

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

LARISSE FERREIRA DO NASCIMENTO

**DISCUSSÃO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ALTERNATIVOS,  
LODO E CINZA DE CASCA DE ARROZ, NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Cajazeiras-PB  
2021

LARISSE FERREIRA DO NASCIMENTO

**DISCUSSÃO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ALTERNATIVOS,  
LODO E CINZA DE CASCA DE ARROZ, NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-Campus Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Civil, sob Orientação da Prof<sup>ª</sup>. Karla Simone da Cunha Lima Viana e Coorientação da Prof<sup>ª</sup>. Caroline Muñoz Cevada Jeronymo.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N244d N244d Nascimento, Larisse Ferreira do

Discussão acerca da utilização de resíduos alternativos, lodo e cinza de casca de arroz, na produção de concreto/Larisse Ferreira do Nascimento. – Cajazeiras/PB: IFPB, 2021.

32f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, Campus Cajazeiras. Cajazeiras, 2020.

Orientador (a): Me. Karla Simone da Cunha Lima Viana.

Coorientador(a): Prof<sup>a</sup>. Caroline Muñoz Cevada Jeronymo.

1. Reutilização de resíduos 2. Agregado 3. Sustentabilidade I. Fabricação de cimento II. Cinza de casca de arroz III. Produção de concreto.

CDU: 624.011

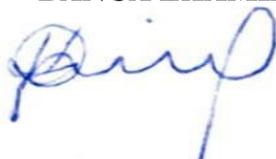
LARISSA FERREIRA DO NASCIMENTO

**DISCUSSÃO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ALTERNATIVOS,  
LODO E CINZA DE CASCA DE ARROZ, NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Civil.

Aprovado em 17 de Dezembro de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



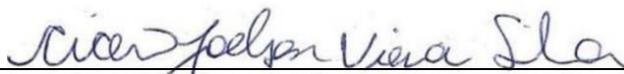
---

Me. Karla Simone da Cunha Lima Viana – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientadora



---

Me. Caroline Muñoz Cevada Jeronymo – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinadora 1



---

Me. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 2

*Dedico este trabalho a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desta etapa em minha vida, pois sem isso a caminhada teria sido bem mais difícil.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por estar comigo sempre, sustentando-me nos momentos de dificuldade e não deixando eu me abater diante das adversidades.

Agradeço à minha mãe Laura, ao meu pai Valdir (*in memoriam*) e ao meu irmão Randal, por todo esforço para que nada me faltasse, por acreditarem em meu potencial e pelo incentivo permanente.

À minha tia Zulmira, que é meu porto seguro nos momentos difíceis.

Ao meu namorado José Inácio Júnior, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Às minhas amigas, Rayrinne, Elissandra e Alexandra por todo apoio e suporte oferecido durante essa trajetória.

Aos demais familiares e amigos, em especial o meu avô Antônio e aos amigos Lucas e Cibele, amigos de todas as horas, por agirem sempre de forma positiva em todos os aspectos da minha vida.

À orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Karla Simone da Cunha L. Viana, agradeço por todo auxílio e sugestões ao longo deste trabalho, pela paciência e atenção dedicadas.

À coorientadora, Prof<sup>ª</sup>. Caroline Muñoz Cevada Jeronymo, por me orientar durante este trabalho.

Ao professor Cícero Joelson Vieira Silva pela inestimável contribuição para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, quase minha segunda casa, pela mudança de vida que me proporcionou através do conhecimento e por me incentivar a crescer academicamente.

A todos aqueles que me ajudaram nessa caminhada, deixo aqui a minha gratid

## RESUMO

O lodo gerado nas estações de tratamento e a cinza proveniente da casca de arroz são desafios ambientais devido à sua destinação convencional incorreta. A produção de concreto apresenta grande potencial de aproveitamento desses rejeitos, podendo ser então uma alternativa sustentável. Neste contexto, este trabalho objetiva identificar a viabilidade da substituição de agregados leves tradicionais por materiais alternativos provenientes do lodo e da cinza da casca de arroz para uso em concreto. A metodologia utilizada foi uma revisão de literatura e, para tanto, recorreu-se a três bases de dados eletrônicas renomadas: SciELO, a Science Direct e programas de pós-graduação de Mestrado e Doutorado da UNESP. Utilizando critérios de inclusão e exclusão na escolha dos artigos e foram selecionados 10 artigos científicos que abordavam a temática. Assim sendo, após a análise e interpretação dos dados verificou-se que os lodos de ETE e ETA e as cinzas de casca de arroz têm, de modo geral, viabilidade de uso na fabricação de concreto, segundo os critérios estudados de granulometria, resistência mecânica, absorção de água, temperatura de sinterização, mas faz-se necessário observar as peculiaridades de ambos os materiais.

**Palavras-chave:** concreto; agregado; lodo de estação de tratamento; cinza de casca de arroz.

## **ABSTRACT**

The sludge generated in the treatment plants and the ash from rice husks are environmental challenges due to their incorrect conventional disposal. Concrete production has great potential for using these tailings, which can then be a sustainable alternative. In this context, this work aims to identify the feasibility of replacing traditional lightweight aggregates with alternative materials from rice husk ash and the sewage sludge for use in concrete. The methodology used was a literature review and, for that, three renowned electronic databases were used: SciELO, Science Direct and postgraduate programs of Master's and Doctorate at UNESP. Using inclusion and exclusion criteria in the choice of articles, 10 scientific articles that addressed the theme were selected. Therefore, after analyzing and interpreting the data, it was found that sewage sludge and rice husk ash are generally viable for use in the manufacture of aggregates, since they met the regulations and presented results corresponding to the traditional aggregates, according to the studied criteria of particle size, mechanical strength, water absorption, sintering temperature and analysis of heavy metals, but it is necessary to observe the peculiarities of both materials when applied to concrete.

**Keywords:** concrete; aggregate; sludge from treatment plant; rice husk ash.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Lodo de ETA in natura (a); Lodo de ETA seco em estufa (b); Lodo de ETA calcinado (c). .....	6
<b>Figura 2.</b> Produção brasileira de arroz a partir de 2002.....	7
<b>Figura 3.</b> Casca de arroz in natura (a); cinza “in natura” (b); cinza em estado de secagem (c).8	
<b>Figura 4.</b> Valores de resistência à compressão da adição de cinzas de casca de arroz em relação aos parâmetros da NBR 8953 (ABNT, 2015) .....	16

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação dos agregados, a partir de sua origem, dimensão de partículas e massa específica .....	5
<b>Tabela 2.</b> Trabalhos selecionados sobre lodos de ETE e ETA .....	9
<b>Tabela 3.</b> Trabalhos selecionados sobre cinzas de casca de arroz .....	10
<b>Tabela 4.</b> Composição química dos lodos de ETs utilizados na produção de agregados. ....	11
<b>Tabela 5.</b> Granulometria do lodo. ....	12
<b>Tabela 6.</b> Temperatura de queima do lodo .....	13
<b>Tabela 7.</b> Índices de absorção de água das amostras de lodo. ....	13
<b>Tabela 8.</b> Resistência à compressão das amostras de concreto com lodos de ETE e ETA.....	14
<b>Tabela 9.</b> Composição química das cinzas de casca de arroz utilizados na produção de agregados.....	14
<b>Tabela 10.</b> Granulometria das cinzas de casca de arroz.....	15
<b>Tabela 11.</b> Temperatura de queima das CCA. ....	16
<b>Tabela 12.</b> Índices de absorção de água das amostras de cinzas de casca de arroz .....	16

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1	CONCRETO .....	3
2.2	AGREGADOS .....	4
2.3	MATERIAIS SUBSTITUTOS .....	6
2.3.1	Lodos de ETA e ETE .....	6
2.3.2	Cinzas de Casca de Arroz.....	7
3	MÉTODO DA PESQUISA.....	9
4	RESULTADOS DA PESQUISA.....	11
4.1	PROPRIEDADES DOS LODOS DE ETE E ETA.....	11
4.1.1	Composição Química .....	11
4.1.2	Granulometria.....	12
4.1.3	Temperatura de Queima .....	12
4.1.4	Índices de Absorção de Água.....	13
4.1.5	Resistência Mecânica .....	13
4.2	PROPRIEDADES DAS CINZAS DE CASCA DE ARROZ.....	14
4.2.1	Composição Química .....	14
4.2.2	Granulometria.....	15
4.2.3	Temperatura de Queima do CCA.....	15
4.2.4	Índices de Absorção de Água.....	16
4.2.5	Resistência Mecânica .....	16
5	CONCLUSÃO .....	18
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil acompanha a humanidade desde os seus primórdios, por isso, é reconhecida como uma das mais importantes atividades que colaboram para o desenvolvimento de uma nação. Nas últimas décadas, o setor construtivo tem passado por um período de crescimento intenso das atividades devido à urbanização acelerada e ao conseqüente adensamento das cidades e, por isso, tem sido cada vez mais necessário o aperfeiçoamento das técnicas construtivas, uma vez que tudo isso sempre se desenvolve paralelamente ao avanço tecnológico (BRASILEIRO, 2013).

De acordo com Mesquita (2012), equivalentemente a esse crescimento associam-se inevitáveis problemas decorrentes da larga exploração dos recursos naturais envolvidos nas práticas construtivas, pois devido ao alto consumo de matéria-prima, a construção civil está entre os setores que mais contribuem para o impacto ambiental, dada a destinação inadequada. Assim, ela se liga diretamente ao meio ambiente, uma vez que dele extrai os recursos necessários para o pleno desenvolvimento das suas atividades, assim como para ele destina os materiais resultantes de suas ações. Sob essa ótica, é imperioso garantir um equilíbrio entre desenvolvimento sustentável e preservação da natureza a partir da ação do homem que atua como agente transformador da realidade e modificador da paisagem.

No Brasil, de 2001 até 2007, foram produzidos, aproximadamente, 279 milhões de toneladas de Areia e 217 milhões de toneladas de rocha britada, segundo Serna; Rezende (2012). Apesar desses números, os recursos naturais são limitados e sujeitos à escassez, por isso, há uma busca crescente por opções que venham a aumentar a eficiência do uso dos materiais, sobretudo devido aos aspectos que se ligam direta ou indiretamente à sustentabilidade. A partir desse contexto, os esforços têm sido cada vez mais voltados a incentivar ações para combater a cultura do desperdício e, por conseguinte, a redução de perdas, o reaproveitamento, a reciclagem e reutilização de resíduos.

Para Fernandes (2018), o estudo dos agregados é imprescindível, dada a sua larga utilização na construção civil, aproximadamente 80% no volume do concreto é relativo aos agregados. As propriedades almejadas do concreto fresco e endurecido são norteadas pelas características do agregado gráudo e miúdo, como forma, textura, dimensão, massa específica, massa unitária e porosidade. Essas propriedades podem ter desempenho positivo ou negativo na produção do concreto.

Pensando nisso, diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas para mitigar o consumo desses minerais, que por sua vez são finitos, tendo, assim, um apelo ecológico e sustentável. Nesse cenário, destaca-se o uso de lodo e a cinza da casca de arroz, que também são chamados de rejeitos de produção, que se caracterizam por serem materiais a princípio inutilizáveis, mas que esses produtos de rejeito têm potencial e eficácia para substituir o material natural como agregado leve na produção de concreto.

O descarte dos lodos de estação de tratamento em seu estado natural no meio ambiente pode acarretar diversos prejuízos, pois ele possui altas concentrações de materiais tóxicos, como alumínio, ferro, matéria orgânica e sólidos e convencionalmente são destinados a lugares inadequados (BARROSO; CORDEIRO, 2001). No entanto, esse material figura como tendo grande potencial de incorporação à fabricação do concreto (GUERRA; ANGELIS, 2005).

Ainda nessa perspectiva de materiais alternativos, outra solução possível tem sido a substituição por resíduos agrícolas como cinza de casca de arroz que é um rejeito agrícola proveniente da combustão da casca de arroz. Segundo Mehta (1992), uma tonelada de arroz produz cerca de 200 kg de casca e, após queima, gera 40 kg de cinza. Mundialmente, a produção de arroz chega a, aproximadamente, 678 milhões de toneladas no ano. Dessas, 20% se transformam em rejeito, o que equivale a 132,4 milhões de toneladas anuais. Apesar desses números consideráveis, a maioria da cinza de casca de arroz não tem uma finalidade nobre, mas sim é usada como adubo ou descartado na beira dos rios.

Assim, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de desenvolver estudos acerca do uso parcial ou total de materiais que funcionem como substitutos da matéria prima natural, reduzindo, por conseguinte, o consumo e/ou que será descartado na natureza e, ainda, porque abrange aspectos ambientais, econômicos e tecnológicos nesse processo tão importante para indústria construtiva.

Para fornecer mais clareza sobre tal problemática, este trabalho trata-se de uma revisão sistemática, cujo objetivo geral é avaliar a viabilidade da substituição de agregados miúdos tradicionais por materiais alternativos provenientes do lodo e da cinza da casca de arroz para uso em concreto. Tem-se, como objetivos específicos, conhecer os materiais que figuram como potenciais substitutos alternativos aos tradicionais, bem como citar pesquisas correlacionadas que utilizaram tais materiais alternativos como agregados na construção civil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONCRETO

Segundo Neville (2013), o concreto é resultado de uma mistura de aglomerante (usualmente cimento Portland) com agregado miúdo (areia lavada), agregado graúdo (brita), água e aditivos (se necessário).

O controle das propriedades do concreto, seja no estado fresco, seja no estado endurecido são de suma importância a ser observado e garantido, pois, muitas vezes, é apenas o ensaio de resistência a compressão que é usado para o controle tecnológico do concreto. No entanto, apenas esse fator não garante a qualidade final do concreto, uma vez que pode não possuir propriedades para desenvolver um bom desempenho e também uma boa durabilidade. Propriedades do concreto fresco são a consistência, plasticidade, poder de retenção de água e trabalhabilidade. Já as propriedades do concreto endurecido são peso específico, deformações, resistência à compressão, resistência à tração, durabilidade e impermeabilidade (ONUJI; GASPARETTO, 2013).

Segundo Araújo; Rodrigues; Freitas (2000), consistência é a fluidez da mistura fresca do concreto e está diretamente relacionada à fluidez da lama (mistura de cimento e água). A plasticidade é uma característica do concreto fresco, que se caracteriza por ser fácil de formar sem fissurar. O poder de retenção de água é o oposto à exsudação, fenômeno que ocorre em certos concretos quando a água se separa da massa e sobe até a superfície da parte de concreto. Por outro lado, trabalhabilidade é um conceito utilizado para determinar a menor ou maior aptidão do concreto a ser utilizado sem perda de homogeneidade. É uma característica da nova mistura de concreto, que determina a dificuldade e acabamento do material pode ser misturado, lançado, adensado e acabado.

O peso específico do concreto endurecido depende da natureza dos agregados, da sua granulométrica e do método de compactação empregado. Quanto maior for, maior será a quantidade de agregado graúdo que contém. A deformação do concreto tem duas propriedades: causada por mudanças nas condições ambientais ou causada por cargas externas. A resistência à compressão simples é a característica mais importante do concreto. É determinado em corpos de prova padronizados para comparar os resultados de diferentes concretos. A resistência à compressão do concreto do mesmo cimento é afetada por alguns fatores, tais como: coeficiente água/cimento; idade do concreto; formato e tamanho da amostra e qualidade do material; coeficiente água/cimento; idade de concreto; Forma e

dimensão do corpo de prova; Qualidade dos materiais. Ela depende de vários fatores, sobretudo da adesão entre as partículas do agregado e a argamassa. De acordo com o ensaio, a resistência à tração axial, a resistência à tração à flexão e a resistência à tração à compressão radial obtêm valores diferentes. A durabilidade, por sua vez, é a capacidade do concreto de resistir ao tempo, ao ataque químico, à abrasão ou a quaisquer outros efeitos degradantes. Porém, ela depende do tipo de ataque físico ou químico ao qual o concreto será submetido após o endurecimento, devendo ser cuidadosamente analisada antes da seleção dos materiais e dosagens. Já a impermeabilidade do concreto está relacionada à durabilidade. Existem vários fatores que afetam a durabilidade e impermeabilidade do concreto, como a porosidade (ONUKEI; GASPARETTO, 2013).

## 2.2 AGREGADOS

A NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2009) aponta os agregados como sendo um material natural que possui propriedades adequadas ou que é proveniente da fragmentação de rochas. Para Ribeiro Júnior (2015), os agregados contribuem com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos.

Ribeiro; Pinto; Starling (2006) apontam que agregados é uma denominação de sentido genérico para os materiais que são acrescentados ao cimento e à água para produzir concretos e argamassas. Desse modo, suas propriedades afetam diretamente a durabilidade e o desempenho estrutural desses elementos. Além disso, os agregados apresentam-se em forma de grãos, tais como as areias e britas, e devem ser inertes, ou seja, não devem provocar reações indesejáveis. Portanto, os agregados são classificados de acordo com sua origem, dimensão das suas partículas e massa específica e origem, conforme Quadro 1.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), antigamente os agregados eram tidos como aqueles materiais que forneciam apenas volume ao concreto ou ainda não tinham função por serem materiais de baixo custo. Entretanto, suas propriedades físicas, térmicas e até químicas influenciam no desempenho do concreto, isto é, atuam decisivamente nas propriedades finais do concreto obtido como a porosidade (massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade), exposição/fabricação (tamanho, forma e textura das partículas) e composição química e mineralógica (resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presente).

**Tabela 1.** Classificação dos agregados, a partir de sua origem, dimensão de partículas e massa específica.

	<b>Origem</b>	<b>Conceito</b>	<b>Exemplo</b>
<b>Classificação</b>	Naturais	Rochas fragmentadas pela ação do vento, das chuvas, das variações de temperatura, etc., e encontradas na natureza sob a forma de agregados.	Areias, pedregulhos
	Artificiais	Materiais que foram fragmentados ou triturados com auxílio de britadores ou outro meio artificial.	Areias artificiais e britas de granito, gnaisse, calcário etc.
	Graúdo	Pedregulho ou a brita proveniente de rochas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 75 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,75 mm	$4,8 \text{ mm} < \varphi < 152,0 \text{ mm}$
	Miúdo	Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,75 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,15 mm	$0,15 \text{ mm} < \varphi < 4,8 \text{ mm}$
	Fíler	Denominação genérica que se dá aos materiais finos que passam pela peneira ABNT 0,075mm.	$\varphi < 0,075 \text{ mm}$
	Pesado Normal	É a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.	$M. E. > 2000 \text{ kg/m}^3$
	Leve		$1000 \leq M. E. \leq 2000 \text{ kg/m}^3$
			$M.E < 1000 \text{ kg/m}^3$

**Fonte:** Extraído de Ribeiro; Pinto; Starling (2006).

De acordo com Freire e Beraldo (2003), os agregados leves são materiais que possuem densidade menor que a convencional, isso ocorre por conta de terem estrutura porosa. Eles podem ser classificados a partir da forma de obtenção, podendo ser: naturais sem tratamento, naturais manufacturados, resíduo industrial processado e materiais orgânicos, sendo exemplos de coral, pedra-pomes, escórias vulcânicas, etc.; vermiculita esfoliada, argila expandida, perlita expandida, etc.; escórias expandida, espumosa e granulada, lodo de esgoto sinterizado, lama vermelha sintetizada, etc.; partículas de materiais plásticos, resíduos de cereais, partículas de madeira, fibras de madeira, etc.

A qualidade dos agregados pode ser avaliada através de ensaios laboratoriais, a fim de comparar os resultados a certos índices definidos pela normalização. Ribeiro, Pinto e Starling (2006, p. 21) salientam a necessidade de “avaliar a resistência aos esforços mecânicos, a resistência ao desgaste, a presença de substâncias nocivas e a reatividade potencial”.

## 2.3 MATERIAIS SUBSTITUTOS

### 2.3.1 Lodos de ETA e ETE

Relevância técnica e ambiental são aspectos vantajosos, segundo Pereira (2011), na produção de cimento usando lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA). No Brasil, o interesse nessa abordagem de atribuir um destino final dado ao lodo de ETA ainda é relativamente recente. A única disposição considerada para esse material era o lançamento direto em cursos d'água. A NBR 10004 (ABNT, 2004) dispõe sobre os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública e, por esse motivo, passou a apontar para a necessidade de se promover um gerenciamento adequado e, por conseguinte, restringiu o seu lançamento no meio ambiente.

A partir dessas concepções, evidenciam-se as vantagens no uso do lodo na indústria cerâmica, na fabricação de cimento e na recuperação de áreas degradadas, pois há outras alternativas mais utilizadas em outros países, tais como: siderúrgicas (Holanda), indústria de cimento (EUA, Japão, Alemanha e Reino Unido), matérias-primas para revestimentos cerâmicos (Japão e Espanha), entre outros (PEREIRA, 2011).

No Brasil, de acordo com a SABESP (2016), em ETA, a água limpa é conduzida para a etapa de filtração enquanto o lodo é conduzido para tanques de depuração. Desse modo, Richter (2009) informa que, aproximadamente, de 60% a 95% do lodo fica nos tanques de decantação e os demais percentuais ficam nos filtros e diz ainda que as características do lodo variam de acordo com as características apresentadas pela água bruta captada ou com coagulante utilizado no tratamento dessa água. No quesito matéria orgânica presente no lodo, tem-se que a concentração presente é baixa, variando de 5 a 25%.

**Figura 1.** Lodo de ETA in natura (a); Lodo de ETA seco em estufa (b); Lodo de ETA calcinado (c).



Fonte: Busetatto *et al.*, 2019.

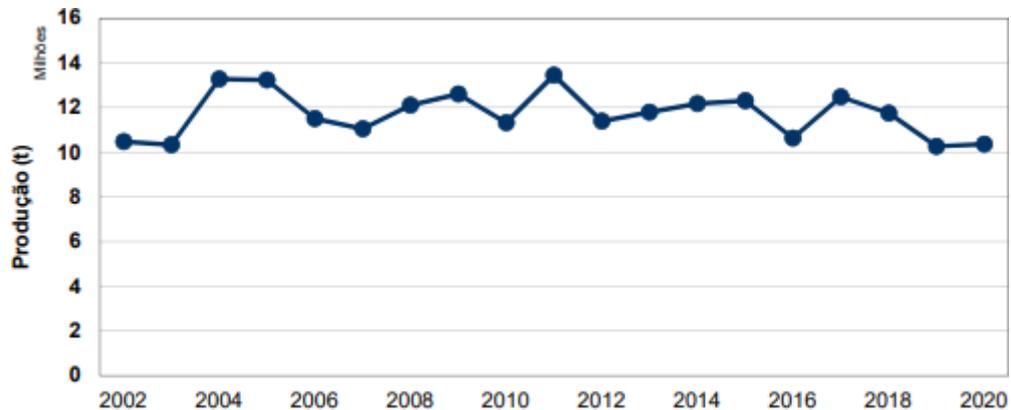
No caso do lodo de esgoto ou biossólido (material resultante de instalações de tratamento de águas residuárias), este é tratado por meio de técnicas como digestão

anaeróbica ou compostagem MOJAPELO et al.,2021). O lodo de ETE apresenta a possibilidade ser reciclado e aplicado como adubo, substrato ou condicionador de solos para melhorar e mantê-los produtivos após tratamento (ASHEKUZZAMAN et al., 2019; COLLIVIGNARELLI et al., 2019) ou ainda como de substituto parcialmente ou totalmente de concreto.

### 2.3.2 Cinzas de Casca de Arroz

Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019, p. 21), no que tange à produção de arroz: “ARROZ (em casca) – A terceira estimativa para a safra nacional de 2020 é de uma produção de 10,4 milhões de toneladas, crescimento de 0,9% em relação a 2019”, conforme Figura 2.

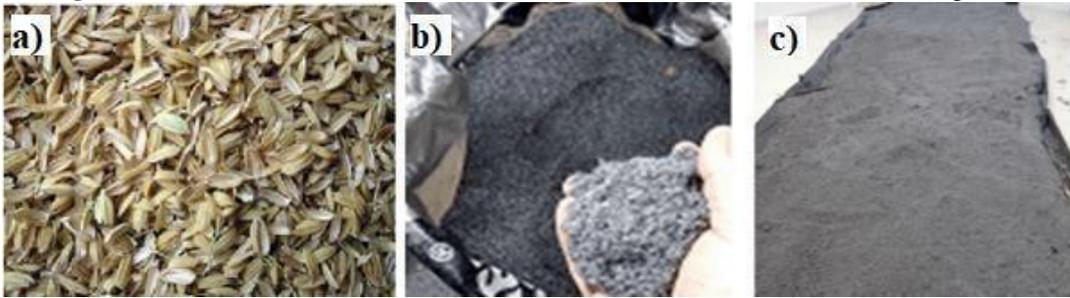
**Figura 2.** Produção brasileira de arroz a partir de 2002.



**Fonte:** IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – dezembro de 2019.

É notório que tanto a casca de arroz quanto as cinzas provenientes de sua queima, Figura 2, colaboram diretamente ou indiretamente para impactar no meio ambiente, como na saúde da sociedade, caso tenham um gerenciamento incorreto, uma vez que, segundo Pouey (2006, p. 12), “a quantidade de cinza de casca de arroz gerada com a queima corresponde a 20% do volume da casca de arroz”. Desse modo, usar cinza da casca de arroz como sendo um aditivo no concreto (composição) é uma maneira de garantir boa destinação, uma vez que não há necessidade de aterros, ocorre redução da demanda, entre outros.

**Figura 3.** Casca de arroz in natura (a); cinza “in natura” (b); cinza em estado de secagem (c).



**Fonte:** Ripoli Filho et al., 2019.

Aliado a essa informação, tem-se que a cinza de casca de arroz ao lado da sílica ativa e das cinzas volantes figuram entre as adições em potencial na composição do concreto, pois conferem a ele ganhos de resistência ao ataque de agentes agressivos, além de aumentar a durabilidade e promover uma maior resistência mecânica (POUEY, 2006).

Para Pereira *et al.* (2015), a atividade pozolânica da cinza da casca de arroz está associada à composição morfológica e ao tempo de moagem desta cinza. A atividade pozolânica da cinza da casca de arroz é caracterizada pela capacidade da sílica (no estado amorfo), solubilizar-se no meio alcalino, reagindo em solução com os íons de cálcio, liberados nas reações de hidratação do cimento, formando compostos estáveis com capacidade aglomerante. De acordo com eles, o controle do tempo é fator essencial para ser observado. Se a queima for controlada, temperatura inferior a 600°C, microestrutura amorfa, é ideal para uso em concreto de alto desempenho, competindo com a sílica ativa, quando passa a ser moída. Quando queimada, há diminuição da reatividade com outros componentes, inviabilizando uso em concretos e argamassas, isto é, sendo propício a aplicações secundárias, pois essa falta de controle de temperatura lhe confere uma espécie de cristalinidade (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

### 3 MÉTODO DA PESQUISA

Este trabalho se trata de uma revisão de literatura que visa discutir acerca da viabilidade da substituição de agregados naturais por materiais em potencial como o lodo e a cinza da casca de arroz. A busca das referências foi realizada nos meses de setembro e outubro de 2021. Para tanto, recorreu-se a três bases de dados eletrônicas renomadas: o portal da base de dados (SciELO), a Science direct e programas de pós-graduação de Mestrado e Doutorado da (UNESP). Para isso, foram considerados os índices de busca através de duas palavras-chave: “casca de arroz” e “lodo de estação de tratamento”, utilizando filtros que buscaram nas áreas temáticas de Engenharias. A busca ainda considerou publicações do tipo artigo e os agregados do tipo miúdo, além de o material ser o único substituto parcial/total ou aditivo.

Durante as pesquisas, foram excluídos os artigos que não estavam relacionadas à aplicação em concreto, já que era um dos aspectos de maior interesse para a pesquisa, como também aqueles que não tivessem sido publicados em periódico, congresso ou livro; ou ainda não tivessem contribuições relevantes na grande área da engenharia. Além disso, foi adotado ainda o critério de que o material pesquisado deveria ser um material isolado, de modo a possibilitar a análise do seu comportamento isoladamente, isto é, como único material. Por fim, foram selecionados apenas estudos publicados no idioma inglês ou português. Um arranjo das publicações selecionadas está disposto nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 2.** Trabalhos selecionados sobre lodos de ETE e ETA.

<b>Títulos</b>	<b>Origem do lodo</b>	<b>Referências</b>
Propriedades físicas e mecânicas do concreto com adição de lodo seco de uma estação de tratamento de esgoto	ETE	Valls et al., (2004)
Aproveitamento de lodo de águas residuais para concreto leve e uso de águas residuais como meia cura	ETE	Mojapelo et al., (2021)
Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado	ETA	Fernandez (2018)
Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) como agregado miúdo em concretos: avaliação das propriedades físico-mecânicas	ETA	Busselatto et al., (2019)
Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água	ETA	Tafarel (2016)

**Fonte:** Elaboração própria (2021).

**Tabela 3.** Trabalhos selecionados sobre cinzas de casca de arroz.

<b>Títulos</b>	<b>Referências</b>
Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz.	Pereira (2015)
Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto.	Cordeiro (2009)
Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura.	Isaia (2017a)
Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): durabilidade.	Isaia (2017b)
Concreto autoadensável utilizando cinza de casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas.	Mendes (2015)

**Fonte:** Elaboração própria (2021).

Após isso, foram extraídas as informações dos trabalhos escolhidos e, em seguida, foi feita a avaliação dos parâmetros como metais, granulometria, resistência mecânica, absorção de água e temperatura de sinterização. Por fim, foi realizada a interpretação dos dados.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

### 4.1 PROPRIEDADES DOS LODOS DE ETE E ETA

#### 4.1.1 Composição Química

A Tabela 4 apresenta as composições químicas dos lodos provenientes de ETE e ETA conforme estudos analisados. Quando comparados os dados apresentados na Tabela 4, pode-se verificar diferenças na composição química dos lodos de ETA e ETE, assim como similaridade na composição entre os lodos de ETA no que diz respeito ao dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ).

**Tabela 4.** Composição química dos lodos de ETs utilizados na produção de agregados.

Elementos	ETE		ETA	
	Mojapelo et al., (2021)	Valls et al., (2004)	Fernandez (2018)	Busselatto et al., (2021)
	%			
<b>O</b>	45,4	-	-	-
<b>Si</b>	30,8	-	-	-
<b>Al</b>	12,5	-	-	-
<b>Na</b>	5,5	-	-	-
<b>Fe</b>	2,9	-	-	-
<b>Ca</b>	1	-	-	-
<b>P</b>	0,7	-	-	-
<b>K</b>	0,6	-	-	-
<b>S</b>	0,3	-	-	-
<b>Ti</b>	0,2	-	-	-
<b>Mo</b>	0,2	-	-	-
<b>AlO<sub>3</sub></b>	-	-	33,98	-
<b>SiO<sub>2</sub></b>	-	29,7	18,56	18,52
<b>SO<sub>3</sub></b>	-	3,22	3,60	3,11
<b>CaO</b>	-	22,7	0,63	60,54
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-	10,1	0,62	2,28
<b>TiO<sub>2</sub></b>	-	-	0,12	-
<b>MnO</b>	-	-	0,09	-
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	-	1,11	-	0,2
<b>MgO</b>	-	2,73	-	3,81
<b>K<sub>2</sub>O</b>	-	1,83	-	0,7
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-	12,9	-	4,24

**Fonte:** Autoria própria (2021).

No que tange à disposição de lodo e sua utilização para a fabricação de cimento, os lodos de ETA e ETE (Tabela 4), apresentam potencial, uma vez que ambos possuem componentes dos necessários para fabricação do cimento Portland, que é formada basicamente por cal ( $\text{CaO}$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnésia ( $\text{MgO}$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_3$ ) (BATTAGIN; BATTAGIN, 2010). Entretanto, o uso dos lodos em

questão é limitado no que diz respeito ao uso como material isolado, pois observou-se que em todos os estudos foi necessária a adição de outros materiais para correção de proporções da composição química. Além da correção de proporção da composição química, o material apresenta características de substituição limitante, uma vez que foi necessário a adição de outros materiais que viessem a garantir propriedades de uso ao mesmo.

#### 4.1.2 Granulometria

Através da análise dos dados apresentados nos estudos (Tabela 5), observa-se que os parâmetros apresentados pelos autores Mojapelo et al., (2021) e Busselatto et al., (2019) caracterizam esses lodos como agregados leves, pois de acordo com Rossignolo (2009) na maioria dos processos de fabricação de agregados leves, o diâmetro das partículas varia entre 1 mm e 25 mm, com valores de massa específica inversamente proporcional ao diâmetro. Assim esses resíduos apresentam potencial para aplicação em concreto leve.

**Tabela 5.** Granulometria do lodo.

<b>Origem do lodo</b>	<b>Granulometria (m<math>\mu</math>)</b>	<b>Referências</b>
ETE	4,74	Mojapelo et al., (2021)
ETA	2,36	Busselatto et al., (2019)

**Fonte:** Autoria própria (2021).

#### 4.1.3 Temperatura de Queima

De forma geral, todos os autores determinaram em suas análises que a temperatura no processo de sinterização teve uma variação entre 600 °C e 800 °C, conforme Tabela 6. Conforme Hengen (2014) estudos de a melhor temperatura de queima do lodo que possibilita a substituição parcial do cimento Portland por cinzas de lodo é de 600 por 1 hora seguindo de moagem. Cabe salientar que não foi observado um valor de referência na literatura para temperatura, mas pode-se inferir que temperaturas entre 600 °C e 800 °C podem ser adequadas para uso no que se refere a fabricação de cimento, e por conseguinte, concreto.

**Tabela 6.** Temperatura de queima do lodo.

<b>Origem do lodo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Referências</b>
ETA	600	Busselatto et al., (2019)
ETE	600-800	Mojapelo et al., (2021)

**Fonte:** Autoria própria (2021).

#### 4.1.4 Índices de Absorção de Água

Pode-se dizer que a estrutura apresentada pelas partículas de um material utilizado como agregado impacta diretamente no controle de absorção de água. Na Tabela 7 estão apresentados os índices de absorção de água dos lodos de ETA e ETE.

**Tabela 7.** Índices de absorção de água das amostras de lodo.

<b>Referências</b>	<b>Origem do lodo</b>	<b>Índice de Absorção de Água (%)</b>
Fernandez (2018)		3,43
Busselatto et al., (2021)	ETA	6,85
Mojapelo et al., (2021)	ETE	15,0

**Fonte:** Autoria própria (2021).

De acordo com o exposto na Tabela 7 é possível verificar que os índices de absorção de água encontrados nas análises, dentro do valor especificado por Souza et al., (2020), afirmam que os agregados leves comerciais apresentam, geralmente, capacidade de absorção de água após 24 horas de imersão é de no máximo 20%. Logo, pode-se afirmar que os ambos os lodos são adequados para uso.

#### 4.1.5 Resistência Mecânica

De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), o concreto para fins estruturais deve apresentar resistência mínima à compressão de 20 MPa conforme ensaios estabelecidos na NBR 5738 (ABNT, 2015) e na NBR 5739 (ABNT, 2018). Logo, de acordo com os resultados verificados na Tabela 8, tanto o lodo de ETE quanto o lodo de ETA têm potencial de uso

como material alternativo, dado que apresentaram resultados condizentes às exigências de norma.

**Tabela 8.** Resistência à compressão das amostras de concreto com lodos de ETE e ETA.

Porcentagem de lodo adicionada (%)	Resistência à compressão (Mpa)	Referências
2,5	37,1	
5,0	37,2	Fernandez (2018)
7,5	22,3	
2,5	32,5	
5,0	29,1	
7,5	27,8	Mojapelo et al., (2021)
10,0	21,1	
12,5	25,0	

Fonte: Autoria própria (2021).

## 4.2 PROPRIEDADES DAS CINZAS DE CASCA DE ARROZ

### 4.2.1 Composição Química

Na Tabela 9 pode ser observado os valores as composições químicas da casca de arroz utilizadas conforme os autores Pereira (2015), Cordeiro (2009) e Isaia (2016). Os dados da Tabela 9 mostram que, em geral, as cinzas da casca de arroz apresentam maior percentual de sílica e menor de outros componentes, como óxido de ferro, magnésia e sulfatos.

**Tabela 9.** Composição química das cinzas de casca de arroz utilizados na produção de agregados.

Elementos	Pereira (2015)	Cordeiro (2009)	Isaia (2016)
	%		
SiO <sub>2</sub>	92,99	82,62	18,92
SO <sub>3</sub>	0,10	0,06	3,09
CaO	1,03	0,85	60,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	0,49	2,58
TiO <sub>2</sub>	-	-	-
MnO	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,05	-
MgO	0,35	-	4,91
K <sub>2</sub> O	0,72	1,81	-

Elementos	Pereira	Cordeiro	Isaia (2016)
	(2015)	(2009)	
	%		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,38	4,32

Fonte: Aatoria própria (2021).

De acordo com Isaia et al., (2017), a CCA com teor da sílica elevado é apropriada para uso em concreto de alto desempenho. Podendo ainda, se adicionado outros materiais ser uma alternativa para fabricação do cimento Portland dada a presença de componentes como CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O, MgO e SO<sub>3</sub> (BATTAGIN; BATTAGIN, 2010).

#### 4.2.2 Granulometria

É possível observar que os diâmetros apresentados pelas cinzas da casca de arroz, Tabela 10, estão abaixo dos valores mencionados por Rossignolo (2009), entre 1 mm e 25 mm.

**Tabela 10.** Granulometria das cinzas de casca de arroz.

Granulometria (m $\mu$ )	Referências
6,8	Cordeiro (2009)
25,13	Isaia (2017)

Fonte: Aatoria própria (2021).

Os resultados podem ser explicados pelo fato deste material se apresentar em partículas muito finas após o processo de moagem, onde quanto maior o tempo do processo, menor serão as partículas. Logo, nenhuma pesquisa estudada foi desenvolvida sobre a utilização de resíduos de cinzas de casca de arroz com granulometria usada especificamente como agregado leve. No entanto, esse ainda não é um parâmetro determinante para sua aplicação em concretos, visto que há outras propriedades analisadas nos estudos que serão apresentadas posteriormente.

#### 4.2.3 Temperatura de Queima do CCA

Com base na Tabela 11, observa-se que a temperatura no processo de sinterização teve uma variação entre 600 °C e 800 °C. No caso da CAA, a temperatura da queima influencia na sílica contida na amostra, de modo que o máximo de reatividade é obtido com temperaturas entre 300 e 800 °C (LUDWIG, 2014). Sabendo que o elevado teor de sílica torna a CCA

valorizada e possibilita diversas aplicações assim como em substituição parcial do cimento e em produtos da construção civil (FOLETTTO et al., 2005).

**Tabela 11.** Temperatura de queima das CCA.

Temperatura (°C)	Referências
> 600	Isaia (2017)
800	Cordeiro (2009)

**Fonte:** Autoria própria (2021).

#### 4.2.4 Índices de Absorção de Água

Souza et al. (2020) afirmam que os agregados leves comerciais apresentam, geralmente, capacidade de absorção de água após 24 horas de imersão de no máximo 20%. De acordo com os índices expostos no Tabela 12, é possível observar que as cinzas da casca de arroz apresentam índices de absorção de água consideravelmente abaixo do estabelecido por normatização, apresentando, portanto, um potencial positivo de uso no quesito porosidade.

**Tabela 12.** Índices de absorção de água das amostras de cinzas de casca de arroz.

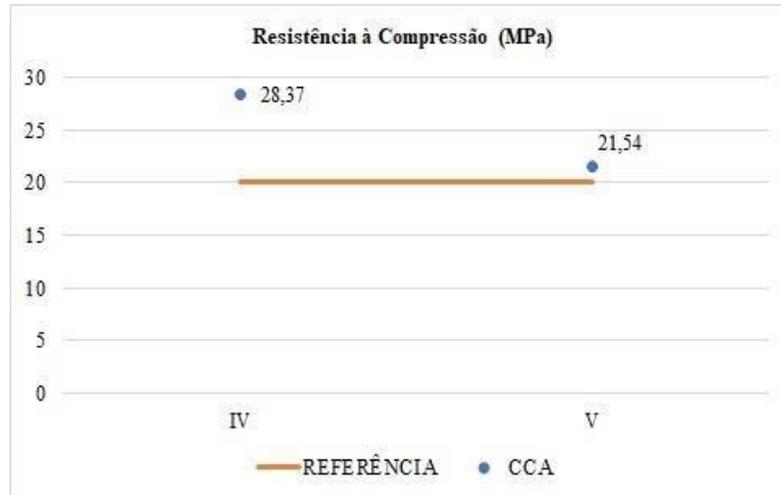
Índice de Absorção de Água (%)	Referências
2,55	Isaia (2017)
5,5	Mendes (2015)

**Fonte:** Autoria própria (2021).

#### 4.2.5 Resistência Mecânica

Na Figura 4 estão os valores obtidos de resistência à compressão, a partir dos parâmetros da NBR 8953 (ABNT, 2015). Verifica-se com base nos resultados obtidos pelos autores Mendes (2015) e Isaia (2016), que os valores de resistência à compressão são considerados satisfatórios acordo com os parâmetros da NBR 8953 (ABNT, 2015).

**Figura 4.** Valores de resistência à compressão da adição de cinzas de casca de arroz em relação aos parâmetros da NBR 8953 (ABNT, 2015).



**Fonte:** Autoria própria (2021).

## 5 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi testado potencial de lodos provenientes de ETA e ETE e casca de arroz como potenciais substitutos alternativos aos tradicionais utilizados na produção de concreto. Pode-se concluir que tanto os lodos de ETA e ETE quanto as cascas de arroz apresentam componentes químicos utilizados na produção de concreto e com a correção necessária para ajuste das proporções esses resíduos podem possíveis substitutos, em especial, para aplicação na produção de concreto, contribuindo para redução do uso de recursos naturais, além de proporcionar uma disposição ambientalmente adequada. Já com relação a temperatura de queima dos materiais, não foi observado um valor de referência nos estudos avaliados, entretanto, pode-se inferir que temperaturas entre 600 °C e 800 °C, que foram as observadas, podem ser ideais no caso de lodos de ETA, ETE e CAA que serão utilizados como matéria prima na fabricação de concreto. E por fim, os demais parâmetros como granulometria, índices de absorção de água, resistência mecânica, estes apresentaram resultados positivos mesmo com algumas particularidades, demonstrando o uso potencial dos resíduos avaliados.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, L. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**. 2000. Apostila. Disponível em: < > Acesso em: 13 out. 2021.

ASHEKUZZAMAN, S.M.; FORRESTAL, P.; RICHARDS, K., FENTON, O. Dairy industry derived wastewater treatment sludge: generation, type and characterization of nutrientes and metals for agricultural reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p.1266-1275, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura para corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: Congresso brasileiro de engenharia Sanitária, 21. 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

BATTAGIN, A. F., BATTAGIN, I. L. S. **O cimento Portland no Brasil**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais**. v. 1, São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2010. p. 761-790.

BRASILEIRO, L. L. **Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural no Concreto Asfáltico**. Dissertação (Mestre em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

BUSELATTO, D. M. et al. Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) como agregado miúdo em concretos: avaliação das propriedades físico-mecânicas. **Matéria** (Rio de Janeiro) [online]. 2019, v. 24, n. 1.

COLLIVIGNARELLI, M. C.; CANATO, M.; ABBÁ, A.; MIINO, M C. Biosolids: What are the different types of reuse? **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117844, 2019.

CORDEIRO, C. G. *et al.* Análise da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**. v. 9, n. 4, pp. 99-107, 2009.

FERNANDES, E. G. L. **Avaliação do uso do agregado miúdo do município de ponte alta do Tocantins em argamassa autonivelante**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, Tocantins, 2018. Acesso em: 03 out. 2021.

FERNANDEZ, L. P. et al. Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado. **Matéria** (Rio de Janeiro). v. 23, n. 3, e12156, 2018.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. v. 1. Unicamp, 2003.

FOLETTI, HOFFMANN, SCOPEL, LIMA, JAHN; Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. Departamento de Engenharia Química, UFSM – RS. **Quim. Nova**, v. 28, n. 6, p. 1055-1060, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019. **Levantamento sistemático da produção agrícola estatística da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE.

HENGEN, M.F. **Caracterização de cinzas de lodo de eta para uso no concreto (resistência a compressão axial)**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

ISAIA, G. C. et al. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): durabilidade. **Ambiente Construído**. v. 17, n. 02, pp. 233-252, 2017.

ISAIA, G. C. et al. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. **Ambiente Construído**. v. 10, n. 1, pp. 121-137, 2010.

LUDWIG, D.G. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1 ed., São Paulo: Editora Pini LTDA, 2008.

MEHTA, P.K. Rice husk ash: a unique supplementary cementing material. In: MALHOTRA, V.M. (Ed.). **Advances in concrete technology Ottawa**: Canmet, 1992. p.403-431.

MENDES, C. J. **Concreto autoadensável utilizando cinza de casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Faculdade de Engenharia, 2015.

MESQUITA, A. S. G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **HOLOS**, [S.l.], v. 2, p. 58-65, maio, 2012.

MOJAPELO K. S. et al. Utilization of wastewater sludge for lightweight concrete and the use of wastewater as curing medium, *Case Studies in Construction Materials*,

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

ONUKEI, M. A. F.; GASPARETTO, P. A. **Comparativo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno**. 2013. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PÁDUA, P. G. L. de. **Sinterização de finos de resíduos de construção civil: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

PEREIRA, A. M. et al. **Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz**. *Matéria* (Rio de Janeiro). 2015, v. 20, n. 1, pp. 227-238.

PEREIRA, A. M. et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 20, n. 1, p. 227-238, 2015.

PEREIRA, S. L. M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre - RS, 2006.

RIBEIRO JÚNIOR, E. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. 48 [S.I.]: **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 1, n. 10, 2015.

RIBEIRO, C. C.; STARLING, T.; PINTO, J. S. **Materiais de construção civil**. 2 ed. Belo Horizonte, MG. Editora: UFMG, 2006.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo, Ed. Blucher 2009.

RIPOLI FILHO, Francisco. Et al. Caracterização E Aplicação De Casca E Cinza Da Casca De Arroz Para Emprego Em Argamassa De Cimento Portland. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 03, p. 174-193, 2021.

SERNA, H. A. de La, REZENDE, M. M. **Agregados para a construção civil**. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2012.

SOUZA, M. M. de et al. Uso do lodo de esgoto na produção de agregados leves: uma revisão sistemática de literatura. *Matéria*, v. 25, n. 1, 2020.

TAFAREL, N. F. et al. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. *Matéria*, v. 21, n. 04, p. 974-986, 2016.

VALLS, S. et al. Physical and mechanical properties of concrete with added dry sludge from a sewage treatment plant. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 12, p. 2203–2208, 2004. Volume 15, 2021, e00667, ISSN 2214-5095.