

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SIDNEI MARCONDES DE JESUS

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE MICROCELULOSE CRISTALINA NAS
PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

GUARAPUAVA

2023

SIDNEI MARCONDES DE JESUS

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE MICROCELULOSE CRISTALINA NAS
PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**Influence of crystalline microcellulose addition on the fresh state properties of
rendering mortars**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dra. Géssica Katalyne Bilcati

GUARAPUAVA

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

SIDNEI MARCONDES DE JESUS

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE MICROCELULOSE CRISTALINA NAS
PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dra. Géssica Katalyne Bilcati

Data de aprovação: 07/Dezembro/2023

Géssica Katalyne Bilcati
Doutora

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Guarapuava

Henrique Ajuz Holzmann
Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Guarapuava

Sarah Honorato Lopes da Silva Tamura
Doutora

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Apucarana

GUARAPUAVA

2023

Dedico aos meus pais Antônio e Cleusa pelo exemplo de vida e apoio incondicional em todos os momentos, aos meus irmãos pela sincera amizade e companheirismo e meus queridos avós (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por me guiar e me dar forças ao longo desta jornada acadêmica. Sua graça e orientação foram fundamentais para minha perseverança.

À minha família, meus pais e meus irmãos, por todo o apoio incondicional, amor e compreensão ao longo dos anos. Sem o encorajamento de vocês, eu não teria chegado tão longe.

À equipe do DEPEP (Departamento de Educação), que desempenhou um papel crucial em minha jornada acadêmica. Suas contribuições e apoio foram fundamentais para o meu crescimento na universidade.

Agradeço especialmente aos meus amigos, Júlia Stremel, Carlos O. Silva e Cleverson Dalcortivo, sua amizade e apoio foram inestimáveis, e enfrentar os desafios da vida acadêmica ao lado de vocês tornou tudo mais fácil e gratificante.

À minha orientadora Géssica Bilcati, pela orientação sábia, paciência e conselhos valiosos ao longo deste projeto. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e experiência, e por sempre estar disponível para esclarecer minhas dúvidas e direcionar meu caminho acadêmico. Suas sugestões foram preciosas e contribuíram significativamente para o aprimoramento deste trabalho.

À técnica e professora de laboratório Rafaella Salvador, pela assistência indispensável durante as pesquisas e experimentos. Sua habilidade e conhecimento foram um grande trunfo neste projeto.

Por fim, não posso deixar de agradecer à minha colega e amiga Eloísa Navroski Magatão, que fez parte desta jornada de TCC ao meu lado. Trabalhar contigo foi uma experiência enriquecedora, e sua parceria foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento acadêmico e para a realização deste TCC, o meu sincero obrigado.

Este é um marco importante na minha vida, e não teria sido possível sem o apoio e a presença de cada um de vocês.

“Imagine uma nova história para sua vida e acredite nela”
(Paulo Coelho)

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) nas propriedades no estado fresco 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*. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que a incorporação de microcelulose cristalina resultou na diminuição da consistência das argamassas. As concentrações de 0,2% e 0,4% proporcionaram um aumento da incorporação de ar, da plasticidade em quinze minutos da mistura e a redução da densidade de massa, indicando que esses percentuais podem atuar melhorando o processo de aplicação, facilitando a execução das argamassas de revestimento. No entanto, foi possível observar uma mudança no comportamento reológico, com trinta minutos da mistura, onde as argamassas com adição de microcelulose cristalina reduziram os deslocamentos em relação à referência, indicando que a alta capacidade de retenção de água da microcelulose pode influenciar na plasticidade das argamassas ao longo do tempo de mistura.

Palavras-chave: Microcelulose, *Squeeze-Flow*, Materiais cimentícios.

ABSTRACT

Understanding the effects of crystalline microcellulose in coating mortars is essential for designing more durable, stronger, and efficient materials in construction. Therefore, the present work aims to verify the influence of adding levels of 0.2%, 0.4% and 0.6% of crystalline microcellulose (MCC) on the fresh properties of coating mortars. The study was developed considering the impact of microcellulose additions on coating mortars through consistency, through the flow-table test, mass density, incorporated air content and rheological behavior through the squeeze-flow test. Based on the results obtained, it was possible to conclude that the incorporation of crystalline microcellulose resulted in a decrease in the consistency of the mortars. Concentrations of 0.2% and 0.4% provided an increase in air incorporation, plasticity in fifteen minutes of the mixture and a reduction in mass density, indicating that these percentages can act to improve the application process, facilitating the execution of coating mortars. However, it was possible to observe a change in the rheological behavior, after thirty minutes of mixing, where the mortars with the addition of crystalline microcellulose reduced the displacements in relation to the reference, indicating that the high water retention capacity of microcellulose can influence the plasticity of the mortars over the mixing time.

Keywords: Microcellulose, *Squeeze-Flow*, Cementitious materials.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferentes alternativas de revestimento de parede: (a) emboço + reboco + pintura (b) camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).....	15
Figura 2 - Mesa de espalhamento para o ensaio de consistência (flow table). .	17
Figura 3 - Representação esquemática do ensaio reológico de “squeeze-flow”.	18
Figura 4 - Perfil típico de carga vs. deslocamento de um ensaio de <i>squeeze-flow</i> realizado com deslocamento controlado.....	18
Figura 5 - Estrutura da parede celular.....	21
Figura 6 - Formação da molécula de celulose.....	22
Figura 7 - Microcelulose cristalina – MCC.....	23
Figura 8 - Fluxograma experimental.....	26
Figura 9 - Amostras de microcelulose cristalina.....	28
Figura 10 - Relação água cimento de a) 2,35, b) 2,50, c) 2,52 e d) 3,00	34
Figura 11 - Beckers com teores de MCC adicionados á agua.....	35
Figura 12 - Misturador de argamassa.....	36
Figura 13 - a) Remoção do molde cônico na flow table, b) medição do espalhamento da argamassa usando uma régua.....	37
Figura 14 - Ensaio Squeeze Flow.....	39
Figura 15 - Análise de DRX.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Classificação das areias quanto a sua curva granulométrica.....	40
Gráfico 2 - Resultados índice de consistência, Anova e Tukey para índice de consistência.....	44
Gráfico 3 - Resultado das médias para Densidade de massa e Teor de ar incorporado	46
Gráfico 4 - Resultados Anova e tukey para Densidade de massa e Teor de ar Incorporado das	46
Gráfico 5 - Resultado <i>Squeeze-Flow</i> 15 minutos.....	47
Gráfico 6 - Resultado <i>Squeeze Flow</i> 30 minutos.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição granulométrica da areia natural	40
Tabela 2 - Massa específica e massa unitária.....	41
Tabela 3 - Massa específica e massa unitária dos aglomerantes	42
Tabela 4 - Ensaio para relação de a/c e Índice de consistência.....	44
Tabela 5 - Tratamentos, media, desvio padrão e Coeficiente de variação do índice de consistência	44
Tabela 6 - Resultados para densidade de massa nas argamassas de revestimento.....	45
Tabela 7 - Resultados para Teor de ar incorporado nas argamassas de revestimento.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normas para ensaios de caracterização dos materiais	29
Quadro 2 - Formulação, traço e quantidade de materiais para produção de argamassa.....	34
Quadro 3 - Resumo das especificações da ABNT para cimento Portland	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Água/cimento
ANOVA	Análise de variância
C.V.	Coeficiente de variação
Coef.	Coeficiente
Desv. Pad	Desvio padrão
DXR	Difração de Raio-X
IC	Índice de Consistência
MCC	Microcelulose cristalina
NBR	Normas Brasileiras
REF	Referência
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivo específico	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Argamassa de revestimento	15
2.2	Propriedades das argamassas de revestimento	16
2.2.1	Propriedades da argamassa no estado fresco	16
2.2.2	Trabalhabilidade	16
2.2.3	Plasticidade	19
2.2.4	Retenção de água	19
2.2.5	Densidade de massa e teor de ar incorporado	20
2.3	Materiais celulósicos	20
2.3.1	Celulose	20
2.3.2	Microcelulose cristalina (MCC)	22
2.3.3	Utilização de Celulose na Produção de Argamassa na Construção Civil	23
2.3.4	Influência da adição de microcelulose no estado fresco	23
2.3.5	Processo de preparação da MCC para misturas de argamassa	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	Materiais	27
3.1.1	Cimento	27
3.1.2	Cal hidratada	27
3.1.4	Água	27
3.1.5	Microcelulose cristalina (MCC)	27
3.2	Métodos	28
3.2.1	Caracterização dos materiais	28
3.2.1.1	Caracterização da areia natural	29
3.2.1.2	Caracterização dos aglomerantes	31
3.2.1.3	Caracterização da microcelulose cristalina	32
3.2.2	Formulação das argamassas	33
3.2.3	Determinação da relação água/cimento	34

3.2.4	Preparo da solução aquosa de microcelulose cristalina.....	34
3.2.5	Procedimento de mistura.....	35
3.3	Ensaio de caracterização das argamassas no estado fresco	36
3.3.1	Ensaio de índice de consistência (<i>flow-table</i>).....	36
3.3.2	Densidade massa e teor de ar incorporado.....	37
3.3.3	Ensaio do método do fluxo de compressão (<i>Squeeze-Flow</i>)	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Caracterização dos materiais.....	40
4.1.1	Caracterização do agregado miúdo.....	40
4.1.2	Caracterização dos aglomerantes e microcelulose cristalina	41
4.2	Caracterização das argamassas no estado fresco.....	43
4.2.1	Determinação da relação água/cimento das argamassas de referência.....	43
4.2.2	Caracterização da consistência das argamassas produzidas	44
4.2.3	Caracterização da densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas produzidas	45
4.2.4	Caracterização do comportamento reológico das argamassas produzidas.....	47
5	CONCLUSÃO	49
5.1	Sugestão para trabalhos futuros	49
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

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. Nesse contexto, iniciativas que englobam a incorporação de microcelulose cristalina em argamassas de revestimento podem apresentar uma solução técnica inovadora. A adição de micropartículas em materiais cimentícios vem sendo investigado nas últimas décadas, apresentando grande potencial de melhoria nas propriedades mecânicas dos materiais de construção (MORAES *et al.* 2018).

Dentre os materiais de construção, destaca-se as argamassas, que são produtos amplamente utilizados no setor da construção devido à sua capacidade de se moldar em várias configurações geométricas e revestir elementos de alvenaria. Conforme Pescarolo (2019), a utilização de materiais à base de celulose em argamassas de revestimento é uma alternativa promissora para melhorar o desempenho do material, destacando a importância da pesquisa para o desenvolvimento de materiais mais eficientes na construção civil.

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 (PESCAROLO, 2019). Portanto, a pesquisa sobre a influência da adição de microcelulose cristalina nas propriedades no estado fresco das argamassas para revestimento é de extrema importância e representa um campo de estudo que pode catalisar inovações e melhorias significativas no setor da construção.

Neste contexto, o presente trabalho tem por finalidade produzir argamassas para revestimento com a incorporação de microcelulose cristalina, além de analisar de que maneira essa incorporação influencia as características finais do material.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho das argamassas de revestimento com incorporação de Microcelulose Cristalina (MCC) nas propriedades do estado fresco.

1.1.2 Objetivo específico

- Produzir argamassas de revestimento com diferentes teores de adição de Microcelulose cristalina (MCC);
- Caracterizar as argamassas no estado fresco de acordo com a normatização técnica;
- Verificar o comportamento reológico das argamassas de revestimento com incorporação de MCC;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Argamassa de revestimento

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (CARASEK, 2017). A argamassa de revestimento tem como função de cobrir, nivelar, proteger as alvenarias de fechamento estrutural da ação direta dos agentes agressivos e auxiliar das vedações nas suas funções de isolamento térmico e acústico.

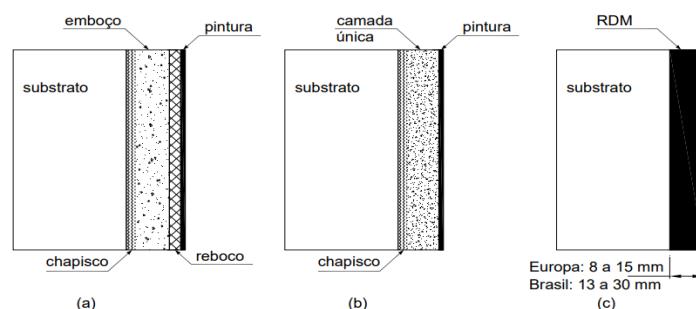
Argamassa é uma mistura composta basicamente por cimento, areia, cal hidratada e água. No início da composição das argamassas, quando misturados, desenvolvem uma pasta homogênea, e em seguida algumas horas depois ela endurece adquirindo grande resistência mecânica.

Conforme Cardoso (2017) também podem ser utilizados outros materiais particulados em substituição parcial da areia. O uso dos agregados miúdos ajuda na redução dos índices de vazios menores, como em uma escala os agregados com granulometria diferente se unem para que a massa fique uniforme (PALMIER *et al.* 2022).

De acordo com a ABNT NBR 13529 divide o revestimento em dois tipos:

- Revestimento de camada única: Revestimento de um único tipo de argamassa aplicado sobre a base de revestimento, em uma ou mais demãos.
- Revestimento de duas camadas: Revestimento constituído de emboço e reboco aplicados sobre a base de revestimento.

Figura 1 - Diferentes alternativas de revestimento de parede: (a) emboço + reboco + pintura (b) camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).



Fonte: Carasek (2017)

2.2 Propriedades das argamassas de revestimento

As argamassas possuem propriedades que assumem maior ou menor relevância em função da aplicação. Algumas podem ser caracterizadas como sendo determinantes no estado fresco, e outras no endurecido (SANTOS, 2014).

2.2.1 Propriedades da argamassa no estado fresco

Para verificar o desempenho no estado fresco da argamassa, é necessário avaliar diversas propriedades fundamentais. Entre elas, destacam-se a trabalhabilidade, a retenção de água, a incorporação de ar, consistência e a densidade da massa. Essas características desempenham papéis essenciais na qualidade aplicação e no resultado final da argamassa.

2.2.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a mais importante propriedade das argamassas no estado fresco (SOUSA; E LARA, 2018). De acordo com Carasek (2017) a trabalhabilidade é a propriedade que determina a facilidade com a qual as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, acabadas com uma condição homogênea. A consistência e plasticidade são apontadas como as principais propriedades que determinam uma condição de trabalhabilidade das argamassas de revestimento (BAUER, 2005).

Na consistência no estado fresco a capacidade de resistir às deformações e a quantidade de água existente na argamassa são os principais fatores que influenciam esta propriedade (SANTOS, 2014). Segundo Cardoso (2017) a consistência é uma propriedade que descreve a capacidade de a argamassa fluir e preencher o volume onde é contida, para a determinação da homogeneidade, resistindo à segregação e à exsudação. Esta propriedade é de fundamental importância para as argamassas de assentamento de alvenarias e peças cerâmicas de revestimento, e depende basicamente da boa retenção de água das argamassas (SANTOS, 2008).

De acordo com Cardoso (2009) o teste consiste em medir o espalhamento horizontal de uma argamassa moldada na forma de um cone padrão, onde o material é submetido a sucessivos impactos após a retirada do cone. Para realização deste teste, quanto menor o espalhamento horizontal mais difícil a argamassa tende a se

deformar. A estimativa da quantidade de água é recomendada o valor inicial de 15%, considerando uma consistência (*flow table*) de 255 ± 10 mm, e essa água deve ser adicionada gradualmente, conforme o ajuste do traço à consistência e trabalhabilidade desejada (SANTOS *et al.* 2019).

Figura 2 - Mesa de espalhamento para o ensaio de consistência (*flow table*).

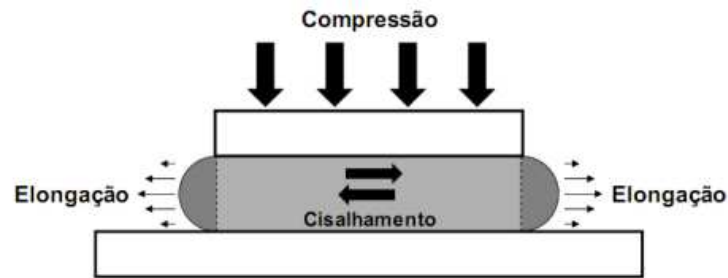


Fonte: Haddad (2014)

Um dos ensaios mais recente que surge no campo de avaliação de trabalhabilidade das argamassas é o método do *Squeeze-flow*. O *Squeeze-flow* é uma técnica para medir propriedades reológicas de revestimentos argamassados, por exemplo, materiais muito viscosos e fluidos com uma tensão de escoamento aparente, fluidos que tendem a escorregar no instrumento paredes ou materiais com partículas grandes (ENGMANN *et al.* 2005).

De acordo com Cardoso (2009) o *Squeeze-flow* consiste em comprimir uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas, surge como uma alternativa para a avaliação do comportamento reológico de argamassas. Conforme Freitas (2010) o método reside no fato de que a deformação efetiva do material comprimido entre as placas ocorre por cisalhamento radial quando a razão entre o diâmetro e a espessura da amostra for elevada ($D/h \gg 5$). O ensaio *squeeze-flow* permite a variação da taxa de cisalhamento e também a magnitude das deformações, podendo ser utilizado para determinação de diversos parâmetros reológicos e também a simulação de situações práticas.

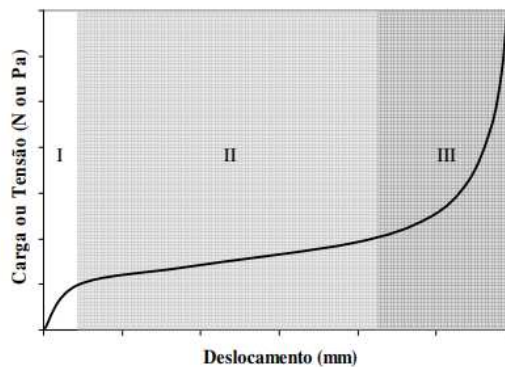
Figura 3 - Representação esquemática do ensaio reológico de “squeeze-flow”.



Fonte: Freitas (2010)

Conforme Cardoso *et al.* (2010) os resultados dos testes de *squeeze-flow* são expressos de maneira simples e direta, como gráficos de carga vs. deslocamento ou tensão vs. deslocamento, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Perfil típico de carga vs. deslocamento de um ensaio de *squeeze-flow* realizado com deslocamento controlado.



Fonte: Cardoso *et al.* (2010)

Ainda o autor os resultados obtidos pelo perfil típico de carga vs. Deslocamento das 3 regiões pode ser explicadas como:

No primeiro estágio, em pequenas deformações, o material comporta-se como um sólido, apresentando deformação elástica linear, o que diz que a argamassa possivelmente apresentará problemas de fissuração ainda no estado fresco devido à recuperação elástica após a retirada do esforço (após a passagem da desempenadeira).

No estágio seguinte, em deslocamentos intermediários, a compressão resulta em deformação, superando as forças que mantinham o material sob comportamento elástico, e assim, o mesmo flui por deformação plástica e/ou viscosa dependendo das suas características. Nesta etapa o material é capaz de sofrer grandes deformações sem aumento significativo da força necessária para o deslocamento, o que aparenta ser um comportamento apropriado para aplicação e espalhamento de argamassas.

Já no terceiro estágio, em grandes deformações, ocorre um aumento expressivo (exponencial) da carga necessária para prosseguir a deformação

do material. Provavelmente, este é um estágio de comportamento em que procedimentos de aplicação e acabamento do material devem ser dificultados, devido às altas cargas (tensões) necessárias para deformá-lo, possivelmente levando a um acabamento defeituoso (CARDOSO *et al.* 2010).

2.2.3 Plasticidade

A plasticidade é a propriedade que permite a argamassa deformar-se e reter certas deformações após a redução das tensões a que a mesma foi submetida (SANTOS, 2008). Segundo CASCUDO *et al.* (2005), a plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água a qual significa uma consistência ótima, sendo esta função do proporcionamento e natureza dos materiais.

O desenvolvimento das argamassas tem início no processo de mistura com água, sendo definidos os estados iniciais de homogeneidade da mistura assim essas características têm grande influência no comportamento reológico das argamassas. De acordo com Cardoso (2009) as argamassas com menor quantidade de água apresentam mais atritos entre as partículas do sistema, influenciando na homogeneidade da mistura. Conforme França (2013) os procedimentos de mistura de materiais têm grande importância de entender o comportamento de mistura em diferentes condições (sequência de colocação dos materiais, tempo de mistura e forma de adição de água).

Quando o comportamento reológico da argamassa não é adequado à energia de lançamento utilizada, são criados vazios na região da interface que permanecem após o endurecimento (ANTUNES, 2005). De acordo com Bauer (2018) as argamassas de revestimento devem ter plasticidade para se deformar, ao ser lançada a argamassa sobre o substrato ela deve se fixar imediatamente à superfície do mesmo.

De acordo com John (2003);

A argamassa necessita de um coeficiente de viscosidade plástica menor possível, de forma a diminuir o trabalho de adensamento e espalhamento e, por outro lado, a tensão de escoamento deve ser relativamente alta, pois uma vez aplicada na parede, não deve escorrer.

2.2.4 Retenção de água

A retenção de água é capacidade da argamassa de manter uma quantidade adequada de água durante o processo de aplicação e secagem. De acordo com

Carazek (2017) a retenção de água é a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.

A quantidade de água presente na mistura de argamassa desempenha um papel fundamental na determinação da trabalhabilidade. Conforme Peruzzi (2002) a perda da trabalhabilidade das argamassas pode ser proporcional à concentração volumétrica das fibras, mas que isso pode ser revertido com a adição de plastificantes ou superplastificantes na mistura.

2.2.5 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Cintra *et. al* (2014) apresenta a definição de densidade de massa como a relação entre as massas da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta e relativa. Ainda os autores na absoluta não são considerados os vazios que estão no volume da argamassa, e na relativa os vazios são considerados, ocorrendo desta maneira, a variação também do teor de ar de acordo com a massa específica dos materiais constituintes desta argamassa.

O teor incorporado representa a proporção de ar retido deliberadamente em misturas de argamassa. A presença do ar incorporado nas argamassas, no estado fresco, provoca um ganho de consistência e plasticidade, efeito contrário ao provocado no concreto, que ganha fluidez, diminuindo desta forma a consistência (BAUER, 2005).

2.3 Materiais celulósicos

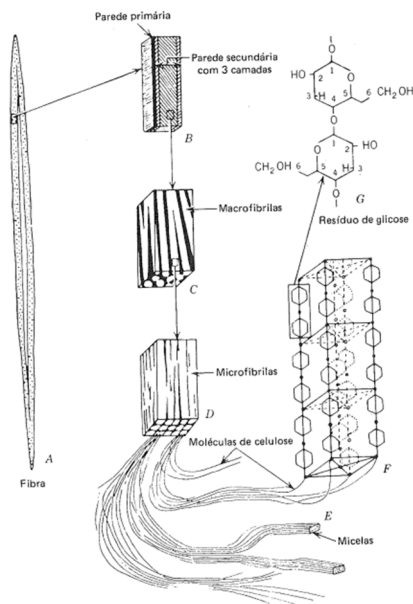
Esses materiais são feitos de celulose, um componente natural de plantas. Na indústria, a celulose é geralmente extraída de árvores como o eucalipto e o pinheiro, que são cultivadas especificamente para esse fim.

2.3.1 Celulose

A fonte natural de celulose mais explorada comercialmente é a madeira, devido sua grande disponibilidade que atende as demandas da indústria do papel (LIMA *et al.* 2015). De acordo com Pescarolo (2019) as fibras de celulose podem ser produzidas a partir de diversos tipos de espécies vegetais, sejam elas plantas ou madeiras dependendo da disponibilidade de cada região.

A celulose é considerada um polímero hidrofílico devido à presença de um elevado número de grupos hidroxila, todavia é insolúvel em água, a insolubilidade da celulose em água e solventes comuns está relacionada à organização das estruturas em relação as ligações de hidrogênio realizadas pelas hidroxilas presentes nas unidades de glicose (PESCAROLO, 2019). Conforme Phillip e Otero (1998), a Figura 5 mostra o composto predominante na parede da célula vegetal que é a celulose, formada por cadeias de moléculas de glicose unidas entre si por átomos de oxigênios.

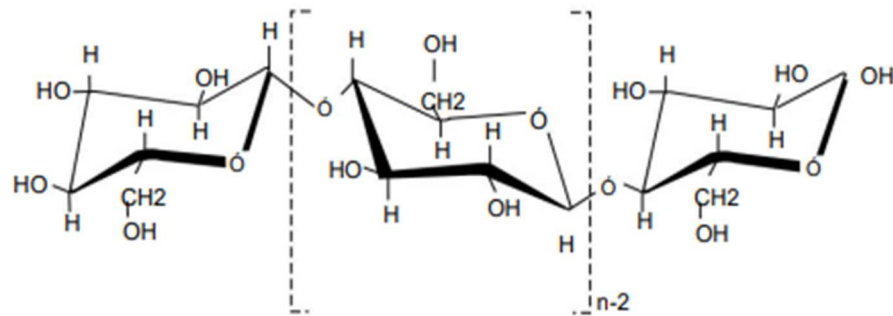
Figura 5 - Estrutura da parede celular



Fonte Phillip e Otero (1998)

Por outro lado segundo Phillip e Otero 1998 a celulose é um polissacarídeo-Hexosana, que é o componente das paredes das células vegetais, constituída de moléculas longas em cadeia cujas unidades básicas são anidro glicose de formula $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Figura 6 - Formação da molécula de celulose



Fonte Stephen *et al.* (2016)

Segundo Silva *et al.* (2009) a obtenção de celulose envolve processos para isolar as fibras de celulose. Isso é feito por meio de técnicas de pré-tratamento e deslignificação, conhecido como polpação.

2.3.2 Microcelulose cristalina (MCC)

A microcelulose cristalina é derivada da celulose, um polissacarídeo natural encontrado nas paredes celulares de plantas, ela é produzida através de um processo de purificação e moagem da celulose, resultando em partículas microscópicas que são altamente cristalinas. Segundo Hoyos *et al.* (2013) a microcelulose é produzida a partir de fibras de celulose naturais, geralmente de madeira, é composto por partículas microcristalinas de celulose que são muito pequenas e finas, com um diâmetro médio de cerca de 10 a 50 micrômetros. Conforme Hoyos *et al.* (2013) e Stephen *et al.* (2016) a microcelulose pode ser extraída da matéria vegetal por meio de um processo de hidrólise ácida, esse processo envolve a hidrólise das cadeias de celulose por meio de um ácido mineral diluído à temperatura de ebulição.

Conforme Capelin *et al.* (2020) este produto é utilizado em diversos seguimentos industriais, como a farmacêutica, alimentícia e de cosméticos.

Figura 7 - Microcelulose cristalina – MCC



Fonte: Capelin *et al.* (2020)

2.3.3 Utilização de Celulose na Produção de Argamassa na Construção Civil

A celulose é um material que pode ser adicionado às argamassas para melhorar seu desempenho, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. A adição de materiais a base de celulose pode modificar as características reológicas das argamassas, tornando-as mais resistentes e duráveis (PESCAROLO, 2019). Para cada nova matéria-prima utilizada na produção de compósitos cimentícios, há a necessidade de estudos das variáveis que podem influenciar as propriedades no estado fresco e endurecido do produto final (BILCATI *et al.* 2018).

Segundo Raki *et al.* (2010), a adição de microcelulose na produção de argamassa contribui para a melhoria das propriedades mecânicas, durabilidade e módulo de elasticidade, ao mesmo tempo em que diminuem a porosidade, desempenhando um papel crucial na prevenção do início de trincas.

Os materiais a base de celulose têm sido empregados como reforço em materiais cimentícios, devido às suas vantagens, como baixa densidade, economia, materiais renováveis e abundantes (BILCATI, *et al.* 2022).

Para que estas necessidades sejam atendidas, os materiais a base de celulose de origem vegetal na argamassa podem oferecer algumas vantagens, além da possibilidade de reaproveitamento de resíduos de subprodutos de outras atividades econômicas (Pescarolo *et al.* 2022).

2.3.4 Influência da adição de microcelulose no estado fresco

No estudo realizado por Moraes *et al.* (2018), os resultados indicaram que a adição de MCC reduziu o índice de consistência da argamassa, o que pode levar à perda de trabalhabilidade. Ainda os autores para manter a trabalhabilidade da argamassa, foi necessário aumentar a relação água/cimento à medida que se aumentava o teor de MCC, no entanto as argamassas com adição de 0,2% de MCC, em relação à massa de cimento, apresentaram os melhores desempenhos, quando comparados ao desempenho das argamassas de referência.

Pescarolo *et al.* (2022) apresentou resultados interessantes sobre os materiais a base de celulose de celulose em argamassas de revestimento. A pesquisa avaliou os efeitos da adição dessas fibras no teor de ar, na retenção de água e na reologia das argamassas, com foco no estado fresco. Conforme Pescarolo *et al.* (2022) a inserção de materiais a base de celulose promoveu a incorporação de ar devido à sua dispersão e ao efeito parede recorrente do atrito entre elas. Além disso, as formulações contendo base de celulose apresentaram maior deformabilidade, o que pode ser benéfico para a aplicação e acabamento dos revestimentos.

De acordo com o estudo realizado por Hoyos *et al.* (2013), a adição de MCC pode aumentar a trabalhabilidade das argamassas de cimento, bem como o grau de hidratação dos materiais cimentícios. Além disso, a adição de MCC pode afetar a microestrutura dos materiais cimentícios, resultando em uma diminuição na porosidade. Os resultados também mostraram que a adição de MCC pode afetar a cinética de hidratação dos materiais cimentícios, resultando em um aumento na taxa de hidratação.

Silva *et al.* (2018) observaram que a adição de MCC pode afetar a trabalhabilidade da argamassa com MCC recém-preparada, o que pode ser um desafio para a produção em larga escala desses materiais. Em conclusão dos autores, a adição de MCC pode ser uma estratégia promissora para melhorar as propriedades dos compósitos cimentícios, mas é necessário considerar cuidadosamente os efeitos na trabalhabilidade da argamassa.

2.3.5 Processo de preparação da MCC para misturas de argamassa

Pesquisadores como Parveen *et al.* (2017), Morais *et al.* (2018), Mendes *et al.* (2022), Silva *et al.* (2018) e Capelin *et al.* (2020), optaram por utilizar o método do agitador magnético para celulose microcristalina (MCC) durante a aplicação na preparação da argamassa.

Conforme Hoyos *et al.* (2013) verificou a mistura de microcelulose cristalina e cimento através de microscopia eletrônica em seguida o procedimento de mistura a MCC foi adicionada ao Cimento Portland e em seguida foi adicionado o restante da água.

A MCC precisa passar por uma fase de preparação antes de ser incorporada à mistura de argamassa. A preparação da solução de MCC é muito importante em estudos de materiais cimentícios com adição de nano e micropartículas. Isso ocorre porque o misturador convencional de argamassa pode não garantir a dispersão adequada dessas partículas na matriz cimentícia, o que pode resultar em aglomeração em alguns pontos da matriz (MORAIS *et al.* 2018).

A preparação manual da celulose microcristalina (MCC) para misturas de argamassa pode oferecer uma abordagem simplificada e acessível na construção civil. Mesmo com o método de dispersão de partículas realizado manualmente nesta pesquisa, é possível conduzir ensaios científicos para avaliar as propriedades das argamassas de revestimento. Essa alternativa prática pode facilitar a adoção da MCC em obras, promovendo inovação e eficiência na construção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse tópico é apresentado a descrição do programa experimental da pesquisa. Na estruturação desse programa experimental, foram definidos parâmetros que constituem as variáveis de análise experimental. As variáveis desta pesquisa foram:

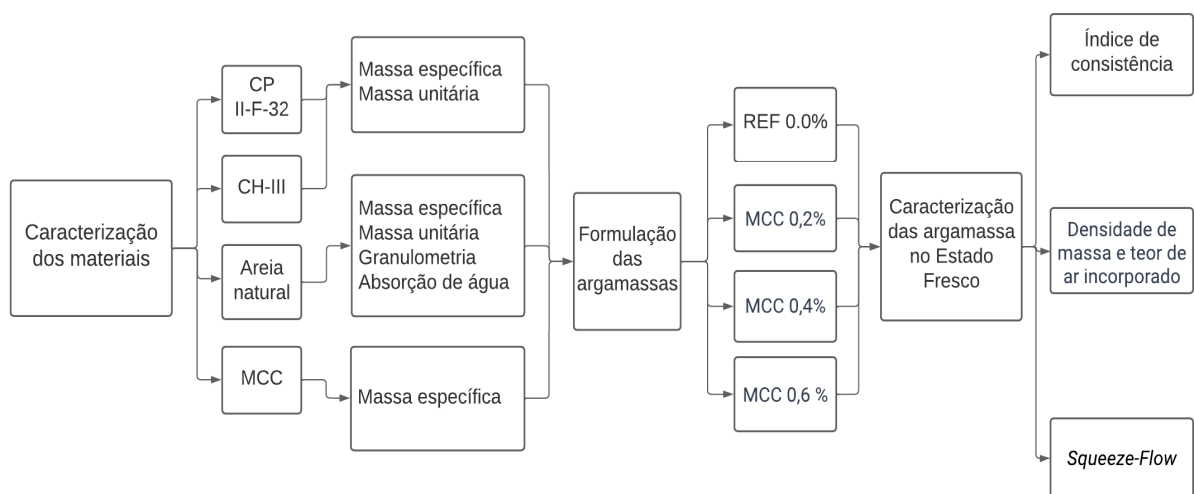
- Porcentagem de adição de Microcelulose Cristalina: (0%, 0,2%, 0,4% e 0,6% em relação à massa de cimento);

Além disto, as condições estabelecidas como parâmetros fixos para esta pesquisa que incluem:

- Os materiais utilizados para a produção das argamassas (cimento Portland CP II-F-32, cal hidratada CH-III, areia natural e microcelulose cristalina (MCC));
- O procedimento de mistura das argamassas, conforme definido pela norma NBR 7215:1996;

Na Figura 8 é apresentado o fluxograma que resume as etapas do desenvolvimento do programa experimental.

Figura 8 - Fluxograma experimental



Fonte: Autoria própria (2023)

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento

Para realização da pesquisa utilizou-se o cimento Portland CP II F-32, este tipo de cimento é amplamente utilizado para diversos fins, incluindo a fabricação de concreto e argamassa. Este tipo de cimento reduz o impacto ambiental, já que a extração e aplicação do mineral libera menos CO₂ para o meio ambiente Bilcati *et al.* (2020).

3.1.2 Cal hidratada

Foi utilizada também a cal hidratada CH-III, é ideal para uso nas argamassas de assentamento e revestimento, oferecendo maior plasticidade à mistura, garantindo qualidade e durabilidade às construções.

3.1.3 Agregado natural (Areia)

A areia fornecida pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná foi preparada de acordo com a NBR 16915 (ABNT, 2021), que estabelece os procedimentos para amostragem de agregados, desde a extração até o transporte das amostras representativas.

3.1.4 Água

A água utilizada na produção das argamassas foi fornecida pelo Laboratório de Materiais de Construção civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, decorrente da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

3.1.5 Microcelulose cristalina (MCC)

A microcelulose cristalina foi obtida através da fibra de celulose purificada submetida à hidrólise ácida sob condições controladas. Na primeira fase a polpa da fibra de celulose foi tratada com solução ácida diluída. Durante a hidrólise, as moléculas ácidas atuaram nas regiões amorfas e romper as ligações β . Os oligossacarídeos celulósicos hidrossolúveis resultantes e glicoses foram removidos no

processo seguinte. Posteriormente, a pasta passou por uma lavagem, filtração ou moagem, para obtenção da partícula.

Figura 9 - Amostras de microcelulose cristalina



Fonte: Autoria própria (2023)

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização dos materiais

O presente estudo se concentrou na avaliação das propriedades dos materiais investigados, e tais propriedades foram determinadas de acordo com as normas técnicas correspondentes, conforme destacado no Quadro 1.

Quadro 1 - Normas para ensaios de caracterização dos materiais

Agregado miúdo		
Propriedade	ABNT NBR	Ano
Massa específica	NBR 9776	1986
Massa unitária	NBR NM 45	2006
Composição granulométrica	NBR NM 248	2001
Absorção de água	NBR NM 30	2000
Aglomerantes		
Propriedade	ABNT NBR	Ano
Massa específica	NM 23	2000
Massa unitária	NBR NM 45	2006
MCC		
Propriedade	ABNT NBR	Ano
Massa específica	NM 23	2000
Difração de raios-X	-	-

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.1.1 Caracterização da areia natural

A caracterização da areia foi conduzida mediante a execução de ensaios em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR NM 248 (2001). Como previamente detalhado no Quadro 01. Todos os ensaios foram conduzidos utilizando amostras de areia previamente secadas em estufa, mantida a uma temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$, por um período mínimo de 24 horas.

Para determinar a composição granulométrica da areia natural, segue-se um procedimento padronizado. Foram utilizados equipamentos e materiais, incluindo peneiras com aberturas de diferentes tamanhos (variando de 0,15 mm a 4,75 mm), uma balança de precisão, a amostra do material em questão, peneira de fundo e tampa, escova de cerdas macias. O procedimento começa com a preparação da amostra, em seguida, o peneiramento seco é a próxima etapa, na qual uma peneira de fundo foi colocada na parte inferior e as peneiras com aberturas progressivamente menores são empilhadas de cima para baixo, com a peneira de tampa no topo. A amostra foi então colocada na peneira de tampa, e a pilha de peneiras é coberta antes de ser agitada vigorosamente por um período específico de 15 minutos. Após o peneiramento, o material retido em cada peneira é pesado. O próximo passo envolve o cálculo da composição granulométrica, no qual a porcentagem de material retido em

cada peneira em relação à massa total da amostra seca é calculada. Desta forma é possível obter um gráfico de curva granulométrica do agregado miúdo.

A determinação da massa específica de agregados miúdos realizado pelo método do frasco Chapman regido pela norma ABNT NBR 9776 (1986). O procedimento começa com a coleta de uma amostra representativa do agregado miúdo em seguida pesados 500 g de areia, feito isso colocou-se água no frasco Chapman até a marca de 200 cm³. A amostra é deixada em repouso por um período, para assegurar que a saturação seja completa. Em seguida procedeu-se à leitura do volume deslocado pelo conjunto de água e agregado na região do gargalo do frasco. A diferença entre o peso do frasco com a amostra e o peso do frasco vazio é usada para calcular a massa específica do agregado miúdo. Isso é feito usando a Equação 01:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

γ = massa específica do agregado miúdo, em g/cm³;

L = leitura final obtida do frasco, em cm³;

Para avaliar a massa unitária no estado do agregado miúdo, foi utilizado a norma ABNT NBR NM45 (2006) como referência. Inicialmente, um recipiente cilíndrico vazio foi pesado para determinar sua massa e, subsequentemente, foi calculado seu volume. Em sequência, esse recipiente foi preenchido com o agregado até um terço, em seguida adensado 25 golpes e colocado o restante da amostra que foi nivelado com uma régua metálica e pesado novamente. A massa unitária foi então calculada utilizando a Equação 02:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar}-m_r}{V} \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

ρ_{ap} = massa unitária do agregado, em g/cm³;

m_{ar} = massa do recipiente mais o material, em g;

m_r = massa do recipiente vazio, em g;

V = volume do recipiente, em cm³;

E por fim, para determinar a absorção de água dos agregados miúdos, foi utilizado a norma ABNT NBR NM 30 (2001) como referência. O procedimento inicia com uma quantidade de 1000 g de amostra dos agregados miúdos que serão testados. Essa amostra é então cuidadosamente seca em uma estufa a uma temperatura específica, $100 \pm 5^\circ\text{C}$, por um período mínimo de 24 horas. Em seguida, a amostra seca é colocada em um recipiente hermeticamente fechado. Água limpa é adicionada ao recipiente de forma a cobrir completamente a amostra e garantir que todas as partículas estejam saturadas período mínimo de 24 horas. Após o período de imersão, a amostra é retirada do recipiente e todo o excesso de água é drenado completamente. Isso é feito para garantir que a água superficial tenha sido removida, deixando apenas a água que está dentro dos poros da amostra. A amostra foi colocada num molde em formato de tronco de cone e, com o auxílio de uma haste metálica, compactada com 25 golpes. Em seguida, o molde era retirado e visto se a areia permanecesse com o formato de tronco de cone, desta forma a amostra novamente passa por processo de secagem natural, assim o objetivo deste método é fazer com que agregado miúdo desmoronasse e em seguida a amostra é pesada. Assim a absorção de água é calculada pela equação 03.

$$A = \frac{m_s - m}{m} * 100 \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

A = absorção de água, em porcentagem;

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em g;

m = massa inicial da amostra, seca em estufa, em g;

3.2.1.2 Caracterização dos aglomerantes

A determinação da massa específica dos aglomerantes foi utilizado o método do frasco Le Chatelier regido pela norma NBR NM 23 (ABNT, 2000). O procedimento começou com a pesagem de uma quantidade de 60 gramas do aglomerante,

registrando o valor obtido com precisão. Em seguida, utilizou-se um frasco volumétrico de Le Chatelier, que foi preenchido com um líquido não reagente, no caso, querosene, até atingir a marca de 0,5 cm³ para cimento e 0,8 cm³ para cal. O aglomerante foi adicionado ao frasco com a ajuda de um funil. Posteriormente, o frasco foi agitado, realizando movimentos circulares para eliminar as bolhas de ar presentes e assegurar que todo o material se precipitasse até o fundo do frasco. Em seguida registrou-se a leitura do volume final do conjunto e, com base nessa leitura, calculou-se a massa específica do aglomerante aplicando a Equação 04.

$$\rho = \frac{m}{V_1 - V_2} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

ρ = massa específica do aglomerante ensaiado, em g/cm³;

m = massa do aglomerante ensaiado, em g;

V = volume deslocado pela massa do material ensaiado, dado pela diferença entre o volume inicial (V_1) e o volume final (V_2), em cm³;

Para avaliar a massa unitária no estado dos aglomerantes, foi utilizado a norma ABNT NBR NM 45 (2006) como referência. Inicialmente, um recipiente cilíndrico vazio foi pesado para determinar sua massa e, subsequentemente, foi calculado seu volume. Em sequência, esse recipiente foi preenchido com aglomerantes até um terço, em seguida adensado 25 golpes e colocado o restante da amostra que foi nivelado com uma régua metálica e pesado novamente. A massa unitária foi então calculada utilizando a Equação 2 descrita nos ensaios anteriores.

3.2.1.3 Caracterização da microcelulose cristalina

A determinação da massa específica para Microcelulose Cristalina foi utilizado o método do frasco Le Chatelier a pesquisa teve como base o procedimento utilizado pelos aglomerantes regido pela norma ABNT NBR NM 23 (2000). O procedimento começou com a pesagem de uma quantidade de 40 gramas do aglomerante, registrando o valor obtido com precisão. Em seguida, utilizou-se um frasco volumétrico de Le Chatelier, que foi preenchido com um líquido não reagente, no caso, querosene, até atingir a marca de 0,5 cm³. A Microcelulose Cristalina foi adicionada de forma manual para que não entupisse o funil. Posteriormente, o frasco foi agitado, realizando

movimentos circulares para eliminar as bolhas de ar presentes e assegurar que todo o material se precipitasse até o fundo do frasco. Em seguida registrou-se a leitura do volume final do conjunto e, com base nessa leitura, calculou-se a massa específica do aglomerante aplicando a Equação 04 a mesma utilizada pelos aglomerantes.

$$\rho = \frac{m}{V_1 - V_2} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

ρ = massa específica do aglomerante ensaiado, em g/cm³;

m = massa do aglomerante ensaiado, em g;

V = volume deslocado pela massa do material ensaiado, dado pela diferença entre o volume inicial (V_1) e o volume final (V_2), em cm³;

3.2.2 Formulação das argamassas

A quantificação dos volumes dos materiais necessários para preencher os moldes para os ensaios foi calculada a partir do traço 1:2:8, em volume. A escolha da composição foi baseada na prevalência da utilização na construção civil para a produção de argamassas de revestimento, que é composta essencialmente por cimento, areia e cal. Em seguida a etapa de preparação para as argamassas de revestimento com adição de microcelulose cristalina é iniciada a medição das proporções de 0,2%, 0,4% e 0,6% em relação à massa de cimento.

Após a caracterização dos materiais, o Quadro 2 apresenta um resumo dos componentes de materiais necessários para produzir uma quantidade específica de argamassa. Este resumo inclui formulações sem a presença de Microcelulose Cristalina (MCC) e com diferentes proporções de MCC em relação à massa do cimento. Essas formulações são projetadas de maneira a permitir o preenchimento completo do volume do Tronco de Cone, o qual possui uma altura de 6,5 cm, raio menor de 4 cm e raio maior de 6,25 cm.

Quadro 2 - Formulação, traço e quantidade de materiais para produção de argamassa

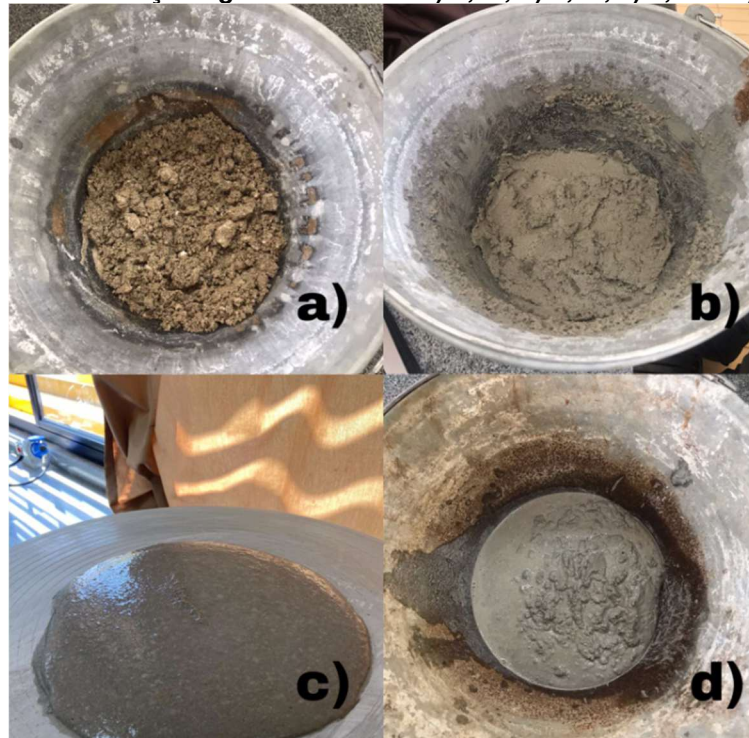
Formulação	Traço(volume)	Traço(massa)	Cimento(g)	Cal (g)	Areia(g)	Adição de MCC(g)
REF	1:2:8	1:1,27:13,21	81	102	1069	0
MCC 0,2%						0,16
MCC 0,4 %						0,32
MCC 0,6%						0,49

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.3 Determinação da relação água/cimento

Para a determinação da relação água/cimento das argamassas de revestimento, foi fixada a consistência segundo a norma ABNT NBR 13276 (2005). Para isso, foi variado o teor de água nas argamassas de revestimento da referência até a obtenção da consistência padronizada através do espalhamento de 255 ± 10 mm. A esquematização dos diferentes teores de água para obtenção da relação água/cimento, é demonstrada na Figura 10.

Figura 10 - Relação água cimento de a) 2,35, b) 2,50, c) 2,52 e d) 3,00



Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.4 Preparo da solução aquosa de microcelulose cristalina

Depois de encontrar a relação de água/cimento para as argamassas de revestimento sem adição de microcelulose, para prosseguir a pesquisa, a etapa de preparação começou com a pesagem das taxas com teores de 0,2%, 0,4% e 0,6% em relação à massa de cimento. Em seguida, cada quantidade foi adicionada em um Becker em formato de cone com uma quantidade específica de água, de acordo com a Figura 11. As amostras foram armazenadas por 24 horas para hidratação das micropartículas. Depois disso, cada amostra foi agitada manualmente para garantir a dispersão adequada na água, por 5 minutos. O método de dispersão das microceluloses cristalinas foi baseada no trabalho de Bilcati (2023). A solução aquosa água/microcelulose cristalina foi adicionada imediatamente à argamassa para não comprometer a dispersão.

Figura 11 - Beckers com teores de MCC adicionados à água



Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.5 Procedimento de mistura

O preparo da mistura foi baseado de acordo com as instruções da ABNT NBR 7215 (1996). Os materiais secos como cimento, cal e areia foram separados em massa de acordo com os traços. Posteriormente, foi adicionada a água ou solução aquosa (para argamassas de revestimento com adição de microcelulose cristalina) aos materiais secos. Desta forma a homogeneização da argamassa foi realizada com auxílio de uma haste metálica e agitador mecânico conforme a Figura 12.

Figura 12 - Misturador de argamassa



Fonte: Aatoria própria (2023)

Em seguida a produção de argamassa foi feita pelas seguintes etapas:

1. Foram adicionados os materiais secos como cimento, cal e areia dentro de um balde;
2. Posteriormente, acrescentou-se 75% da massa de água, iniciando a mistura manual com ajuda de uma colher até completar o tempo de 30 segundos;
3. Em seguida ligado o equipamento de forma circular por cerca de 1 minuto para homogeneização dos materiais de argamassa de revestimento;
4. Por fim, foi acrescentado o restante da massa de água, iniciando a mistura manual com ajuda de uma colher até completar o tempo de 30 segundos; e foi ligado novamente o equipamento até a obtenção de uma mistura homogênea.

3.3 Ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

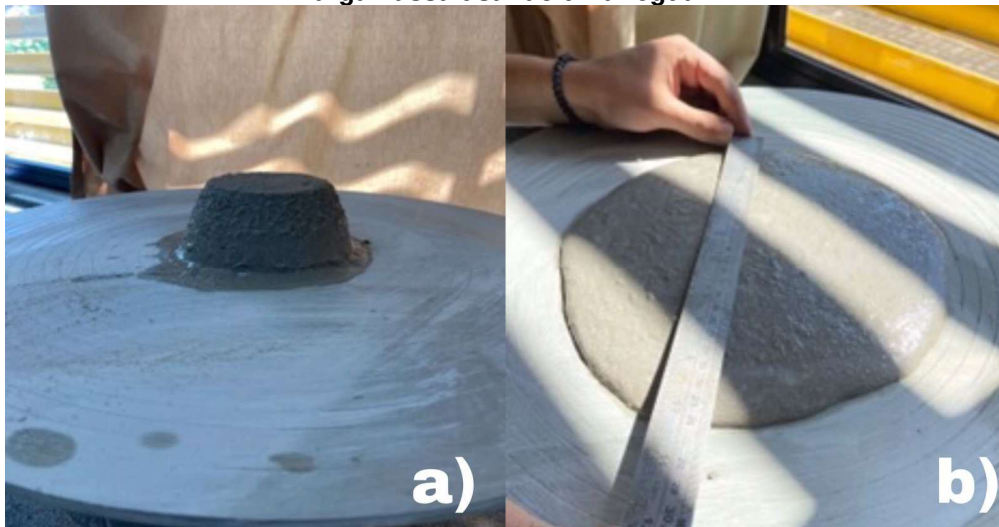
3.3.1 Ensaio de índice de consistência (*flow-table*)

Para argamassa no estado fresco realizado pelo ensaio de consistência segundo a ABNT NBR 13276 (2016). A quantidade de água utilizada nos traços de argamassa passou por meio do ensaio de consistência através do ensaio *Flow-table*, que garantiu que a consistência e a trabalhabilidade da argamassa fossem adequadas. O ensaio consistiu em duas etapas. Na primeira etapa realizou-se a

avaliação do teor de água/cimento para as argamassas de revestimento da referência (sem adição de microcelulose cristalina) e a padronização da quantidade de água das misturas. A segunda etapa consistiu na caracterização das argamassas de revestimento e o impacto da incorporação dos diferentes teores de microcelulose cristalina na consistência ao espalhamento das argamassas de revestimento.

O ensaio se inicia ao preencher o molde cônico centralizado sobre a mesa em seguida a argamassa é despejada em camadas de um terço em um terço em seu interior, para cada camada adicionada foi aplicado 15, 10 e 5 golpes com o soquete padrão, após preencher até o nível do molde cônico foi rasando com régua metálica. O molde foi retirado verticalmente conforme a Figura 12 e a manivela da mesa acionada, de modo a que a mesa suba e caia 30 vezes em 30, desta forma o espalhamento da argamassa sobre a mesa de consistência foi medido com uma régua conforme a Figura 13, e por fim foi feito a leitura do índice de consistência.

Figura 13 - a) Remoção do molde cônico na flow table, b) medição do espalhamento da argamassa usando uma régua



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.2 Densidade massa e teor de ar incorporado

Para o ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado foi realizado de acordo com as especificações da NBR 13278 (2005). O processo inicia com a preparação de cilindros de amostra e pesado o recipiente vazio, em seguida a argamassa com e sem adição de MCC é adicionada em três camadas, adensados com 20 golpes cada, por fim foi realizada a pesagem das amostras.

A densidade de massa e o teor de ar incorporado são obtidos pelas equações 05, 06 e 07.

$$d = \frac{M_c - M_v}{V_r} * 1000 \quad \text{Equação 05}$$

Onde:

d = Densidade de massa, em g/cm³;

m_c = Média da massa do recipiente, em g;

m_v = massa do recipiente vazio, em g;

V_r = volume do recipiente, em cm³;

$$A = 100 * \left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \quad \text{Equação 06}$$

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \gamma_i} \quad \text{Equação 07}$$

Onde:

A = Teor de ar incorporado;

d = Densidade de massa, em g/cm³;

m_c = Média da massa do recipiente, em g;

m_v = massa do recipiente vazio, em g;

V_r = volume do recipiente, em cm³;

d_t = densidade de massa teórica da argamassa sem vazios, em g/cm³;

m_i = massa seca de cada componente da argamassa, mais massa da água, em g;

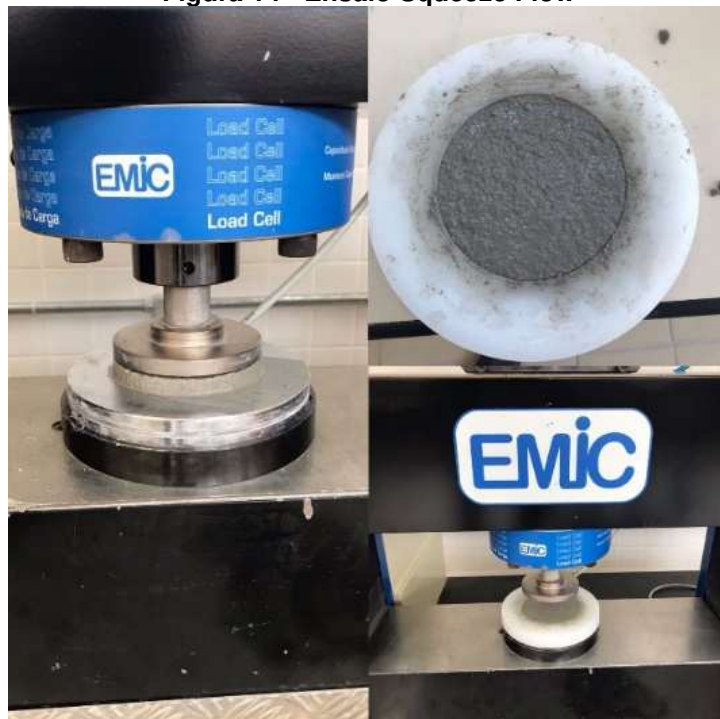
γ_i = massa específica de cada componente da argamassa, em g/cm³;

3.3.3 Ensaio do método do fluxo de compressão (*Squeeze-Flow*)

O método do fluxo de compressão (*Squeeze-Flow*) foi realizado de acordo com a ABTN NBR 5839 (2010). Após a mistura das argamassas de revestimento com e sem adição de microcelulose cristalina, o ensaio foi realizado em duas etapas: uma com 15 minutos e outra com 30 minutos, após o início da mistura. A argamassa foi aplicada sobre a placa inferior utilizando um molde de plástico com diâmetro interno de 101 mm e altura de 10 mm. Para garantir um preenchimento uniforme, utilizou-se um gabarito e uma espátula. Após a aplicação da argamassa, o molde foi cuidadosamente removido, mantendo a amostra centralizada para o ensaio. Utilizou-se uma máquina universal EMIC DL 10000 equipada com uma célula de carga de 20 kN.

O ensaio foi realizado a uma velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. O término do ensaio ocorreu quando o deslocamento da punção atingiu 9 mm ou quando a carga máxima atingiu 1 kN, conforme ilustrado na Figura 14. Em seguida os resultados devem ser expressos através de gráfico de carga em (N) x deformação em (mm).

Figura 14 - Ensaio Squeeze Flow



Fonte: Autoria própria (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Caracterização do agregado miúdo

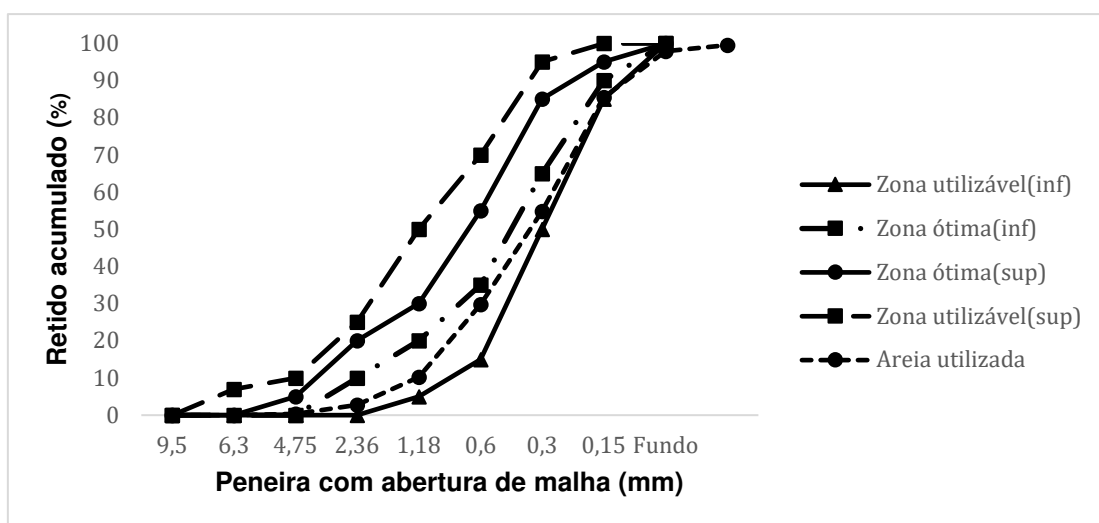
A análise da composição granulométrica da areia pode ser observada na Tabela 1, enquanto a representação gráfica desses dados pode ser encontrada no Gráfico 1.

Tabela 1 - Composição granulométrica da areia natural

Peneira com abertura de malha (mm)	Massa retida (g)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)
9,5	0	0,00	0,0
6,3	0	0,00	0,0
4,75	3,0	0,30	0,3
2,36	24	2,40	2,7
1,18	75	7,50	10,2
0,6	196	19,60	29,8
0,3	255	25,00	54,8
0,15	307	30,70	85,5
0,075	124	12,40	97,9
(Fundo)	16	1,60	100

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 1 - Classificação das areias quanto a sua curva granulométrica



Fonte: Autoria própria (2023)

Através dos resultados obtidos no ensaio de composição granulométrica da amostra de areia, foi calculado um módulo de finura de 2,81. Pode-se observar, nas

curvas granulométricas a areia natural utilizada se encontra próxima a zona ótima inferior e zona utilizável inferior. Portanto essa conformidade classifica o agregado miúdo utilizado nesta pesquisa como areia de granulometria aceitável pela ABNT NBR 248 (2003).

A massa específica e a massa unitária da areia podem ser visualizadas conforme na Tabela 2.

Propriedade	Valor (g/cm³)
Massa específica	2,59
Massa unitária	1,63

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme Carasek *et al.* (2016) encontrou uma massa específica de 2,73 g/cm³ e a massa unitária de 1,53 g/cm³ na amostra de areia. Segundo Lacerda *et al.* (2023) sua pesquisa obtiveram a massa específica de 2,62 g/cm³ e a massa unitária de 1,44 g/cm³. Desta forma os valores encontrados nesta pesquisa são próximos a dos autores e satisfaz os dados encontrados na literatura.

Para absorção de água os resultados obtidos revelaram que a areia possui uma capacidade de absorção de água média de 2,33%. Nos estudos de Furtado *et al.* (2022) e Lacerda *et al.* (2023) obtiveram porcentagens de 3,17 % e 1,13%. A alta taxa de absorção de água pode ser um indicativo de impurezas, como partículas finas, argila ou materiais orgânicos, que podem prejudicar a qualidade final da argamassa desta forma é importante o estudo para verificar capacidade do agregado miúdo de absorver a água.

4.1.2 Caracterização dos aglomerantes e microcelulose cristalina

As caracterizações físicas, químicas e mecânicas foram obtidas junto ao fabricante para o cimento Portland se encontra-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Resumo das especificações da ABNT para cimento Portland

Parâmetros	Limite NBR 16697:2018
Tempo de início de pega (minutos)	≥60
MgO (%)	-
Perda ao fogo (%)	≤12,5
Resíduo insolúvel (%)	≤7,5
SO ₃ (%)	≤4,5
Resistência à Compressão (Mpa)	
1 dia	-
3 dias	≥10,0
7 dias	≥20,0
28 dias	≥32,0
Adições Permitidas (%)	
Escórias	0
Fíler calcário	11 a 25
Material pozolânico	0

Fonte: Fabricante Itambé (2023)

A massa específica e a massa unitária dos aglomerantes, bem como a massa específica da microcelulose cristalina, podem ser visualizadas conforme apresentado na Tabela 3.

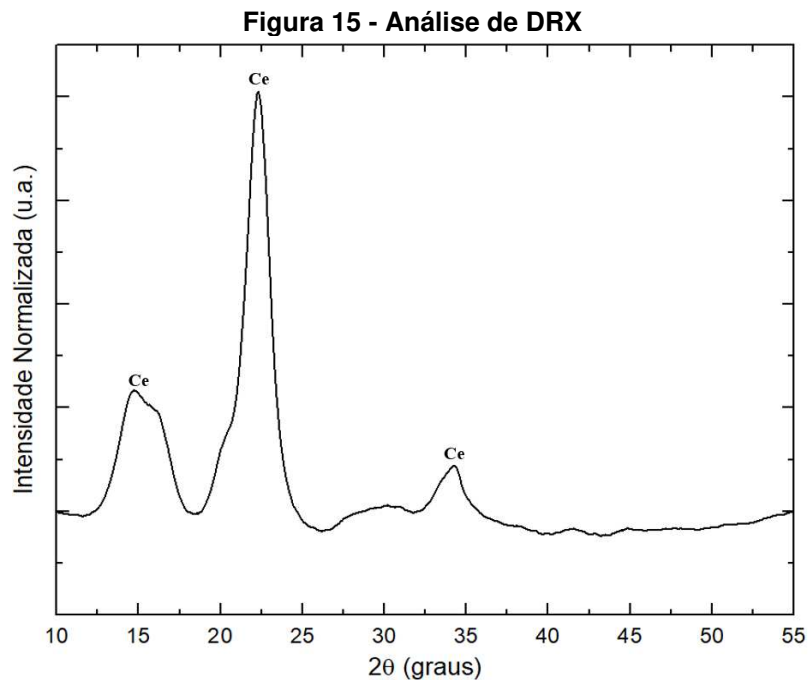
Tabela 3 - Massa específica e massa unitária dos aglomerantes

Propriedade	Valor (g/cm³)
Massa específica (cimento CP II-F-32)	2,84
Massa unitária (cimento CP II-F-32)	1,00
Massa específica (cal hidratada CH-III)	2,82
Massa unitária (cal hidratada CH-III)	0,62
Massa específica (MCC)	1,75

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com Lacerda *et al.* (2023) os estudos encontraram valores para massa unitária da cal hidratada de 0,66 g/cm³, já a massa específica da cal hidratada foi de 2,26 g/cm³, ainda o autor para massa unitária do cimento foi de 1,16 g/cm³, já a massa específica do cimento foi de 2,93 g/cm³. Conforme Furtado *et al.* (2022) a pesquisa encontrou valores para massa unitária da cal hidratada de 0,45 g/cm³, já a massa específica da cal hidratada foi de 2,20 g/cm³, ainda os autores para massa unitária do cimento foram de 3,00 g/cm³, já a massa específica do cimento foi de 0,96 g/cm³. Desta forma os valores encontrados nesta pesquisa são próximos a dos autores e satisfaz os dados encontrados na literatura.

Por meio do ensaio de DRX foram identificadas as fases cristalinas do material, ou seja, os compostos cristalinos presentes na celulose MCC.



Fonte: (FRENCH; CINTRÓN, 2013)

Através da análise de DRX foi possível identificar que as amostras atingiram picos em torno de $2\theta = 14,5; 22; 34$. Essas atribuições são características dos índices de Miller (FRENCH; CINTRÓN, 2013) atribuíveis ao componente celulose I cristalina. A microcelulose cristalina apresenta um difratograma típico de celulose I, com picos na região amorfa ($18^\circ \leq 2\theta \leq 19^\circ$) e pico máximo na região cristalina ($22^\circ \leq 2\theta \leq 23^\circ$) (PEREIRA *et al.* 2015).

4.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.2.1 Determinação da relação água/cimento das argamassas de referência

Para determinar a relação água/cimento das argamassas, o primeiro passo foi preparar o traço da argamassa de referência. Em seguida, os valores foram comparados com os parâmetros estabelecidos pela norma, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Ensaio para relação de a/c e Índice de consistência

Relação a/c	Índice de consistência (mm)
2,35	-
2,50	255
2,52	255
3,00	300

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos resultados obtidos, foi possível fixar a relação água/cimento em 2,52, através do resultado de espalhamento para o índice de consistência de 255 mm, conforme padronizado pela norma.

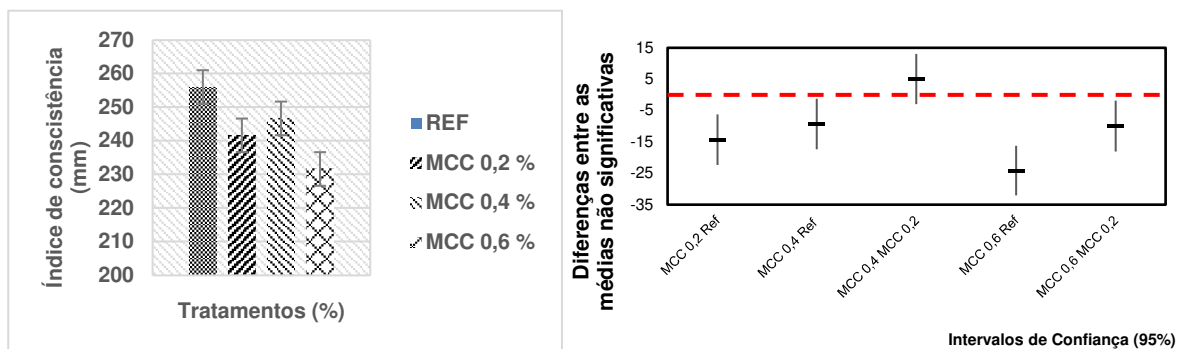
4.2.2 Caracterização da consistência das argamassas produzidas

Após a realização do ensaio para determinar o índice de consistência das argamassas, os resultados obtidos foram compilados na Tabela 5 e representados no Gráfico 2.

Tabela 5 - Tratamentos, media, desvio padrão e Coeficiente de variação do índice de consistência

Tratamento (%)	IC médio (mm)	Dev. padrão (mm)	C.V (%)
REF	256	3,6	1,4
MCC 0,2 %	242	10,4	4,3
MCC 0,4 %	247	2,9	1,2
MCC 0,6 %	232	7,6	3,3

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 2 - Resultados índice de consistência, Anova e Tukey para índice de consistência

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme resultado apresentados no Gráfico 2, apenas a argamassa de referência atingiu a exigência de possuir índice de consistência na faixa de 255 ± 10 mm. Por outro lado, as argamassas com adição de MCC não cumpriram o critério de consistência, demonstrando uma diminuição gradual no índice de consistência à medida que o teor de MCC era aumentado.

Moraes *et al.* (2018) analisou que a adição de MCC às argamassas cimentícias resulta em uma diminuição no índice de consistência, isso ocorre porque a MCC possui grupos hidroxílicos em sua estrutura molecular, o que faz com que ela absorva a água utilizada na dosagem do compósito cimentício. Da mesma forma na pesquisa de Mendes *et al.* (2022) e Pescarolo *et al.* (2021) a adição de MCC nas argamassas também indicaram redução no índice de consistência.

De acordo com a análise estatística da ANOVA e Tukey, a adição das microceluloses reduziu significativamente a consistência das argamassas de revestimento, conforme mostrado na Gráfico 2. 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 grande impacto na consistência das argamassas de revestimento. Através da análise estatística, foi possível verificar também que as adições de MCC 0,2% e MCC 0,4% são estatisticamente iguais.

4.2.3 Caracterização da densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas produzidas

Após a realização do ensaio para determinar a densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas, os resultados obtidos foram compilados na Tabela 6 para densidade de massa e na Tabela 7 para teor de ar incorporado e representados no Gráfico 3.

Tabela 6 - Resultados para densidade de massa nas argamassas de revestimento

Tratamento	Média Densidade de Massa (g/cm ³)	Dev.Padrão (g/cm ³)	C.V.(%)
REF	1,74	0,02	0,9
MCC 0,2%	1,52	0,05	3,0
MCC 0,4 %	1,52	0,06	3,8
MCC 0,6%	1,70	0,04	2,3

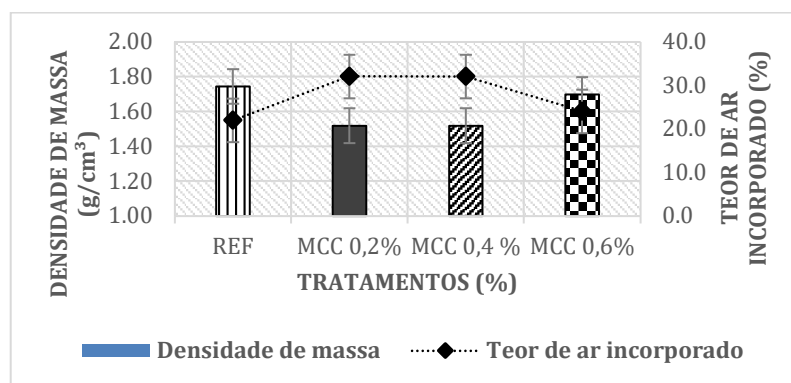
Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 7 - Resultados para Teor de ar incorporado nas argamassas de revestimento

Tratamento	Média Teor de ar Incorporado (%)	Dev.Padrão (%)	C.V.(%)
REF	22,0	0,7	3,2
MCC 0,2%	32,1	2,0	6,3
MCC 0,4 %	32,1	2,6	8,0
MCC 0,6%	24,1	1,8	7,3

Fonte: Autoria própria (2023)

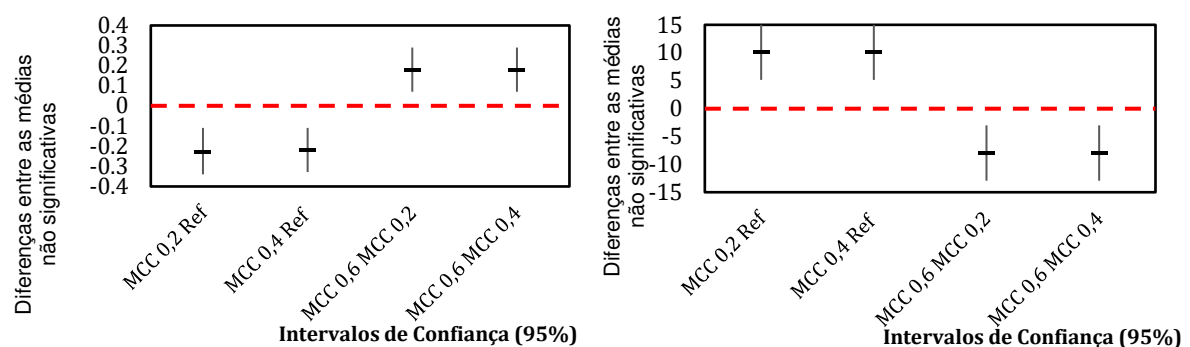
Gráfico 3 - Resultado das médias para Densidade de massa e Teor de ar incorporado



Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que a adição de microcelulose cristalina promoveu a incorporação de ar e conseqüentemente a redução da densidade de massa das argamassas de revestimento. No estudo realizado por Pescarolo *et al.* (2022), foi observado que o contato das partículas do composto com a superfície provoca um efeito parede, gerando bolhas dentro do sistema, assim o efeito da microfibrila sobre a incorporação de ar, por sua vez, resulta na redução da densidade das argamassas.

Gráfico 4 - Resultados Anova e tukey para Densidade de massa e Teor de ar Incorporado das argamassa



Fonte: Autoria própria (2023)

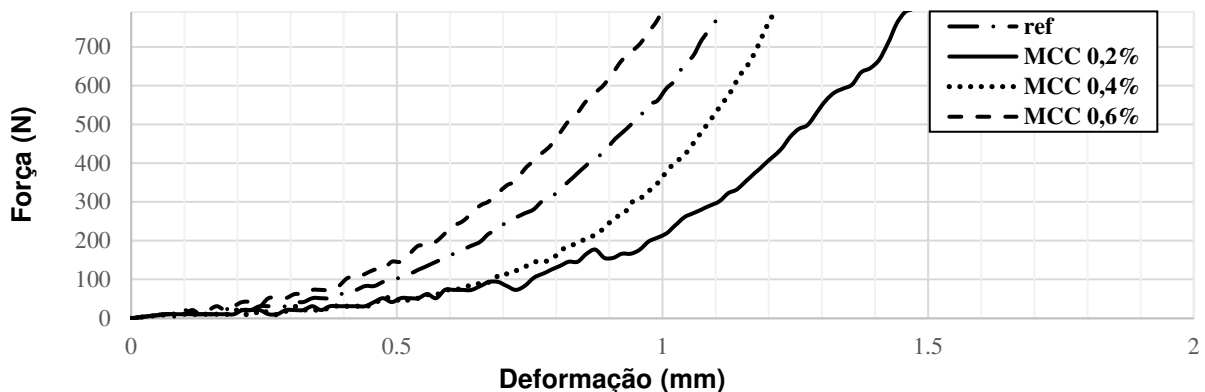
Em relação aos resultados obtidos de densidade de massa foi possível concluir que os valores médios para as formulações com adição de MCC 0,2 e MCC 0,4 reduziram significativamente a densidade de massa em comparação com a referência e a MCC 0,6. Com a redução da densidade de massa da argamassa de revestimento e o aumento do teor de ar incorporado, é possível concluir que as adições de microcelulose cristalina em 0,2% e 0,4% melhora a trabalhabilidade e plasticidade, facilitando o processo de execução das argamassas de revestimento.

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.

4.2.4 Caracterização do comportamento reológico das argamassas produzidas

A caracterização reológica das argamassas de revestimento com adição de microcelulose cristalina foi avaliada a partir do método de *Squeeze-Flow*, os resultados dos ensaios para 15 minutos e 30 minutos e para diferentes teores de microcelulose cristalina pode ser observado através dos Gráficos 5 e 6.

Gráfico 5 - Resultado *Squeeze-Flow* 15 minutos

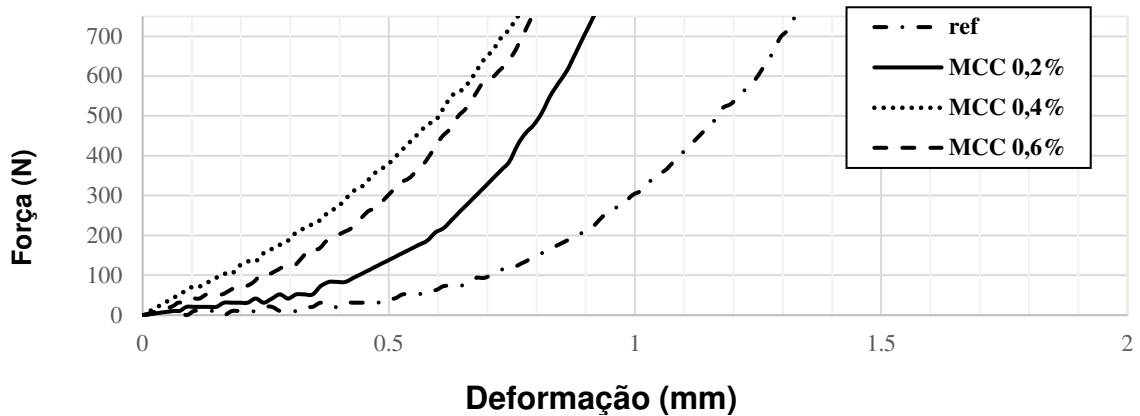


Fonte: Autoria própria (2023)

Através dos resultados obtidos pelo ensaio de *Squeeze-flow* foi possível verificar que a transição para o estágio de enrijecimento por deformação ocorreu com um deslocamento de 0,5 mm para a amostra de referência e MCC 0,6%. Para as amostras de MCC 0,2% e 0,4%, essa transição ocorreu com maiores deslocamentos, chegando a 1,0 mm. Os resultados obtidos foram coerentes com os da análise de

densidade de massa e teor de ar incorporado, no qual a incorporação da microcelulose cristalina em 0,2% e 0,4% promoveu uma redução da densidade de massa e aumento do teor de ar incorporado. As microceluloses agem como um plastificante em argamassas de revestimento, reduzindo o atrito entre as partículas e assim retardando a fase de transição para o enrijecimento (PESCAROLO *et al.* 2022).

Gráfico 6 - Resultado Squeeze Flow 30 minutos



Fonte: Autoria própria (2023)

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 revestimentos, 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 resultados podem ser concluídos também através da análise do ensaio de índice de consistência feito por Moraes (2018), no qual a microcelulose cristalina possui grupos hidroxílicos em sua estrutura molecular, isso faz com que ela absorva a água utilizada na dosagem do compósito cimentício. Conforme Hoyos *et al.* (2013) os microcristais de microfibrilas de celulose são altamente hidrofílicos, possuem alta capacidade de retenção de água, a MCC interage com os produtos de hidratação mais fortemente do que as polpas de celulose comumente utilizadas em outras investigações.

5 CONCLUSÃO

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

- A incorporação de microcelulose cristalina resultou na redução da consistência das argamassas de revestimento.
- As microceluloses 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, podendo concluir que esses percentuais de microcelulose cristalina, apresenta uma melhoria no processo de aplicação das argamassas de revestimento, através da facilidade do processo de execução. Já a adição 0,6% 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.
- Com relação ao comportamento reológico, as adições de microcelulose em 0,2% e 0,4% apresentaram o maior deslocamento em comparação com a argamassa de revestimento sem adição, o que caracteriza em uma maior plasticidade, aos 15 minutos de mistura. Contudo, aos 30 minutos de mistura, houve uma mudança de comportamento, onde as adições promoveram uma redução dos deslocamentos em relação à argamassa de revestimento sem adição. Podendo ser atribuído pela alta capacidade de retenção de água das microcelulose que reduziu a disponibilidade de água de amassamento e assim diminuindo os deslocamentos das argamassas de revestimento e consequentemente reduzindo a plasticidade das argamassas de revestimento.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Visando o aprofundamento das pesquisas de materiais cimentícios com adição de microcelulose cristalina, recomenda-se avaliar adicionalmente os seguintes parâmetros:

- Verificar a incorporação de aditivos plastificantes e incorporadores de ar com a finalidade de dispersão, para avaliação da viabilidade de empregar a adição 0,6% de MCC em argamassa;
- Ensaio de retenção de água em argamassas de revestimentos;
- Analisar outra fase de mistura em 45 minutos para verificar se o efeito de retenção de água se prolonga em fases mais avançadas;
- Desenvolver outra técnica de comportamento reológico através do reômetro;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 248**: Agregados-determinação da composição granulométrica: Rio de Janeiro; ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15839**: Argamassa de Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos—Caracterização Reológica Pelo Método Squeeze-Flow. Rio de Janeiro; ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro; ABNT, 1986. 7

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro; ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro; ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 248**: Agregados-Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro; ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7214**: Areia Normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro; ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 13276**: A consistência das argamassas para assentamento e revestimento. Rio de Janeiro; ABNT, 2016.

ANTUNES, Rubiane Paz do Nascimento; JOHN, Vanderley Moacyr. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2005. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

BAUER, Elton. **Revestimentos de argamassa: revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília, 2005. 58 p.

BILCATI, G. K. et al. **Efeito do reforço multi-escala fibra de celulose-microcelulose cristalina na fase de hidratação de pastas de cimento Portland.** Revista Matéria, v. 27, n. 04, 2022.

BILCATI, G. K.; LENGOWSKI, E. C.; JUMES, J. J.; ANDRADE, F. H.; NERVIS, I. R.; SOUZA, I. dos S. C. de; LANGARO, E. **Lightweight cementitious composites reinforced with Pinus spp. sawdust.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 38, n. 1, e26684, 2021. Título em português: Compósitos cimentícios leves reforçados com serragem de Pinus spp.

CAPELIN, Luana Jéssica et al. Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.

CARASEK, Helena et al. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 21, p. 714-732, 2016.

CARASEK, Helena. **Argamassas.**In:Isaia, Geraldo C.(Editor). **materiais de construção civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais.** 3ªed. São Paulo: IBRACON, 2017.Volume2.

CARDOSO, Alceu Aparecido. **Desempenho termo físico e mecânico de argamassas de revestimento produzidas com resíduos sólidos poliméricos, minerais e vegetais.** 2017. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Engenharia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

CARDOSO, Fábio A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização.** Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, v. 1, p. 1-29, 2010.

CARDOSO, Fábio Alonso. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI. 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus-Propriedades relevantes. **Cerâmica**, v. 60, p. 69-76, 2014.

ENGMANN Jan, Servais Colin, Burbidge Adam S.**Squeeze flow theory and applications to rheometry** In: A review, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Volume132.2005. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2005.08.007>.

FRANÇA, Marylinda Santos de; CARDOSO, Fábio Alonso; PILEGGI, Rafael Giuliano. **Influência do procedimento de mistura em laboratório nas propriedades de argamassas.** *Ambiente Construído*, v. 13, p. 111-124, 2013.

FREITAS, Cleverson de. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido.** 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FRENCH, Alfred D.; SANTIAGO CINTRÓN, Michael. Cellulose polymorphy, crystallite size, and the Segal Crystallinity Index. **Cellulose**, v. 20, p. 583-588, 2013.

FURTADO, Gabriela Becker et al. Influência da substituição do agregado miúdo natural por resíduo de cerâmica vermelha na produção de argamassas. **Revista Internacional de Ciências**, v. 12, n. 3, p. 213-230, 2022.

Hoyos et al. "Influence of microcrystalline cellulose on the properties of cementitious materials." *Materials & Design*, vol. 51, 2013, pp. 810-818.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, Anais, 2003.

LACERDA, Matheus Pereira de et al. Efeito da adição de polpa de celulose nanofibrilada nas propriedades de argamassas de revestimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 28, p. e20230063, 2023.

LIMA, Lais R. et al. Nanocristais de celulose a partir de celulose bacteriana. **Química Nova**, v. 38, p. 1140-1147, 2015.

MENDES, Allana Ribeiro; VANDERLEI, Romel Dias; BASSO, Matheus Augusto. Análise do processo de dispersão da nanocelulose cristalina para a produção de compósitos cimentícios. **Ambiente Construído**, v. 23, p. 183-196, 2022.

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, 2018.

MORAES, Katherine Kaneda et al. Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de matriz cimentícia com microcelulose cristalina. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 23, 2018.

PALMIER, Ana Laura et al. **Análise de desempenho no uso do pó de serragem como agregado miúdo na produção de concreto.** 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia / Go, 2022.

PEREIRA, Paulo Henrique Fernandes et al. Vegetal fibers in polymeric composites: a review. **Polímeros**, v. 25, p. 9-22, 2015.

PARVEEN, Shama et al. A novel approach of developing micro crystalline cellulose reinforced cementitious composites with enhanced microstructure and mechanical performance. **Cement and Concrete Composites**, v. 78, p. 146-161, 2017.

PERUZZI, Antônio. Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PESCAROLO, Aline et al. A influência de microfibras de celulose no estado fresco de argamassas. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 179-190, 2021.

PESCAROLO, Aline. Desempenho de argamassas com fibras de celulose. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

PHILIPP, Paul; D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. **São Paulo, IPT**, 1988.

RAKI, Laila et al. Cement and concrete nanoscience and nanotechnology. **Materials**, v. 3, n. 2, p. 918-942, 2010.

SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Natal, 2008.

SANTOS, Matheus Machado Mendes dos; CARVALHO, Pablo Lima. **Análise da resistência do concreto estrutural com substituição parcial do cimento por pó de serra**. 2019. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Goiás, Goiânia, 2019.

SANTOS, W. J. dos; ALVARENGA, R. de C. S.; SILVA, R. C. da; PEDROTI, L. G.; SOUZA, A. T.; FREIRE, A. S. **Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 271-288, out./dez. 2019.

SANTOS, White José dos. **Desenvolvimento De Metodologia De Dosagem De Argamassas De Revestimento E Assentamento**. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SILVA, André Bezerra da. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos dosados com substituição parcial do agregado miúdo por pó de serra**. 2018. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SILVA, Livia et al. A facile approach of developing micro crystalline cellulose reinforced cementitious composites with improved microstructure and mechanical performance. **Powder Technology**, v. 338, p. 654-663, 2018.

SILVA, Rafael et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p. 661-671, 2009.

SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O. **Reologia e trabalhabilidade das argamassas**. In: BAUER, E. Revestimentos de argamassas: características e peculiaridades. Brasília, UnB, 2005.

STEPHEN, Alistair M.; PHILLIPS, Glyn O. **Food polysaccharides and their applications**. CRC press, 2016.