

Análise das Propriedades Mecânicas de Argamassas com Substituição Parcial de Cimento Portland por Cinza da Madeira de Eucalipto

Mariana Silva Souza¹, Sidinei Ramos da Silva², Fausto Arantes Lobo³

Resumo

A construção civil é citada pelo Conselho Internacional da Construção como sendo o setor que mais consome recursos naturais. Uma construção sustentável expressa redução do impacto ambiental e desperdício, e as indústrias são responsáveis pela produção de uma grande quantidade de resíduos. Dentre esses resíduos, a fuligem de eucalipto, através da queima da madeira em fornos de secagem de grãos e fabricação de óleos vegetais. O presente trabalho objetiva utilizar resíduos atualmente descartados ao meio ambiente, como substituição de materiais cimentícios, que contribui para redução da emissão de CO₂ causada pelas indústrias cimenteiras. Além disso, a cinza da madeira de eucalipto pode contribuir também para melhorar a resistência da argamassa, mostrando assim, que este resíduo pode ser utilizado na matriz cimentícia. Neste trabalho foram desenvolvidos traços com substituição de 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10,0% e 25,0% de cimento Portland por cinza da madeira de eucalipto, e realizaram-se ensaios de compressão axial, índice de atividade pozolânica, absorção de água por capilaridade e porosidade, para verificar como a cinza influencia as propriedades da argamassa, como resistência e poder reduzir custos na produção. As argamassas estudadas exibem bons resultados nos teores de substituição 5,0%, 7,5% e 10,0% apresentando resultados em todos os ensaios realizados valores superiores à argamassa tradicional, permitindo o seu emprego na construção civil.

Palavras-chave: Resíduo; Cinza; Madeira; Eucalipto; Sustentabilidade.

1. Introdução

A construção civil é citada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB, 2011) como o setor que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensa, gerando assim importantes impactos ambientais. Segundo Baltrame (2013), as construções consomem 34% do fornecimento de água do mundo, 66% de toda extração da madeira e cerca de 40% de toda energia produzida mundial. Uma construção que se funda na sustentabilidade significa que se reduziu o impacto ambiental, diminuiu o retrabalho e desperdício, garantindo uma qualidade do produto para o usuário final, favorecendo o menor consumo de matérias primas (LOTTI, 2015).

¹ marianasilvasousa@hotmail.com, Graduanda em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² sidineiramos07@hotmail.com, graduando em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

³ faustoalobo@gmail.com, Mestre, Professor Adjunto, Engenharia Civil. Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

As indústrias são responsáveis pela produção de uma grande quantidade de resíduos. Dentre esses resíduos a fuligem de eucalipto, através da queima da madeira em fornos de secagem de grãos e fabricação de óleos vegetais. Esse resíduo fica exposto a céu aberto ou é dispensado na natureza sem reutilização alguma. Diante disso, surgiu a ideia da utilização desse resíduo para incorporação em matriz cimentícia. Conforme Bennack (2016), o fator principal para o estudo da utilização da cinza da madeira de eucalipto (CME) no âmbito da construção civil foi a sustentabilidade, por se tratar de material em grande quantidade, sem utilização, possibilitando assim uma redução no consumo de cimento e propiciando um refinamento dos poros. De acordo com Paula (2006), a implantação de projetos sustentáveis é um dos principais desafios enfrentados pela humanidade do século XXI. É necessária a busca por desenvolvimento de projetos voltados ao uso racional de recursos naturais ou à recuperação do meio ambiente.

A CME é um resíduo retirado de caldeiras, que consiste em uma mistura de minerais oxidados, sílica e carbono orgânico que não possuem uma queima total, podendo apresentar características pozolânicas (FOELKEL, 2011). As cinzas podem ser utilizadas como pozolanas, possuindo capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis de poder aglomerante, garantindo potencialidade para serem empregadas como adição mineral em substituição parcial do cimento Portland em argamassas e concretos (ABRAF, 2013).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (2014), para cada tonelada de cimento produzido no mundo emite-se entre 600 kg a 900 kg de CO₂, o que torna a indústria cimenteira a segunda maior produtora de gases de efeito estufa. Conforme França et al (2016), é cada vez maior a pressão sobre as indústrias de construção pela adoção de práticas consideradas ambientalmente adequadas ou sustentáveis. Por esse motivo é importante à necessidade de buscar materiais que possam substituir ou minimizar o uso do clínquer, como o caso de materiais suplementares, tais materiais começam a ser usados em concretos e argamassas devido ao custo mais barato, e diminuir o consumo de cimento Portland (NEVILLE, 2016).

Assim, a utilização pela indústria civil, dos resíduos gerados em outros setores, pode se tornar vantajosa devido à redução do emprego de matérias primas não renováveis que são necessárias à atividade da construção civil. Grande parte desse resíduo gerado pode ser incorporado, de modo a produzir novos materiais de construção econômicos e sustentáveis, atendendo à crescente demanda que atualmente exige esta área (GLUITZ; MARAFÃO, 2013).

1.1 Objetivos

Geral

Desenvolver argamassas com substituição parcial em diferentes percentuais de cimento Portland por CME.

Específicos

- Realizar ensaios de compressão axial;
- Absorção de água por Porosidade e Capilaridade;
- Índice de atividade pozolânica da CME;
- Comparar as propriedades mecânicas da argamassa com vários teores de substituição parcial de cimento Portland por CME.

2. Material e métodos

• Cimento

Foi utilizado para confecção das argamassas o cimento Portland CP-V ARI. De acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018) o CP-V ARI não contém adições, é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada e argila, considerado o menos sustentável. Essas características são interessantes para pesquisa, por ser um cimento mais puro e podermos avaliar melhor apenas a influência da cinza que foi utilizada.

• Cinza de eucalipto

A cinza utilizada é resultante da queima de um resíduo gerado pela combustão da madeira de eucalipto em caldeiras na empresa Comigo situada no município de Rio Verde-GO (Figura 1). Para produção da cinza neste trabalho, o resíduo foi seco em estufa a temperatura de 105°C por aproximadamente 24 horas, com o objetivo de retirar a umidade do material. Depois foram submetidas ao processo de queima com auxílio de um maçarico sem controle de temperatura e tempo (Figura 2). Após a queima deste material foi feita uma separação da cinza através de peneiramento, utilizando a peneira de numeração 200mm para eliminar resíduos indesejados que não sofreram a queima total. Em seguida foi realizado o apiloamento desta CME, para garantir a sua finura, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 1 - Resíduo gerado pela combustão da madeira de eucalipto em caldeiras na empresa Comigo/Rio Verde-GO.
Fonte: Próprio Autor (2019).



(A)



(B)

Figura 2 – (A) Resíduo antes de submetido ao processo de queima e (B) após o processo de queima.
Fonte: Próprio Autor (2019).



Figura 3 – Cinza da madeira de eucalipto (CME)
Fonte: Próprio Autor (2019).

- **Areia padrão**

A areia utilizada para realização do trabalho segue a norma de areia normal NBR 7214 (ABNT, 2015). A mesma foi adotada após passar pela fase de peneiramento, onde retira uma porcentagem de cada uma delas para determinação da areia que será utilizada.

- Areia grossa, material retido entre as peneiras de abertura de 2,4 a 1,2 mm;
- Areia média, material retido entre as peneiras de abertura de 1,2 a 0,6 mm;
- Areia fina, material retido entre as peneiras de abertura de 0,6 a 0,3 mm;
- Fina, material retido entre as peneiras de abertura de 0,3 a 0,14 mm.

A areia utilizada neste trabalho foi produzida no próprio laboratório de materiais da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Rio Verde, obtendo o seguinte resultado, conforme as Figuras 4, 5 e Tabela 1.



Figura 4 – Areia fornecida pela faculdade e submetida ao ensaio de granulometria.
Fonte: Próprio Autor (2019).

Tabela 1 – Características granulométricas do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Ensaio		
	Massa inicial Massa (g)	500 g	
		% Retida	% Acum.
9,5	0	0,00	0,00
6,3	0	0,00	0,00
2,36	22,459	4,24	4,24
2,00	6,204	1,17	5,41
1,18	23,513	4,44	9,85
0,60	102,658	19,38	29,23
0,30	266,459	50,31	79,54
0,15	89,079	16,82	96,36
Fundo	19,278	3,64	100,00
Total	529,65	100,00	324,64
Módulo de Finura	2,25		
Módulo de Finura Médio (MF)			2,16
Diferença nas peneiras entre duas determinações < 4%			OK

Fonte: Próprio autor (2019).

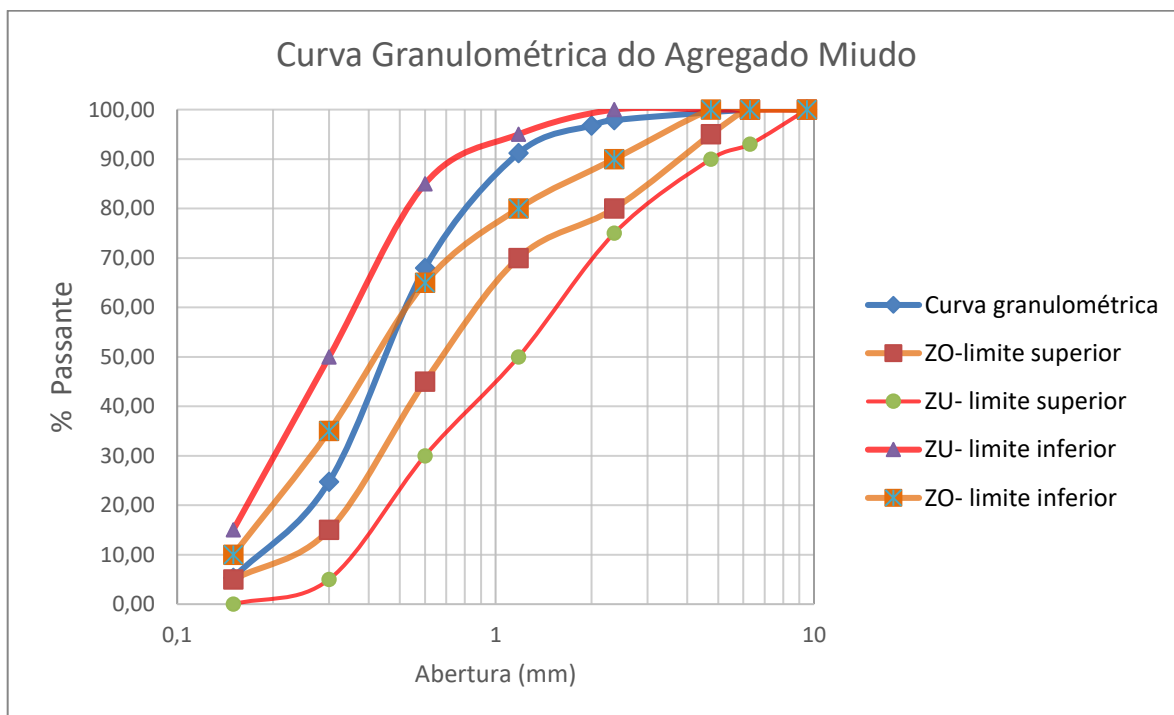


Figura 5 – Curva granulométrica do agregado miúdo.

Fonte: Próprio Autor (2019).

- **Definição dos traços para produção da argamassa**

Na Tabela 2 são apresentados os diferentes traços que foram utilizados, onde o traço referencial segue o padrão da norma de atividade pozolânica NBR 5752 (ABNT, 2014).

Os demais traços foram definidos observando o trabalho de Melo Junior (2019), onde buscamos avaliar em um intervalo que apresentou melhores resultados.

Tabela 2 – Quantidade de material, em massa, para moldagem de seis corpos de prova cilíndricos.

Teor de Substituição (%)	Cimento CPV-ARI (kg)	Material Pozolânico (kg)	Areia (kg)	Água (ml)
0,0	0,624 ± 0,4	0,0 ± 0,2	1,872	398 ± 0,2
2,5	0,608 ± 0,4	0,015 ± 0,2	1,872	398 ± 0,2
5,0	0,592 ± 0,4	0,031 ± 0,2	1,872	398 ± 0,2
7,5	0,577 ± 0,4	0,046 ± 0,2	1,872	398 ± 0,2
10,0	0,561 ± 0,4	0,062 ± 0,2	1,872	398 ± 0,2
25,0	0,468 ± 0,4	0,156 ± 0,2	1,872	398 ± 0,2

Fonte: Próprio autor (2019)

- **Ensaio de atividade pozolânica**

O ensaio de atividade pozolânica foi realizado conforme NBR 5752 (ABNT, 2014), deve-se preparar argamassas com materiais necessários para obter seis corpos de prova para cada traço, foi utilizado cimento CPV – ARI como expresso no item 2.

Foi efetuada a comparação aos 28 e 60 dias, da argamassa produzida apenas com cimento Portland e argamassas com teores de substituição de 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10,0% e 25,0%. Através da média de resistência à compressão obteve-se o índice de atividade pozolânica dividindo-se a resistência à compressão do corpo de prova de cimento, somado com cada teor de substituição de CME pela resistência à compressão do corpo de prova de referência.

- **Produção, adensamento e cura das argamassas**

Seguindo a NBR 16541 (ABNT, 2016) foi realizada a pesagem dos materiais conforme os traços e iniciou-se o processo de mistura mecânica das argamassas. Inicialmente, foram misturados manualmente a areia e o cimento até ficar homogêneo, em seguida foi colocado em um misturador mecânico, adicionado água e misturado manualmente até obter uma mistura homogênea. A argamassadeira foi ligada a 124 rpm por 60 segundos e em seguida a 220 rpm por mais 30 segundos. Posteriormente, a mistura ficou em repouso por 90 segundos,

e misturada por mais 60 segundos a 220 rpm. Finalizado o processo de mistura, dá-se continuidade ao procedimento ensaiando a consistência do material. As Figuras 6 e 7 demonstram todo o processo de mistura.



Figura 6 – Processo de mistura dos materiais.
Fonte: Próprio Autor (2019).



Figura 7 – Argamassa finalizada.
Fonte: Próprio Autor (2019)

Foram utilizados moldes de PVC cilíndricos com cinco centímetros de diâmetro e dez centímetros de altura (Figura 8), onde o adensamento foi realizado utilizando soquete manual, com 4 camadas e 20 golpes em cada camada. Os corpos de provas confeccionados para este trabalho foram desmoldados após 24 horas conforme NBR 7215 (ABNT, 2019), e colocados em câmara úmida para cura, até a idade de ensaio (Figura 9). Para cada traço realizado foram moldados 18 corpos de provas sendo: 12 destinados aos ensaios de resistência à compressão aos 28 e 60 dias; 3 para o ensaio de absorção de água por capilaridade; 3 para o ensaio de absorção de água por porosidade ambos realizados aos 28 dias. Todos procedimentos foram realizados no Laboratório de Estruturas da Universidade de Rio Verde.

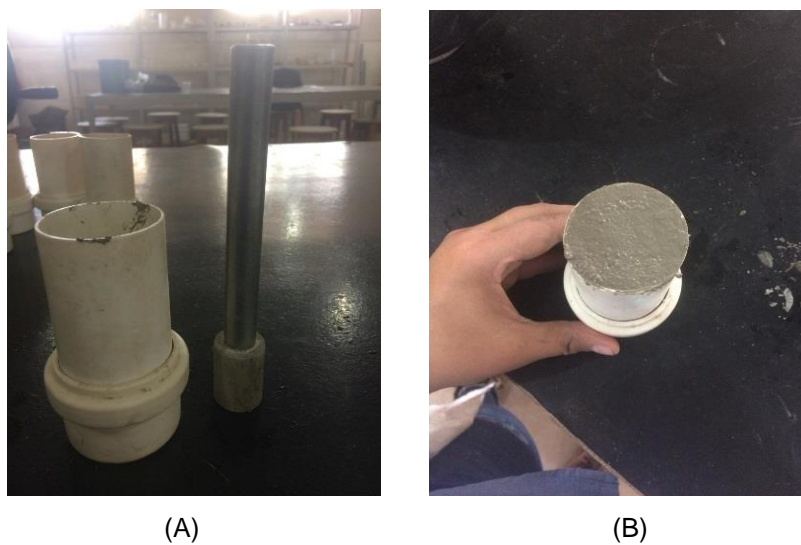


Figura 8 – (A) Corpo de prova e soquete utilizados para adensamento, e (B) corpo de prova moldado.
Fonte: Próprio Autor (2019)



Figura 9 – Corpos de prova em cura úmida
Fonte: Próprio Autor (2019)

- **Ensaio de compressão axial**

A resistência à compressão foi realizada com seis corpos de prova para cada traço mencionado, sendo utilizado o corpo de prova com cinco centímetros de diâmetro e dez centímetros de altura. Foi realizado o capeamento dos corpos de provas com a utilização de enxofre a quente de acordo com NBR 7215 (ABNT, 2019), e rompidos aos 28 e 60 dias, em prensa que nos permite identificar o valor da resistência à compressão no ato do rompimento (Figura 10 e 11).



Figura 10 – Rompimento
Fonte: Próprio Autor (2019)



Figura 11 – Corpos de prova após rompimento
Fonte: Próprio Autor (2019)

- **Ensaio de absorção de água por porosidade**

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado com base na NBR 9778 (ABNT, 2005). O ensaio é iniciado após os 28 dias de cura úmida, utiliza-se três corpos de prova para cada traço

As Figuras 12 e 13 mostram os procedimentos realizados no ensaio de absorção de água por porosidade.



(A)



(B)

Figura 12 – (A) Corpos de prova com 1/3 de água, e (B) com 2/3 de água.
Fonte: Próprio Autor (2019)



Figura 13 – Corpos de prova submersos para pesagem após 24hr, 48hr, 72hr.
Fonte: Próprio Autor (2019)

- **Ensaio de absorção de água por capilaridade**

Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR 9779 (ABNT, 2012), inicia-se com 28 dias de idade e após todas as amostras terem sido medidas e pesadas, usa-se um total de três corpos de prova para cada traço.

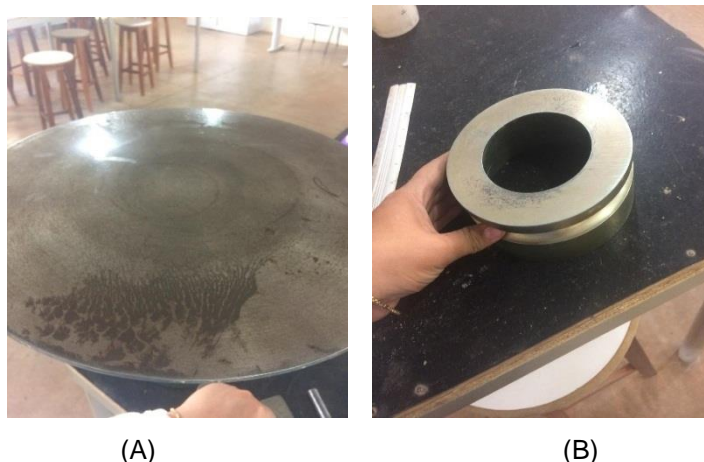
Foram procedidas 8 pesagens dos corpos de prova para avaliar o teor de água absorvido: 1 pesagem após serem retirados da câmara úmida, após secagem em estufa por 24 horas, em seguida seco ao ar livre e 5 pesagens após 3hr, 6hr, 24hr, 48hr e 72hr com cinco milímetros de água acima da sua face inferior conforme mostra na Figura 14.



Figura 14 – Corpos de prova com cinco milímetros de água para pesagem após 3hr, 6hr, 24hr, 48hr e 72hr.
Fonte: Próprio Autor (2019)

3. Resultados e discussão

Após a mistura, realizou-se o ensaio de índice de consistência de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016). As Figuras 15, 16 e Tabela 3 ilustram as etapas e resultados do ensaio:



(A) (B)
 Figura 15 – (A) Mesa horizontal lisa e plana para ensaio de índice de consistência e (B) Molde rígido troncônico para ensaio de índice de consistência
 Fonte: Próprio Autor (2019)



Figura 16 – Ensaio do índice de consistência
 Fonte: Próprio Autor (2019)

Tabela 3 – Índice de consistência das argamassas

Teor de Substituição (%)	Abertura média (cm)
0,0	29,82
2,5	27,82
5,0	25,32
7,5	26,82
10,0	22,98
25,0	24,96

Fonte: Próprio Autor (2019)

Pode-se observar que em todos os teores de substituição analisados os resultados ficaram dentro do padrão exigido pela norma. Não sendo possível observar nenhuma relação clara com a substituição.

A Tabela 4 e Figura 17 ilustram os valores de resistência à compressão obtida para argamassa de referência e para as argamassas com diferentes teores de substituição parcial do Cimento Portland por CME, aos 28 e 60 dias de idade.

Tabela 4 – Resistência à compressão aos 28 e 60 dias

Teor de Substituição (%)	Resistência à Compressão aos 28 dias (Mpa)	Resistência à Compressão aos 60 dias (Mpa)
0,0	23,5	25,2
2,5	26,7	23,8
5,0	26,6	26,9
7,5	26,9	28,1
10,0	26,0	25,9
25,0	17,3	19,5

Fonte: Próprio Autor (2019)

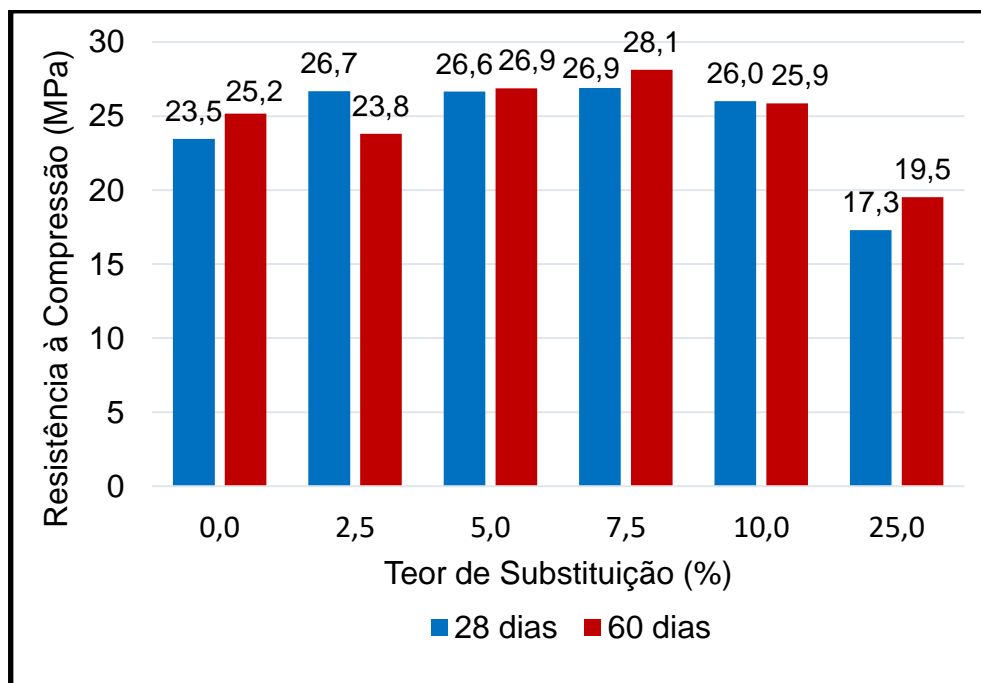


Figura 17 – Valores de resistência à compressão das argamassas aos 28 e 60 dias.

Fonte: Próprio Autor (2019)

De acordo com os dados acima, podemos observar que aos 28 e 60 dias de idade, a aplicação da cinza como substituição parcial ao Cimento Portland trouxe resultados favoráveis.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), os silicatos são responsáveis pelo desenvolvimento da resistência do material e hidratam muito mais lentamente que os aluminatos, ressaltam-se que quanto maior o período de cura maior será a resistência adquirida, já que os produtos de hidratação formados gerarão características de pega e endurecimento com o decorrer do tempo. O que justifica o acréscimo de resistência na maioria dos teores de substituição aos 60 dias.

O maior valor de resistência alcançado aos 28 dias foi pelo teor de substituição 7,5% e o menor valor pelo teor de substituição 25,0%, observa-se a seguinte ordem decrescente para os teores de substituição: 7,5% > 2,5% > 5,0% > 10,0% > 0,0% > 25,0%. Mas ao analisar os resultados nota-se que os valores 7,5%, 2,5% e 5,0% obtiveram resultados muito próximos, sendo 26,9 MPa, 26,7 MPa e 26,6 MPa respectivamente. A resistência do traço referencial foi igual a 23,5 MPa, o que nos permite entender que o acréscimo da CME, foi interessante até a adição de 10,0%, pois ao adicionar 25,0% a resistência caiu consideravelmente.

Analisando os resultados aos 60 dias de idade, constata-se que houve um acréscimo de resistência em praticamente todos os teores de substituição, exceto no teor de 2,5%, que teve uma queda de 2,9%, isso pode ser justificado devido ao aumento de porosidade e capilaridade observado nos ensaios de absorção. Com um índice de capilaridade e porosidade alto podemos observar que haverá um maior teor de vazios na argamassa, o que ocasionará em uma diminuição de massa específica, e conseqüente redução da resistência à compressão. O teor que obteve maior resistência foi o de 7,5% e de menor resistência foi o teor de 25,0%, confirmando a análise aos 28 dias, observa-se também a ordem decrescente para os teores de substituição: 7,5% > 5,0% > 10,0% > 0,0% > 2,5% > 25,0%. O teor de 2,5% aos 60 dias obteve um resultado igual a 23,8 MPa, nota-se que o teor de substituição continua eficaz mesmo tendo uma queda, onde o teor de 2,5% consegue atingir uma resistência próxima ao teor referência.

Avaliando o teor de 25,0% que comparado aos demais teores de substituição, é o teor que obteve menor resistência à compressão, esse resultado pode ser justificado devido, quanto maior a substituição de CME, menor será a quantidade de silicatos de cálcio hidratados e hidróxidos de cálcio, que possuem um papel importante no desenvolvimento da resistência do material, podendo haver também uma quantidade de material que não completou sua reação na argamassa.

Os resultados apresentados na Tabela 5 e Figura 18 indicam os índices de atividade pozolânica obtidos respectivamente para cada teor de substituição, são valores superiores ao

mínimo de 75% estabelecido pela NBR 5752 (ABNT, 2014), logo, de acordo com a norma o material pode ser classificado como pozolana.

Tabela 5 – Índice de Atividade Pozolânica

Teor de Substituição (%)	Resistência à Compressão aos 28 dias (MPa)	Atividade Pozolânica aos 28 dias (%)	Resistência à Compressão aos 60 dias (MPa)	Atividade Pozolânica aos 60 dias (%)
0,0	23,5	-	25,2	-
2,5	26,7	114%	23,8	95%
5,0	26,6	114%	26,9	107%
7,5	26,9	115%	28,1	112%
10,0	26,0	111%	25,9	103%
25,0	17,3	76%	19,5	78%

Fonte: Próprio Autor (2019)

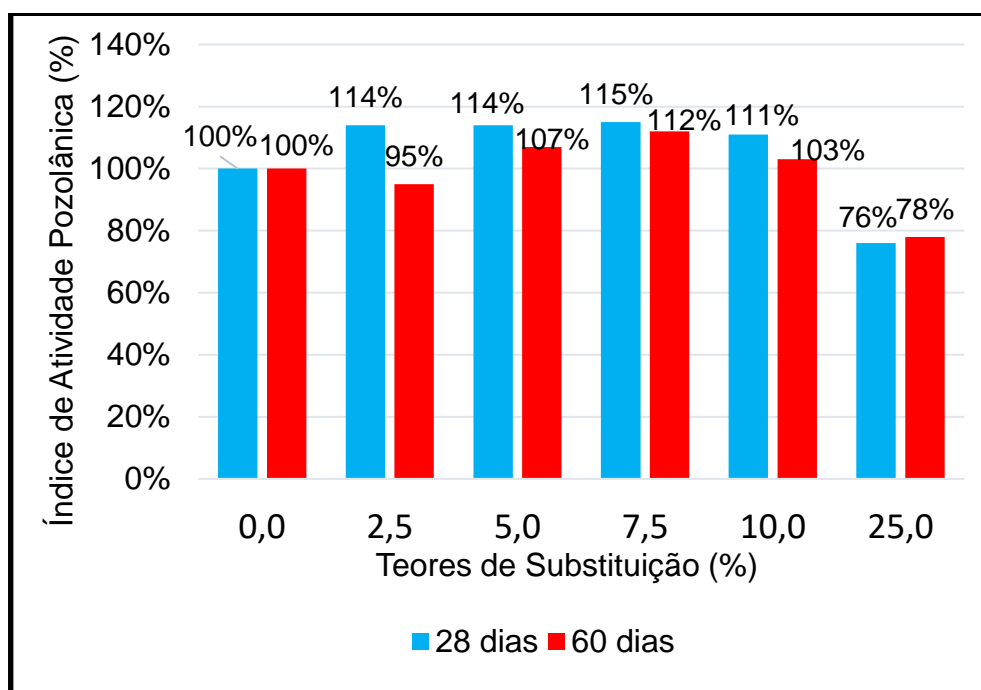


Figura 18 – Valores do índice de atividade pozolânica das argamassas aos 28 e 60 dias de idade.
Fonte: Próprio Autor (2019)

Na Tabela 6 e Figura 19 são mostrados os resultados dos ensaios de absorção de água por porosidade, em função do teor de substituição.

Tabela 6 – Absorção de água por porosidade

Teor de Substituição (%)	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção de Água por Porosidade (%)
0,0	325,1	353,0	8,6
2,5	355,3	417,5	17,5
5,0	338,0	375,3	11,1
7,5	346,0	382,0	10,4
10,0	341,2	371,0	8,7
25,0	343,8	398,0	15,8

Fonte: Próprio Autor (2019)

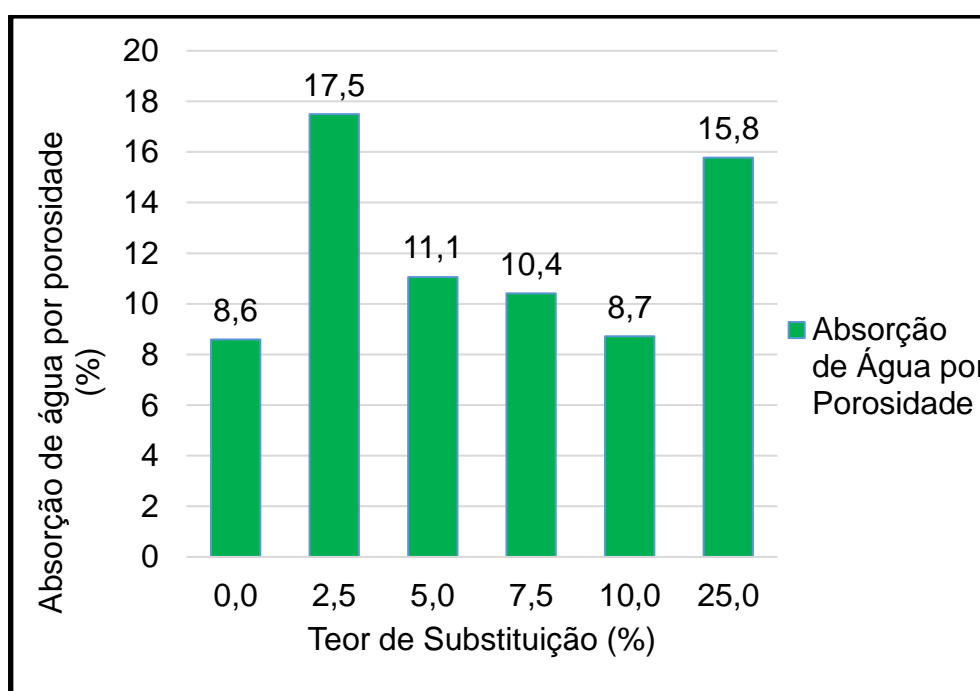


Figura 19 – Valores do ensaio de absorção de água por porosidade.

Fonte: Próprio Autor (2019)

Pode-se observar que os teores de substituição 2,5% e 25,0% obtiveram um alto teor de porosidade, o que justifica os maiores teores de absorção. O menor valor de absorção é no teor referencial de 0,0% que corresponde à resistência à compressão aos 28 dias de 22,5 MPa, porém os teores de substituição 10,0%, 7,5% e 5,0% ficaram próximos ao teor referencial, sendo 8,7%, 10,4% e 11,1% respectivamente, e suas resistências à compressão aos 28 dias foram superiores. Entende-se que devido os valores de resistência à compressão serem maiores e o valor de absorção de água ser próximo, os teores de substituição citados acima são favoráveis. Analisando o teor de 25,0% que obteve menor resistência à compressão, pode-se observar que é um material mais poroso, o que justifica sua queda de

resistência. Segundo Barbosa (1998), um dos métodos para controlar este fator é alterando a relação água/cimento do traço estudado.

A Tabela 7 e a Figura 20 a seguir apresentam os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Tabela 7 – Absorção de água por capilaridade

Teor de Substituição (%)	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ²)
0,0	325,74	346,50	1,06
2,5	356,01	395,50	2,01
5,0	340,41	371,50	1,58
7,5	348,08	372,00	1,22
10,0	343,51	354,00	0,53
25,0	345,23	376,33	1,58

Fonte: Próprio Autor (2019)

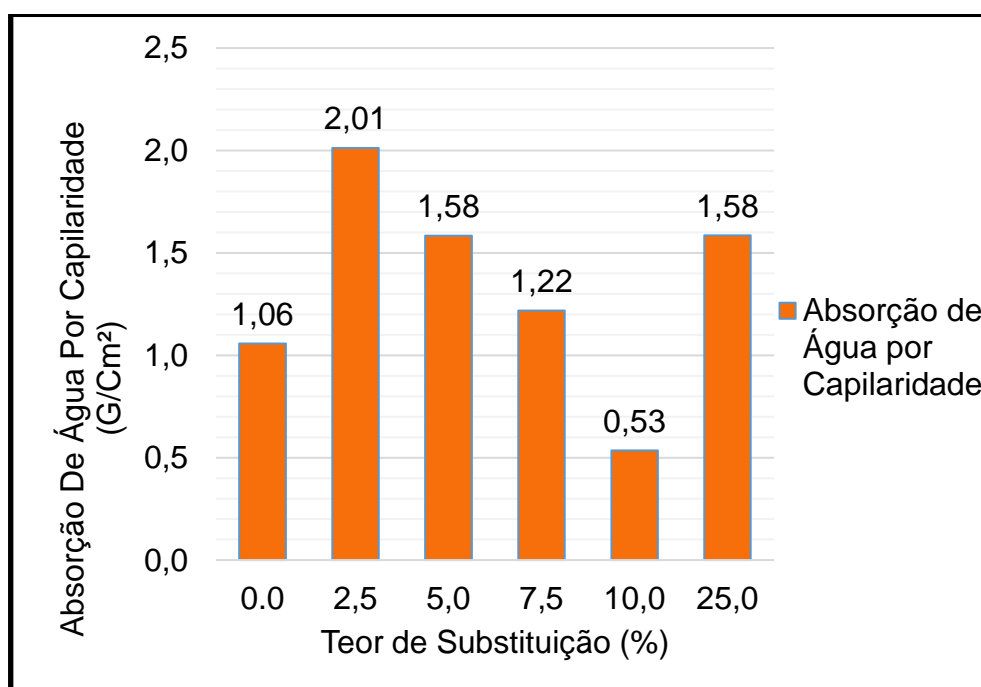


Figura 20 – Valores do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Fonte: Próprio Autor (2019)

Analisando os resultados observa-se que o teor de substituição com menor capilaridade é o 10,0% e o com maior capilaridade é de 2,5%.

Observando o teor de substituição com menor capilaridade, nota-se que o mesmo obteve o segundo menor resultado em relação à absorção por porosidade, ou seja, o teor de 10,0% sugere-se maiores poros com poucos vazios. Pode-se notar também que esse teor

obteve uma boa resistência, igual á 26 MPa aos 28 dias de idade e 25,9 MPa aos 60 dias de idade.

Verificando o teor de substituição com maior capilaridade, avalia-se que o mesmo obteve o maior valor em relação à absorção por porosidade, observando que o teor de 2,5% sugere-se possuir poros em tamanhos menores, com maior quantidade de vazios. Verificando a resistência à compressão, tal teor obteve 26,7 MPa aos 28 dias de idade e uma queda aos 60 dias de idade alcançando apenas 23,8 MPa.

Os teores 5,0% e 7,5% obtiveram valores próximos, variando de 1,22 g/cm² a 1,58 g/cm² e também valores semelhantes para a absorção por porosidade, variando de 10,4% a 11,1%, verificando que ambos os teores apresentam possuir poros menores e maiores vazios comparado ao valor do teor de 10,0%.

O teor de 25,0% apresentou menores poros que o teor de 10,0%, alcançando 1,58 g/cm², mas em comparação a porosidade, apresentou um valor mais elevado, chegando aos 15,8%. Sendo o motivo do teor de 25,0% atingir baixa resistência à compressão, comparado aos demais.

4. Conclusões

Observa-se que a utilização de argamassas com substituição parcial de material cimentício por CME é benéfico ao analisar sua atividade pozolânica, pois todos os teores de substituição mostram atividade pozolânica, confirmando assim ser possível sua utilização dentro da construção civil.

Nota-se que a argamassa estudada apresenta bons resultados nos teores de substituição de 5,0%, 7,5% e 10,0% apresentando resistências superiores à argamassa tradicional, e mesmo o teor de 25,0% ainda apresenta valores que permitem o seu emprego.

Conclui-se, portanto, que a utilização de CME, além de ter ocasionado vantagens ao material, contribuiu para diminuição dos problemas ambientais associados à gestão de resíduos e a emissão de CO₂ para atmosfera. Porém, este material precisou passar por processos de queima a fim de tornar viável a sua aplicação em argamassas

Para projetos futuros uma opção é analisar o emprego dessa cinza em concreto, observando seu comportamento e desempenho.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5752: Materiais Pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7200: Execução de Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro: 1998.

_____. **NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7215: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão – Índice e vazios e massa específica – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção da água por capilaridade – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2013 ano base 2012.** Brasília: ABRAF, 2013. Disponível em: http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13_BR.pdf. Acesso em: 02 de agosto de 2019.

BALTRAME, E. De S. **Meio Ambiente na Construção Civil.** 2013. Disponível em: http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 09 de junho de 2015.

BARBOSA, M. F., LIMA, E., PIRES SOBRINHO, C. W. A. **Estudo de argamassas com adições de cinza de casca de arroz e cinza de cana-de-açúcar.** VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Qualidade no Processo Construtivo. 27 a 30 de abril de 1998 – Florianópolis – SC.

BENNACK, Valéria. **Análise da viabilidade técnica da reutilização da cinza de madeira em produtos cimentícios.** 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado). - Ciência e Engenharia de Materiais, UDESC, Joinville, 2016.

CONSELHO INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO. **Estudo técnico analisa sustentabilidade na construção civil.** 2017. Disponível em: <http://legado.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2014/11/estudo-tecnico-analisa-a-sustentabilidade-na-construcao-civil>. Acesso em: 30 de maio de 2019.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. São Paulo: Pini, 1994.

FRANÇA, D. F. S.; REY, R. O; FERREIRA, L. R. C.; RIBEIRO, D. V. **Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166, jul./set. 2016.

FOELKEL, Celso. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais**. Eucalyptus Online Book. São Paulo, v. 25, n. 5, out. 2011. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf. Acesso em 29 jul. 2013.

GLUITZ, Adriana C.; MARAFÃO, Daiana. **Utilização da Cinza da Madeira de Eucalipto na Substituição Parcial do Cimento Portland em Argamassa**. 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Química Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

LOTTI, M. G. **Processo de Desenvolvimento e Implantação de Sistemas, Medidas e Práticas Sustentáveis com Vista a Certificação Ambiental de Empreendimentos Imobiliários** – Estudo de Caso: Empreendimento Bairro Ilha Pura – Vila dos Atletas 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2015.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo, P. M. **Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais** - 2ª Ed. (português). Natal/RN, 2014. 675p.

MELO JUNIOR, G. F. **Substituição Parcial de Cimento Portland por Cinza de Madeira de Eucalipto na produção de Argamassas**. Trabalho de Conclusão de curso em Engenharia Civil, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. 2019

NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

PAULA, O. Marcos. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola). Universidade federal de Viçosa/UFV. 2006.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. **Indicadores**. Disponível em: <http://snic.org.br/sustentabilidade-indicadores.php>. Acesso em: 23 de novembro de 2019.