganho em termos de deformabilidade. Apesar da tendência de incorporação de ar, a adição de MCC 0,2% contribuiu para o aumento da resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico. Isso se deve ao efeito nucleador das micropartículas de celulose nos produtos de hidratação de sistemas cimentícios em nível microscópico [14], preenchendo nanoporos das argamassas de revestimento.

#### 4. CONCLUSÃO

No presente trabalho, a incorporação de microcelulose cristalina nas argamassas de revestimento exerceu influência significativa nas propriedades no estado fresco e endurecido dessas argamassas. A partir dos resultados, pode-se concluir que:

- As adições de microcelulose cristalina em 0,2% e 0,4% promoveram a incorporação de ar e a redução da densidade de massa das argamassas de revestimento devido ao efeito plastificante das microceluloses cristalinas, promovendo uma melhoria no processo de aplicação das argamassas de revestimento.
- Em relação ao comportamento reológico, as adições de microcelulose cristalina em 0,2% e 0,4% apresentaram o maior deslocamento em comparação com a argamassa de revestimento de referência, indicando maior plasticidade, aos 15 minutos de mistura. No entanto, aos 30 minutos de mistura, houve uma mudança de comportamento, onde as adições de microcelulose cristalina resultaram em uma redução da plasticidade em relação à argamassa de revestimento de referência. Esse efeito pode ser atribuído à alta capacidade de retenção de água das microceluloses cristalinas, que reduziu a disponibilidade de água de amassamento.
- A adição de 0,6% de microcelulose cristalina não promoveu melhorias em nenhuma das propriedades estudadas no estado fresco, indicando que o fator de formulação tem um impacto substancial nas propriedades das argamassas de revestimento.
- A formulação que apresentou melhorias no estado fresco foi MCC 0,2%, indicando um potencial promissor para aplicação em argamassas de revestimento.
- No estado endurecido, no contexto da argamassa de revestimento, o objetivo é obter valores médios maiores de resistência à tração na flexão e menores valores médios de módulo de elasticidade, o que indica uma maior deformabilidade. Os resultados obtidos deste estudo, indicam que as adições de microcelulose cristalina em MCC 0,2% e MCC 0,4% não proporcionam melhoria das argamassas de revestimento no estado endurecido.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava pelo fornecimento da infraestrutura necessária para o progresso desta pesquisa e pelo apoio financeiro.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] HADDAD, L.D.O., NEVES, R.R., OLIVEIRA, P.V., *et al.*, “Influence of particle shape and size distribution on coating mortar properties”, *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 4, pp. 9299–9314, 2020. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.068>.
- [2] PESCAROLO, A., SILVA, S.H.L., PINTO, M.C.C., *et al.*, “A influência de microfibras de celulose no estado fresco de argamassas”, *Ambiente Construído*, v. 22, n. 1, pp. 179–190, 2022. doi: <http://doi.org/10.1590/s1678-86212022000100586>.
- [3] BONFIM, W.B., PAULA, H.M., “Characterization of different biomass ashes as supplementary cementitious material to produce coating mortar”, *Journal of Cleaner Production*, v. 291, pp. 125869, 2021. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125869>.
- [4] DANTAS, S.R.A., SERAFINI, R., ROMANO, R.C.O., *et al.*, “Influence of the nano TiO<sub>2</sub> dispersion procedure on fresh and hardened rendering mortar properties”, *Construction & Building Materials*, v. 215, pp. 544–556, 2019. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.190>.
- [5] MENDES, A.R., VANDERLEI, R.D., BASSO, M.A., “Análise do processo de dispersão da nanocelulose cristalina para a produção de compósitos cimentícios”, *Ambiente Construído*, v. 23, n. 1, pp. 183, 2023. doi: <http://doi.org/10.1590/s1678-86212023000100657>.
- [6] KIANI MAVI, R., GENGATHAREN, D., MAVI, N.K., *et al.*, “Sustainability in construction projects: a systematic literature review”, *Sustainability*, v. 13, n. 4, pp. 1932, 2021. doi: <http://doi.org/10.3390/su13041932>.

- [7] RAMEZANI, M., DEGHANI, A., SHERIF, M., “Carbon nanotube reinforced cementitious composites: a comprehensive review”, *Construction & Building Materials*, v. 315, pp. 125100, 2022. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125100>.
- [8] CAMARGO, P.H.C., SATYANARAYANA, K.G., WYPYCH, F., “Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities”, *Materials Research*, v. 12, n. 1, pp. 1–39, 2009. doi: <http://doi.org/10.1590/S1516-14392009000100002>.
- [9] SILVA, L., PARVEEN, S., FILHO, A., *et al.*, “A facile approach of developing micro crystalline cellulose reinforced cementitious composites with improved microstructure and mechanical performance”, *Powder Technology*, v. 338, pp. 654–663, 2018. doi: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.076>.
- [10] LONG, W.J., TAO, J.L., LIN, C., *et al.*, “Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro-crystalline cellulose for 3D-printing”, *Journal of Cleaner Production*, v. 239, pp. 118054, 2019. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118054>.
- [11] BALEA, A., FUENTE, E., BLANCO, A., *et al.*, “Nanocelluloses: natural-based materials for fiber-reinforced cement composites. A critical review”, *Polymers*, v. 11, n. 3, pp. 518, 2019. doi: <http://doi.org/10.3390/polym11030518>. PubMed PMID: 30960502.
- [12] MONTES, F., FU, T., YOUNGBLOOD, J.P., *et al.*, “Rheological impact of using cellulose nanocrystals (CNC) in cement pastes”, *Construction & Building Materials*, v. 235, pp. 117497, 2020. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117497>.
- [13] SILVA, L., PARVEEN, S., FILHO, A., *et al.*, “A facile approach of developing micro crystalline cellulose reinforced cementitious composites with improved microstructure and mechanical performance”, *Powder Technology*, v. 338, pp. 654–663, 2018. doi: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.076>.
- [14] HE, S., CHAI, J., YANG, Y., *et al.*, “Effect of non-reinforcing phase on the early hydration of cement paste: a review”, *Construction & Building Materials*, v. 367, pp. 130147, 2023. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130147>.
- [15] MORAES, K.K., VANDERLEI, R.D., SANTOS, V.C., *et al.*, “Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de matriz cimentícia com microcelulose cristalina”, *Matéria*, v. 23, n. 3, e12180, 2018. doi: <http://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0514>.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 16697 Cimento Portland – Requisitos – Elaboração*, Rio de Janeiro, ABNT, 2018.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 17054 Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio – Elaboração*, Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 13276 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência*, Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- [19] BILCATI, G.K., COSTA, M.R.M., TAMURA, S.H.L.S., “Effect of combined fiber-microcrystalline cellulose reinforcement on the rheology and hydration kinetics of cementitious composites”, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 17, n. 6, e17604, 2024. doi: <http://doi.org/10.1590/s1983-41952024000600004>.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 16541 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo de mistura para a realização de ensaios*, Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 13278 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 15839 Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow – Elaboração*, Rio de Janeiro, ABNT, 2010.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 13279 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – Elaboração*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 15630 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica*, Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

- [25] PAES, A.L.C., ALEXANDRE, J., XAVIER, G.C., *et al.*, “Feasibility analysis of mortar development with ornamental rock waste for coating application by mechanized projection”, *Sustainability*, v. 14, n. 9, pp. 5101, 2022. doi: <http://doi.org/10.3390/su14095101>.
- [26] GRANDES, F.A., SAKANO, V.K., REGO, A.C.A., *et al.*, “Squeeze flow coupled with dynamic pressure mapping for the rheological evaluation of cement-based mortars”, *Cement and Concrete Composites*, v. 92, pp. 18–35, 2018. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.016>.
- [27] LEE, G.W., CHOI, Y.C., “Effect of abaca natural fiber on the setting behavior and autogenous shrinkage of cement composite”, *Journal of Building Engineering*, v. 56, pp. 104719, 2022. doi: <http://doi.org/10.1016/j.job.2022.104719>.
- [28] CLARAMUNT, J., ARDANUY, M., GARCÍA-HORTAL, J.A., *et al.*, “The hornification of vegetable fibers to improve the durability cement mortar composites”, *Cement and Concrete Composites*, v. 33, n. 5, pp. 586–595, 2011. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.03.003>.
- [29] ZHANG, Y., JIAO, Z., DENG, L., *et al.*, “Comparison of the tensile behaviour enhancement of cement paste incorporated with  $\mu\text{m}$  and  $\text{mm}$ -scale cellulose fibres at the early curing age”, *Construction & Building Materials*, v. 322, pp. 126452, 2022. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126452>.
- [30] SOUZA FILHO, A.S., PARVEEN, S., RANA, S., *et al.*, “Micro-structure and mechanical properties of microcrystalline cellulose-sisal fiber reinforced cementitious composites developed using cetyltrimethylammonium bromide as the dispersing agent”, *Cellulose*, v. 28, n. 3, pp. 1663–1686, 2021. doi: <http://doi.org/10.1007/s10570-020-03641-5>.