

# Reaproveitamento de cinza de casca de arroz e PP- pós consumo: avaliação da incorporação dos resíduos nas propriedades mecânicas do concreto

Priscila Marques Correa<sup>1</sup>, Diego Guimarães<sup>1</sup>, Ruth M. Campomanes Santana<sup>1</sup>, Angela Gaio Graeff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

E-mails: priengenheira@gmail.com, dguimaraes81@yahoo.com.br, ruth.santana@ufrgs.br, angel.graeff@gmail.com

Submetido em: 1 junho 2020. Aceito: 2 setembro 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.63.232-238>

## Resumo

A incorporação da cinza de casca de arroz (CCA) está se popularizando devido à crescente conscientização sobre os impactos ambientais resultantes da alta produção de cimento Portland comum. É a característica deste resíduo apresentar alto teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ). Uma outra problemática é a grande produção de embalagens alimentícias de polipropileno (PP) que são descartadas após o consumo sem o destino adequado, sendo que estes materiais levam centenas de anos para se degradar. Este artigo analisa as potencialidades da substituição em diferentes teores de cimento pela CCA e da areia pelo PP para a produção de um concreto sustentável. As propriedades mecânicas do concreto são estudadas como parte deste trabalho e o traço foi calculado para produzir um concreto de resistência mecânica de 40MPa para ser utilizado como referência para os demais traços. Os ensaios de resistência à compressão axial, diametral e módulo de elasticidade foi avaliado aos 28 e 90 dias de cura úmida. O uso destes resíduos apresentaram resultados semelhantes ao do concreto de referência, para todas as propriedades avaliadas, podendo-se concluir que com o estudo de traços de diferentes teores destes resíduos pode-se atingir um concreto com bom desempenho mecânico e reduzindo o consumo de cimento e da areia, que é uma matéria prima não renovável.

**Palavras-chave:** Rejeito. Reciclagem. Sustentabilidade.

## Abstract

**Reuse of rice husk ash and PP - post consumption: evaluation of the incorporation of residues in the mechanical properties of concrete**

The incorporation of rice husk ash (RHA) is becoming popular due to the growing awareness of the environmental impacts resulting from the high production of common Portland cement. It is the characteristic of this residue to have a high silica content ( $\text{SiO}_2$ ). Another problem is the large production of PP food packaging that is discarded after consumption without the proper destination, since these materials take hundreds of years to degrade. This article analyzes the potential of substituting different grades of cement for RHA and sand for PP for the production of sustainable concrete. The mechanical properties of the concrete are studied as part of this work and the mix was calculated to produce a 40MPa mechanical strength concrete to be used as a reference for the other mixes. The tests of resistance to axial compression, diametral and modulus of elasticity were evaluated at 28 and 90 days of cure. The use of these residues presented results similar to the reference concrete, for all the evaluated properties, and it can be concluded that with the study of traces of different contents of these residues, concrete can be achieved with good mechanical performance and reducing cement consumption and sand, which is a non-renewable raw material.

**Keywords:** Reject. Recycling. Sustainability.



## Introdução

O meio ambiente vem sofrendo alterações devido à intervenção do homem. Os recursos naturais vêm se esgotando, pois desde os primórdios são as matérias-primas usadas pelos seres humanos, e devido a isso, há uma necessidade de encontrar alternativas para reduzir o impacto ambiental ocasionado pela ação do homem. A construção civil é um dos setores que mais preocupa, devido ao elevado consumo de matérias-primas naturais, como é o caso De acordo com CDIAC (2008) da utilização da areia. Outra preocupação é o elevado consumo de cimento na produção do concreto. A produção do cimento gera um elevado nível de  $\text{CO}_2$  é liberado na atmosfera. Em 2013, estima-se que a emissão de  $\text{CO}_2$  para a produção de cimento Brasil foi de 610 kg  $\text{CO}_2$ /ton. cimento. Com a demanda de 3,6 bilhões de ton/ano o consumo de cimento deverá aumentar 2,5 vezes até 2050.

A economia do estado do Rio Grande do Sul (RS) é vinculada à atividades agrícolas, sendo produzidos grandes volumes de arroz. De acordo com GI (2018) em 2018 o RS produziu 7,3 milhões de toneladas de arroz e, como consequência, gerando uma elevada quantidade de resíduos provenientes da atividade de processamento e beneficiamento, como as cinzas resultantes da queima da casca. Estes resíduos impactam negativamente o meio ambiente quando descartados inadequadamente.

No estado do RS os principais rios que são utilizados para a extração de recursos minerais, como a areia são os rios: Caí, Guaíba e Jacuí. Atualmente no rio Guaíba está proibida a extração, e nos demais rios há ressalvas quanto à profundidade que se pode ir para lavar a areia e à distância que se deve manter em relação às margens do rio (Ministério de minas e energias, 2009).

Como alternativa para evitar o excesso de extração de areia das encostas dos rios, estão sendo pesquisada, em substituição parcial da areia, a utilização de diferentes teores de resíduos poliméricos, como por exemplo: Polipropileno (PP), Politereftalato de etileno (PET). Em pesquisas onde foram adicionados polímeros como parte do agregado miúdo para a produção do concreto, pode-se verificar que a substituição da areia por um polímero com a metade da massa específica do agregado original proporcionou valores menores de resistência mecânica (compressão axial) quando comparado com o referencial (CATOIA, 2012).

Devido a estas problemáticas, o presente trabalho tem como intuito a substituição parcial em diferentes teores de cimento pela cinza de casca de arroz (CCA) e da areia pelo Polipropileno (PP) provindo de embalagens pós consumo.

## Material e Métodos

### Materiais

**Polipropileno pós-consumo e seu beneficiamento:** O polipropileno (PP) pós-consumo utilizado na pesquisa foi provindo de uma unidade de triagem U.T. COOPERTINGA da cidade de Porto Alegre- RS, estes eram potes de sorvete que foram beneficiados para a utilização como agregado miúdo na produção do concreto. Os potes após a coleta foram lavados com água para remoção de impurezas impregnadas nas paredes da embalagem e posteriormente foi seca a temperatura ambiente e posteriormente sendo moídas em um moinho de facas. O PP apresenta uma granulometria de diâmetro máximo de 4 mm e massa específica de 0,95 g/cm<sup>3</sup>.

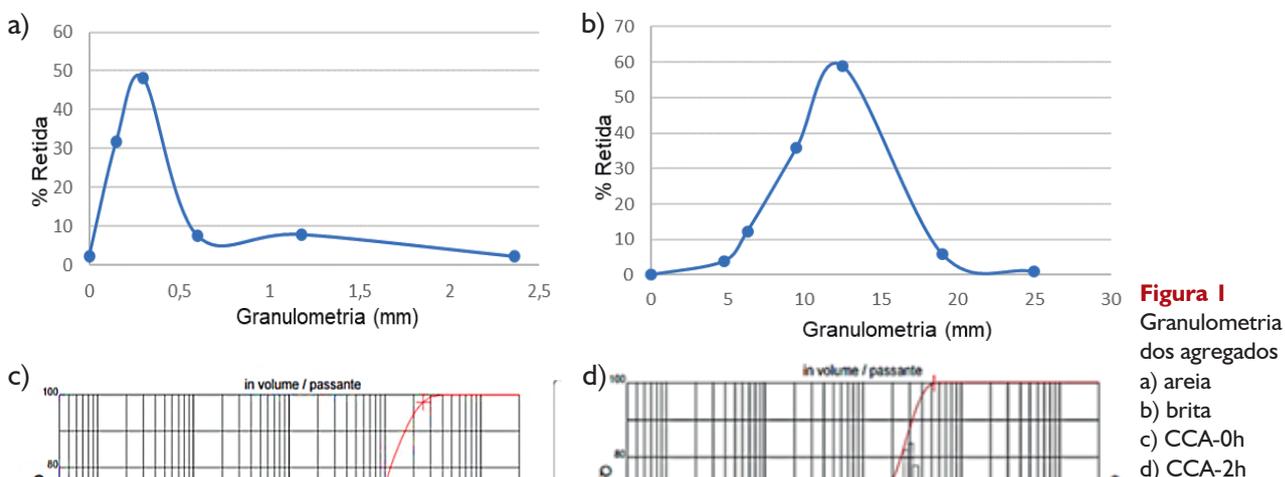
**Cimento:** Neste estudo foi utilizado o cimento CPV-ARI da marca Votoran, este foi escolhido por apresentar menos adições quando comparado a outros cimentos presentes no mercado. Possui como característica a alta resistência inicial aliado com um alto calor de hidratação. Como características físicas apresenta uma massa específica de 3,07 g/cm<sup>3</sup>, área superficial de 4,58 g/cm<sup>2</sup>.

**Água de amassamento:** A água de amassamento utilizada nesta pesquisa para a produção do concreto é proveniente da rede de distribuição de água da cidade de Porto Alegre-RS.

**Agregado miúdo:** A areia do tipo média utilizada na pesquisa é de origem natural quartzosa e sua composição granulométrica é apresentada na Figura 1a. Apresenta um módulo de finura de 1,97, massa específica 2,38 g/cm<sup>3</sup> e dimensão máxima característica de 2,35 mm.

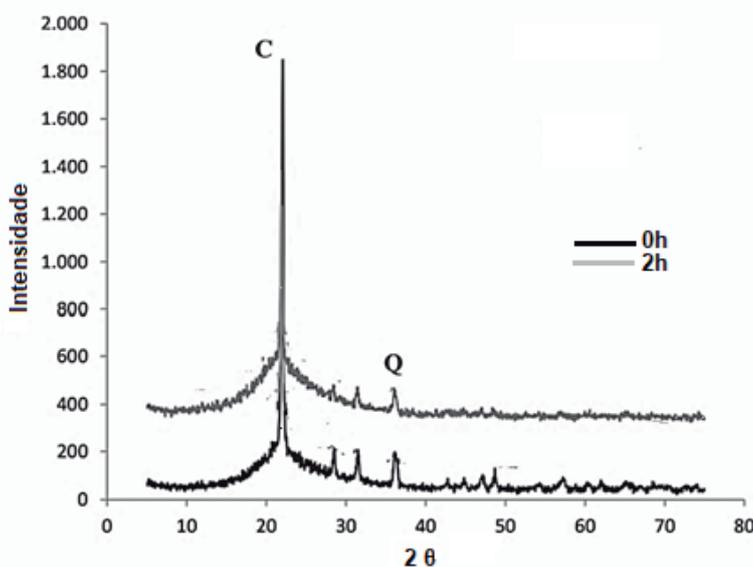
**Agregado graúdo:** A brita (agregado graúdo) utilizada para a produção do concreto é de origem basáltica e sua composição granulométrica se apresenta na Figura 1b. Apresenta um módulo de finura de 7,01, massa específica 2,9 g/cm<sup>3</sup> e dimensão máxima característica de 25 mm.

Cinzas da casca de arroz (CCA): A cinza de casca de arroz (CCA) é obtida através da queima sem controle da temperatura da casca de arroz, de maneira instantânea em fornalhas. A CCA usada neste estudo foi fornecida pela cooperativa CAAL. As cinzas tiveram sua granulometria diminuída através da utilização de um moinho de bolas que apresentava as seguintes dimensões: 310 mm de altura e 275 mm de diâmetro. No moinho foram adicionadas 70 bolas com 38 mm de diâmetro cada. A capacidade máxima do moinho é de 1 kg de CCA, sem e com moagem (2h) (Figura 1c e 1d), cujo diâmetro máximo são respectivamente 73,83  $\mu\text{m}$  e 23,21  $\mu\text{m}$ . A análise de distribuição do tamanho de partícula foi realizada por difração a laser em um equipamento do modelo CILAS 1180.



**Figura 1**  
Granulometria dos agregados  
a) areia  
b) brita  
c) CCA-0h  
d) CCA-2h

No difratograma (Figura 2) pode-se observar a existência de uma composição mineralógica pelas fases: Quartzo (Q) e Cristobalita (C). A presença de uma região alargada para o difratograma (0h) em torno de  $2\theta = 22^\circ$  corresponde à fração amorfa da cinza da casca de arroz -  $\text{SiO}_2$  amorfo. De acordo com Noaman et al. (2018) a sílica contida nas cinzas sem moagem (0h) possui frações cristalinas e amorfas. Para o difratograma das cinzas moídas, observa-se um estreitamento do pico da cristobalita quando comparado com o resíduo sem moagem (0h), demonstrando que a sílica cristalina das amostras moídas está presente em uma menor proporção.



**Figura 2**  
DRX das amostras de cinza de casca de arroz (CCA)

## Metodologia

### Dosagem do concreto referência

Foi empregado um traço de referência de 40MPa, usado como base comparativa para verificar a influência do PP e da CCA no concreto. O concreto foi dosado pelo método EPUSP/ ITP e verificada a sua resistência à compressão axial aos 28 e 90 dias de cura.

A composição do traço em base a proporção cimento: areia: brita, e a relação água cimento (a/c), é apresentada na Tabela I.

**Tabela I** - Traços de referência usados neste estudo

Proporção	Traço referência 40MPa
Cimento: areia: brita	1:1,62:2,89
a/c	0,43

Os traços de referência foram concretados conforme a norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Esses concretos foram moldados em moldes (10x20) cm, e após 24h foram desmoldados e acondicionados em recipientes com água e cal para a cura. Após o término da moldagem dos corpos de prova, esses eram cobertos com sacos plásticos para que não houvesse contato com umidade externa, onde permaneciam por 24 horas, conforme. Depois do período, eram desmoldados e colocados em câmara úmida até a data do ensaio. Os intervalos dos teores de substituições de cimento por CCA em massa foi de (0 a 40%), e para o PP teores de substituições de (0 a 20%) de areia por PP em volume.

### Resistência à compressão axial

Os CP's foram ensaiados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), nas idades definidas no programa experimental em uma prensa Shimadzu, com capacidade para 200 kN. Os (corpos de provas) CPs foram retificados, para que houvesse uma regularização das superfícies para a aplicação da carga. Os ensaios foram realizados em triplicata para cada traço.

### Resistência à compressão diametral

A resistência por compressão diametral foi executada conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011). O ensaio foi realizado em triplicata para cada traço. A prensa computadorizada utilizada é da marca Shimadzu de 200kN.

#### Módulo de elasticidade

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade do concreto com adições foi realizado conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008). O ensaio foi realizado considerando a aplicação de carga até 30% da resistência última, com uma velocidade de carga controlada de 0,45 MPa/min, no qual se afere os deslocamentos verticais dos CP's com auxílio de LVDTs (Transformador diferencial variável linear).

## Resultados e Discussões

A resistência à compressão axial simples (RCS) é uma característica importante na avaliação do concreto estrutural, pois está diretamente relacionado com a pasta do cimento endurecida, fornecendo um indicativo da qualidade do concreto. Essa propriedade é muito usual em projetos estruturais, sendo o parâmetro mais utilizado, pois relaciona a capacidade do material em resistir a esforços sem ocorrer a falha.

Na Figura 3a é apresentado os resultados da resistência à compressão aos 28 e 90 dias de cura, onde foi analisado os resultados e gerados gráficos para uma melhor comparação. É possível observar que a maioria dos corpos de prova aos 90 dias de cura alcançaram a resistência de 40 MPa, com exceção aos traços PP/CCA de: (10%, 0%) e (17,07%, 5,85%), e entre esses, sendo o segundo com valor superior ao primeiro. O traço PP/ CCA de: (2,92%, 34,14%) foi o traço que maior apresentou resistência (58,4 MPa).

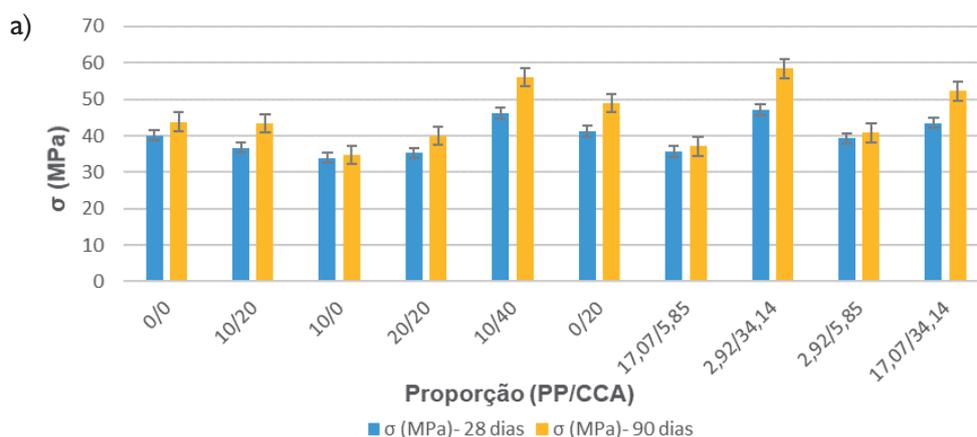
Madandoust (2011) e Diamond (2004) avaliaram a influência da CCA na resistência à compressão axial. Os autores observaram que a curto prazo, o aumento da resistência do concreto com CCA é menor que a referência. No entanto, a longo prazo, os resultados indicaram maior atividade pozolânica no concreto com CCA. Em 3 dias de cura a força compressiva era de 65% do concreto convencional, e esse valor aumentou para 96% em 90 dias e 98% aos 180 dias. Isso sugere que as avaliações devem ser realizadas acima de 90 dias de cura. E isso ocorre devido a absorção de água tardia pela CCA que conseqüentemente gera uma hidratação lenta, onde aos poucos essa água é liberada ocorrendo a hidratação e favorecendo o aumento da resistência à compressão aos 90 dias (VAN *et al.*, 2011).

Na Figura 3b pode ser visualizado o resultado obtido para a resistência à tração por compressão diametral (RCD) do traço I. Com base nos resultados, constatou-se que a adição de PP e CCA influenciaram na resistência à tração diametral, os traços com maiores teores de PP apresentaram uma resistência menor quando ao comparado ao material referência. A substituição da CCA e PP pelo cimento e a areia, respectivamente, mostrou alterar de forma significativa os resultados. Percebe-se que os valores de resistência à tração por compressão diametral dos traços ficaram na sua maioria muito próximos, apenas tendo uma redução de 3,3% no traço PP/CCA (17,07%-5,85%). Ainda é possível observar que a resistência tende a aumentar com o aumento da idade, sendo mais notório esse aumento para os traços com um maior teor de CCA.

Para os traços com maiores teores de CCA (2,92/34,14) e (10/40) apresentaram elevações dos valores obtidos ao incorporar o resíduo, independentemente da idade. E isso ocorre devido ao efeito micro filler juntamente com as reações pozolânicas das CCA's descobriram que as partículas mais finas de CCA mostram uma maior concentração pozolânica. AbuNoaman *et al.* (2019) relataram que a partícula fina da CCA mostra maior atividade e força pozolânica quando usado parcialmente com cimento. O concreto fornece mudanças micro estruturais notáveis devido à sua ação pozolânica e filler da CCA.

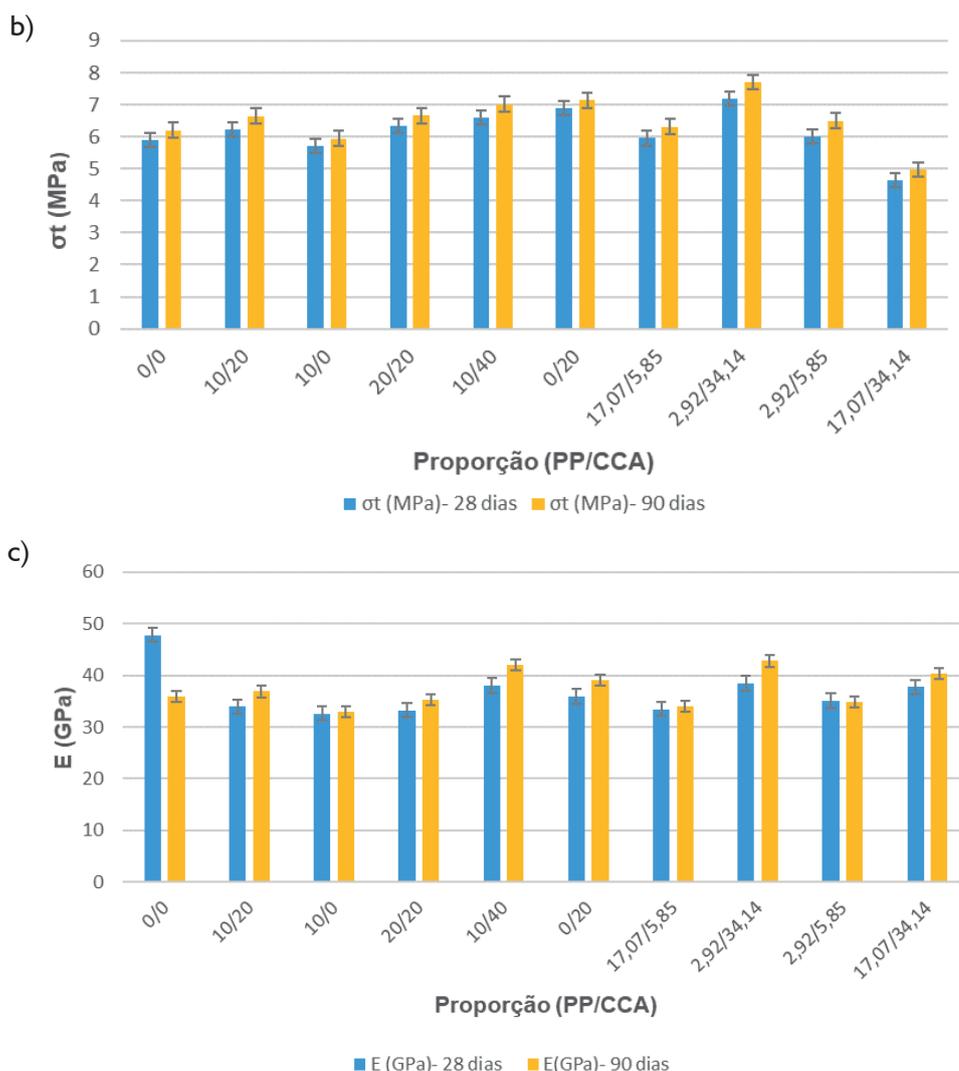
Na Figura 3c são apresentados os resultados do ensaio de módulo de elasticidade para as amostras, é possível observar uma redução da rigidez do concreto com a incorporação do PP, principalmente para os maiores teores. Nota-se que a inserção do PP reduziu a rigidez quando comparado ao material referência, ao contrário do que ocorre com a incorporação da CCA, que para maiores teores apresentou uma elevada rigidez. O traço PP/CCA (10%-40%) aos 90 dias de cura apresentou um aumento de 11,3% quando comparado ao material referência.

Choi *et al.* (2005) estudaram ainda, as influências da adição de agregados leves feitos com garrafas de PET sobre o módulo de elasticidade. Verificou-se que o módulo de elasticidade diminuíram com o aumento do teor de agregados de PET. Zareei *et al.* (2017) determinaram o módulo de elasticidade do concreto conforme a norma ASTM C469 aos 28 dias de cura para diferentes teores: 5, 10, 15, 20 e 25% de CCA. Os resultados dos testes indicaram a relação positiva entre 15% - 20% de reposição de CCA, devido à sua maior superfície específica. Mehta (1983) e Noaman *et al.* (2018) constataram que o aumento da resistência com a incorporação da CCA, após 28 dias de cura é devido a reação pozolânica do resíduo que produz um "gel" de C-S-H adicional ao concreto. Verificaram também que essa propriedade cresce consideravelmente com o aumento do teor de CCA.



**Figura 3**

a) Resistência à compressão axial  
b) Resistência à compressão diametral  
c) Módulo de elasticidade para: (Proporção de Polipropileno/ Cinza de casca de arroz)



### Considerações Finais

Foram alcançadas resistências à compressão bastante elevadas, variando entre 34,77 MPa a 58,4 MPa aos 90 dias (10-20% e 2,92-34,14%) respectivamente. Foram alcançadas elevadas resistências à compressão diametral, com variação entre 5 MPa a 7,8 MPa aos 90 dias. Para o módulo de elasticidade, foram obtidos valores consideravelmente elevados, variando de 33,02 GPa a 42,8 GPa para os traços (10-20% e 2,92-34,14%) respectivamente os limites superiores encontrados indicam que tais misturas possuem rigidezes bastante elevadas, o que indica deformação baixa. No presente estudo observou-se que a incorporação de ambos os resíduos propiciou um concreto com boas propriedades mecânicas com valores próximos e em alguns teores superiores ao concreto de referência.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

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: ABNT, 2011.

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



- ABU, Noaman Md.; REZULKARIM, Md.; ISLAM Md. Nazrul. Comparative study of pozzolanic and filler effect of rice husk ash on the mechanical properties and microstructure of brick aggregate concrete -**Heliyon**, v. 5, 2019.
- CATOIA, Thiago. **Concreto ultraleve estrutural com perolas de EPS**: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. Tese (Doutorado em Engenharia civil) –Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- CDIAC. Carbon dioxide information analysis center. CDIAC, 2017. Disponível em: [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob\\_2008.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob_2008.html). Acesso em: 15 de 5 de 2020.
- CHOI, W.; YONG, D.; KIM, Y.; MOHAME,L. Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles, **Construction and Building Materials**, v. 23, 2829-2835, 2009.
- DIAMOND, Sidney. The microstructure of cement paste and concrete—a visual primer- **Cement and Concrete Composites**. v. 26, 919-923, 2004.
- FIGUEREDO, Tiago. **Análise sobre a implantação de silos de armazenagem de milho em propriedades agrícolas de pequena escala de produção**: um estudo de caso no município de Guaporé/RS. Monografia (Graduação) – Bacharelado em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 19 dez. 2017.
- G1. <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/campo-e-lavoura/noticia/2015/04/producao-de-arroz-no-rs-chega-77-mil-toneladas-com-87-da-area-colhida.html>. Acessado em: 02 de 10 de 2019.
- NOAMAN , M.A. M.N.; ISLAM, M.R.; ISLAM, M.R. Karim Mechanical properties of brick aggregate concrete containing rice husk ash as a partial replacement of cement- **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, 1-10, 2018.
- MADANDOUST, Rahmat; RANJBA, Mohammad; MOGHADAM, Ahmadi; MOUSAV, Yasin. Mechanical properties and durability assessment of rice husk ash concrete-**Biosystems engineering**, v. 110, 144-152, 2011.
- MEHTA P.K. Pozzolanic and Cementitious By-Products as mineral Admixtures for concrete: A Critical Review - **ACZ SP-79**, v.79, 1-46,1983.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME . **Perfil da areia para a construção civil**. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22\\_RT31\\_Perfil\\_de\\_areia\\_para\\_construcao\\_civil.pdf/9745127c-6fdc-4b9f-9eda-13fa0146d27d](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construcao_civil.pdf/9745127c-6fdc-4b9f-9eda-13fa0146d27d). Acesso em: 20 fev. 2020.
- VAN. N.; TUAN, G.; YE, K.; VAN, Breugel. O. Copuroglu Hydration and microstructure of ultra-high performance concrete incorporating rice husk ash - **Cemente concrete**. v.41, 1104-1111, 2011.
- ZAREEI, Seyed Alireza; AMERI, Farshad; DOROSTKAR, Farzan; AHMAD, Mojtaba. Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing microsilica: Evaluating durability and mechanical properties- Case Studies in **Construction Materials**. v. 7, 73-81, 2017.