

ESTUDO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ COMO ADIÇÃO ATIVA NO CIMENTO

Orientando: Watuzi da Rosa da Silva (1), Orientador: Fernando Pelisser (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)watuzi.silva@hotmail.com (2)fep@unesc.net

RESUMO

Tendo em vista o alto consumo de cimento atual e a problemática ambiental ocasionada pela produção do mesmo, busca-se na cinza de casca arroz, uma solução como substituto de parte do cimento na produção de concretos e argamassas. Visto que a mesma possui propriedades pozolâncias, a partir da casca de arroz bruta, foi realizada a sua ativação por meio da queima controlada a 750°C, seguida de moagem em moinho de bolas, com vistas a obter um material predominantemente amorfo e de alta superfície específica e, conseqüentemente, de alta capacidade reativa. Foi analisado o teor de amorficidade das cinzas através do ensaio de difração de raios x e também foi determinado o tamanho médio das partículas. Para análise de desempenho das cinzas, foram compostas quatro misturas de argamassas com substituição de 10% e 20% do cimento por cinza clara e escura, além da composição da argamassa de referência com traço 1:2,3 (cimento: areia). Foi verificado o índice de eficiência de consumo de cimento com objetivo de determinar a economia de cimento gerada. Após análise dos resultados, verificou-se que a cinza obtida nessas condições é amorfa e que todas as misturas resultaram em ganho de resistência superior ao da argamassa de referência. Com relação ao tipo de cinza empregado e teor de substituição, verificou-se que as variações estudadas não apresentam diferenças significativas no comportamento mecânico. Concluiu-se então, que a cinza da casca de arroz gera benefícios técnicos, econômicos e contribui para a sustentabilidade da indústria da construção.

Palavras-Chave: Cinza de casca de arroz, Atividade pozolânica, Resíduo, Cimento Portland.

1. INTRODUÇÃO

A produção de cimento tem aumentado significativamente. O Brasil segue esta tendência, tendo produzido em 2013, cerca de 71 milhões de toneladas de cimento, de acordo com pesquisa realizada pelo Sindicato Nacional da Indústria de Cimento



(SNIC, 2014).

Porém, essa produção em larga escala gera impactos ambientais e de acordo com Herrmann *et. al* (2012) a indústria do concreto é a que mais consome reservas naturais. A produção de cimento Portland exige um alto consumo de energia e libera grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera (SALES *et. al*, 2011). Desta forma, é importante a busca por matérias-primas que contribuam para a redução deste impacto e em contrapartida não comprometam o desempenho das argamassas e concretos.

De acordo com Ferreira *et. al* (apud Houston 1972), a casca de arroz - CA é um resíduo agroindustrial composto por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de resíduos inorgânicos, sendo que estes possuem 95 a 98% de peso em sílica. Devido a seu poder calorífico elevado, a CA é utilizada muitas vezes na obtenção de energia, gerando então, a partir da queima, um novo resíduo: a cinza da casca de arroz – CCA (SANTOS, 2006).

Durante o processo de queima da casca, ocorre a remoção da matéria orgânica (celulose e lignina), tendo como material resultante um resíduo rico em sílica (cerca de 95 a 98%) e produzindo também álcalis (K_2O e Na_2O) e carbono em teores menores. Essa sílica resultante pode ser utilizada como material componente do concreto seja por substituição parcial ou adição ao cimento. Quando na presença de água, a sílica gera uma reação com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), produzindo a partir daí o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que é o principal responsável pela resistência e durabilidade da pasta de cimento hidratada, essa característica é uma propriedade das pozolanas e é denominada reação pozolânica (TIBONI, 2007).

As pozolanas atuam no concreto de forma física e química: quimicamente por meio da reação pozolânica, e fisicamente pelo efeito fíler, onde as partículas da adição mineral, por serem menores, se introduzem entre os grãos de cimento, preenchendo os vazios, diminuindo assim o diâmetro dos poros da pasta, e interferindo na orientação preferencial dos cristais de hidróxido de cálcio (WEBER, 2001). Esse preenchimento de vazios melhora a microestrutura da pasta de cimento, trazendo como benefícios:

- Aumento da coesão e compacidade da pasta;
- Melhora na adesividade da região pasta-agregado (zona de



transição);

- Maior resistência mecânica e a ataques de agentes externos;
- Maior durabilidade.

A eficiência do material pozolânico como adição ou substituição ao cimento, está diretamente ligada à sua capacidade reativa com o hidróxido de cálcio. Passuelo (2005) afirma que a eficácia da reatividade da CCA está relacionada ao seu processo de obtenção. De acordo com Santos (2006) a temperatura de obtenção da CCA e o tempo de exposição a essa temperatura, somados à variação de superfície específica serão os principais fatores intervenientes na qualidade do material como pozolana para o concreto.

O processo de queima deve ser realizado de tal modo que a sílica obtida se encontre em seu estado amorfo, uma vez que, atingido o formato cristalino, sua reatividade fica consideravelmente reduzida. De acordo com Weber (2001), a temperatura de queima é o que governa a reatividade da CCA, pois através dela será definido o teor de sílica amorfa. Quanto maior a temperatura e o tempo de exposição a ela, menos reativa será a cinza obtida. A cinza atinge a forma alotrópica tridimita a temperaturas a partir de 870°C (TIBONI, 2007). Autores como Nimityongskul (1891) e Sallas (1986), obtiveram em suas experiências, resultados satisfatórios, produzindo sílicas amorfas altamente reativas, realizando a queima entre 500°C e 800°C e obtendo sílicas cristalinas com temperaturas a partir de 800°C.

Após a queima é importante ainda trabalhar a superfície específica do material. O grau de moagem é o fator determinante no tamanho das partículas da CCA, quanto menor for o diâmetro médio do material obtido, mais elevada será a sua superfície específica e conseqüentemente, maior será a sua reatividade.

Com base nos pressupostos apresentados, este trabalho tem por objetivo produzir cinza de casca de arroz e avaliar a sua reatividade, através do efeito sinérgico com o cimento Portland.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS UTILIZADOS

A casca de arroz utilizada é proveniente de uma beneficiadora de arroz do município de Forquilha, SC. Ela foi coletada em seu estado natural, livre de impurezas e armazenada de modo a ficar protegida de intempéries e umidade.

Adotou-se o cimento do tipo CP V-ARI, por apresentar maior percentual de clínquer. A areia empregada é do tipo normal brasileira (NBR 7215, 1996), com a adoção das quatro faixas granulométricas preconizadas na NBR 7214 (2012), que são: areia grossa (2,4 mm a 1,2 mm), areia média grossa (1,2 mm a 0,6 mm), areia média fina (0,6 mm e 0,3 mm) e areia fina (0,3 mm e 0,15 mm).

Foi utilizado aditivo plastificante (Muraplast FK 120) de pega normal.

2.2. MÉTODOS

Para atingir os objetivos, o trabalho foi dividido em três etapas:

- Obtenção e ativação da CCA;
- Composição das argamassas com diferentes teores de cinza, e moldagem dos corpos de prova;
- Realização dos ensaios: - com as cinzas produzidas;
- com as argamassas produzidas.

2.2.1 Obtenção e ativação da CCA

2.2.1.1. QUEIMA

Primeiramente, para ativação da cinza, optou-se pelo método de queima controlada em forno, com fins de obtenção de sílica amorfa e altamente reativa. As cascas foram divididas em pilhas e colocadas em fornos do tipo mufla para realização da queima controlada. Foram utilizados três fornos: dois com volume interno de 0,02 m³ e um com volume interno de 0,16 m³.

A queima se fez à temperatura de 750°C, por período de duas horas para cada pilha. Após a combustão e resfriamento a cinza foi retirada e armazenada.

2.2.1.2. MOAGEM

De modo a obter a redução das partículas da CCA e otimizar a sua reatividade, as cascas, após queimadas, foram moídas em um micro moinho de bolas de base vibratória de ágata, com uma frequência de 1800 oscilações/min a uma amplitude de 1,5 mm. Cada porção foi moída por um período de 25 minutos.

2.2.2 Composição da argamassa

As argamassas foram produzidas utilizando cinco composições, variando o teor de substituição de cimento pela cinza, como pode ser observado na tabela 01.

Tabela 01 – Composição unitária das misturas.

Composição	Cimento	CCA*	Areia	a/ag	Plastificante (%)
REF	1	-	2,3	0,45	0,7
MCC-10	0,9	0,1	2,3	0,48	0,7
MCC-20	0,8	0,2	2,3	0,52	0,7
MCE-10	0,9	0,1	2,3	0,48	0,7
MCE-20	0,8	0,2	2,3	0,52	0,7

(*) - A dosagem de CCA foi realizada com base em seu correspondente volumétrico.

Fonte: o autor.

Os materiais foram dosados em massa, com exceção da CCA, que foi substituída em relação ao volume de cimento, obtendo dessa forma relações água/aglomerante (a/ag) diferentes, uma vez que a quantidade de água foi mantida a mesma para todas as composições. REF é a mistura de referência, sem adição de CCA. MCC-10 e MCC-20 referem-se respectivamente às misturas com 10% e 20% do cimento substituído por CCA clara, assim como MCE-10 e MCE-20 tem, respectivamente, 10% e 20% do cimento substituído por CCA escura.

A mistura das argamassas e preparação dos corpos de prova foi realizada conforme preconizações da norma NBR 7215 (1996), obedecendo à ordem de colocação dos



materiais na argamassadeira, bem como seu tempo de mistura. Os corpos de prova após moldados ficaram em cura ambiente por 24 horas e após isso foram desmoldados e submersos em água com cal para cura até as idades definidas em ensaio.

2.2.3 Realização dos ensaios

2.2.3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As amostras de cinza após processo de ativação foram encaminhadas para análise de difração de raios x. Foi utilizado o difratômetro Shimadzu XRD 6000, com uma radiação $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda=1.5418 \text{ \AA}$), à potência de 40 kV e 30 mA, com intervalo de leitura (2θ) entre 10° e 80° e passo de $2^\circ/\text{min}$.

Esta análise permite a identificação de fases cristalinas no material, podendo-se então determinar o teor de amorfismo e cristalinidade da cinza.

2.2.3.2 ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA- IAP

A determinação do IAP foi realizada de acordo com as preconizações da norma ASTM C-311 (2007), em que o índice é a razão entre a resistência à compressão de uma argamassa com substituição de 20% do cimento por material pozolânico e a resistência de uma argamassa comum de referência. Para ser considerado um material pozolânico o IAP calculado deve ser superior a 75%.

Foram analisadas quanto ao IAP as amostras MMC-20 e MCE-20 justamente devido a seu teor de substituição.

2.2.3.3 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

O cimento utilizado e as cinzas produzidas foram analisados granulometricamente com o auxílio do equipamento modelo CILAS 1064 de tecnologia *multi-laser*. O ensaio foi realizado a úmido, e teve por objetivo comparar o tamanho das partículas



de cimento com o das cinzas e verificar assim, se houve participação física (efeito fíler) do material na resistência final das argamassas produzidas.

2.2.3.4 ENSAIO PARA A ARGAMASSA FRESCA

Logo após a confecção das misturas foi realizado o ensaio de consistência (*flow test*) das argamassas conforme indicações das normas NBR 13276 (2005) e 7215 (1996).

2.2.3.5 ENSAIO PARA A ARGAMASSA ENDURECIDA

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova, de acordo com as recomendações da NBR 7215 (1996), para as argamassas com idades de 7 e 21 dias.

Com os resultados obtidos, realizou-se uma comparação aos dados já existentes na literatura. Também foi observado o ganho de resistência das argamassas produzidas.

As variáveis, bem como os valores de resistência alcançados, foram analisados através de verificação estatística utilizando a análise de variância ANOVA e teste de Duncan.

2.2.3.6 ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE CONSUMO DE CIMENTO - *Bi*

O *Bi* é a razão entre o consumo de cimento calculado, e o valor de resistência atingido pelo mesmo. Este índice fornece um parâmetro de consumo de cimento em $\text{kg.m}^{-3}.\text{MPa}^{-1}$. Foi realizada uma análise comparativa de modo a verificar a economia de cimento proporcionada pelo uso da CCA.

3. RESULTADOS E DICUSSÕES

3.1. PRODUÇÃO DA CINZA

3.1.1. Queima

A queima gerou dois tipos diferenciados de cinza: uma de coloração clara e outra de coloração que variava de cinza claro nas extremidades a preto no interior da pilha. A diferença de coloração se dá em função do teor de carbono residual na cinza produzida, o qual se forma no processo de combustão da celulose. (PASSUELO *et. al*, 2005).

Conforme Pouey (2006), o carbono é removido por oxidação, logo a presença de oxigênio é fundamental no processo para que este efeito ocorra. Atribuiu-se então a diferença entre cinzas à variação do volume dos fornos utilizados, visto que a mufla maior e que possuía mais oxigênio em seu interior gerou a cinza de coloração mais clara, e a menor, gerou a cinza escura. Observa-se na figura 01 a diferença no suprimento de ar entre as muflas.

Figura 01 – Cascas antes da queima – (a) mufla com 0,02m³; (b) mufla com 0,16m³.



(a)

(b)

Fonte: o autor.

3.1.2. Moagem

O processo de moagem uniformizou a coloração das cinzas, tendo produzido ao término do procedimento uma cinza clara e outra escura conforme ilustra a imagem 02.

Visto que foram obtidas cinzas de colorações diferentes, optou-se pela avaliação do desempenho não só em relação à argamassa de referência, mas também entre as argamassas produzidas com os dois tipos de cinza.

Figura 02 – Cinzas após moagem – (a) Clara; (b) Escura.



(a)

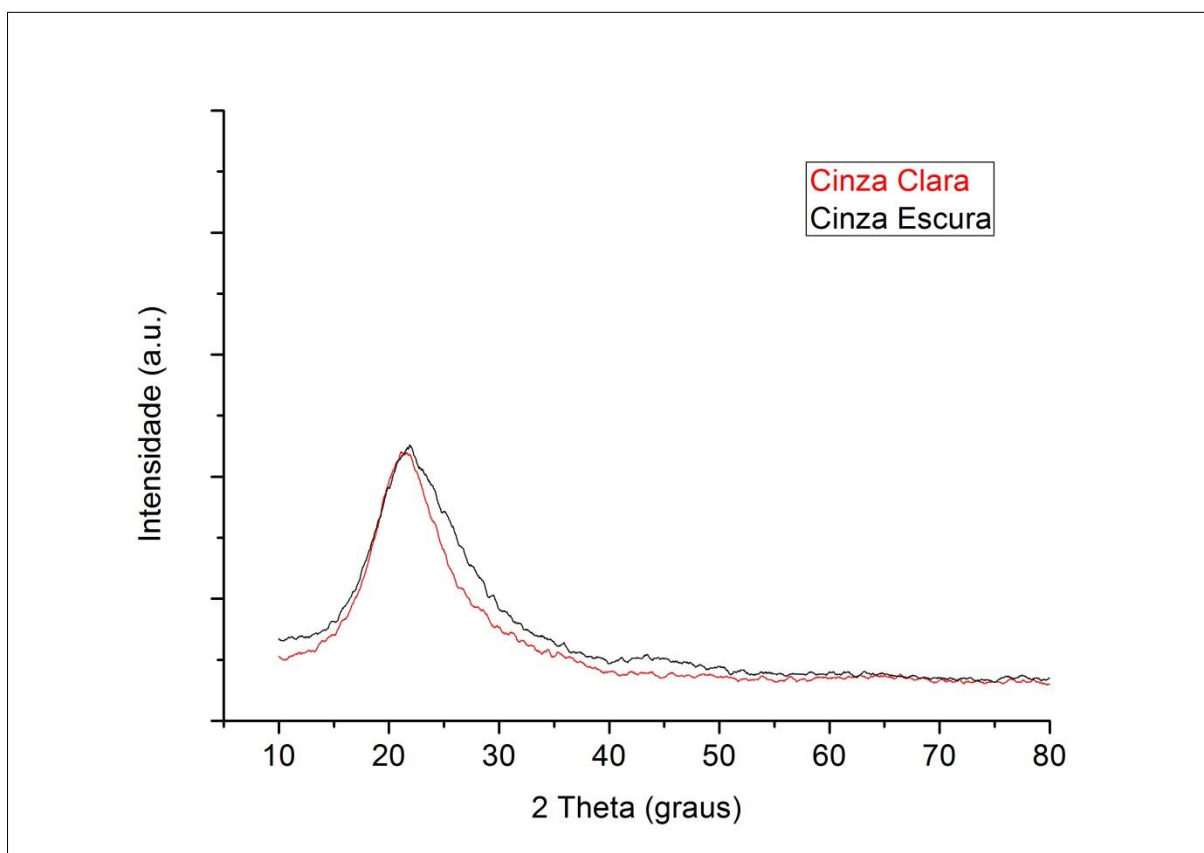
(b)

Fonte: o autor.

3.2. DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Ao analisar os resultados de difração de raios x, apresentados na figura 03 para as duas cinzas produzidas, percebe-se que ambas apresentam um halo amorfo e ausência de grandes picos de cristalinidade, permitindo assim, caracterizá-las como predominantemente amorfas. Pode-se então verificar que o método adotado para queima se mostrou eficaz em relação ao resultado esperado.

Figura 03 – Difratoograma de raios X das cinzas produzidas.



Fonte: o autor.

3.3. ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA

Como pode ser observado na tabela 02, o índice de atividade pozolânica apresentou resultado acima de 75% para ambas as cinzas. Isso significa que elas apresentaram comportamento pozolânico frente ao cimento, podendo então, de acordo com a ASTM C 311, classificá-las como pozolanas.

Tabela 02 – Índice de atividade pozolânica.

Composição	IAP (%) - ASTM C 311
MCC-20	92,0
MCE-20	87,0

Fonte: o autor.

3.4. AVALIAÇÃO GRANULOMÉTRICA

A tabela 03 fornece o diâmetro médio das partículas do cimento utilizado, bem como das amostras de cinzas produzidas. Verifica-se uma granulometria maior das cinzas em relação ao cimento, o que indica baixa participação do efeito físico da pozolana, uma vez que as suas partículas deveriam ser menores que as do cimento para que as mesmas atuassem como fílers inertes. Percebe-se então que o desempenho da cinza se deu pelo efeito químico.

Tabela 03 – Diâmetro médio das partículas.

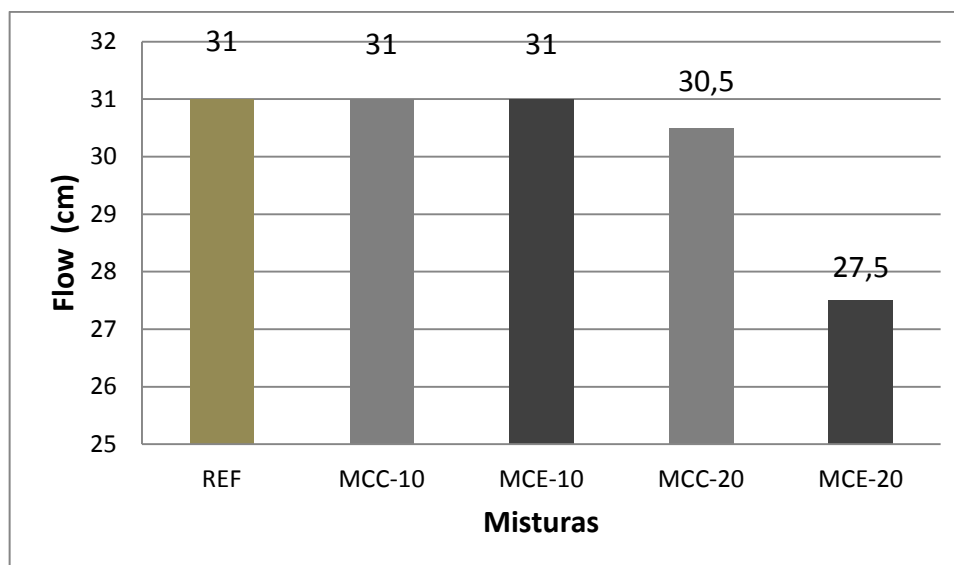
Material	Diâmetro médio (μm)
Cimento CP V	14,17
Cinza clara	26,52
Cinza escura	29,82

Fonte: o autor.

3.5. ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA – *FLOW TABLE*

Os resultados para o ensaio de consistência – *flow table* estão representados no gráfico da figura 04.

Figura 04 – Resultados do ensaio de consistência na mesa – *flow table*.



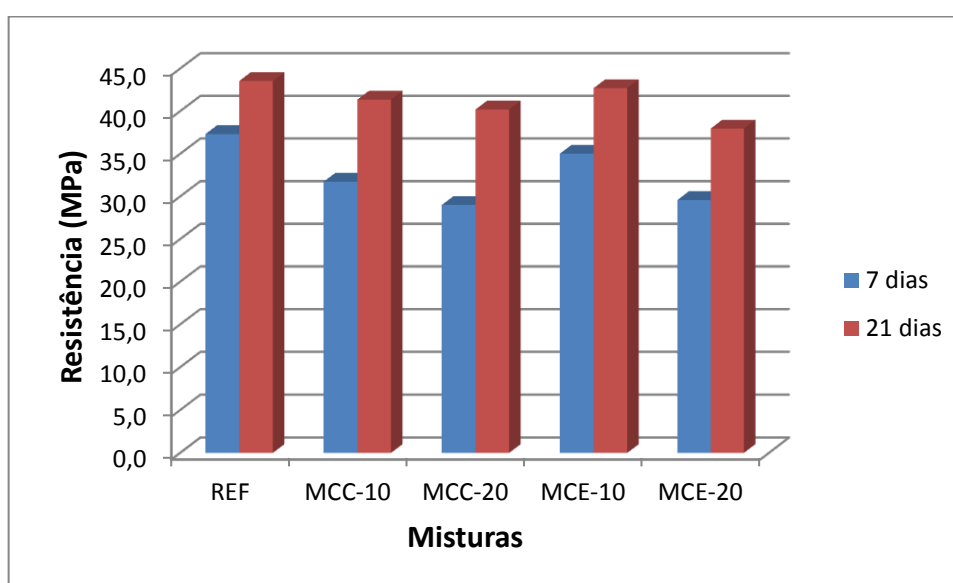
Fonte: o autor.

Observa-se nas misturas REF, MCC-10, MCE-10 e MCC-20 índices de consistência muito próximos, o que demonstra que a utilização da cinza nesses teores não alterou a trabalhabilidade da mistura. Apenas MCE-20 mostrou-se como uma exceção a esta tendência, porém não há dados suficientes para determinar conclusivamente esta diferença.

3.6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados para compressão axial aos 7 e 21 dias são apresentados na figura 05. Observa-se que a argamassa de referência foi a que obteve melhores resultados em comparação às demais misturas, apesar de os resultados obtidos serem bastante próximos.

Figura 05 – Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: o autor.

Realizando-se uma análise comparativa entre os resultados alcançados neste estudo e os resultados obtidos por Custódio *et. al* (2007), para os mesmos teores de substituição e mesmas idades de ensaio, porém utilizando cimento tipo CII-F, percebe-se que cinza produzida gerou resultados próximos ou até mesmo superiores aos disponíveis na literatura (Tabelas 04 e 05).

Tabela 04 – Comparação entre resultados de resistência à compressão a 7 dias.

Substituição em volume (%)	Resistência à compressão (MPa)		
	Custódio <i>et. al</i>	MCC	MCE
10	25,7	31,7	35,0
20	28,4	29,0	29,6

Fonte: o autor.

Tabela 05 – Comparação entre resultados de resistência à compressão a 21 dias.

Substituição em volume (%)	Resistência à compressão (MPa)		
	Custódio <i>et. al</i>	MCC	MCE
10	42,4	41,4	42,7
20	45,0	40,2	38,0

Fonte: o autor.

3.6.1 Análise do ganho de resistência

Analisando a tabela 06, onde é apresentado o ganho de resistência das misturas com base nos resultados obtidos a 7 dias e a 21 dias, verifica-se que todas as composições apresentaram um ganho de resistência maior que o apresentado pela argamassa de referência.

Tabela 06 – Ganho de resistência das misturas.

Composição	Resistência à compressão (MPa)		Ganho de resistência (%)
	7 dias	21 dias	
REF	37,3 ($\pm 6,58$)*	43,5 ($\pm 3,64$)*	17
MCC-10	31,7 ($\pm 7,66$)*	41,4 ($\pm 1,61$)*	30
MCC-20	29,0 ($\pm 4,19$)*	40,2 ($\pm 2,45$)*	39
MCE-10	35,0 ($\pm 6,97$)*	42,7 ($\pm 4,88$)*	22
MCE-20	29,6 ($\pm 2,05$)*	38,0 ($\pm 1,66$)*	28

(*) - Desvio padrão das amostras.

Fonte: o autor.

O ganho de resistência maior por parte das misturas com CCA se dá pela atuação da reação pozolânica, a qual gera mais produtos de hidratação do que a mistura comum. Com base nestes dados percebe-se que a maiores idades a tendência é que as argamassas com CCA ultrapassem os valores de resistência da argamassa de referência, sendo necessário para tanto prazos maiores que 21 dias. Dessa

forma, pode-se verificar a importância da aplicação da CCA no que diz respeito à resistência dos materiais cimentícios.

3.7. ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE CONSUMO DE CIMENTO - *Bi*

Na tabela 07, estão apresentados os valores de *Bi* para cada composição. Verifica-se que todas as misturas com CCA consumiram menor quantidade de cimento por MPa em relação ao consumo apresentado pela argamassa de referência. Logo, o uso da CCA gera economia no consumo de cimento e, simultaneamente, confere às argamassas maior desempenho no que diz respeito ao ganho de resistência.

Tabela 07 – Índice de eficiência de consumo de cimento.

Mistura	Consumo (kg/m ³)	Resistência (MPa)	<i>Bi</i> (kg.m ⁻³ .MPa ⁻¹)
REF	560,0	43,5	12,9
MCC-10	504,0	41,4	12,2
MCC-20	448,0	40,2	11,1
MCE-10	504,0	42,7	11,8
MCE-20	448,0	38,0	11,8

Fonte: do autor.

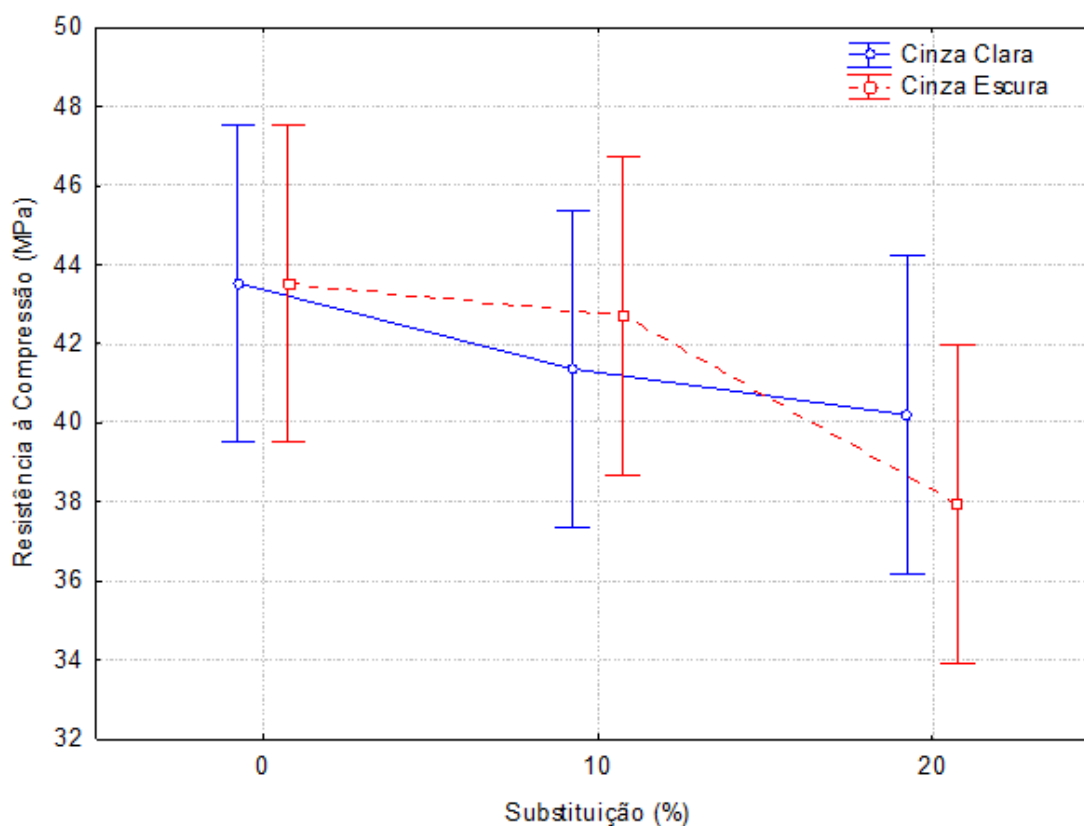
Ao reduzir o consumo de cimento, a CCA se apresenta como uma alternativa viável não apenas do ponto de vista técnico, mas também do ponto de vista econômico.

3.8. AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS

Por meio da análise estatística ANOVA, com aplicação do teste de Duncan, para uma confiabilidade de 95%, verifica-se, através da figura 06 e tabela 08 que o tipo de cinza utilizado produziu comportamentos equivalentes, sendo assim a coloração da cinza não produziu significância nos resultados finais.

Verifica-se também, por meio da análise da figura 06 e tabela 09 um comportamento equivalente entre as misturas, indicando que a variação do teor de substituição de cimento por CCA não foi significativa. Porém, os dados levam a uma tendência de divergência quando na adoção da cinza escura.

Figura 06 – Resistência obtida por tipo de cinza e teor de substituição.



Fonte: o autor.

Tabela 08 – Análise estatística ANOVA para tipo de cinza.

Efeitos	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Teste F	Valor de P
Cinza Clara	0,44	1	0,44	0,043	0,840
Cinza Escura	62,00	2	31,00	3,037	0,086
Erro (resíduo)	122,49	12	10,21		

Fonte: o autor.

Tabela 09 – Teste de Duncan para teor de substituição de CCA.

Composição	REF	MCC-10	MCC-20	REF	MCE-10	MCE-20
REF		0,456083	0,265408	1,000000	0,766849	0,076299
MCC-10	0,456083		0,662821	0,445064	0,618688	0,234198
MCC-20	0,265408	0,662821		0,258941	0,380058	0,402132
REF	1,000000	0,445064	0,258941		0,755016	0,073470
MCE-10	0,766849	0,618688	0,380058	0,755016		0,115593
MCE-20	0,076299	0,234198	0,402132	0,073470	0,115593	

Fonte: o autor.



4. CONCLUSÃO

No processo de ativação da CCA, os métodos adotados para queima e moagem se mostraram eficientes, uma vez que os resultados das análises de DRX apresentaram um material basicamente amorfo para ambas as cinzas e as mesmas puderam ser classificadas como pozolanas após análise do índice de atividade pozolânica.

A análise granulométrica mostrou que as cinzas produzidas possuem diâmetro médio superior ao do cimento utilizado, logo se verifica que a pozolana atuou de maneira química, uma vez que para que ocorra o efeito fíler as partículas de cinza devem ser menores que as do cimento.

O ganho de resistência das amostras mostrou que a presença da CCA conferiu resultados superiores aos da mistura de referência. Permitindo a possibilidade de que a maiores idades as misturas com CCA ultrapassem os valores de resistência da argamassa sem adição. Estes efeitos reforçam as teorias das propriedades pozolânicas da cinza de casca de arroz, pois essas reações são verificadas a longo prazo. Some-se aos benefícios, a economia de cimento gerada pela adoção de CCA, provada através da análise do índice de consumo de cimento, o qual mostra que maiores resistências podem ser alcançadas mesmo utilizando-se menores quantidades do material.

Com base na análise estatística ANOVA com ensaio de Duncan, verificou-se que, tanto a coloração da cinza quanto a variação do teor de substituição estudados geraram argamassas de comportamento equivalente quanto à resistência à compressão.

Uma vez que tecnicamente os resultados são positivos, analisa-se a utilização da CCA, no âmbito social. Os benefícios ecológicos são inúmeros, uma vez que se pode reduzir a deposição de CCA na natureza evitando a poluição de solos e aquíferos, além da redução da exploração de jazidas em busca de matéria prima para o cimento e diminuição do consumo de clínquer, o qual demanda uma elevada energia para sua produção.



Desta forma conclui-se que a cinza da casca de arroz ativada constitui um material viável para uso na construção civil, tendo em vista seus benefícios técnicos, econômicos e sustentáveis.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM Standard C311-07: **Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete**, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento — Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

CUSTÓDIO, Franklyn. O. *et al.* **Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas de Casca de Arroz**. In: IBRACON, 49, Bento Gonçalves, 2007. p. 1 - 12.

FERREIRA, Ângela A.; SILVEIRA, Adriana A.; MOLIN, Denise C. C. dal. **A Cinza da Casca de Arroz: Possibilidades de Utilização como insumo na produção de materiais de construção**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela, 1997. p. 1 - 6.



HERRMANN, T. D. *et al.* **Análise da Resistência e Microestrutura em Concretos com Substituição Parcial de Cimento por Microsílica da Cinza de Casca de Arroz.** In: IBRACON, 54, Maceió, 2012. p. 1 - 16.

PASSUELO, Alexandra. Ibracon (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** Cidade Universitária: Geraldo C. Isaia, 2005. 1579 p.

POUEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. 345 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SALES, Fernando Augusto *et al.* **Materiais cimentícios de engenharia fabricados com resíduos de vidro.** In: IBRACON, 53, 2011, Florianópolis, 2011. p. 1 - 16.

SANTOS, Silvia. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** 2006. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (Org.). **Produção Mensal.** Disponível em: <<http://www.snic.org.br/numeros/numeros.asp?path=Producaoomensal2013.gif>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

TIBONI, Rafaelle. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento portland.** 2007. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

WEBER, Leonita. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza**



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -
como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil



de casca de arroz. 2001. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.