



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA DE LOURDES XAVIER DE FRANÇA NETA

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO DA CASCA DE
ARROZ NO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**

ANGICOS

2020

MARIA DE LOURDES XAVIER DE FRANÇA NETA

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO DA CASCA DE
ARROZ NO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Sâmea Valensca
Alves Barros

ANGICOS

2020

MARIA DE LOURDES XAVIER DE FRANÇA NETA

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO DA CASCA DE
ARROZ NO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 04 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Sâmea Valensca Alves Barros

Prof.^a Dr.^a Sâmea Valensca Alves Barros - UFRSA

Presidente

Gerberson Carlos Batista Dantas

Gerberson Carlos Batista Dantas - UFRSA

Membro Examinador

Janielly Kaline de O. Ferreira de Fz

Janielly Kaline de Oliveira Ferreira - UFRSA

Membro Examinador

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F 814i França Neta , Maria de Lourdes Xavier de .
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO DA
CASCA DE ARROZ NO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS / Maria de Lourdes Xavier de França
Neta . - 2020.
45 f. : il.

Orientadora: Sâmea Valensca Alves Barros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Solo-cimento. 2. Temperaturas de calcinação.
3. Cinza de casca de arroz. 4. Resíduos sólidos. I.
Barros, Sâmea Valensca Alves, orient. II. Título.

A Monacy Nunes da Costa (*in memorian*),
meu pai e amigo, que sempre me apoiou e
nunca perdeu a fé nos meus sonhos.
Apesar de não está mais entre nós,
continua sendo minha maior força para
seguir adiante.

A Caio Vinícius Saldanha Silva (*in
memorian*), amigo sonhador, pelos
momentos de alegria e por saber que
poderia ser você aqui no em meu lugar.

Dedico este trabalho primeiramente a
Deus, por ser luz em minha vida, me
guiando e tranquilizando nos momentos de
ansiedade, sem Ele nada seria possível.

A toda minha família, minha mãe, irmãs e
meu noivo que com muito carinho e apoio,
não mediram esforços para realização dos
meus sonhos.

A Sâmea Valensca A. Barros, minha
orientadora e amiga, que sempre acreditou
em meu potencial e não mediu esforços
para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, por ser luz e guiar a minha vida, por me conceder saúde para buscar e persistir por meus sonhos. Nada seria possível sem seu amor, obrigada Senhor.

A minha mãe Maria Izaura Xavier da Costa, ao qual tenho minha maior admiração, mulher humilde e batalhadora que mesmo em meio as dificuldades em sua infância buscou a educação como meio de mudança, e passou esse legado para suas filhas. Durante todos esses anos sempre me apoiou e não mediu esforços por minha educação. É presente em todos os momentos de minha vida, foi quem ouviu todas as minhas aflições, sonhos e nunca deixou de acreditar em mim. É ela que sempre senta na primeira cadeira para me aplaudir.

Ao meu pai (*in memoriam*) Monacy Nunes da Costa homem simples e generoso, durante sua vida buscou trabalhar e batalhar pela família. Sempre incentivando os meus estudos, eu só tenho a agradecer por todo amor e proteção que me deste. O sonho que busquei por esses 5 anos não é só meu, mas nosso. Obrigada por me incentivar a vencer na vida e me ensinar a buscar tudo com simplicidade e humildade.

As minhas irmãs, Micarla Vanessa Xavier da Costa e Mônica Veruska Xavier da Costa, que sempre me incentivaram e me apoiaram em todas as decisões, contribuindo para que esse trabalho fosse realizado.

Ao meu noivo Hudson Alves Batista da Costa, por todo amor, no qual me ajudou muito para realização deste trabalho. Houve momentos em que já não havia forças para continuar e você segurou em minha mão e disse que tudo daria certo. Além disso, me ajudou na realização das moldagens e me confortou nos momentos de ansiedade, demonstrando o quanto acredita em meu potencial.

Agradeço a todos os meus amigos, que durante toda essa jornada compartilham momentos de alegria e aflição ao meu lado. Sempre me encorajaram e acreditaram que seria capaz. A amizade é algo conquistada através do amor e companheirismo, e isso não faltou em momento algum. Obrigada meus queridos amigos.

A minha orientadora científica, Sâmea Valensca A. Barros, por ser além de orientadora, amiga. Desde as eletivas do curso de Ciência e Tecnologia, acreditou muito em mim e buscou meios que me fizessem se desenvolver dentro da Universidade. Além disso, me mostrou o amor pelo ensino, ensinando que para realizarmos nossos sonhos, basta ter determinação e acreditar que é capaz. É admirável observar o quanto ama a sua profissão. Agradeço por toda paciência, disponibilidade, compreensão e cada exigência atribuída, elas foram essenciais para meu crescimento acadêmico, pessoal e profissional.

Agradeço também ao técnico do laboratório de Construção Civil do IFRN- Campus Mossoró, Valteson da Silva, pela contribuição concedida na realização dos ensaios no laboratório, assim como ao seu estagiário, Yan Klysman.

A técnica de laboratório do curso de Engenharia Civil da UFERSA- Campus Angicos, Ádna Érica Melo de Souza, por toda sua disponibilidade para uso do laboratório.

Aos técnicos dos laboratórios da UFERSA-MOSSORÓ e aos do Laboratório de Tecnologia dos Materiais UFCG – CAMPINA GRANDE pela colaboração na execução dos ensaios.

Aos membros da Banca Examinadora por terem aceitado o convite: Bacharel Janielly Kaline de Oliveira Ferreira e o Bacharel Gerbeson Carlos Batista Dantas, pela disponibilidade e enriquecimento através de comentários e sugestões para esta pesquisa. Além disso, agradeço a Gerbeson pela disponibilidade a ensinar a utilizar o equipamento para calcinar a CCA utilizada na pesquisa, assim como dúvidas que surgiram, no qual sempre estive disposto a ajudar.

Aos meus colegas e professores do IFRN-Campus Ipanguaçu, jamais poderia deixar de agradecer aqueles que foram fundamental para meu ingresso em uma Universidade Federal, e que contribuíram para meu desempenho durante este curso.

A todos os professores, técnicos, terceirizados da UFERSA - Campus Angicos que tive o prazer de conviver durante estes 5 anos, construí diversos laços de amizade que foram fundamentais para meu bem estar dentro da Universidade. Tenho a

UFERSA - Campus Angicos, como minha segunda casa, por isso sou imensamente grata.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“Dar o melhor de si, é mais importante que ser o melhor”.

(Mike Lemer)

FRUTOS DO TRABALHO

XXV Seminário de Iniciação Científica (SEMIC)- Certificado de Menção Honrosa na área das Engenharias. Título: Comportamento mecânico de tijolos solo-cimento incorporados com CCA a diferentes temperaturas de calcinação.

VI Congresso Nacional de Educação Ambiental e VIII Encontro Nordestino de Biogeografia- Título: Resistência à compressão simples de tijolos solo-cimento confeccionados com CCA a diferentes temperaturas de calcinação. Capítulo de Livro.

RESUMO

O descarte de resíduos sólidos em locais impróprios tem afetado o meio ambiente e a saúde humana. Uma alternativa para solucionar essa problemática é o beneficiamento desses para que possam ser utilizados na confecção de materiais alternativos para atender as demandas da construção civil, promovendo a gestão adequada dos resíduos e tornando o setor sustentável. Os tijolos de solo-cimento apresentam potencial para incorporação dos resíduos sólidos, que após processos de beneficiamento adquirem propriedades importantes para serem utilizados na confecção desses. Ao passo que a resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento pode aumentar ao acrescentar na sua composição resíduos agroindustriais, a exemplo da cinza da casca de arroz, por ser um material pozolânico. A temperatura controlada de calcinação da cinza pode ser um fator que contribui para o melhoramento da sua atividade pozolânica, e consequentemente da resistência dos tijolos de solo-cimento incorporados com ela. Nesta perspectiva, esse trabalho tem como objetivo avaliar a influência da temperatura de calcinação da cinza da casca de arroz na resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento. A caracterização física do solo foi realizada fazendo uso das seguintes técnicas: análise granulométrica por peneiramento; limites de Atterberg; determinação da umidade ótima e peso específico seco máximo. A composição química da cinza da casca de arroz e do solo foi determinada por fluorescência de raios X (FRX) e a composição mineralógica da cinza da casca de arroz por difração de raios X (DRX). Os resultados indicaram que o solo atende as especificações técnicas exigidas para uso em tijolos de solo-cimento, apresentando composição química capaz de desencadear as reações pozolânicas com o aglomerante necessárias para promover comportamento mecânico adequado para este fim. Ademais, os tijolos de solo-cimento incorporados com a cinza da casca de arroz calcinada a temperatura de 800°C obtiveram melhor resistência à compressão simples do que os confeccionados com a cinza calcinada a temperatura de 1000°C. Além disso, os tijolos confeccionados com cinza da casca de arroz calcinada a 800°C obtiveram resistência compatíveis aos tijolos de referência.

Palavras-chave: Solo-cimento. Temperaturas de calcinação. Cinza de casca de arroz. Resíduos sólidos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Casca de Arroz.....	20
Figura 2- Cinza da casca de arroz calcinada.....	30
Figura 3- Moldagem dos corpos de prova	32
Figura 4- Ensaio de compactação	33
Figura 5- Curva de Compactação do solo	33
Figura 6- Resistência a compressão dos tijolos	34
Figura 7- Difratoograma de raios-x da amostra de CCA natural	37
Figura 8 - Difratoograma de raios-x da amostra de CCA a) Calcinada a temperatura de 800°C e b) Calcinada a temperatura de 1000°C	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Os modelos e tipos de tijolos solo-cimento, que são produzidos e comercializados.....	25
Tabela 2- Características do solo para uso em tijolos solo-cimento	28
Tabela 3- Limites de Atterbeg	35
Tabela 4- Composição química do solo.....	36
Tabela 5- Composição química da CCA calcinada a temperatura de 800°C e 1000°C	36
Tabela 6- Resistência à compressão simples dos tijolos confeccionados com CCA	39

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCA	Cinza da Casca de Arroz
CAERN	Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
CP's	Corpos de Prova
EDX	Espectrometria de Fluorescência de Raios X
FRX	Fluorescência de Raios X
RCS	Resistência à Compressão Simples
IFRN	Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 POZOLANAS ARTIFICIAIS	19
2.1.1 Cinza da Casca de Arroz.....	20
2.1.2 Uso da Cinza da Casca de Arroz na Construção Civil	21
2.2 TEMPERATURA DE QUEIMA DA CCA.....	23
2.3 TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO	24
2.3.1 Estabilização dos Solos.....	26
2.3.2 O solo como matéria-prima na confecção de tijolos solo-cimento	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 MATERIAIS	30
3.1.1 Materiais Convencionais	30
3.1.2 Materiais Alternativos	30
3.2 MÉTODOS.....	31
3.2.1 Beneficiamento da Cinza da Casca de Arroz	31
3.2.2 Beneficiamento do Solo.....	31
3.2.3 Caracterização Física do Solo	31
3.2.4 Caracterização Química do solo e da CCA.....	31
3.2.5 Caracterização mineralógica da CCA	32
3.2.6 Confecção de Tijolos Ecológicos	32
3.2.7 Determinação da Resistência à compressão simples (RCS)	34
4. RESULTADOS E DISCURSÕES.....	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO.....	35
4.1.1 Limites de Atterberg e a fração passante na peneira da ABNT N° 200.....	35
4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO	35
4.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA CCA.....	36
4.4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DA CCA	37
4.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DOS TIJOLOS DE SOLO- CIMENTO INCORPORADOS COM A CCA	39

5. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

As buscas pela preservação ambiental fazem com que a construção civil seja uma das áreas que mais adquira novos conceitos e soluções para promover a sustentabilidade. O reaproveitamento da cinza da casca de arroz se destaca como uma alternativa de valorização dos materiais descartados, no qual atribui um reaproveitamento, ao invés de simplesmente lança-los na natureza.

Existe uma geração de alto teor de resíduos na produção de arroz. Mundialmente são gerados 600 milhões de toneladas de arroz em casca. Considerando que 20% da produção é casca, obtém-se um total de 120 milhões de toneladas de casca de arroz por ano, destinada inadequadamente no meio ambiente (TASHIMA et al., 2011).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) aponta recorde de 240,9 milhões de toneladas na safra de cereais para o ano de 2020, estando a produção de arroz com estimativa de 10,4 milhões de toneladas, crescimento de 1,0% em relação a 2019. No entanto, apesar da grande produção de arroz beneficiar a economia do país cria-se desafios no que diz respeito à destinação da grande quantidade de resíduos gerados durante o beneficiamento do arroz.

Neste sentido, existem estudos envolvendo o uso da cinza da casca de arroz como matéria prima alternativa para atender as demandas da construção civil. Logo, sua utilização em tijolos ecológicos vem sendo uma das principais saídas para promover uma destinação adequada.

Pinto (2015) afirma que uma das principais vantagens dos tijolos de solo-cimento é a possibilidade de adição de materiais de descarte na sua produção, pois assim contribui para o desenvolvimento sustentável. Ademais, Fiais e Souza (2017) afirmam que é uma produção sustentável por dispensar o processo de queima, tornando-se assim uma metodologia capaz de contribuir para gestão adequada dos resíduos sólidos.

Estudos realizados para utilizar a cinza da casca de arroz (CCA) como material alternativo mostraram que um dos aspectos críticos para obter uma boa reatividade da CCA com cimento ou com cal é a temperatura na qual a mesma é calcinada, pois esta que determina o teor de sílica amorfa e a atividade pozolânica do mesmo (POUEY, 2006).

Diante do exposto, o presente trabalho torna-se relevante por contribuir com a lacuna existente na literatura quanto a verificação da influência da temperatura de calcinação da casca de arroz na resistência à compressão simples (RCS) dos tijolos de solo-cimento.

1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a influência da temperatura de calcinação da CCA na resistência à compressão simples dos tijolos solo-cimento confeccionados com 10% de substituição do cimento pela CCA calcinada a temperatura de 800°C e 1000°C.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física do solo;
- Determinar a caracterização química do solo;
- Executar a caracterização química e mineralógica da CCA calcinada a temperatura de 800°C e temperatura de 1000°C;
- Obter a resistência à compressão simples dos tijolos incorporados com a cinza da casca de arroz em substituição parcial ao cimento no teor de 10% confeccionados no traço 1:10.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POZOLANAS ARTIFICIAIS

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 12653 (ABNT, 2014) as pozolanas são materiais considerados silicosos ou silico-aluminosos, que separados possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentante, no entanto quando em contato com a água apresenta capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, resultando na formação de compostos cimentícios.

Os materiais pozolânicos são classificados em naturais e artificiais. Ainda segundo a norma, as pozolanas naturais são aquelas que apresentam origem vulcânica, de carácter petrográfico ácido (65% de SiO_2) ou de origem sedimentar, diferentemente das pozolanas artificiais que são materiais que provêm de tratamento térmico ou subproduto industrial com atividade pozolânica (ABNT, 2014).

Oliveira e Barbosa (2006) afirmam que a principal propriedade de uma pozolana é a sua capacidade de reação com o hidróxido de cálcio, formando compostos estáveis de poder aglomerante, tais como: silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. É dessa forma que os compostos a base de cimento Portland reage com a pozolana que é utilizada em substituição ao cimento, resultando em uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados, que são produtos mais estáveis do cimento hidratado.

As adições pozolânicas são bastante utilizadas no processo de produção do cimento, sendo indispensável para a indústria cimenteira, devido as vantagens econômicas e ambientais propiciadas. Além disso, a redução no consumo de clínquer e a adequada destinação de resíduos industriais explicam a crescente utilização das adições minerais (ANTONI; ROSSEN; MARTINERA, 2012)

Como exemplo de adições pozolânicas utilizadas na construção civil, estão as artificiais, como as cinzas volantes resultantes da queima de combustível nas centrais termoelétricas, algumas cinzas de biomassa utilizada como combustível, assim como a cinza de casca de arroz ou outros cereais (IDIR; CYR; TAGNIT-HAMOU, 2010).

Vale ressaltar, que a cinza da casca de arroz vem apresentando bastante destaque ao ser utilizada como material alternativo, sendo classificada como pozolana artificial, pois é obtida através de processos industriais. No entanto, a característica determinante para ser considerada pozolana está associada a

diferentes fatores como a composição química da casca, assim como a condição de queima adotada (CORDEIRO; MASUERO; MOLIN, 2014).

2.1.1 Cinza da Casca de Arroz (CCA)

A atividade agroindustrial de beneficiamento de arroz se destaca pela alta produção de resíduos da casca de arroz, no qual representa um problema econômico e ambiental. Usualmente as cascas de arroz são descartadas e lançadas em aterros e estradas vicinais. Além disso, a mesma é queimada a céu aberto, produzindo toneladas de cinzas que são prejudiciais à saúde humana (MILANI, 2008).

Segundo Souza, Segantini e Pereira (2008) a CCA é considerada um subproduto da combustão da casca de arroz (Figura 1), que ao ser passado pelo processo de moagem, adquire propriedades pozolânicas. Compostas basicamente por 40% de celulose, 18% de hemicelulose, 22% de lignina e 20% de resíduo orgânico, a casca de arroz ao passar por processo de queima gera cinza com teor de 90% de sílica na forma amorfa, bem como os demais óxidos. Característica que torna o produto atrativo para uso na construção civil (CHANDRASEKAR et al., 2003).

Figura 1- Casca de Arroz



FONTE: FERNANDES (2016).

Ao ser queimada a baixas temperaturas, a casca de arroz gera uma cinza com certo teor de carbono e, por isso, apresenta coloração escura. No entanto, quando o processo de combustão é realizado de forma completa, o material resulta numa cinza de cor acinzentada, branca ou púrpura. Em conformidade com a literatura variáveis

como temperatura de queima, tempo de residência e taxa de aquecimento influenciam diretamente nas propriedades físico-químicas quanto nas estruturas morfológicas da CCA (TASHIMA et al., 2012).

Segundo Tiboni (2007) a superfície específica da CCA possui grande influência na atividade pozolânica em virtude de estar diretamente correlacionada à finura do material, afetando o grau de atividade pozolânica. Este comportamento é influenciado pela distribuição, forma e rugosidade superficial das partículas e pela distribuição dos poros existentes.

Vale ressaltar que a temperatura atingida durante a combustão da casca de arroz é um fator de influência determinante para o aparecimento da sílica em estado amorfo ou cristalino. Sendo indispensável obtenção de estudos quanto à temperatura de queima da casca de arroz (TASHIMA; SILVA; AKASAKI, 2007).

Desta forma, diante de estudos realizados buscando aumentar as possibilidades de reutilização da CCA, a construção civil tem se destacado com uma das principais áreas de utilização da CCA como material alternativo, principalmente na preparação de concretos, argamassas a base de cimento Portland além de tijolos ecológicos (TASHIMA et al., 2011).

2.1.2 Uso da Cinza da Casca de Arroz na Construção Civil

A utilização de resíduos na construção civil gerados pelas mais diversas atividades econômicas, tem proporcionado a sua gestão adequada. Diversas pesquisas abordam a utilização da CCA na construção civil, e mostram que o resíduo pode ser utilizado em substituição parcial ao cimento Portland, melhorando as propriedades finais do novo produto formado (TASHIMA et al., 2011).

Neste contexto, Bezerra (2011) verificou a utilização da CCA na fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, no qual obteve valores positivos, a resistência a compressão simples apresentou aumento considerável até os 63 dias de cura em todas as argamassas analisadas.

Já Milani e Freire (2006) investigaram a viabilidade da utilização solo-cimento-casca de arroz quanto a ensaios de compressão simples e tração na compressão diametral. Os resultados mostraram que a casca de arroz se apresenta como um material alternativo promissor, além de racionalizar o uso da terra, minimiza o seu descarte em locais inadequados.

Souza, Segantini e Pereira (2008) pesquisaram a viabilidade da utilização da CCA em argamassas como substituto de parte do agregado miúdo (areia), com o intuito de obter melhorias quanto as propriedades físicas e mecânicas. Logo, as argamassas apresentaram bom comportamento mecânico quando comparadas com as confeccionadas sem a CCA, concluindo que a utilização deste produto é viável no ponto de vista físico e mecânico. No entanto, o mesmo recomenda o uso de percentuais inferiores a 20%.

Pereira et al. (2015) aplicaram a substituição de cimento Portland por CCA em argamassas e concretos. Os resultados, mostraram-se satisfatórios para os teores de 5% e 10%, no que diz respeito ao seu ganho de resistência axial. No entanto, o uso em maiores porcentagens de substituição de CCA (10 e 15%), nas argamassas, não proporcionou ganhos de resistência ao compará-los com as argamassas de referência.

De acordo com Isaia et al. (2010) é possível obter concretos com melhores propriedades utilizando a cinza da casca de arroz, essa afirmativa foi realizada ao estudarem a utilização da substituição de 15% de cimento por CCA natural, no qual houve acréscimo de resistência axiais aos 91 dias em relação aos concretos de referência.

Outra forma de utilização da CCA na construção civil, de acordo com Carpio (2009), é em pavimentos com concreto compactado com rolo. Encontrando maiores valores de resistência a compressão simples nas misturas com substituição de 5 a 7% da CCA moída.

Habeeb e Mahmud (2010) avaliaram o ataque de sulfato de magnésio em concretos contendo 20% de substituição de CCA pelo cimento Portland. Os resultados se mostraram positivos quanto a resistência a compressão e a durabilidade ao comparados com os concretos sem adição da cinza.

Desta forma, observa-se o amplo campo de pesquisas e de aplicação para CCA na construção civil na fabricação de concretos, argamassas e tijolos. Sendo possível oportunizar a redução de impactos ambientais fazendo o seu uso na confecção de materiais alternativos (TASHIMA et al., 2011).

2.2 TEMPERATURA DE QUEIMA DA CCA

A temperatura de queima da casca de arroz e de sua cinza é um fator importante para sua utilização como material alternativo. A queima é uma das maneiras mais eficazes de reduzir o volume em até 80% da casca que é gerado (PINHEIRO, 2016).

Segundo Folleto et al. (2005) existem duas formas de geração da cinza, sendo elas a cinza branca que origina-se a temperaturas elevadas quase totalmente composta por sílica e a cinza preta, formada a temperaturas mais baixas contendo além da sílica, uma boa quantidade de material orgânico.

Ao estudar a CCA Della (2005) observou que quando a calcinação era tida em baixas temperaturas como 400°C, gerava uma cinza de coloração preta devido além da temperatura mais baixa o tempo de queima não ter sido suficiente para reduzir o carbono. Já a temperatura de 700°C, obteve-se sílica de coloração cinza claro devido a perda de parte da matéria orgânica presente na cinza.

Della, Kühn e Hotza (2001) ao estudar a CCA para uso na fabricação de refratários observou que quanto mais se eleva a temperatura de queima, são eliminados maiores quantidades de matéria orgânica e a taxa de sílica é aumentada. Assim, o processo de calcinação se torna um dos principais fatores para a atividade pozolânica do material resultante.

Segundo Nair et al. (2008) quando produzida a partir de queima controlada com temperaturas inferiores a 600°C, a CCA possui, em sua morfologia, a presença de sílica amorfa que promove maior reatividade com o cimento e a cal.

No entanto, se a casca for pré-aquecida entre a faixa de 300 à 350 °C por um tempo determinado e posteriormente elevada a temperatura até 1000 °C, é possível que a CCA não apresente nenhuma fase cristalina (SUGITA, 1992).

Desta forma, variáveis como a temperatura de queima e a atmosfera ao qual é calcinada, além da taxa de aquecimento influencia nas propriedades físico-químicas quanto nas estruturas morfológicas da CCA (TASHIMA et al., 2012).

Carvalho (2015) analisou tratamentos térmicos e químicos para a valorização da casca de arroz, e ao calcinar amostras nas temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C e 800°C, obteve em seus resultados que a temperatura que apresentou maior concentração de sílica foi a calcinada à 800°C.

Segundo Xiond et al. (2009) e Soltani et al. (2015) abaixo de 800°C a sílica apresenta-se amorfa. No entanto, cristaliza-se em temperaturas superiores a 900°C. As variações no tratamento térmico influenciarão nas características de densidade, concentração e área específica da sílica obtida.

Tashima, Silva e Akasaki (2007) afirmam que independentemente do processo de queima da casca para obtenção da cinza da casca de arroz, o teor de sílica apresenta-se na ordem de 74% a 97%. A influência da queima se relaciona com a morfologia da sílica presente na cinza.

Segundo Pouey et al. (2007), Rodrigues e Beraldo, (2010) pesquisas comprovam que as cinzas, embora não originadas de processos de queima de forma controlada, podem apresentar características pozolânicas satisfatórias para uso na construção civil.

Neste contexto, a CCA apresenta em sua composição uma alta quantidade de sílica que diminui de acordo com o aumento de temperatura de calcinação. No entanto, a temperaturas elevadas é formado o pico de cristobalita, que vai se tornando mais definido à medida que a temperatura vai aumentando (CORDEIRO; MASUERO; MOLIN, 2014).

2.3 TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Os tijolos ecológicos são constituídos de solo e cimento e/ou solo e cal, recebendo tal denominação por não precisar passar pelo processo de queima, dispensando o uso da madeira ou outros resíduos como combustível, evitando assim a formação do efeito estufa (NETTO, 2009).

Dentre os tijolos ecológicos estão os tijolos de solo-cimento que são constituídos de solo, cimento e água. No qual, são misturados e posteriormente prensados sob compactação a um teor de umidade ótima (SOUZA, 2006).

Segundo Grande (2003) o método de produção de tijolos solo-cimento é vantajoso em relação ao sistema convencional, pois existe um maior controle de perdas, disponibilidade de abastecimento, durabilidade, segurança estrutural, economia de transporte quando produzido no local da obra, além de baixa agressividade ao meio ambiente.

Os tijolos solo-cimento apresentam bom comportamento térmico e durabilidade equivalentes às construídas com tijolos ou blocos convencionais. Além disso, a

alvenaria de tijolo de solo-cimento apresenta uma economia de quase 21% em relação à alvenaria de tijolo convencional (MOTTA et al., 2014).

Segundo Pisani (2005) o mercado brasileiro possui diversos modelos de tijolos solo-cimento (Tabela 1), que são fabricados de acordo com a aplicação. Logo, são escolhidos por base de projetos, mão de obra, materiais e outra especificações.

Tabela 1- Os modelos e tipos de tijolos solo-cimento, que são produzidos e comercializados

Tipo	Dimensões	Características
Maciço comum	5×10×20 cm. 5×10×21 cm.	Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns.
Maciço com encaixes	5×10×21 cm. 5×11×23 cm.	Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa.
½ tijolo com encaixes	5×10×10,5 cm. 5×11×11,5 cm.	Elemento produzido para que não haja quebras na formação dos aparelhos com juntas desencontradas.
Tijolos com dois furos e encaixes	5×10×20 cm. 6,25×12, 5×25 cm. 7,5×15×15 cm.	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais.
½ tijolo com furo e encaixe	5×10×10 cm. 6,25×12,5×12,5 cm. 7,5×15×15 cm.	Elemento produzido para acertar os aparelhos, sem a necessidade de quebras.
Caneletas – vide Figura1	5×10×20 cm. 6,25×12, 5×25 cm. 7,5×15×30 cm.	Elemento empregado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais.

FONTE: ADAPTADO DE PISANI, 2005.

Motta et al. (2014) analisaram a viabilidade econômica da utilização do tijolo solo-cimento e obteve resultados positivos em relação a resistência mecânica ao ser comparado com o tijolo convencional.

Segundo a Associação Brasileira de Normas técnicas NBR 10833 (2013) o solo utilizado para fabricação dos tijolos não deve conter matéria orgânica em sua composição, para que não haja interferência na sua hidratação. Além disso, os tijolos devem conter as dimensões, absorção de água e resistência à compressão especificados por norma.

Silva, Santos e Saravis (2018) afirmam que os tijolos de solo-cimento possuem melhorias em suas propriedades térmicas. Logo, proporciona melhor qualidade de vida aos seus usuários. Além de possibilitar a adição de materiais de descarte na sua produção, no qual contribui significativamente no desenvolvimento sustentável (PINTO, 2015).

2.3.1 Estabilização dos Solos

O solo é uma matéria prima importante da construção civil, visto que pelo menos 50% da população mundial vive em edificações executadas com uso de solo, seja por meio de tijolos, telhas, cimento ou outro material que sejam provenientes do solo natural (GUETTALA; ABIBSI; HOUARI, 2006).

A estabilização do solo compreende em modificar as características do sistema solo-água-ar para obter propriedades necessárias para sua aplicação. Ao estabilizar o solo com o cimento ocorre reações de hidratação entre os silicatos e aluminatos presentes no cimento, que confere a mistura uma maior resistência inicial (MILANI, 2008).

Ainda Segundo Milani (2008) na estabilização ocorrem reações iônicas que proporcionam troca de cátions dos argilominerais presentes no solo com os íons de cálcio obtidos através da hidratação do cimento.

A reação do cálcio livre liberado durante o processo de hidratação do cimento gera agregação do solo-cimento. Devido uma das características do cimento ser a condutibilidade elétrica das partículas quando misturado ao solo, no qual provoca uma atração entre o cimento e as partículas de argila, produzindo agregados (FERREIRA, 2003).

Ferreira (2003) ainda complementa afirmando que a estabilidade do solo-cimento ocorre principalmente pela hidratação do cimento e não pela coesão e atrito interno dos elementos. Logo, sendo possível utilizar todos os tipos de solo e combinações de solo para a mistura. No entanto, é preciso se ater que os solos finos

necessitam de maior percentual de cimento que os solos granulares, pelo fato de possuírem maior superfície específica.

Para ser utilizado em tijolos de solo-cimento, o solo deve passar por peneiração seja de forma manual ou mecanizada. Esse processo deve ser realizado para purificar a matéria prima para que o mesmo não apresente resíduos minerais e orgânicos (SILVA, SANTOS; SAVARIS, 2018).

As reações químicas no solo estabilizado com cimento são tidas inicialmente pelo processo de hidratação. No entanto, as reações de hidratação são lentas e possui como produto os cristais de etringita (trissulfoaluminato de cálcio hidratado), a portlandita (Ca(OH)_2), a alita (C_3S), a belita (C_2S) e o monossulfualuminato de cálcio hidratado (BRITO, 2017).

Segundo Mehta et al. (1994) a portlandita (hidróxido de cálcio) pode reagir com materiais pozzolânicos disponíveis no solo e produzir mais silicato amorfo cimentante, reduzindo os vazios e permitindo um aumento na resistência do solo.

O solo também pode ser estabilizado por adições minerais como a cinza volante, sílica ativa, além da cinza da casca de arroz em substituição ao cimento na estabilização. Além disso, explica que essas adições possuem sílica e alumínio sob a forma amorfa, no qual podem reagir quimicamente com a cal que vem da hidratação do cimento, desenvolvendo a formação de compostos semelhantes aos silicatos e aluminato de cálcio hidratado (DALLACOR et al., 2002).

A granulometria e a classificação do solo aliado as condições de cura, são fatores que influenciam a estabilização e consequentemente a qualidade dos tijolos fabricados com o uso de solos estabilizados (FERREIRA, SILVA E FREIRE, 2003). Desta forma, os solos estabilizados proporcionam melhorias quanto a aderência maior entre os grãos do solo, menor permeabilidade e diminuição do volume de vazios (CANCIAN, 2013).

2.3.2 O solo como matéria-prima na confecção de tijolos solo-cimento

O solo é o principal material que apresenta maior porcentagem na mistura de tijolos, influenciando diretamente na qualidade e no custo final do produto (PECORIELLO; BARROS, 2004). Constituída de três fases (partículas sólidas, água e ar), o solo é resultante da decomposição das rochas da superfície da crosta terrestre,

assim, seu comportamento depende da quantidade relativa de cada componente (LIMA, 2010).

Os requisitos necessários que o solo deve conter para serem utilizados na fabricação de tijolos e bloco de solo-cimento de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10833 (ABNT, 2013) são apresentados na (Tabela 2).

Tabela 2- Características do solo para uso em tijolos solo-cimento

Determinações (%)	Limites NBR 10833 (2013)
Limite de Liquidez (LL)	$\leq$ a 45%
Limite de Plasticidade (LP)	-
Índice de Plasticidade (IP)	$\leq$ a 18%
Passante na peneira ABNT N°200	10% a 50%

FONTE: ADAPTADO DA ABNT NBR 10833 (2013).

É importante que o solo utilizado na confecção de tijolos solo-cimento, seja isento de matéria orgânica, pois quando existente interfere na reação de hidratação com o cimento, prejudicando a resistência a compressão dos tijolos. Além disso, ao coletar o solo indica-se a não retirada em camadas superficiais, devido ser a camada que geralmente há predominância de matéria orgânica (SILVA, 2005).

Dentre os tipos de solo, os argilosos são os que melhor permitem a correção granulométrica) por meio de adição de areia. Desta forma, devido ao solo exercer maior influência na mistura, dificilmente se obtém um produto satisfatório utilizando um solo inadequado (SILVA, 2009).

Souza e Barbosa (2000) trabalharam com solo arenoso na fabricação de tijolos, e para que o mesmo apresentasse coesão adequada para moldagem de tijolos solo-cimento, foi necessário adicionar uma quantidade de solo fino contendo silte e argila para conferir melhor plasticidade na mistura.

Pinto (1980) descreve em seus estudos, que o solo ideal para a mistura solo-cimento deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho. Sendo os solos arenosos e com quantidade razoável de silte e argila os mais indicados, pelo fato de obter uma mistura com baixo consumo de cimento.

No entanto, apesar do solo arenoso se estabilizar com menores quantidades de cimento, é necessário à presença de argila na sua composição, visando dar à mistura, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para sua moldagem e imediata retirada das formas. Além disso, ressalta que os solos que contêm matéria orgânica em sua composição são contraindicados para fabricação de tijolos solo-cimento (ABCP, 1985).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Materiais Convencionais

Os materiais convencionais utilizados nessa pesquisa foram: o cimento Portland CP V ARI MAX (Nacional, Sociedade Brasileira de Cimento Portland), solo argiloso coletado no município de Itaiçaba/CE e água potável, fornecida pela companhia local, CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte), para o sistema de abastecimento de Angicos/RN.

3.1.2 Materiais Alternativos

O material alternativo utilizado foi o resíduo da cinza da casca de arroz calcinada as temperaturas de 800°C e 1000°C (Figura 2). A CCA foi adquirida na empresa Café Itans, localizada no município de Caicó/RN.

Figura 2- Cinza da casca de arroz calcinada



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019)

Vale ressaltar, que a CCA calcinada a temperatura de 800°C e temperatura de 1000°C foi utilizada em substituição parcial ao cimento na proporção de 10%.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Beneficiamento da Cinza da Casca de Arroz

O resíduo da casca de arroz após ser coletado passou por queima em olaria para retirada do teor de carbono, em seguida, realizou-se a calcinação da cinza resultante, em mufla da marca JUNG modelo LP-02312, a temperatura de 800°C e 1000°C por duas horas, em atmosfera oxidante. Após o processo de calcinação, o material passou em peneira ABNT nº 200 (0,074mm).

3.2.2 Beneficiamento do Solo

O solo, após coletado no município de Itaíçaba/CE, foi seco ao ar, em seguida desagregado e peneirado em peneira ABNT nº 4 (4,8mm) para realização dos ensaios de caracterização física do mesmo.

3.2.3 Caracterização Física do Solo

A caracterização física foi realizada no laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) do Campus Mossoró/RN através dos ensaios: granulometria por peneiramento (ABNT NBR 7181/2016), limite de liquidez (LL) (ABNT NBR 6459/2016), limite de plasticidade (LP) (ABNT NBR 7180/2016) e compactação Proctor Normal (ABNT NBR 7182/2016).

3.2.4 Caracterização Química do solo e da CCA

A composição química foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), esta técnica se baseia no princípio da absorção de raios X pelo material que provoca a ionização interna dos átomos, gerando uma radiação característica conhecida como “fluorescência”. Enquanto, a análise química foi realizada através de espectrometria de fluorescência de raios X (EDX) para obter os óxidos presentes na composição das amostras.

3.2.5 Caracterização mineralógica da CCA

A caracterização mineralógica foi realizada utilizando a difração de raios X (DRX) que consiste em uma análise qualitativa capaz de identificar as fases mineralógicas presentes na amostra. Para esta análise, as amostras foram colocadas em porta amostra de alumínio e depois no Difratorômetro Shimadzu XRD-6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV, corrente de 30mA, modo de escaneamento por passos (*fixed time scan*), com passo de 0,02 e tempo de contagem de 0,6 s, com ângulo 2θ percorrido de 5° a 60° .

3.2.6 Confecção de Tijolos Ecológicos

Os corpos de prova foram moldados utilizando moldes cilíndricos com dimensões (50x100) mm no traço 1:10, de acordo com a norma ABNT NBR 12024 (2012). O teor de substituição do aglomerante pela CCA foi de 10%. Após a moldagem (Figura 3), os CP's foram curados por 60 dias em câmara úmida, para posterior análise da resistência à compressão simples.

Figura 3- Moldagem dos corpos de prova



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

A determinação da quantidade de água para moldar os tijolos de solo-cimento se deu através da determinação da umidade ótima (w_{opt}) do solo com 10% de

cimento. O ensaio para se obter a ρ_{otm} foi realizado conforme o procedimento proposto pela norma ABNT NBR 7182 (2016) (Figura 4).

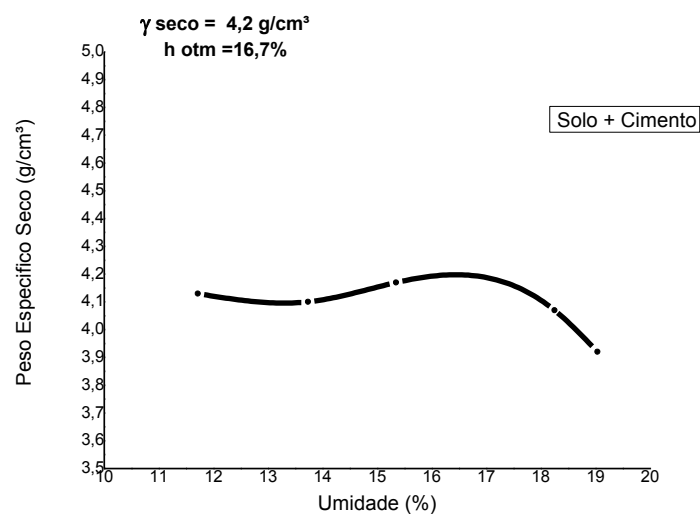
Figura 4- Ensaio de compactação



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

A Figura 5 apresenta a curva de compactação obtida para o solo com 10% de cimento, através dela verificou-se que o peso específico seco máximo foi $4,2 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima de 16,7%.

Figura 5- Curva de Compactação do solo



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

3.2.7 Determinação da Resistência à compressão simples (RCS)

A RCS foi obtida conforme a norma da NBR 12025 (ABNT, 2012) e a NBR 8492 (ABNT, 2013). Utilizou-se o valor obtido da média aritmética simples dos valores alcançados por três CP's na substituição de 10%, além dos CP's de referência.

Figura 6- Resistência a compressão dos tijolos



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

O equipamento utilizado para romper os CP's foi a Máquina Universal Emic SSH300, célula Trd 30 com velocidade de carga de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

4.1.1 Limites de Atterberg e a fração passante na peneira da ABNT N° 200

A Tabela 3 apresenta os limites de Atterberg e a fração passante na peneira da ABNT N° 200 obtidos para o solo estudado.

Tabela 3- Limites de Atterbeg

Determinações (%)	Solo (%)	Limites NBR 10833 (2013)
Limite de Liquidez (LL)	22,75	≤ a 45%
Limite de Plasticidade (LP)	19,69	-
Índice de Plasticidade (IP)	8,06	≤ a 18%
Passante na peneira ABNT N°200	32,86	10% a 50%

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que o índice de plasticidade obtido (8,06%) atende as exigências da norma NBR 10833 (ABNT, 2013) sendo classificada seguindo a metodologia de Caputo (2013) como mediantemente plástica assumindo papel fundamental na fabricação de tijolos devido desempenhar uma melhor trabalhabilidade na mistura. Ademais, o limite de liquidez obtido (27,75%) atende ao estabelecido por norma.

Com relação à fração passante na peneira de malha 0,074mm também atendeu ao intervalo de valor estabelecido pela norma (32,86). Logo, os valores obtidos para os parâmetros estabelecidos pela NBR 10833 (ABNT, 2013) indicam que o solo estudado pode ser utilizado na confecção de tijolos de solo-cimento.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

A Tabela 4 apresenta a composição química do solo de Itaiçaba/CE que foi utilizado nesta pesquisa.

Tabela 4- Composição química do solo

Determinações (%)	Solo (%)
SiO ₂	56,16
Al ₂ O ₃	34,45
Fe ₂ O ₃	4,77
K ₂ O	2,57
MgO	1,10
Óxidos	0,95

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

Os resultados obtidos na Tabela 4 apresenta um alto teor de óxido de alumínio, em que pode ser um indicativo da presença minerais filossilicatos (caulinita, vermiculita, clorita, mica, entre outros), que são minerais característicos de solos argilosos. Fato este que poderia ser visualizado através da determinação da composição mineralógica do solo. Vale ressaltar, que a cor avermelhada apresentada no solo estudado é justificada pela presença do teor de óxido de ferro presente em sua composição química.

4.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA CCA

A Tabela 5 apresenta os óxidos que constituem a composição química da CCA calcinada a temperatura de 800°C e de 1000 °C.

Tabela 5- Composição química da CCA calcinada a temperatura de 800°C e 1000°C

Determinações(%)	CCA 800°C	CCA 1000°C
SiO ₂	91,55	71,81
CaO	1,65	17,58
K ₂ O	2,45	2,67
P ₂ O ₅	0,79	2,42
Al ₂ O ₃	2,11	1,98
MgO	0,47	1,30
SO ₃	0,55	0,92
Fe ₂ O ₃	0,25	0,64
Outros Óxidos	0,18	0,63

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

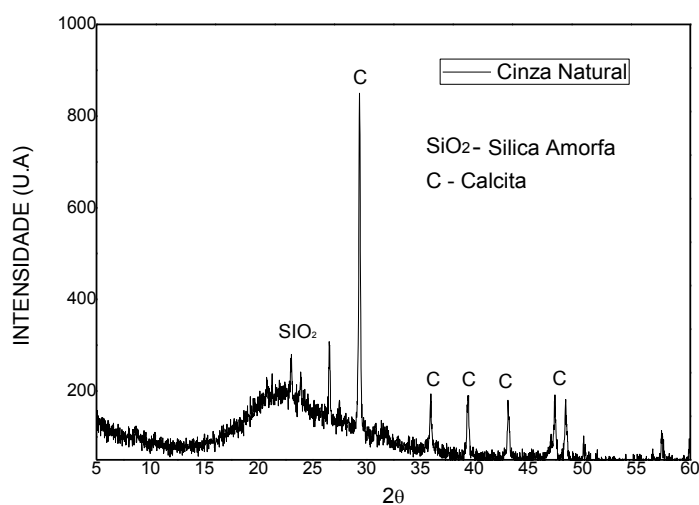
Observa-se na Tabela 5, presença predominante da sílica (SiO_2) nas duas amostras. Dessa forma, pode-se afirmar que as cinzas obtidas apresentam composição química favorável para serem utilizadas em tijolos de solo-cimento, à medida que a sílica que as constituem é amorfa.

Observa-se, ainda, que a temperatura de 800°C apresenta um maior teor de sílica, corroborando com os resultados encontrados em estudos como o de Cordeiro, Masueiro e Molin (2014). Pois, quanto maior a temperatura de calcinação maior as mudanças de fase ocorridas e conseqüentemente ocorrem a diminuição do teor de sílica.

4.4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DA CCA

A análise mineralógica apontou que a CCA apresenta sílica na forma amorfa, assim como calcita (Figura 7).

Figura 7- Difratrograma de raios-x da amostra de CCA natural



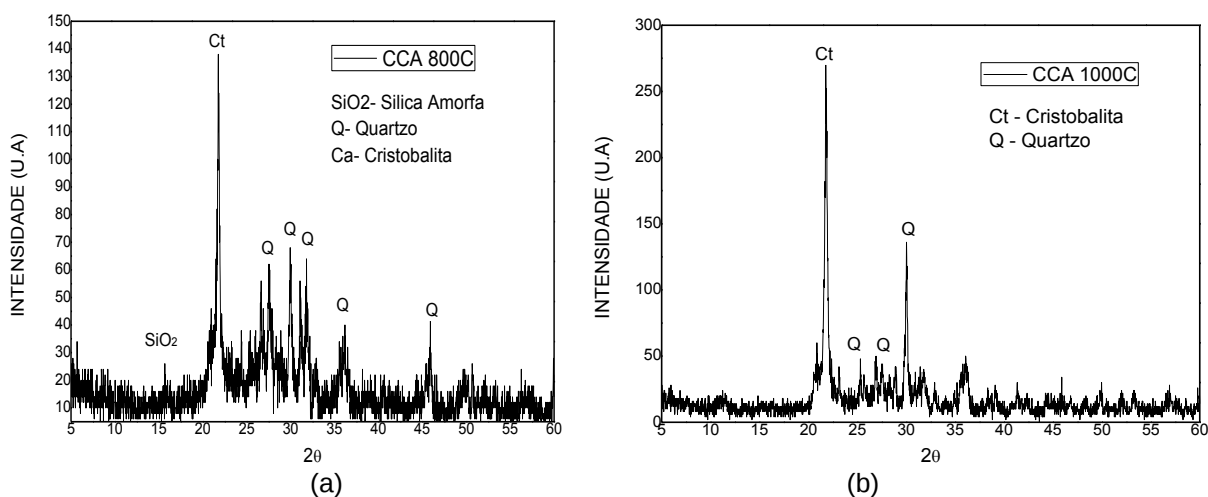
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020).

A presença de sílica amorfa está diretamente ligada à temperatura e ao método de obtenção da cinza. Quando a temperatura de queima da casca de arroz é baixa ou quando o tempo de exposição em altas temperaturas é pequeno, a sílica apresenta-se em maior porcentagem na forma amorfa. Logo, a presença da sílica amorfa é caracterizada por se tratar de uma CCA em estado natural, em que passou apenas pela etapa de queima em olaria, sem controle da temperatura.

Com relação a detecção de minerais como a calcita, pode-se dizer que a avaliação é bastante complexa, devido à baixa intensidade de seus picos, que se encontram distribuídos bem próximo ao ruído de fundo dos espectros difratométricos. Além disso, a presença da calcita pode ser explicada pela elevada quantidade de óxido de cálcio na composição química da casca de arroz que ao passar pelo processo de queima a temperaturas abaixo de 600°C dificulta a ocorrência de sua decomposição.

A Figura 8 (a) e 8 (b) apresentam a análise mineralógica da CCA calcinada as temperaturas de 800°C e 1000 °C, respectivamente.

Figura 8 - Difratoograma de raios-x da amostra de CCA a) Calcinada a temperatura de 800°C e b) Calcinada a temperatura de 1000°C



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020).

De acordo com as Figura 8 (a) e (b), percebe-se que o comportamento característico de um material pozzolânico (banda) com o aumento de temperatura se torna mais suave, dando indícios que ocorre a mudança de fases, isto é, processo de cristalização da sílica amorfa em cristobalita que vai se tornando mais intenso com o aumento da temperatura (perceptível com o surgimento e aumento dos picos) e com isso o material deixa de ser pozzolânico e passa a ser filler ou um material de enchimento.

Os resultados obtidos nessa pesquisa para caracterização da CCA a 800°C e a 1000°C se assemelham aos encontrados por Cordeiro, Masuero e Molin (2014).

4.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO INCORPORADOS COM A CCA

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para resistência à compressão simples (RCS) dos tijolos de solo-cimento produzidos com a CCA a 800°C e a 1000°C em substituição parcial ao Cimento na proporção de 10%, e para os respectivos tijolos de referência (Solo-cimento sem adição do resíduo) depois de curados em cura úmida por 60d.

Tabela 6- Resistência à compressão simples dos tijolos confeccionados CCA

Traço 1:10	RCS 60d(Mpa)	Desvio Padrão
10% CCA 800°C	5,29	±0,15
10% CCA 1000°C	3,66	±0,47
Referência	5,16	±0,062

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2019).

De acordo com a Tabela 6, observa-se que a resistência à compressão simples foi maior nos tijolos confeccionados com a CCA calcinada a 800°C apresentando (44,53%) em relação aos tijolos confeccionados com CCA calcinada a 1000°C. Corroborando com os resultados obtidos na caracterização mineralógica e química da cinza, pois a CCA calcinada a 800°C apresenta uma maior atividade pozolânica.

Percebe-se, ainda, que a resistência à compressão simples dos tijolos incorporados com a CCA foi bem próxima ao valor dos tijolos de referência, comprovando a viabilidade técnica do uso desse resíduo após ser calcinado em temperatura controlada.

5. CONCLUSÃO

Após a realização do estudo da influência da temperatura de calcinação da CCA na fabricação de tijolos solo-cimento, é possível concluir:

- O solo utilizado é um solo argiloso de plasticidade média, que infere melhor trabalhabilidade no seu uso.
- O solo estudado apresenta índice de plasticidade, limite de liquidez e porcentagem passante na peneira 0,0074 mm que atende todas as exigências da norma da ABNT NBR 10833 (2013) para uso na confecção de tijolos de solo-cimento.
- A CCA a 800°C apresentam um elevado teor de sílica amorfa, que as caracterizam como material pozzolânico e permite seu uso em substituição parcial ao cimento na confecção de tijolos de solo-cimento.
- A CCA a temperatura de 800°C, de acordo com sua composição química e mineralógica, apresenta melhor atividade pozzolânica que a calcinada a 1000°C.
- Os valores de resistência à compressão simples dos tijolos confeccionados com cinza a 800°C e 1000°C atendem a resistência mínima especificado na norma NBR 8491 (ABNT,2013).
- Os valores obtidos para resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento incorporados com a CCA calcinada a temperatura de 800°C na idade de 60d foram superiores aos de referência.
- Houve diferença significativa na resistência a compressão simples dos tijolos de solo-cimento calcinados na temperatura de 800°C para os confeccionados com cinza de CAA calcinada à 1000°C, sendo melhor para aqueles confeccionados com a CCA a 800°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. São Paulo, 1985. 8 p. BT-111.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos- Especificação. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bolo de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica- procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12025**: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência a compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento- Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

ANTONI, M., ROSSEN, J., MARTINERA, F. Cement substitution by a combination of me-takaolin and limestone. **Cement and Concrete Research**, v. 42, n. 12, p. 1579-1589, 2012.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. Aplicação da cinza da casca de arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 6, p. 639-645, 2011.

BRASIL.IBGE (2019). Para 2020, IBGE prevê recorde de 240,9 milhões de toneladas na safra de grãos. **Estatísticas Econômicas**, 2019. 1p. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-denoticias/releases/26303-para-2020-ibge-preve-recorde-de-240-9-milhoes-de-toneladas-na-safra-de-graos>>. Acesso em: 20 dezembro. 2019.

BRITO, L. C; PARANHOS, H. S. Estabilização de Solos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 1, n. 6, p.425-438, 2017.

CANCIAN, M. A. **Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo-cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do Paraná**. 201f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2013.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico Científico, v.1, 2013. 56p.

CARPIO, J. A. V. D. **Estudo da influência da adição da cinza de casca de arroz nas propriedades do CCR (concreto compactado com rolo) para seu uso em pavimentos compostos**. 138f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CARVALHO, C. S. M. **Tratamentos térmicos e químicos para a valorização da Casca de Arroz**. 94f. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Técnico Lisboa, Lisboa, 2015.

CHANDRASEKAR, S.; SATYANARAYANA, K. G.; PRAMADA, P.M.; RAGHAVAN, P.; GUPTA, T. N.; Processing, Properties and Applications of Reactive Silica from Rice Husk - an Overview. **Journal of Materials Science**, v. 38, p. 3159-3168, 2003.

CORDEIRO, L. N. P.; MASUERO, A. B.; MOLIN, D. C. C. D. Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de Refinamento de Rietveld. **Revista Matéria**, v.19, n.02, p.150-158, 2014.

DALLACORT, R.; LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, G. L.; BARBOSA, N.P. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.3, p. 511-518, 2002.

DELLA, V. P., KÜHN, I., HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p.778-782, 2001.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos Agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v.10, n. 2, p.22-25, 2005.

FERREIRA R. C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termo físicas de tijolos e mini painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 229f. 2003. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

FERREIRA, R. C.; SILVA, E. M. FREIRE, W. J. Tijolos prensados de solo-cimento em alvenaria aparente auto-portante no “Conjunto Nossa Morada, In: III Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, 2003, São Carlos. **Anais...** São Paulo/SP: ENECS, 2003.

FIAIS, B.B.; SOUZA, D.S. Construção sustentável com tijolo ecológico. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 2, n. 1, p. 94-108, 2017.

FOLLETO, E.L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R.S.; PORTUGAL JUNIOR; U.L.; JAHN, S.L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, v.28, n.6, p.1055-1060, 2005.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GUETTALA, A.; ABIBSI, A; HOUARI, H. Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. **Construction and Building Materials**, v. 20, n. 3, p.119-27, 2006.

HABEEB, G.; MAHMUD, H. B. Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. **Materials Research**, v.13, n.2, p. 185-190, 2010.

IDIR, R.; CYR, M.; TAGNIT-HAMOU, A. Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars. **Construction and Building Materials**, v.24, n.7, p. 1309-1312, 2010.

ISAIA, G. C; GASTALDINI, A. L. G; MEIRA, L; DUART, M; ZERBINO, R. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. **Revista Ambiente construído**, v.10, n.1, p.121-137, 2010.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduos de granito**.109f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª ed. São Paulo, 1994, 580p.

MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. 195f. 2008. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características Físicas e Mecânicas de Misturas de Solo, Cimento e Casca de Arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G; TAVARES, J. C; GONCALVES; G. C; CHAGAS, M. A; MAGESTE, J. L; LUCAS, T. P. B. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Revista E-xata**, v.7, n.1, p.13-26, 2014.

NAIR, D. G.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A. A. K.; KENTGENS, A. P. M. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. **Cement and Concrete Research**, v.38, n.6, p.861-869, 2008.

NETTO, C. G. Construindo com tijolos ecológicos. **Jornal da Unicamp**. Campinas, 7-13 set. 2009.

OLIVEIRA, M.P.; BARBOSA, N.P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.490–496, 2006.

PECORIELLO, L. A.; BARROS, J. M. de C. Alvenarias de tijolo solo-cimento. **Revista Técnica**, São Paulo-SP, 87 ed, Abril de 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>>. Acesso em: 23 novembro de 2019.

PEREIRA, A. M.; SILVA, C. A. R.; QUEIROZ, D. C. A.; MORAES, M. J. B.; MELGES, J. L. P.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Revista Matéria**, v.20, n.1, p. 227 – 238, 2015.

PINHEIRO, D.G. L. **Avaliação da atividade pozolânica em cinza de casca de arroz (CCA) com diferentes teores de sílica amorfa**. 111f. 2016. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PINTO, L. M. **Moldagem de Tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**. 59f. 2015. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

PINTO, T. P. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento**. São Paulo: ABCP, 1980. 22p.

PISANI, M. A. J. P. Um material de construção de baixo impacto ambiental: O Tijolo de Solo-Cimento. **Sinergia**. v.6, n. 1, p.53-59, 2005.

POUEY, M. T. F; MOLIN, D. C. C; BERGMANN, C. P. Avaliação de diferentes processos de moagem de cinzas de casca de arroz residuais com diferentes características mineralógicas através do índice de atividade pozolânica. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo/SP: IBRACON, 2007.

POUEY, M.T.F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 317f. 2006. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RODRIGUES, M. S.; BERALDO, A. L. Caracterização física e mecânica de argamassas à base de cimento Portland e cinza de casca de arroz residual. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, n. 2, p.193-204, 2010.

SILVA, L.O.; SANTOS, G.N.; SARAVIS, W.K. TIJOLO SOLO-CIMENTO: Fabricação e Utilização em Construções que Visam o Equilíbrio Ambiental. **Revista Conexão Eletrônica**, v.15, n.1, p. 446-455, 2018.

SILVA, R. B. FERREIRA, A. A. E., COUTO, C. R., SEGANTINI, A. A. S. Estudo da resistência a compressão do solo-cimento com adição de resíduos de construção por meio de ensaios em corpos-de-prova cilíndricos. In: XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2009, São José. **Anais...** São Paulo/SP: CIC, 2009.

SILVA, S. R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 202f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SOLTANI, N; BAHRAMI, A; PECH-CANUL, M. I; GONZÁLEZ, L. A. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. **Chemical Engineering Journal**. v. 264, p. 899-935, 2015.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 116 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.205–212, 2008.

SOUZA, S. M. T; BARBOSA, N. P. Estabilização granulométrica de solo para a confecção de tijolos prensados de terra crua. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000, Salvador. **Anais...**Bahia/BH: ANTAC, 2000.

SUGITA, S.; SHOYA, M.; TOKUDAT, H. Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash. **Materials Scienc**, v. 132, n. 1, p.485-512, 1992.

TASHIMA, M. M.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; BERNABEU, J. P.; SOUSA, L. C.; MELGES, J. L. P. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 151-163, 2012.

TASHIMA, M. M.; SILVA, E. J.; AKASAKI, J. L. Estudo de Reações Expansivas em Argamassa de Cimento Portland Com Cinza de Casca de Arroz (CCA). **Holos Environment**, v. 7, n.1, p.72-86, 2007.

TASHIMA, M.M.; SOUZA, L.C.; AKASAKI, J.L.; SILVA, E.J.; MELGES, J.L.P.; BERNABEU, J.J.P. Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil. **Holos Environment**, v.11, n.1, p.81-88, 2011.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoeletrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland**. 196f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

XIONG, L; SEKIYA, E. H; SUJARIDWORAKUN, P; WADA, S; SAITO, K. Burning Temperature Dependence of Rice Husk Ashes in Structure and Property. **Journal of Metals, Materials and Minerals**, v.19, n. 2, p.95-99, 2009.