



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

APLICAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E CINZA VOLANTE NO CONCRETO VISANDO O DESENVOLVIMENTO DE PAVIMENTOS MAIS RESISTENTES E SUSTENTÁVEIS

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Dominique Wagner¹; Lucas Eduardo Dornelles¹;

RESUMO

Ao longo dos anos, muitas pesquisas passaram a ser realizadas devido a crescente busca por fonte de recursos naturais não renováveis em pavimentos rodoviários. Diante deste panorama, destaca-se o aproveitamento de resíduos da produção agroindustrial, em especial da produção de arroz. Nesta pesquisa é avaliado o comportamento mecânico do pavimento de concreto com a adição de cinza de casca de arroz (CCA) e cinza volante (CV). Para este estudo, realizou-se a análise de 40 amostras, sendo essas classificadas como REF (sem adição de material), amostras com adição de 7,5% de CCA, 15% de CCA, 7,5% de CV e 15% de CV. Foram realizados ensaios de compressão simples e tração na flexão, para a obtenção da resistência, além do módulo de elasticidade, a fim de se obter qual valor de tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente. Ao final dos ensaios, verificou-se que as amostras com adição de 7,5% de CCA obtiveram maiores médias na resistência à compressão simples, chegando a 46,8 MPa e na tração na flexão, com 4,85 MPa. Já a média do módulo de elasticidade que apresentou melhor resultado foi a amostra com adição de 7,5% de CV, no valor de 53 GPa. A partir dos resultados, e com as comparações efetuadas na literatura, concluiu-se que a adição de cinza de casca de arroz e cinza volante no concreto para pavimentos, em relação à resistência, resultou em misturas satisfatórias e hábeis de serem aplicadas na prática, uma vez que se mostraram mais elevadas que o mínimo exigido pela norma.

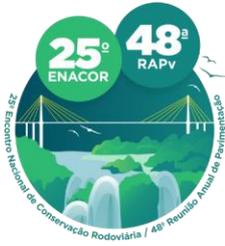
PALAVRAS-CHAVE: Adição. Cinza de casca de arroz. Cinza volante. Pavimento de concreto. Resíduos.

ABSTRACT

Over the years, many researches have been carried out due to the growing search for non-renewable natural resources in road pavements. In this scenario, the use of waste from agro-industrial production stands out, especially from rice production. In this research, the mechanical behavior of the concrete pavement is evaluated with the addition of rice husk ash (CCA) and fly ash (CV). For this study, 40 samples were analyzed, which were classified as REF (without addition of material), samples with the addition of 7.5% CCA, 15% CCA, 7.5% CV and 15% of CV. Axial compression and flexural tensile tests were carried out to obtain the strength, in addition to the modulus of elasticity, in order to obtain the value of stress that the material supports without permanent deformation. From the results, it was verified that the samples with the addition of 7.5% of CCA obtained higher averages in the axial compression strength, reaching 46.8 MPa and in the flexural tensile strength, with 4.85 MPa. The average of the modulus of elasticity that presented the best result was the sample with the addition of 7.5% of CV, in the value of 53 GPa. From the results, and with the comparisons made in the literature, it was concluded that the addition of rice husk ash and fly ash in the concrete pavement, in terms of strength, resulted in satisfactory mixtures to be applied in practice, since they were higher than the minimum required by the standard.

KEY WORDS: Addition. Rice Husk Ash. Fly Ash. Concrete pavements. Waste

¹ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, domiwagner2@gmail.com; ldornelles@san.uri.br



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

Em função do alto consumo de recursos não renováveis em obras rodoviárias, muitas pesquisas têm sido realizadas de modo a se propor a utilização de novos materiais em camadas de pavimentos. Além da incorporação de subprodutos industriais, que seriam descartados ou depositados em aterros, busca-se também aproveitar resíduos gerados por outras diversas atividades de consumo humano. Assim, é possível diminuir o impacto causado no meio ambiente, otimizar os custos da execução da obra e diminuir o consumo de materiais não renováveis.

Neste contexto, destaca-se o aproveitamento de resíduos da produção agroindustrial, em especial da produção de arroz, importante atividade agrícola do estado do Rio Grande do Sul. Tal produção causa preocupações, uma vez que gera resíduos, dentre eles a casca de arroz, cuja disposição ou incineração de maneira incorreta pode provocar contaminação de grandes áreas e poluição nos leitos dos rios. A fim de reduzir o impacto ambiental e melhorar a destinação final desses resíduos, este estudo propõe a incorporação da cinza obtida através da queima da casca de arroz, na forma de adição mineral ao cimento utilizado em pavimentos de concreto.

Por outro lado, a cinza volante é um resíduo gerado pelo processo de combustão nas usinas termoeletricas. O seu emprego como adição ao concreto diminui o consumo de cimento que, na sua produção, emite gás carbônico na atmosfera. Diversos estudos comprovam que a adição de cinza volante é uma alternativa sustentável e econômica em compostos cimentícios.

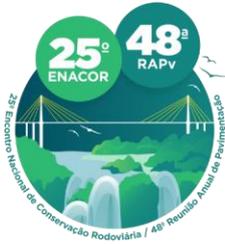
Balbo (2005) ressalta que os pavimentos de concreto são uma boa opção, uma vez que desenvolvem uma maior longevidade e uma manutenção de menor custo comparado com outros pavimentos. Ademais, são considerados uma boa escolha para a utilização em rodovias com tráfego pesado, vias urbanas expressas e corredores de ônibus.

Uma das propriedades de maior destaque do concreto é sua elevada resistência à compressão. Por outro lado, o material apresenta limitada resistência à tração. Visando a obtenção de concretos com maior resistência e menor desgaste superficial, o uso de materiais pozolânicos, como a cinza de casca de arroz e a cinza volante, têm o potencial de melhorar a matriz do concreto e sua durabilidade.

De acordo com Sandhu e Siddique (2017), a cinza de casca de arroz (CCA) quando misturada com cimento origina um material cimentício complementar mais ecológico e mais versátil para o concreto, visto que reduz a absorção de água, aprimora a resistência a cloreto e sulfato, reduz custos e danos ambientais, por meio da reutilização de resíduos e redução das emissões de dióxido de carbono. Além disso, segundo Givi (2010), o concreto com cimento com CCA possui maior durabilidade, reduz o ganho de calor através das paredes dos edifícios e reduz o potencial de eflorescência.

Já nos concretos com adição de cinza volante (CV), apesar da resistência do material em curto prazo ser pequena (Meyer, 2009), é possível ter resistências semelhantes ou até superiores às do concreto convencional, em idades avançadas (Reis, 2009).

Assim, este trabalho visa avaliar o efeito da adição de cinza de casca de arroz e cinza volante no comportamento mecânico de concretos para pavimentos. Desta forma, na busca de um desenvolvimento de práticas e materiais mais sustentáveis, a utilização de cinza de casca de arroz e cinza volante pode ser uma alternativa viável para diversas obras de infraestrutura, especialmente pavimentos de concreto.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, os materiais utilizados foram o cimento Portland, os agregados miúdo e graúdo, a cinza de casca de arroz e a cinza volante.

O cimento escolhido foi o CP V - ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial). O produto cumpre com as exigências da NBR 16697 (ABNT, 2018). O agregado miúdo utilizado foi uma areia média natural e o agregado graúdo empregado foi a brita 1 (9,5 a 19 mm). Esses materiais são provenientes de uma pedreira de Santa Maria/RS e cumprem aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2005).

A cinza de casca de arroz (CCA) empregada no concreto foi fornecida por uma indústria de Santa Maria/RS. A cinza volante (CV) é originária da usina termoeletrica de Candiota/RS. É importante salientar que os materiais são homogêneos, garantindo que não houvesse nenhuma alteração na composição das misturas. Optou-se pelos teores de 7,5% e 15% para as cinzas a partir de análises feitas em outras pesquisas na mesma área (Modesto, 2014; Padilha, 2017; Bezerra et al, 2011).

O traço proposto para a análise dos corpos de prova foi obtido através de pesquisas e adaptado pelo LETCC (Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Construção Civil), da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo/RS, sendo de 1: 2,06: 2,94 (cimento: areia: brita). A relação água/cimento foi fixada em 0,50, porém ajustes foram realizados de acordo com as moldagens, sendo necessário fazer o uso do aditivo superplastificante Tec-Flow 8000.

De acordo com os objetivos propostos, foi desenvolvido um programa experimental com os materiais a serem empregados, sua obtenção, os ensaios propostos pelas respectivas normas brasileiras, a definição dos traços e o tempo de cura para as amostras.

A Figura 1 mostra um fluxograma que apresenta a ordem dos procedimentos a serem realizados.

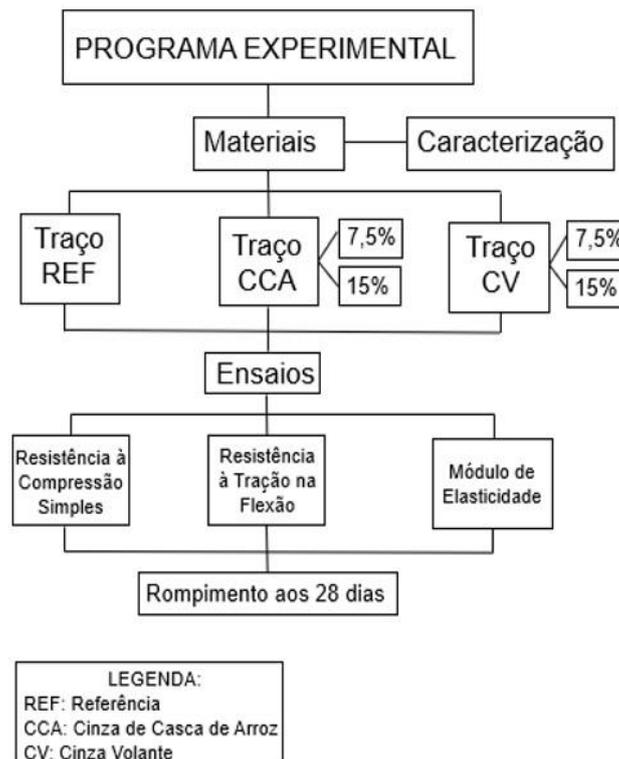
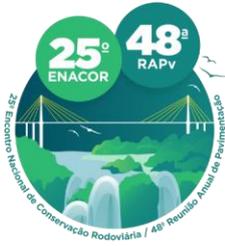


Figura 1: Programa experimental do estudo (AUTORA, 2023).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Moldagem dos corpos de prova

A preparação e a mistura dos materiais para execução dos corpos de prova seguiram as diretrizes da normativa DNIT 049/2004. Cada traço apresentou 100 kg por mistura, assim sendo possível moldar cinco corpos de prova cilíndricos e três prismáticos para cada traço, totalizando quarenta amostras. Primeiramente, todos os materiais foram devidamente pesados conforme as quantidades necessárias e após foram colocados na betoneira seguindo a ordem: brita, cimento e areia, com adição de água aos poucos, conforme fosse preciso. Ao adicionar a quantidade de água proposta pelo fator a/c de 0,5, foi avaliada a necessidade de aditivo e adicionado aos poucos quando necessário. A mistura foi concluída quando atingiu a consistência desejada.

Optou-se realizar a concretagem de uma fôrma por vez, sendo que, ao colocar a mistura na fôrma, foi usado o vibrador para evitar espaços vazios ou excesso de água. Antes da concretagem as fôrmas foram untadas com óleo para facilitar a desmoldagem. Os corpos de prova foram desmoldados no dia seguinte e levados para caixas d'água em temperatura ambiente, onde ficaram totalmente submersos durante os 28 dias até a realização dos ensaios.

Ainda, realizou-se o teste de Slump de modo a se avaliar a trabalhabilidade do concreto, que está relacionada a facilidade de moldar o concreto nas fôrmas. A norma NBR 16889 (ABNT, 2020) indica que o abatimento para pavimentos de concreto deve ser de +/- 2 cm, resultado obtido durante a moldagem.

Ensaio de compressão simples

O ensaio de compressão simples foi realizado conforme descreve a NBR 5739 (ABNT, 2018). Os corpos de prova (CPs) foram moldados em moldes cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, na quantidade de 3 CPs para cada traço, a fim de se obter a média entre eles. O equipamento utilizado foi a prensa EMIC SSH300, mostrada na Figura 2, com capacidade de 2000 kN, no Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Construção Civil (LETCC), da URI – Santo Ângelo. Já a figura 3 mostra o corpo de prova antes e depois do rompimento.



Figura 2: Prensa EMIC SSH300 (AUTORA, 2021).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 3: Corpo de prova antes e depois do rompimento. (AUTORA, 2021).

Ensaio de tração na flexão

Para a análise da resistência do concreto à tração na flexão foi seguida a NBR 7222 (ABNT, 2011), onde os corpos de prova têm dimensões estabelecidas pela normativa, sendo estas 50cmx15cmx15cm (comprimento, largura e altura). Esta norma determina a tração na flexão em corpos de prova prismáticos, moldados e curados, o ensaio consiste em aplicar carregamento nos trechos do vão, com a mesma prensa citada no item anterior. A Figura 4 ilustra a realização do ensaio.

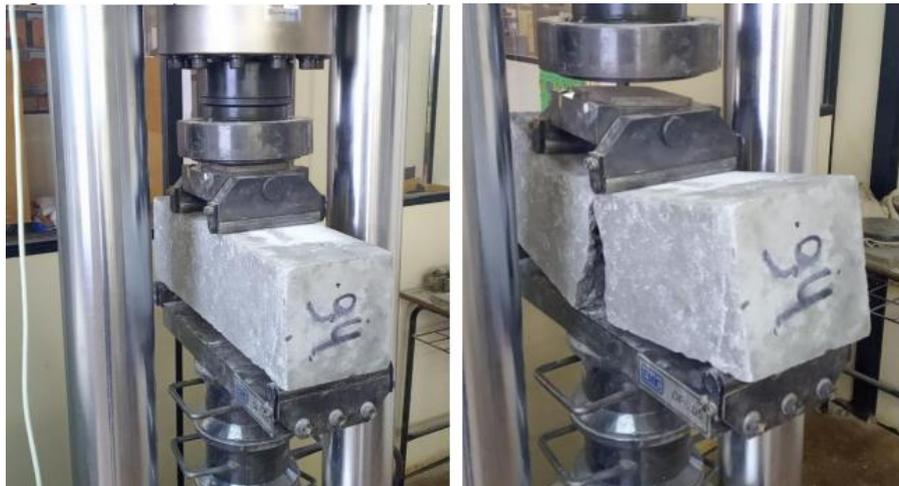
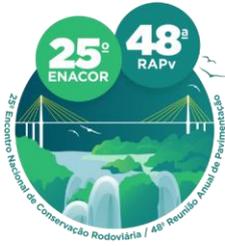


Figura 4: Corpo de prova no ensaio de tração na flexão. (AUTORA, 2021).

Módulo de elasticidade

A realização do ensaio do Módulo de Elasticidade seguiu a NBR 8522 (ABNT, 2017), com duas amostras para cada traço. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, que foram ensaiados através de extensômetros eletrônicos que calculam automaticamente a deformação do corpo de prova. A Figura 5 ilustra o ensaio.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 5: Corpo de prova no ensaio de módulo de elasticidade (AUTORA, 2021).

RESULTADOS E ANÁLISES

Após a realização dos ensaios, os resultados obtidos foram comparados a fim de se analisar quais materiais apresentaram resultados mais satisfatórios, em relação as amostras de referência. Para isso, foram elaborados gráficos comparativos de acordo com cada ensaio realizado: compressão simples, tração na flexão e módulo de elasticidade.

As amostras foram moldadas da mesma maneira, seguindo o procedimento de forma igualitária. O traço utilizado não foi alterado, o fator a/c foi mantido e a cura foi realizada no mesmo local, com a mesma quantidade de dias. Desta forma, não houve influência de nenhum fator externo que pudesse alterar os resultados, podendo assim, considerá-los seguros e confiáveis.

Resistência à compressão simples

A Figura 6 mostra o resultado médio obtido para as diferentes amostras no ensaio de resistência à compressão simples. A amostra que apresentou o melhor resultado foi com adição de 7,5% de CCA, chegando a uma resistência de 46,8 MPa. Já a amostra com adição de 7,5% de CV mostrou-se abaixo da amostra REF e com somente 36 MPa de resistência.

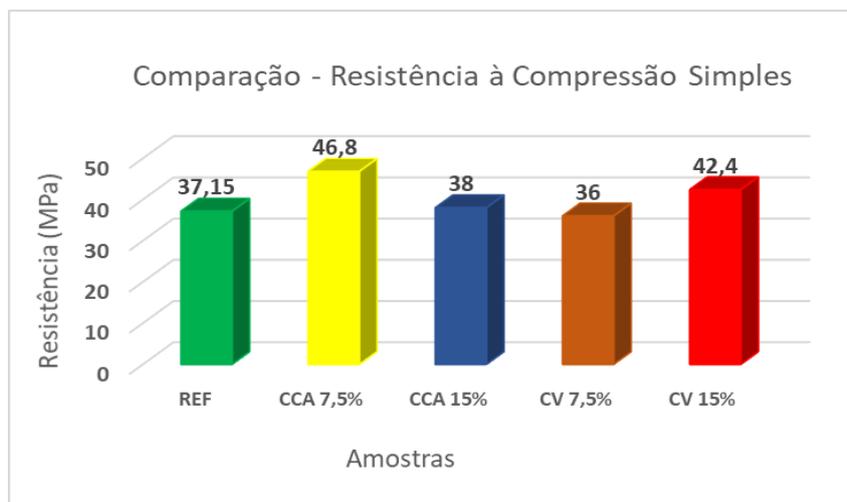


Figura 6: Resultados de resistência à compressão simples.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Comparando tais resultados das amostras com adição de cinza de casca de arroz com o estudo de Hoppe *et al* (2005), é possível identificar que os teores utilizados pelos autores obtiveram acréscimos mais elevados nos valores de resistência a compressão, chegando a 26% de acréscimo na adição de 10% de CCA. Isso pode ser justificado devido a vários fatores, como diferentes formas de obtenção dos materiais utilizados, características climáticas da região onde a moldagem foi realizada, traços, local e tempo de cura.

Mesmo assim, a adição de 7,5% de cinza de casca de arroz e a adição de 15% de cinza volante apresentaram resultado bem satisfatórios, elevando a resistência da amostra referência em mais de 10%. Ainda, é possível confirmar os resultados obtidos por Hassan, Cabrera e Maliehe (2000) e Wang (2018), que afirmam que as alterações de até 15% de adição de CV ao concreto se mostram eficazes na resistência aos 28 dias.

Resistência à tração na flexão

A Figura 7 apresenta a comparação das médias obtidas a partir do ensaio de resistência à tração na flexão. A amostra de REF apresentou a resistência mais elevada, de 5,06 MPa, porém as amostras com adição de 7,5% de CCA e 15% de CV, ultrapassaram o valor mínimo exigido pela norma, de 4,5 MPa. Seus resultados foram de 4,85 MPa e 4,54 MPa, respectivamente. Podemos afirmar então, que essas resistências foram satisfatórias e podem ser aplicadas em pavimentos de concreto.

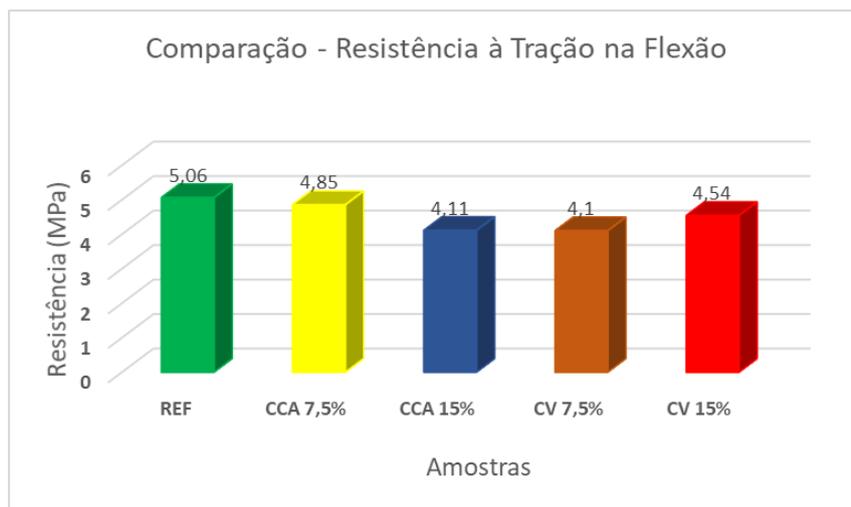
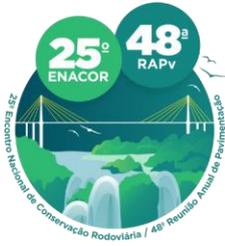


Figura 7: Resultados de resistência à tração na flexão.

Módulo de elasticidade

A Figura 8 mostra a comparação das médias obtidas nas diferentes amostras analisadas no ensaio de módulo de elasticidade, apresentando a tensão máxima que o concreto pode sofrer sem deformar. A amostra que apresentou o melhor resultado foi com adição de 7,5% de CV, chegando a 53 GPa. Já a amostra com adição de 15% de CCA mostrou-se abaixo da amostra REF e com somente 44,69 GPa.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

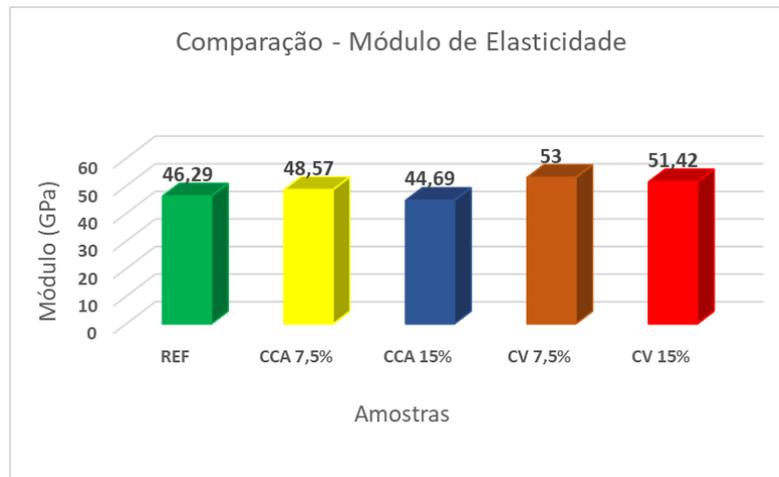


Figura 8: Resultados de resistência à tração na flexão.

CONCLUSÕES

Após a realização do estudo, verificou-se a importância do tema, visto que a adição de resíduos ao concreto apresentou desempenho satisfatório quanto à resistência e módulo de elasticidade. Sabe-se que a cinza de casca de arroz e a cinza volante não possuem um local para destinação, sendo descartadas no meio ambiente e desta forma, causando diversos impactos para a sociedade e o meio ambiente. Nesse contexto, a adição de resíduos se mostra uma ótima alternativa.

Dentre os materiais avaliados, verificou-se que as amostras com adição de 7,5% de CCA obtiveram maiores médias na resistência à compressão simples (46,8 MPa) e na tração na flexão (4,85 MPa). Já a média do módulo de elasticidade que apresentou melhor resultado foram para as amostras com adição de 7,5% de CV, no valor de 53 GPa.

Em relação ao emprego das cinzas ao pavimento de concreto, constatou-se que é uma alternativa eficaz, pois resultou em uma elevação na resistência do concreto. Já do ponto de vista econômico, como as cinzas utilizadas nas adições são resíduos sem destinação, o uso delas no pavimento se torna excelente, contribuindo tanto com a qualidade do pavimento, quanto com a redução dos custos pela redução do consumo de cimento.

Por fim, considerando os resultados obtidos é possível concluir que a adição das cinzas é uma excelente alternativa para o desenvolvimento de concretos para pavimentos mais resistentes e ao mesmo tempo mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

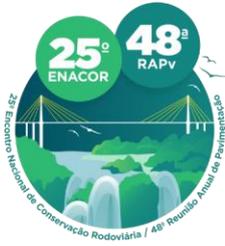
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Concreto Portland -Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



BALBO, J. T. Pavimentos de concreto viários e pisos industriais de concreto. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ibracon, 2005. p. 1297-1332. v. 2.

BEZERRA, Izabelle M. T. et al. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.6, p.639-645, 2011.

GIVI, A. N. Contribution of rice husk ash to the properties of mortar and concrete: A review. Journal of American Science. 2010.

HASSAN, K.E., CABRERA, J.G., MALIEHE, R.S. The effect of mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. Cem. Concr. Compos., v. 22, n. 4, pp. 267–271, 2000.

HOPPE T. F.; GASTALDINI A. L. G.; ISAIA G. C.; MISSAU F.; SACIOTO A. P. Influência do teor de cinza de casca de arroz na resistividade elétrica do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, Olinda, 2005.

MEYER, C. The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites. v. 31, n. 8, p. 601-605, 2009.

MODESTO, R B. Estudo Mineralógico de Carvão e Cinzas Volantes de Usinas Termelétricas: Prevenção de Depósitos de Recuperação. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. 9. Porto Alegre, 2014.

PADILHA, Stael Amaral. Potencialidade do uso de Cinza de Casca de Arroz em Blocos de Concreto de Alvenaria Estrutural: Segundo NBR 6136. 2017. 123f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

REIS, Rui Jorge Alves da Cunha. Betões Eco-Eficientes com Cinzas E Metacaulino. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia. Braga. 2009.

SANDHU, R. K.; SIDDIQUE, R. Influence of rice husk ash (RHA) on the properties of self-compacting concrete: A review. Construction and Building Materials, 153, 2017.

WANG, X.Y. Analysis of hydration and strength optimization of cement-fly ashlimestone ternary blended concrete. Constr. Build. Mater., v. 166, pp. 130-140, 2018.