



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BLOCOS
FABRICADOS COM CINZAS E CASCA DE ARROZ**

AUTORA: Izabelle Marie Trindade Bezerra

ORIENTADOR: João Batista Queiroz de Carvalho

Campina Grande, PB – Brasil.

Fevereiro de 2008.



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BLOCOS
FABRICADOS COM CINZAS E CASCA DE ARROZ**

AUTORA: Izabelle Marie Trindade Bezerra

**MONOGRAFIA SUBMETIDA AO ORIENTADOR E À COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE, COMO REQUISITO À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE GRADUADO EM
ENGENHARIA CIVIL.**

Aprovada por:



Prof. PhD JOAO BATISTA QUEIROZ DE CARVALHO
(Orientador)

Campina Grande, PB – Brasil.

Fevereiro de 2008.

***A minha família que sempre foi
meu porto seguro em todos os
momentos de minha vida.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me ter me presenteado com uma família que foi o alicerce para que eu construísse e conquistasse todos os desejos alcançados.

A meus pais, Antonio Luiz e Edeleuza, pelo amor que precisei em todos os momentos, pelo conselho na hora difícil e por terem sido as peças fundamentais para que eu obtivesse sucesso nas coisas que me proponho a fazer.

Aos meus irmãos, Luciano, Lélis, Lesliane e Conceição, pelo amor, amizade, carinho, e, por todos os momentos vividos.

Ao meu noivo, Graciano, pelo amor, apoio e dedicação, pois foram esses sentimentos que me ajudaram ultrapassar as barreiras apresentadas ao longo do curso.

A Jozilene, que de uma simples colega de pesquisa se tornou uma grande amiga, sempre me ajudando e me incentivando, também me ensinou e me ajudou durante toda a pesquisa.

Ao professor João Queiroz, meu orientador, pela orientação e paciência durante todo esse tempo, me ensinando também que honestidade e dignidade são fundamentais na vida profissional de cada um de nós e que o sucesso pode ser conquistado sem prejudicar o próximo.

Ao CNPQ, órgão que financia a pesquisa.

A UFCG por se o intermediador de todos os conhecimentos técnicos adquiridos.

A todos que fazem parte da minha vida e que de alguma forma contribuíram para obtenção dos desejos realizados.

Finalmente, agradeço a ATECEL, na pessoa do professor engenheiro Francisco Barbosa de Lucena, pelo apoio recebido no uso do laboratório da ATECEL.

RESUMO

O arroz está entre os grãos mais produzidos no país, e com seu beneficiamento são geradas grandes quantidades de resíduos (casca) que ocasionam problemas ambientais, pela deposição inadequada no meio ambiente e por seu longo tempo de degradação. Do processo de beneficiamento do arroz tem-se como resíduo a casca de arroz, que devido ao seu alto poder calorífico e custo praticamente nulo, vem cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor e vapor, necessários para processos de parboilização dos grãos. Mediante a queima da casca em fornalhas a céu aberto ou em fornos especiais com temperaturas controladas, é produzida a cinza da casca de arroz, que tem grande quantidade de sílica amorfa, sendo denominada residual quando é obtida sem controle de temperatura e tempo de exposição. O presente estágio tem como objetivo um maior aprendizado quanto à parte de laboratório, sendo realizados ensaios de caracterização dos materiais para a realização do estudo da potencialidade do resíduo da casca e cinza da casca de arroz para confecção de blocos de concreto, com a finalidade de estudar as propriedades mecânicas. Nos materiais os ensaios de caracterização realizados foram: análise granulométrica, massa específica aparente, massa unitária, análise química e difração de raios-x. Para ensaios tecnológicos serão estudados traços convencionais (cimento:areia) 1:4, 1:6 e 1:8 com e sem incorporação do resíduo de casca e cinza de casca de arroz nos percentuais de 10%, 20% e 30% e 3%, 6% e 9% na substituição de agregado miúdo e aglomerante, respectivamente. As propriedades mecânicas dos blocos serão determinadas através da resistência à compressão simples de acordo com a norma da ABNT 7184/1991.

Palavras-chave: resíduos agrícolas, casca de arroz, cinza de casca de arroz, blocos de concreto e resistência à compressão simples.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Micrografia eletrônica de varredura da cinza de casca de arroz queimada a 560°C	11
Figura 2 – Blocos	13
Figura 3 – Blocos de concreto e blocos cerâmicos furados – dimensões	15
Figura 4 – Mapas do Brasil e do estado do Rio grande do Norte	17
Figura 5 – Casca de arroz utilizada nas moldagens dos corpos de prova	17
Figura 6 – Cinza de casca de arroz	18
Figura 7 – Procedimentos para confecção dos blocos de concreto	27
Figura 8 – Casca de arroz no estado natural (a) e no estado úmido (b)	31
Figura 9 – Curva granulométrica da areia utilizada	33
Figura 10 – Difração de raios X da cinza de casca de arroz	37
Figura 10a – Difração de raios X da cinza de casca de arroz	38
Figura 11 – Difração de raios X do cimento Portland	38
Figura 12 – Distribuição granulométrica por difratometria a laser da CCA	39
Figura 12a – Distribuição granulométrica da cinza estudada por Della et al	40
Figura 13 – Distribuição granulométrica por difratometria a laser da do CP	40
Figura 14 – Análise térmica diferencial da cinza de casca de arroz (CCA)	41
Figura 15 – Análise térmica diferencial do cimento Portland comum	42
Figura 8 – Casca de arroz no estado natural (a) e no estado úmido (b)	31
Figura 9 – Curva granulométrica da areia utilizada	33
Figura 10 – Difração de raios X da cinza de casca de arroz	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços com e sem adições para estudo do fator água/cimento.....	19
Tabela 2 – Traços com e sem adições para moldagem dos blocos	19
Tabela 3 – Resultados das propriedades físicas e mecânicas do C e da CCA.....	29
Tabela 4 – Caracterização da casca de arroz (CA).....	30
Tabela 5 – Ensaio para caracterização do agregado miúdo (AM)	31
Tabela 6 – Composição granulométrica do agregado miúdo (série normal)	32
Tabela 7 – Ensaio para caracterização do agregado graúdo (AG).....	33
Tabela 8 – Composição granulométrica do agregado graúdo (série normal)	34
Tabela 9 – Análise química do cimento (C) e da cinza de casca de arroz (CCA) .	34
Tabela 10 – Exigências químicas	35
Tabela 11 – Exigências físicas	36
Tabela 12 – Outros parâmetros sugeridos pela NBR 12653 (1997).....	36
Tabela 13 – Resistência à compressão simples dos blocos de concreto nos traços 1:4 convencionais e com substituições.....	42
Tabela 14 – Resistência à compressão simples dos blocos de concreto nos traços 1:6 convencionais e com substituições.....	43
Tabela 15 – Resistência à compressão simples dos blocos de concreto nos traços 1:6 convencionais e com substituições.....	45

GRAFICOS

Gráfico 1 – $f(a/c)$ dos traços convencionais.....	24
Gráfico 2 – $f(a/c)$ dos traços 1:4 com.....	24
Gráfico 3 – $f(a/c)$ dos traços 1:6 com CCA.....	25
Gráfico 4 – $f(a/c)$ dos traços 1:8 com CCA.....	25
Gráfico 5 – Resistência à compressão simples dos traços 1:4 com e sem substituição.....	43
Gráfico 6 – Resistência à compressão simples dos traços 1:6 com e sem substituição.....	44
Gráfico 7 – Resistência à compressão simples dos traços 1:6 com e sem substituição.....	45

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo geral.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
2. REVISÃO TEÓRICA.....	4
2.1. Cinza da casca de arroz.....	7
2.2. Casca de arroz	9
2.3. Blocos.....	12
2.3.1. Materiais usados na produção de blocos.....	13
2.3.2. Vantagens do uso de blocos.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1. Materiais	16
3.1.1. Cimento Portland.....	16
3.1.2. Agregado graúdo (cascalho).....	16
3.1.3. Agregado miúdo (areia)	16
3.1.4. Casca de arroz	16
3.1.5. Cinza de casca de arroz	17
3.1.6. Água	18
3.2. METODOS.....	18
3.2.1. Introdução.....	18
3.2.2. Preparação das amostras.....	20
3.2.3. Ensaios de caracterização.....	20
3.2.4. Análise química	21
3.2.5. Análise térmica	22
3.2.6. Difração de raios - X	22

3.2.7. Granulometria a laser	23
3.2.8. Atividade pozolânica	23
3.2.9. Determinação do fator água/cimento	24
3.2.10. Definição dos traços	26
3.2.11. Blocos de concreto convencional (9cmx19cmx39cm)	26
3.2.12. Blocos de concreto alternativo (9cmx19cmx39cm).....	26
3.2.13. Ensaio mecânicos	27
3.2.13.1. Ensaio de resistência a compressão simples (RCS)..	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1. Caracterização dos materiais	29
4.2. Composições químicas.....	34
4.3. Índice de atividade pozolânica.....	35
4.4. Análise por difração de raios X.....	36
4.5. Granulometria a laser	38
4.6. Análise termogravimétrica	41
4.7. Resistência a compressão simples dos blocos de concreto	42
5. CONCLUSÕES.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Um dos grandes desafios mundiais para o século XXI é a eliminação de resíduos provenientes de qualquer tipo de industrialização. Pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo. Segundo Jonh (2000), as razões que motivam esses países, em geral, são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população. Assim a reciclagem de resíduos como entulho, **resíduos agrícolas**, resíduos industriais, resíduos de mineração, entre outros, contribuem para a preservação ambiental (LIMA, 2005).

O uso de resíduos para componentes da construção civil, tem sido um dos temas mais trabalhados e debatidos por pesquisadores nos últimos tempos. Com a possibilidade de se conquistar uma melhor colocação para o setor a partir da adoção e do emprego destes resíduos em materiais para vedação (blocos, tijolos e painéis), pesquisadores vem buscando conscientizar ceramistas, construtores, professores e o próprio mercado consumidor quanto à importância da qualidade deste produto para as habitações, (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al, 2003).

Nos últimos anos tem crescido consideravelmente a utilização dos resíduos gerados pelo homem, na forma de reciclagem. Isto se dá pelo fato de haver a necessidade de aumentar a tecnologia de produtos que venham a melhorar as características dos materiais tradicionais, tendo em vista uma grande preocupação com o meio ambiente.

A casca de arroz, de acordo com normas da ABNT (NBR 10004, 2004), é denominada como um resíduo de classe II, ou seja, não inerte e não perigoso à saúde humana e ao meio ambiente. O problema é que, quando incinerada em ambiente fechado (caldeiras e fornos, por exemplo), resulta em cinzas que são altamente poluentes, pois esta queima libera CO e CO₂ e, conseqüentemente, prejudiciais à saúde do homem. Outro destino comum da casca é o descarte em lavouras e fundos de rios, liberando, ao se decompor, gás metano - prejudicial à camada de ozônio (VISCONTE, 2003).

Uma das utilidades da casca do arroz é a sua queima, pois pode gerar para as suas indústrias a energia que é consumida, sendo do ponto de vista tecnológico

uma excelente alternativa para sua utilização, no que também é viável do ponto de vista econômico e favorável quanto ao meio ambiente. Proveniente desta queima obtém-se a cinza. Estudos estão sendo realizados para sua utilização em concretos e argamassas com o objetivo de aumentar a resistência à compressão simples e analisar quanto à sua vida útil. Podem ser utilizadas em vários outros ramos industriais, tais como cerâmica, eletrônica, indústria química, entre outros.

A cinza da casca de arroz, que já é empregada em pesquisas da área de construção civil, como em concretos, tem desempenho comparável com o da sílica ativa, componente comercial necessário na produção de concretos de alto desempenho, usado em lajes, vigas e pilares, porém para esta finalidade é necessário retirar o excesso de carvão da cinza (uma vez que esta cinza reage com o cimento), para torná-la mais pura, o que pode tornar o processo oneroso, mesmo tendo a vantagem de substituir em até 40% o volume de cimento utilizado no concreto (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al, 2002).

A utilização da cinza é de grande valia para o meio ambiente, pois esta quando descartada provoca poluição, por apresentar em sua constituição certa quantidade de carbono residual. A cinza é um grave agente poluidor dos solos e é considerada também altamente prejudicial para a saúde humana, pois apresenta um alto teor de sílica que pode ocasionar quando de grande exposição à perda na elasticidade dos pulmões, ou seja, pode provocar no indivíduo a "silicose".

No que diz respeito à quantidade de sílica pode-se observar que isso é dependente de como esta cinza é gerada. A cinza originada a elevadas temperaturas (600° C) apresenta-se em cor clara (branca) e tem a característica de ser quase que totalmente composta por sílica, enquanto que a cinza mais escura (preta) obtida a baixas temperaturas (100°C) apresenta além da sílica, certa quantidade de carbono (material orgânico).

A utilização da cinza de casca de arroz como substituto de certa quantidade de cimento em concretos e argamassas, contribui para o aumento da resistência à compressão simples, da durabilidade do concreto e em consequência à diminuição da porosidade. Com isto há uma diminuição na deterioração do concreto e da armadura, resultando na obtenção de concretos resistentes à poluição e às intempéries, pisos resistentes à abrasão, etc.

Então, diante da grande geração de casca de arroz e conseqüentemente das cinzas de casca de arroz, o não aproveitamento destes resíduos não pode mais ser

aceito pela sociedade. Assim muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de utilizar esses resíduos em diversos setores industriais e, de maneira especial, na confecção de blocos de vedação para uso na Construção Civil.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo deste estágio é confeccionar blocos para alvenaria de vedação contendo resíduos agrícolas (cascas e cinzas de casca de arroz) na composição do traço e estudar suas propriedades mecânicas, sendo estes parâmetros comparados aos blocos convencionais, em observação às normas da ABNT.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1) Caracterizar as matérias-primas convencionais (cimento, areia e cascalhinho) e as alternativas (resíduos: casca e cinzas de casca de arroz).
- 2) Realizar o estudo do fator água/cimento para que seja feita a escolha dos traços que obtiveram melhor resultado no que diz respeito à resistência a compressão simples, para posteriormente serem confeccionados os blocos de concreto.
- 3) Produzir blocos para alvenaria de vedação, de acordo com a norma da ABNT NBR 7173/1974, com resistência aos esforços mecânicos semelhante à dos blocos usuais, nos traços 1:4, 1:6 e 1:8 com a incorporação da casca de arroz substituindo parte do agregado miúdo e da cinza como substituta de parte do aglomerante nos percentuais de 10%, 20%, e 30% e 3%, 6%, e 9% respectivamente.
- 4) Avaliar a resistência a compressão simples dos blocos de concreto.

2. REVISÃO TEORICA

A utilização de recursos naturais vem crescendo muito nos últimos anos, visto que, uma das maiores preocupações é o desgaste e poluição do meio ambiente. A poluição ambiental é consequência do uso inconseqüente dos homens que buscam a cada dia melhorar sua qualidade de vida investindo na tecnologia e com isso produzindo materiais que degradam a biosfera e por isso é que a poluição apresenta índices cada vez maiores.

Os materiais não utilizados são chamados de resíduos e estes na sua maioria são produzidos por indústrias e agroindústrias durante o processo de produção (em larga escala), sendo depositados sem nenhum controle no meio ambiente. Através destes é que pessoas são contaminadas pondo em risco as suas vidas e também tem a questão da contaminação do solo deixando-os inférteis e através da chuva vem à contaminação dos mananciais. Políticas para o uso destes materiais vêm sendo implantadas na mente de todas as pessoas, pois pesquisas comprovam que estes materiais quando utilizados podem promover resultados melhores do que os apresentados nos produtos convencionais, além de se ter vantagens econômicas e sociais.

Resíduos sólidos são definidos pela norma da ABNT, NBR 10004 (2004) como sendo os resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultem de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, **agrícola**, de serviços e de varrição. Esta norma classifica os resíduos sólidos de:

- Resíduos Classe I

Perigosos – resíduos classe I – são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, podendo ser corrosivos, inflamáveis, tóxicos, reativos, radioativos, patogênicos, entre outros.

- Resíduos Classe II

Não inertes – resíduos classe II A – são resíduos que não apresentam riscos e podem ser considerados no seu potencial os lixos domésticos e tem características tais como: serem solúveis em água, biodegradáveis ou até mesmo combustíveis.

Inertes – resíduos classe II B – são resíduos que não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo, isto é, aqueles quando submetidos à testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não tendo nenhum de seus solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Sendo exemplos destes materiais as pedras, areias, restos de demolição, tijolos, vidros, entre outros.

Os resíduos podem ser utilizados e quando de forma adequada podem trazer propriedades aos produtos que satisfazem as necessidades de quem os procura (muitas vezes este apresenta propriedades melhores que a de produtos convencionais) além de obedecer às normas técnicas da ABNT. Materiais para reciclagem vêm sendo estudados com o objetivo de melhorar as características dos produtos a serem fabricados e colocados no mercado, apresentando sempre funcionalidade e simplicidade para ser aplicado.

Além de gerarem renda, a reutilização destes resíduos promove para o meio ambiente uma medida de restauração, evitando a poluição do ar, das águas do solo, devendo-se por isso cada vez mais evitar descartes destes materiais a céu aberto sem nenhum controle ambiental, sendo importante sempre seguir os três R's que significam reduzir, reciclar e reutilizar.

A reciclagem de resíduos promove a conservação de matérias-primas não renováveis e o meio ambiente, diminuindo também a emissão de gases poluentes, e o volume do material jogado, melhorando a saúde e segurança das pessoas, colaborando conseqüentemente para minimização dos problemas com doenças provocadas pelos resíduos e além de ter menor o custo de produção.

Através de pesquisas muitos resíduos estão sendo utilizados na construção civil, tais como:

- **Fibras de coco e de sisal** – Toledo Filho (1990) apud Sousa (1993) utilizou fibras de coco e de sisal, misturadas a terra para melhorar suas propriedades e deu início a estudos neste domínio. Em seguida, Sousa (1993), em sua dissertação de mestrado, deu início a um estudo de solos estabilizados com fibras vegetais, para a fabricação de tijolos prensados.
- **EVA (etileno vinil acetato)** – estudos de Silva (2003), em sua dissertação de mestrado, constataram que o emprego de resíduos calçadistas (EVA) na confecção de tijolos prensados, estabilizados com cimento, poderá ser uma solução viável para diminuir o descarte do resíduo no meio ambiente.
- **Bambu** – uma das vantagens da utilização do bambu como material de construção é o seu baixo consumo energético, ajudando a conservar os recursos naturais e proteger o meio ambiente. O bambu, durante o processo de crescimento, fornece oxigênio para o ar, enquanto que o cimento Portland, durante seu processo de fabricação, lança gás carbônico na atmosfera (Braga Filho, 2004).

- **Entulho da construção civil** – várias pesquisas têm sido desenvolvidas na tentativa de aplicar o entulho da construção civil como material alternativo na confecção de produtos para a própria construção civil, como fabricação de blocos, cerâmicas, uso em aterros, em traços de concretos e em fundações, dentre outras.
- **Lodo de esgoto** – tem sido aproveitado em escala industrial na produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e na produção de cimento. Também na recuperação de solos em áreas degradados
- **Escória de aciaria** – reciclagem de escória de aciaria tem grande interesse na construção civil, pois, pode ser usada na produção de cimento, como substituto parcial de clínquer Portland. Usa-se também a escória como base para pavimentos e como agregados, porém existem limitações no emprego como agregado. O problema da escória resulta na expansibilidade de seus óxidos, o que limita seu uso. No Brasil é comum o seu emprego como cascalho para melhorar as condições de tráfego em vias não pavimentadas, (Filev, 2006).
- **Pneus usados** – o reuso do pneu têm tido bastantes aplicações, dentre elas, pode-se destacar:
 - **Pavimentos para estradas** – pó gerado pela recauchutagem e os restos de pneus moídos podem ser misturados ao asfalto aumentando sua elasticidade e durabilidade;
 - **Contenção de erosão do solo** – pneus inteiros associados a plantas de raízes grandes podem ser utilizados para ajudar na contenção da erosão do solo;
 - **Combustível de forno para produção de cimento, cal, papel e celulose** – o pneu é muito combustível, sendo então um grande gerador de energia. Seu poder calorífico é de 12 mil a 16 mil BTUs por quilo, superior ao do carvão.
- **Aplicação do vidro** – estudos estão sendo feitos no intuito de verificar a possibilidade da utilização de sucata de vidro em substituição a uma porcentagem dos agregados. O vidro é moído e/ou quebrado em cacos – pesquisas vêm sendo feitas para determinar a melhor maneira de inserir o vidro na pasta de cimento. Este tipo de reciclagem proporciona à economia de

agregados naturais que são os comumente utilizados para este fim. O principal obstáculo a ser ultrapassado é a reação álcali-agregado que pode ser intensificada uma vez que o vidro é composto de sílica, a qual pode reagir com os álcalis do cimento em meio aquoso. Esta reação tem como produto um gel que sofre expansão em presença de água, o que pode comprometer o desempenho do concreto se não for controlado de maneira adequada, (Santos, 2006).

Os resíduos a serem estudados nesta pesquisa são as ***cascas do arroz*** e as ***cinzas da casca do arroz***, logo o principal objetivo é o estudo da resistência que esta pode promover quando utilizada em substituição de certa porcentagem da areia e do cimento respectivamente.

2.1. Cinza da casca de arroz

A cinza da casca do arroz é obtida a partir da incineração da casca que é constituída de quatro camadas fibrosas, esponjosas, ou celulares, que são silicosas. A composição química da casca de arroz depende do tipo de solo, tipo e percentual de fertilizante e tipo de arroz. Além de ter como seus constituintes a sílica e o cálcio, esta também apresenta na sua composição o potássio, sódio, cálcio, zinco, cobre e manganês.

Por ser uma matéria-prima em grande quantidade está sendo explorada como fonte alternativa de energia, que vem sendo obtida pelas indústrias de parboilização quando da produção do arroz, sendo esta energia gerada a partir da queima da casca tendo como resíduo as cinzas, as quais são depositadas a céu aberto, promovendo a contaminação de solos, águas e prejudicando a saúde humana. Como esta é considerada um problema ambiental, estudos estão sendo realizados para um bom aproveitamento da casca do arroz, além de servir como fonte alternativa de energia pode ser empregada como aditivo em argamassas e concretos fornecendo para os produtos fabricados com esta adição melhores propriedades mecânicas, menor custo, leveza e superfícies lisas. Produtos como blocos apresentam faces lisas precisando apenas de uma camada de gesso ou massa corrida para o seu acabamento ser de boa qualidade, apresentando vantagens por serem leves diminuindo o peso nas estruturas de casas e podendo também ser empregados a edifícios.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de utilizar esse produto em setores industriais, em especial, na indústria da construção civil. A UFSC é uma das universidades com pesquisas neste campo. Os resultados obtidos, por pesquisadores desta Instituição, mostraram que a cinza da casca de arroz é uma excelente pozolana, com desempenho comparável ao da sílica ativa (resíduo da fabricação do ferro-silício e/ou do silício metálico) um componente comercial necessário na produção de concretos de alto desempenho, (Associação Brasileira de Empresas de Biotecnologia) que aumenta consideravelmente a resistência à compressão simples.

Esta cinza quando devidamente extraída pode apresentar alto teor de sílica e a qualidade desta para o aumento da resistência a compressão é de grande importância, pois precisa ter baixa granulometria para que possa ocupar os pequenos vazios e se distribuir uniformemente no concreto, alta área específica e ser amorfa para que se tenha pozolanicidade (reação com o hidróxido de cálcio), apresentando características até mesmo superiores às desejadas para esse fim.

Podendo apresentar vantagens como:

- Blocos que não precisam de reboco e pintura e que podem ser montados como um brinquedo de encaixe;
- Alta produção agrícola, a qual descarta grandes quantidades de casca de arroz;
- Preocupação com o meio ambiente, pois este material é altamente poluente;
- Diminuição dos vazios por ser um material pulverulento de alta superfície específica, contribuindo para o aumento da resistência;
- Matéria-prima de baixo custo.

Além de ser utilizada para estabilização de solos (ainda sem comprovação técnica) e aterros sanitários por apresentar elevado teor de óxido de silício, é também utilizada na fabricação de vidros, isolantes térmicos, tijolos prensados e materiais refratários, até mesmo na produção de cimento portland e na forma de agregado em argamassas e concretos.

A cinza da casca do arroz apresenta propriedades pozolânicas que segundo a ASMT C 618 (1978) e NBR 12652 (ABNT, 1992), material pozolânico é um material silicoso ou silicoso-aluminoso que possui pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas, que na presença da umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, formando compostos com propriedades cimentícia, à temperatura ambiente.

São considerados materiais pozolânicos, aqueles que reagem quimicamente com o Ca(OH)_2 , em condições normais de pressão e temperatura, formando compostos cimentantes hidráulicos de boa resistência mecânica.

A adição da cinza da casca do arroz (sílica) na mistura do cimento juntamente com os demais agregados (grauído e miúdo), permite a elaboração do concreto mais compacto e com menor quantidade de vazios, diminuindo assim a porosidade e promovendo maior durabilidade e ficando menos vulneráveis ao ataque de agentes agressivos. Estes concretos segundo estudos poderão ser utilizados em obras que necessita de materiais com ótimas características mecânicas, tais como obras há grandes profundidades (como futuros laboratórios marítimos para pesquisar a fauna e a flora), até 11 mil metros, isso por este concreto possuir resistência superior aos demais. Podendo também ser utilizados em celas de presídio, pistas de pouso de aviões e outras construções que exijam material de grande resistência.

2.2. Casca de arroz

A casca do arroz é um dos resíduos mais versáteis que existe. Ela pode ser utilizada como fonte de energia em usinas termelétricas e como fonte de sílica, utilizada na produção de pastas de dente e pneus. A casca de arroz pode virar aglomerado na produção de chapas de madeira, com baixo custo e altíssima qualidade. E assim pode ser produzidos móveis derrubando menos árvores. Pesquisadores descobriram que a casca do arroz também pode ser utilizada nos compostos de argamassa e cimento para a fabricação de pré-moldados. Isso pode reduzir até trinta por cento do custo da fabricação de casa populares. (SOUZA, 2007).

A agroindústria gera grande quantidade de resíduos e, dentre eles, situa-se a casca de arroz. Trabalhos desenvolvidos propondo o uso dessa matéria-prima evidenciaram a sua adequação para fins de obtenção de materiais de construção. Na confecção de compósitos biomassa vegetal - cimento Portland, a casca de arroz, a exemplo de outras biomassas vegetais, responde pela leveza e pelas características de isolamento termo acústico do compósito; ao cimento Portland cabe a tarefa de envelopar a biomassa vegetal.

Com uma produção superior a treze milhões de toneladas de arroz, o Brasil ocupa o nono lugar na lista dos produtores mundiais. Estima-se, atualmente, um crescimento na produção mundial de cem milhões de toneladas de arroz a cada ano,

o que gera um volume considerável de casca de arroz, cerca de 20% da produção (HABITARE, 2002).

Várias metodologias para minimização de resíduos têm sido desenvolvidas. As metodologias têm como objetivo principal encontrar uma solução que seja economicamente viável, ambientalmente correta e tecnicamente eficiente, (SOUZA, 2007).

Uma das primeiras utilizações da casca de arroz foi como fonte alternativa de energia renovável, a qual vem sendo empregada como combustível vegetal, pelas próprias empresas beneficiadoras de arroz como alternativa de energia para a secagem e parboilização do cereal, tendo como "inconveniente" o não aproveitamento das cinzas, que são depositadas em terrenos baldios ou lançadas em cursos de água, provocando poluição e contaminação de mananciais.

Devido ao seu poder calórico de 16.720 kJ/kg a casca de arroz vem sendo utilizada como biomassa para a geração de energia térmica em indústrias cerâmicas e alimentícias (LEIRIAS et al, 2005). Segundo Della et al (2005) para cada tonelada de arroz em casca, 20% correspondem à casca de arroz e 4% correspondem a cinza de casca de arroz. Se toda esta casca de arroz, produzida no Brasil, for utilizada como matriz energética geraria, atualmente, cerca de 530 toneladas de cinzas de casca de arroz.

Já existem algumas pesquisas com a cinza de casca de arroz, resultado da queima da casca, mas, até então, a casca tem servido mais como fonte alternativa de energia, porém esta não é a única vantagem da utilização da biomassa (material vegetal como a casca do arroz, o bagaço da cana, os resíduos de madeira, entre outros), enquanto combustível.

A casca de arroz é uma capa lenhosa do grão, dura, com alto teor de sílica, composta de, aproximadamente, 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (MEHTA, 1992). O silício contido na casca de arroz ocorre, geralmente, em uma forma amorfa hidratada de sílica, com uma estrutura em estado similar vítreo (opalina) ou na forma de gel (HOUSTON, 1972). Quando sofre combustão, cerca de 20% da massa da casca é transformada em cinza, sendo que a lignina e a celulose podem ser removidas, permanecendo uma estrutura celular e porosa, com elevada superfície específica (50.000 a 100.000 m²/kg) e grande quantidade de sílica. A Figura 1 mostra uma micrografia da cinza de casca de arroz após queima de 560°.



Figura 1 – Micrografia eletrônica de varredura da cinza de casca de arroz queimada a 560°C. Fonte: SILVEIRA, 1996.

Della (2001), em sua dissertação de mestrado, relata que através da evolução tecnológica do beneficiamento do arroz, a casca resultante, devido ao seu alto poder calorífico (aproximadamente 16.720 kJ/kg) e custo praticamente nulo, está cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor para secagem dos grãos de arroz, como resultado deste processo de combustão incompleta surge a cinza de casca de arroz. Esta cinza, por ser rica em sílica (SiO_2) é uma potencial fonte alternativa de matéria prima para a aplicação em diversas áreas, principalmente na indústria cerâmica.

A casca de arroz é freqüentemente considerada um problema ambiental. Entretanto, este material pode ser empregado como aditivo em concretos e argamassas empregados na produção de peças para painéis de alvenaria. Martinez (2003) mostrou que painéis de alvenaria, feitos com casca de arroz, empregados para paredes de vedação têm o mesmo desempenho de painéis tradicionais de blocos cerâmicos. Neste caso, além do benefício da redução de custo pela utilização de um rejeito reciclado, tem-se o ganho de qualidade de construções industrializadas. O material produzido em escala industrial tem dimensões estáveis e regulares e superfícies lisas. Desta forma, se podem modular as construções de forma a obter um maior rendimento. As faces lisas podem ser pintadas após a aplicação de uma camada de gesso ou massa corrida para garantir um acabamento de boa qualidade. Adicionalmente, estes blocos são mais leves que a alvenaria tradicional de blocos cerâmicos ou de concreto, o que permite empregá-los em edifícios com redução de peso na estrutura.

Martinez et al (2005), com a finalidade de reduzir impactos ambientais e gerar uma solução alternativa para as habitações populares, desenvolveram pesquisas com a utilização da casca de arroz na confecção de painéis de fechamento verticais

em substituição aos tijolos cerâmicos, onde verificou as propriedades físicas e mecânicas, concluindo sua viabilidade técnica e ambiental.

Nesta pesquisa a casca de arroz foi utilizada na substituição de parte do agregado miúdo (areia), para fabricação de blocos de concreto sem função estrutural com o objetivo de se obter uma maior leveza e propriedades mecânicas favoráveis para sua utilização na construção civil.

2.3. Blocos

Atribui-se o surgimento dos blocos de concreto, nos Estados Unidos, por volta de 1882 (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 1988 apud MEDEIROS, 1993). Desde esta época, o mercado consumidor de blocos de concreto já se mostrou extremamente promissor. Em todo o país, o processo de produção dos blocos de concreto foi ligeiramente disseminado, principalmente por apresentarem, enormes vantagens construtivas (SOUSA, 2001 apud MEDEIROS, 1993). No Brasil, existem registros da utilização de blocos de concreto por volta de 1940.

Com o crescimento populacional, houve a necessidade de se criar um material construtivo que agilizasse as obras, surgindo assim os blocos. Atribui-se o surgimento dos blocos de concreto, nos Estados Unidos, por volta de 1882 (MEDEIROS, 1993). Desde a época, o mercado consumidor de blocos de concreto já se mostrou extremamente promissor. Em todo o país, o processo de produção dos blocos de concreto foi ligeiramente disseminado, principalmente por apresentarem enormes vantagens executivas. No Brasil existem registros da utilização de blocos de concreto por volta de 1940 (FEITOSA, 2004, apud SOUZA, 2007).

Os blocos de concreto para alvenaria podem ser definidos, de uma forma geral, como elementos pré-moldados de concreto, a partir da mistura adequada entre agregados graúdos e miúdos, cimento e água.

Os blocos, quando surgiram, eram confeccionados com a mistura de brita n – 1, a qual apresentava diâmetro médio de 10 a 15 mm, área de granulação média e o cimento, que é uma mistura de silicato de cálcio, alumínio, sulfato de cálcio, “filler” carbonático e escoria.

A função do agregado graúdo é de preencher espaços, a da areia é de modelar e dar acabamento e, por último, a do cimento que é de dar resistência a estes materiais. Porém, nesta época, o agregado graúdo, a areia e o cimento, eram

misturados manualmente e compactados em formas de madeira com pinos largos fixados formando assim os furos dos blocos.

Com o passar do tempo, foram desenvolvidas várias técnicas de fabricação de blocos, bem como máquinas vibratórias e também se estabeleceu o uso da betoneira. As máquinas vibratórias para blocos têm a função de, através de vibração mecânica, acomodar os materiais previamente misturados, formando assim blocos e as betoneiras rotativas a função de misturar os materiais mais rapidamente, com maiores volumes de carga e melhor qualidade, resultando em concretos mais uniformes e homogêneas.

Atualmente têm-se pedreiras que fornecem todos os tipos de britas, inclusive a brita "0", que mede de 3 a 6 mm de diâmetro médio e também o pó-de-pedra, que tem o diâmetro da areia média, o qual tem a função de melhorar a interação entre o agregado miúdo e o cimento. Estas pedreiras também fornecem estes materiais já pré-misturados, conhecidos como pedriscos mistos, havendo só a necessidade de adicionar o cimento, (FEITOSA, 2004).

As máquinas modernas de hoje fabricam todos os tamanhos e modelos de blocos, tais como: **os de vedação** (Figura 2), que tem a função de fechar vãos entre colunas; **os estruturais**, que além de fecharem vãos também servem de armação para a ferragem interna da construção, através de seus furos vazados; **os meio-blocos**, que além de completar a amarração da parede, quando vazados servem também para armar as colunas (colocação da ferragem pelos furos), as **canaletas** e as **meia-canaletas** que servem para fazer as vigas, (ATLÂNTICA MAQ, 2002).

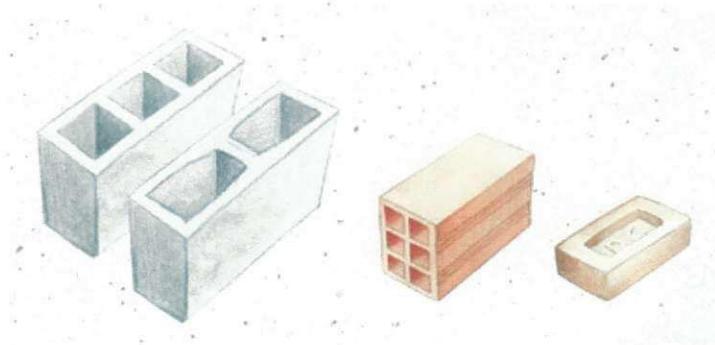


Figura 2 – Blocos (fonte: ATLÂNTICA MAQ, 2006).

2.3.1. Materiais usados na produção de blocos

Os materiais utilizados na produção de blocos de concreto, em:

- ✓ aglomerante;

- ✓ agregado graúdo;
- ✓ agregado miúdo;
- ✓ adições;
- ✓ água.

Também podendo ser incluídos os aditivos redutores de água e plastificantes, bem como corantes orgânicos, quando se deseja produzir componentes decorativos.

Como regra geral, a maioria dos pesquisadores indica que os materiais adequados para a produção de concreto convencional são também adequados para produção de blocos de concreto, embora considerando as peculiaridades intrínsecas de cada processo (ABCP, 1978; MEDEIROS, 1993; FERREIRA JÚNIOR, 1995 e SOUSA, 2001).

Neste trabalho, foram produzidos blocos de concreto sem substituições minerais e com as substituições de resíduos agrícolas como parte da composição dos traços.

2.3.2. Vantagens do uso de blocos

Estão listadas, abaixo, algumas vantagens da utilização de blocos de concreto em construção, bem como a comparação com outros tipos de elementos de vedação, (ATLANTICA MAQ, 2006):

1. resistência - os blocos de concreto são materiais que possuem boa resistência mecânica, o que garante melhor confiabilidade e melhor qualidade em sua construção, quando comparados aos blocos cerâmicos;
2. economia – ao contrário do que pensam algumas pessoas que trabalham na área de construção, os blocos de concreto, são materiais mais econômicos e leves que existem na construção, porque se levarmos em conta a quantidade de blocos que é utilizado por m² da construção em relação aos blocos cerâmicos, os blocos de concreto se utilizam bem menos;
3. economia – outra economia é no consumo utilizado da argamassa (combinado de areia, cal e cimento) para o assentamento dos blocos de concreto e dos blocos cerâmicos. Quando se utiliza os blocos de concreto, o consumo é bem menor, pois normalmente consegue-se utilizar no assentamento apenas 1 cm de argamassa entre os blocos, enquanto nos cerâmicos, é necessário utilizar, no seu assentamento, de 2 a 3 cm de argamassa, fora a quantidade que é desperdiçada no reboco;

4. outra vantagem dos blocos de concreto em relação aos cerâmicos, que também gera economia, é que a massa fina, o gesso ou o azulejo podem ser aplicados diretamente nos blocos, por já ser um material de concreto, evitando assim os *chapiscos* e os *rebocos* tão utilizados nas obras, gerando ainda mais economia e qualidade na construção.

5. mais leves - o peso dos materiais na construção, ao contrário do que se comenta, os blocos de concreto são materiais muito mais leves na construção do que os blocos cerâmicos. Pois, geralmente, comete-se um erro quando se compara a unidade dos materiais. Na unidade, é lógico que os blocos cerâmicos sempre são mais leves do que os blocos de concreto, mas na construção, no conjunto, isto é o inverso. Por exemplo, no uso do tijolo cerâmico, tem-se, em média, um acréscimo de 270% de argamassa no assentamento e acabamento, ver Figura 3.

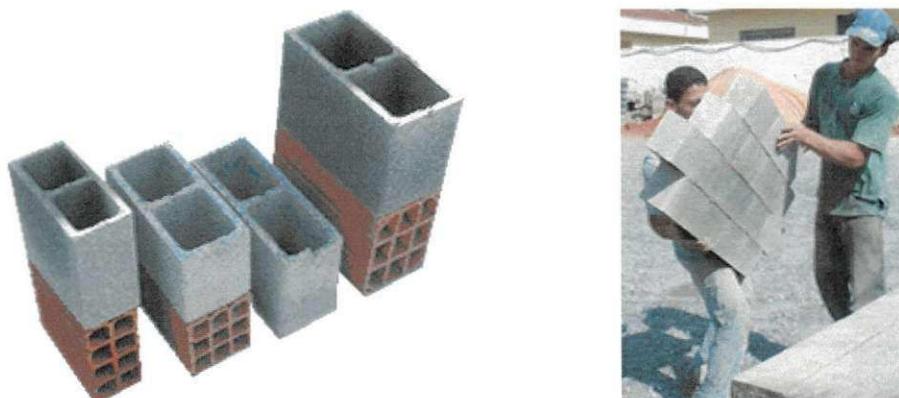


Figura 3 – Blocos de concreto e blocos cerâmicos furados – dimensões.
(fonte: ATLÂNTICA MAQ, 2006).

3. MATERIAIS E METODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Cimento Portland

O cimento utilizado para realização dos ensaios foi o Cimento Portland Comum, CP II F-32, devido este não apresentar na sua composição nenhuma característica pozolânica, tendo apenas a presença de filler calcário (6% a 10%), obedecendo às normas exigidas pela ABNT, NBR 11578, que favorece um tempo de pega menor, sendo compatível para fabricação de blocos de concreto que é o objetivo principal desta pesquisa.

3.1.2. Agregado graúdo (cascalho)

O agregado graúdo é aquele que apresenta um máximo de 15% dos grãos passando na peneira de 4,8 mm, podendo ser considerado como seixo rolado ou pedra britada, pedregulho natural, obtido a partir do britamento de rochas estáveis.

O agregado graúdo utilizado nesta pesquisa foi proveniente de pedreiras locais, denominado cascalhinho, obedecendo aos critérios de granulometria.

3.1.3. Agregado miúdo (areia)

Agregado miúdo é aquele que possui grãos inferiores a 4,8 mm, podendo ficar no máximo retido 15% deste material. Podendo ser as areias naturais quartzozas ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis.

A areia empregada foi obtida no Rio Paraíba, apresentando material fino adequado à fabricação de pré-moldados, facilitando com isso o acabamento da superfície destes.

3.1.4. Casca de arroz

A casca de arroz (*Oriza sativa sp.*) utilizada neste estudo foi oriunda de lavouras cultivadas na micro-região de Caicó no estado do Rio Grande do Norte-RN (Figura 4).

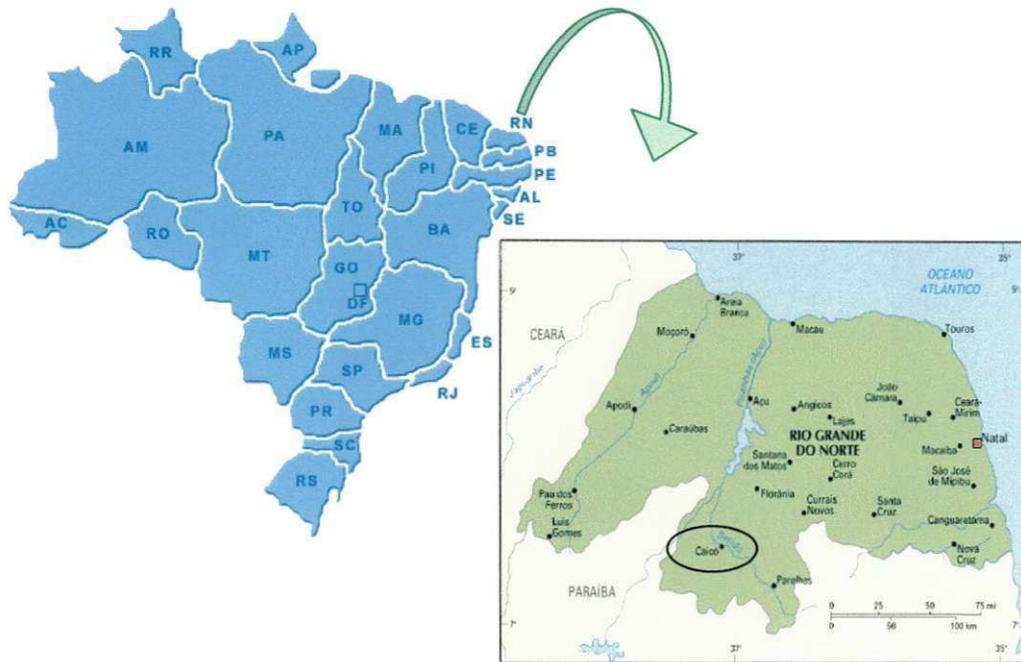


Figura 4 – Mapas do Brasil e do estado do Rio grande do Norte onde foi originada a casca do arroz (Fontes: www.reservehotelonline.com.br e www.bussolaescolar.com.br/brasil.htm).

Esta casca é resultante do arroz tipo sequeiro (arroz cultivado em áreas alagadas, ou seja, várzeas) onde pode ser vista na Figura 5.



Figura 5 – Casca de arroz utilizada nas moldagens dos corpos de prova.

3.1.5. Cinza de casca de arroz

A cinza da casca de arroz (*Oriza sativa sp.*) utilizada foi proveniente da calcinação em forno de laboratório a 600° C, sendo esta proveniente da micro-região do Caicó-RN (Figura 6).



Figura 6 – Cinza de casca de arroz.

Fonte: Direta (2007).

3.1.6. Água

A água usada na produção dos blocos é potável e fornecida pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

3.2. Métodos

3.2.1. Introdução

O estudo experimental será composto por quatro etapas.

A primeira etapa consiste na preparação das amostras e caracterização dos materiais a serem utilizados.

Na segunda etapa realizou-se o estudo do fator água/cimento para a obtenção da umidade ótima para moldagem dos blocos de concreto, sendo determinada a partir da resistência a compressão simples dos corpos de prova (5 x 10) cm para os traços convencionais, ou seja, sem substituição de resíduos e para traços com substituição de casca e cinza de casca de arroz nos percentuais de 10%, 20%, e 30% e 3%, 6% e 9% respectivamente para os traços 1:4, 1:6 e 1:8, Tabela 1.

Tabela 1 – Traços com e sem adições para estudo do fator água/cimento.

Blocos convencionais			Blocos alternativos								
Traços convencionais (cimento:areia)			Traços alternativos (cimento:areia:%casca e cinza de casca de arroz)								
1:4	1:6	1:8	1:4			1:6			1:8		
			10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
			3%	6%	9%	3%	6%	9%	3%	6%	9%

A terceira etapa confeccionou-se blocos convencionais e alternativos (9cm x 19cm x 39cm) com substituição de casca e cinzas de casca de arroz do agregado miúdo e cimento, nos traços 1:4, 1:6 e 1:8 (Tabela 2), sendo utilizado a composição do traço que apresentou melhor desempenho mecânico no estudo do fator água/cimento determinado na segunda etapa desta pesquisa.

Tabela 2 – Traços com e sem adições para moldagem dos blocos.

Blocos convencionais			Blocos alternativos		
Traços convencionais (cimento:areia)			Traços alternativos (cimento:areia:%casca e cinza de casca de arroz)		
1:4	1:6	1:8	1:4	1:6	1:8
			20%	10%	10%
			6%	3%	9%

Na quarta etapa determinou-se a resistência a compressão simples dos blocos de concreto, seguindo as exigências da NBR 7184/1991, para períodos de cura de 28, 63 e 91 dias.

Os dados das resistências dos blocos convencionais serviram como parâmetros de comparação para os resultados dos ensaios com os blocos alternativos.

3.2.2. Preparação das amostras

As amostras serão secas em estufa a 110 °C, por 24 horas a uma temperatura constante, em seguida foram desagregadas em almofariz de porcelana e peneiradas por via seca em peneira ABNT nº 200 (abertura de 0,074mm) para garantir a uniformidade dos grãos e, posteriormente, acondicionados em sacos plásticos de polietileno etiquetados.

3.2.3. Ensaio de caracterização

Para caracterização dos materiais empregados na confecção dos blocos de concreto convencional e concreto alternativo de dimensões (9cm x 19cm x 39cm), composto por cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, adições e água, os ensaios de caracterização física para os materiais empregados foram: finura na peneira ABNT, nº 200 (0,074mm) pela NBR 11579 (1991), massa específica real pelo método da ABNT NBRs 6474 (1998) e 9776 (1987), massa unitária no estado solto pelo método da ABNT NBR 7251 (1982), superfície específica (Blaine) usando a ABNT NBR NM 76 (1998); granulometria a laser (cimento e cinza de casca de arroz), análise granulométrica segundo norma da ABNT NBR 7217 (1987); e teor de materiais pulverulentos, ABNT NBR 7219 (1982). Os ensaios realizados em cada material foram:

a) agregado miúdo

- i. granulometria (NBR 7217);
- ii. massa unitária (NBR 7810);
- iii. massa específica (NBR 9776);
- iv. teor de materiais pulverulentos (NBR 7219).

b) agregado graúdo

- i. granulometria (NBR 7217);
- ii. massa unitária (NBR 7810);
- iii. massa específica (NBR 9776);
- iv. teor de materiais pulverulentos (NBR 7219).

c) cimento Portland

- i. tempo de pega (NBR 11581);

- ii. massa específica real (NBR NM 23198);
- iii. resistência à compressão (NBR 7215);
- iv. composição química (NBR 05742);
- v. finura: resíduo na peneira 0,075 mm (NBR 11579);
- vi. superfície específica Blaine (NBR NM 76/78);
- vii. granulometria a laser;
- viii. DRX e análise térmica.

d) casca de arroz

- i. granulometria (NBR 7217);
- ii. massa unitária (NBR 7810);
- iii. massa específica (NBR 9776);
- iv. composição química.

e) cinza de casca de arroz

- i. massa específica real (NBR NM 23198);
- ii. composição química (NBR 05742);
- iii. finura: resíduo na peneira 0,075 mm (NBR 11579);
- iv. superfície específica Blaine (NBR NM 76/78);
- v. granulometria a laser;
- vi. DRx;
- vii. análise térmica.

3.2.4. Análise química

Os materiais: cimento, cinza e casca de arroz serão submetidos à análise química, que apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas, fornece dados fundamentais de grande utilidade científica.

Através da análise química poderemos identificar: umidade, perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , Na_2O , K_2O , presença de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.

Estas análises serão realizadas no Laboratório de Análise Mineral (LAM) do CTRN/UFMG.

3.2.5. Análise térmica

As análises termo-diferencial (ATD) e termogravimétrica (TG) são úteis em processos de produção de concreto para indicar faixas de temperaturas, nas quais ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem as perdas de massa. Nos aglomerantes (cimento e cinza de casca de arroz) a importância das análises térmicas deve-se a possibilidade de quantificar o grau de hidratação e acompanhar a evolução da hidratação ou da carbonatação e ainda de identificar e quantificar as substâncias constituintes, as impurezas ou os adulterantes bem como auxiliar no controle dos aglomerantes.

Com o objetivo de conhecer o comportamento térmico (estabilidade e decomposição) das amostras em estudo, ou seja, as faixas de temperaturas em que ocorrem as transformações endotérmicas e exotérmicas foram realizadas análises termogravimétricas (ATG) e termodiferenciais (ATD) através do aparelho de Análises Térmicas, Modelo BP Engenharia, Sistemas de Análises Térmicas, RB 3000 – 20, com razão de aquecimento de 12,5°C/min. A faixa de temperatura para ATD e ATG vai da ambiente até um máximo de 1000°C e o padrão utilizado na ATD foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

Estas análises serão realizadas no Laboratório de Cerâmica “Maria Cláudia Silva” do DEMA/CCT/UFCG, segundo a metodologia proposta por Souza Santos (1989).

3.2.6. Difração de raios – X

A análise por difração de raios-x (DRX) é de grande importância na identificação de fases e tem caráter qualitativo, pois se baseia na identificação das substâncias (fases cristalinas) presentes em cada amostra. Serão realizadas análises por DRX no cimento e na cinza da casca de arroz.

Foi utilizado o método do pó empregando-se um Difratorômetro SHIMADZU XRD-6000 com radiação $CuK\alpha$, tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, tamanho do passo de 0,010 e tempo do passo de 1,000s, com velocidade de varredura de 2 θ /min, com ângulo 2 θ percorrido de 1,5° a 45°. O emprego desta técnica teve a finalidade de obter informações sobre estruturas cristalinas do material, sendo possível observar informações detalhadas sobre dimensões de partículas, presença de defeitos e orientação da rede cristalina. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões no PDF 02 (ICDD, 2003). Este ensaio foi realizado no

Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande/PB.

3.2.7. Granulometria a laser

A análise granulométrica por difração a laser utiliza o método de dispersão de partículas em fase líquida associada com um processo de medida óptica. Neste método é combinada a relação proporcional entre a difração do laser e a concentração e tamanho das partículas.

Para realização desse ensaio as amostras foram beneficiadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm), dispersas em 250ml de água destilada em agitador a velocidade de 17000rpm por 10min. Em seguida a dispersão foi colocada em um equipamento Modelo 1064 da CILAS, em modo úmido, até atingir a concentração ideal, que é de 150 unidades de difração/área de incidência. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.8. Atividade pozolânica

Para um material ser considerado pozolânico e substituído pelo cimento é necessário estudo prévio da sua atividade pozolânica. A atividade pozolânica da cinza de casca de arroz será avaliada com o cimento Portland e com a cal, de acordo com o método prescrito pelas normas da ABNT, NBRs 5752 (1992) e 5751 (1992), respectivamente.

No ensaio da atividade pozolânica com o cimento serão realizadas duas misturas de argamassas, onde uma será a mistura de referência e a outra terá 35% do volume absoluto do cimento Portland substituído pelo material a ser ativado, que neste caso é a CCA.

O índice de atividade pozolânica (IAP) é dado pela relação entre a resistência à compressão da argamassa com o material em estudo e a resistência à compressão da argamassa de referência. No ensaio de atividade pozolânica com a cal, o resultado é dado através da resistência à compressão simples aos 7 dias de cura em ambiente com temperatura controlada.

Encontram-se em anexo todos os instrumentos utilizados para realização da pesquisa.

3.2.9. Determinação do fator água/cimento

Fator água/cimento é a relação entre o peso de água e o peso de cimento.

O fator água/cimento foi estabelecido por Duff Abrams em 1919, apud Neville (1997). Ele afirma que a resistência (f_c), está relacionada com a quantidade de água,

ou seja, a resistência é inversamente proporcional à $f(a/c)$, sendo $f_c = \frac{K_1}{K_2^{a/c}}$.

Onde: $f(a/c)$ = é a relação água/cimento da mistura em volume

K_1 e K_2 = são constantes empíricas, dependentes dos materiais e da idade do concreto.

O fator água/cimento é um parâmetro importante para o concreto não só pela relação direta com sua resistência, mas também pela sua influência quanto à durabilidade do concreto. Isso ocorre devido à estreita ligação entre a relação a/c e a porosidade capilar da pasta de cimento.

O consumo de água de concretos com adições minerais depende da forma e superfície específica de suas partículas e da quantidade utilizada como adição ou substituição ao cimento (DAL MOLIN, 2004).

Para se determinar o fator água/cimento, foram confeccionados três corpos de prova cilíndricos (5 x 10 cm) para cada traço, variando o $f(a/c)$, onde foi escolhido o que apresentou melhor resistência à compressão simples aos 7 dias (f_{cj}), obedecendo aos critérios da ABNT (NBR 7173/82) que estabelece $f_{cj} \geq 2,5$ MPa, para blocos de concreto, conforme os gráficos 1, 2, 3 e 4.

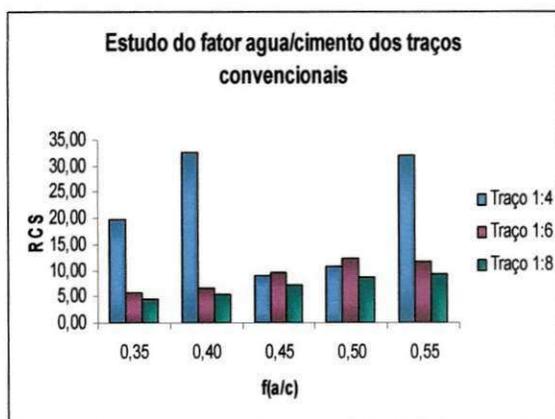


Gráfico 1 – $f(a/c)$ dos traços convencionais.

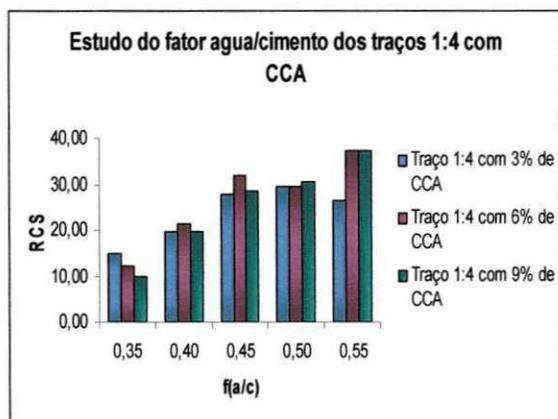


Gráfico 2 – $f(a/c)$ dos traços 1:4 com CCA.

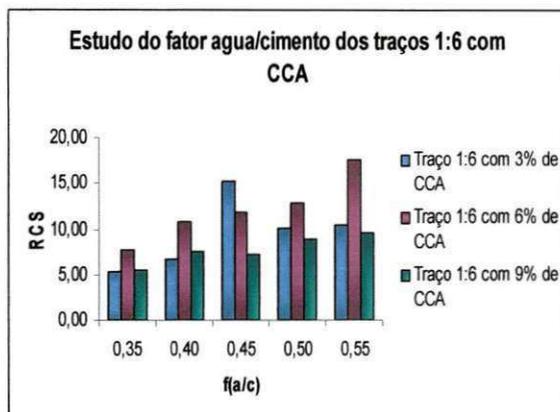


Gráfico 3 – f(a/c) dos traços 1:6 com CCA.

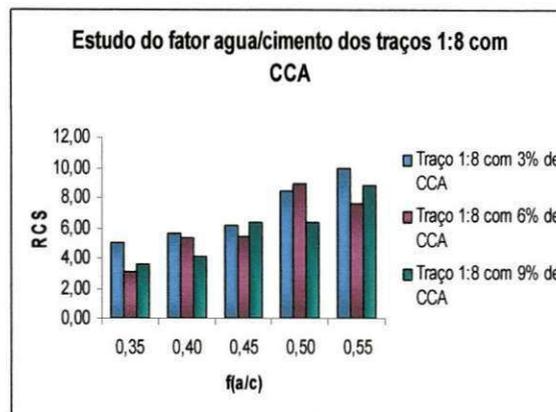


Gráfico 4 – f(a/c) dos traços 1:8 com CCA.

Obs.: A variação do fator água/cimento adotada inicialmente foi baseada em dados da literatura (Oliveira, 2004), onde esta relação está dentro desta faixa de variação.

Para todos os traços foram utilizados os mesmos fatores água/cimento que foram, 0,35, 0,40, 0,45, 0,50 e 0,55. Sendo determinada a sua resistência a compressão simples após um período de cura de 7 dias, onde foi de extrema importância para escolha dos traços.

De acordo com os gráficos pode-se observar que para cada traço existe um fator água/cimento e que este difere de acordo com a quantidade de material.

O fator água/cimento ($f_{a/c}$) utilizado para os blocos de concreto foi obtido através da umidade ótima de moldagem para os blocos de concreto, que seria utilizada para cada composição efetuada na pesquisa.

Para determinação desta umidade ótima, foram realizados vários procedimentos como, a utilização de um fator água/cimento inicial utilizado por outros pesquisadores sendo moldados neste, 3 blocos de concreto; em seguida moldou-se mais 3 blocos de concreto com um fator água/cimento inferior ao inicial e outros 3 com fator água/cimento superior. Depois de moldados estes 9 blocos foram levados para um período de cura de 7 dias; após este período os blocos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.

3.2.10. Definição dos traços

A determinação dos traços a serem submetidos à produção dos blocos foi determinada a partir do estudo do fator água/cimento. Foram moldados corpos de prova para os traços 1:4, 1:6 e 1:8 nos modos convencionais (sem substituição mineral) e com substituições do cimento e da areia por resíduos agrícolas, casca e cinza de casca de arroz, nos percentuais de 10%, 20% e 30% e 3%, 6% e 9%, respectivamente. Com a determinação da resistência dos corpos de prova do estudo do fator água/cimento foi possível analisar aqueles que apresentaram melhor resistência à compressão simples para um período de cura de 7 dias, sendo, portanto os traços escolhidos para a moldagem dos blocos.

3.2.11. Blocos de concreto convencional (9cm x 19cm x 39cm)

Os blocos de concreto convencional serão confeccionados nos traços: 1:4, 1:6 e 1:8. Os blocos de concreto convencional de dimensões (9cm x 19cm x 39cm), foram constituídos por cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo e água, onde foi adotado um controle rigoroso na mistura dos materiais, com o intuito de reduzir a variabilidade e a dispersão dos resultados a serem obtidos, desta forma os traços foram realizados em massa e com os agregados secos, visando um melhor controle do fator água/cimento (f_a/c) das misturas (SOUZA, 2007).

3.2.12. Blocos de concreto alternativo (9cm x 19cm x 39cm)

Para a confecção dos blocos de concreto alternativo de dimensões (9cm x 19cm x 39cm), composto por cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo e água, com substituições parciais de cimento por cinza de casca de arroz nas proporções de 3%, 6% e 9% e de agregado miúdo por casca de arroz nas proporções de 10%, 20% e 30%, também será adotado um controle rigoroso na mistura dos materiais. Os traços foram realizados em massa e com os agregados secos (SOUZA, 2007).

A Figura 7 mostra o processo de produção dos blocos de concreto.



Figura 7 – Procedimentos para confecção dos blocos de concreto.
Fonte: Direta (2007).

3.2.13. Ensaio mecânicos

3.2.13.1. Ensaio de resistência à compressão simples (RCS)

Segundo Neville (1997), a resistência à compressão é considerada a propriedade mais importante, embora em muitos casos práticos, outras características como durabilidade e permeabilidade sejam de fato as mais importantes quando se quer prever a vida útil de uma estrutura inserida em determinado meio ambiente. Além do mais, a resistência à compressão, é uma grandeza largamente conhecida pelo meio técnico e, universalmente aceita como parâmetro para avaliação da qualidade, sendo seu controle facilmente exequível por um laboratório devidamente equipado para tal finalidade.

Segundo Helene (1993) a propriedade do concreto que melhor o qualifica é a resistência à compressão. Desde que em sua dosagem e proporção tenha sido optado por determinada curva granulométrica tipo, classe de cimento, e fator a/c resultando conseqüentemente em determinada resistência.

Segundo Metha (1994), ainda se tem a vantagem de que a resistência à compressão aos 28 dias, determinada através de um ensaio padrão (compressão axial), hoje ainda é um parâmetro aceito universalmente como índice de referência de um concreto.

Para o ensaio de resistência à compressão simples foram moldados 9 blocos de concreto para cada composição (traço), sendo 3 para cada período de cura. Após cada período de cura, os blocos de concreto foram rompidos, de acordo com a

ABNT, NBR 7184 (1991), em prensa de fabricação da Contenco, calibrada periodicamente pela Norma da ABNT NBR 6674 (2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização dos materiais

Na Tabela 3 encontram-se os resultados obtidos para as propriedades físicas - mecânicas do cimento e sua comparação com os limites admitidos pelas normas da ABNT, bem como os resultados para a CCA empregada nesta pesquisa.

Tabela 3 – Resultados das propriedades físicas e mecânicas do C e da CCA.

Ensaio físico	Normas da ABNT	Limites:	Resultados Cimento	Resultados CCA
Finura malha nº 200 (%)	NBR 11579 (1991)	≤ 12	4,38	3,77
Massa específica real (g/cm ³)	NBR 6474 (1991)	-	3,04	2,25
Massa unitária (g/cm ³)	NBR 7251 (1982)	-	1,15	0,46
Área específica (Blaine) cm ² /g	NBR NM 76 (1998)	≥2600	4.866,42	14.790,39
Tempo de pega (h:min)	NBR NM 65 (2003)	≥1:00 ≤10:00	2:03 3:40	X
Ensaio mecânico			Resultados	
Resistência 3 dias (MPa)	NBR 7215 (1996)	≥ 10	24,00	X
Resistência 7 dias (MPa)		≥ 20	31,20	X
Resistência 28 dias (MPa)		≥ 32	38,70	X

X – Ensaio não realizado na CCA.

Analisando os valores contidos na Tabela 3 observa-se que os resultados das propriedades físicas e mecânicas do cimento estão de acordo com os valores das especificações da ABNT. O módulo de finura, na peneira da ABNT, nº 200 (0,074mm), encontrado para o cimento foi de 4,38%, estando bem abaixo do valor estabelecido pela norma (NBR 11579, 1991) e para a CCA foi de 3,77%, também dentro dos parâmetros exigidos por norma, que é um módulo de finura inferior a 12%. Com relação à massa específica real, o valor encontrado foi de 3,04 g/cm³ para o cimento e 2,25 g/cm³ para a CCA, sendo este valor semelhante ao encontrado por Rego (2004), que foi de 2,12 g/cm³ e ao encontrado por Mattos et al (2002), 2,2 g/cm³. Quanto à massa unitária da cinza de casca de arroz o resultado encontrado foi de 0,46g/cm³, similar ao valor encontrado para a cinza de casca de

arroz estudada por Mattos et al (2002), que foi de $0,40\text{g/cm}^3$, indicando que a CCA é um material bem mais leve e pulverulento que o cimento.

Para a CCA, verifica-se um elevado valor da superfície específica, com resultado de $14.790,39\text{ cm}^2/\text{g}$, superior ao do cimento, que foi de $4.866,42\text{ cm}^2/\text{g}$, ambos estando de acordo com as especificações da norma NBR NM 76 (1998) que estabelece valores superiores a $2600\text{ cm}^2/\text{g}$ para este ensaio, observando-se uma maior área de contato para a CCA.

A Tabela 4 mostra os resultados da caracterização da CA realizados conforme prescrevem as normas da ABNT. Como a casca de arroz tem a função de substituir o agregado miúdo e não existindo padronização de ensaios para este material, foram utilizadas as mesmas normas empregadas para a caracterização dos agregados.

Tabela 4 – Caracterização da casca de arroz (CA).

Ensaio		Resultados
Massa unitária no estado solto (kg/dm^3)		0,12
Absorção de água (%)		114,00
Granulometria	Dimensão máxima (mm)	4,80
	Módulo de finura (%)	5,80

Analisando os valores da Tabela 4 verifica-se que a CA empregada neste trabalho apresenta massa unitária de $0,12\text{ kg}/\text{dm}^3$, caracterizando-a como um material leve e volumoso. Este valor é semelhante ao encontrado por Milani (2005) que foi de $0,11\text{kg}/\text{dm}^3$ e por Martinez (2005) que foi de $0,14\text{kg}/\text{dm}^3$. Esta característica está relacionada ao tipo de estrutura física da casca (côncava e oca) que leva à grande presença de vazios entre elas. O diâmetro máximo da CA foi de $4,8\text{mm}$, que difere do valor encontrado por Martinez (2005), que foi $2,40\text{mm}$. Porém estes resultados variam de acordo com a série de peneiras empregada. O módulo de finura para a casca de arroz foi de $5,80\%$ que, quando comparado ao módulo de finura do agregado miúdo (areia), normalmente empregado em argamassas de construção civil, foi praticamente o dobro.

Analisando os resultados para o teor de absorção de água do resíduo de CA verifica-se que este resíduo apresenta elevados valores de absorção de água, sendo o valor máximo de 114% obtido para período de cinco horas de imersão, o que

motivou a prévia molhagem da casca de arroz, antes de utilizá-la nos traços, para que não ocorresse alterações no fator água-cimento. A Figura 8 mostra a casca em seu estado natural e úmida.

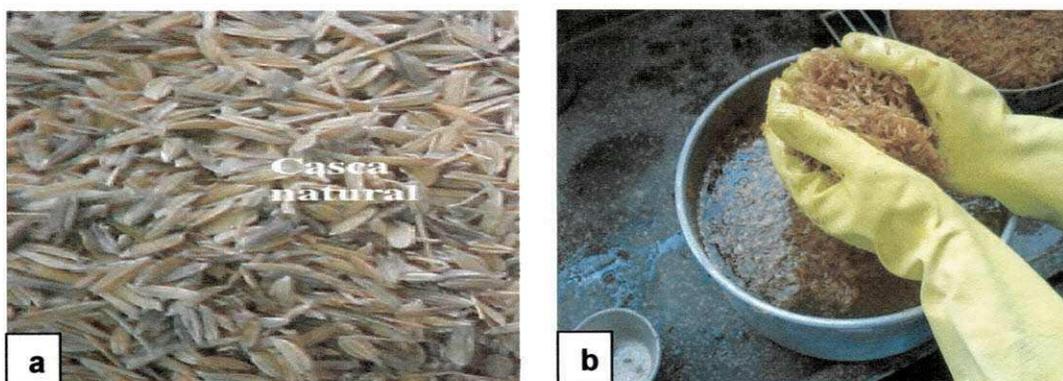


Figura 8 – Casca de arroz no estado natural (a) e no estado úmido (b).
Fonte: Direta (2007).

Na Tabela 5 estão relacionados os valores encontrados para a caracterização do agregado miúdo, segundo as especificações estabelecidas pela ABNT.

Tabela 5 – Ensaio para caracterização do agregado miúdo (AM).

Ensaio		Resultados (AM)
Massa específica real (g/cm^3)		2,62
Massa unitária no estado solto (kg/dm^3)		1,49
Absorção de água (%)		0,50
Teor de materiais pulverulentos (%)		1,70
Granulometria	Dimensão máxima (mm)	2,40
	Módulo de finura (%)	2,22

Segundo Petrucci (1998), entende-se por agregado miúdo normal, a areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanho de partículas tais que, no máximo, 15% ficam retidos na peneira de 4,8mm.

Analisando os valores da massa específica real, verifica-se que o resultado foi de $2,62 \text{ g/cm}^3$, segundo Petrucci (1998) a massa específica ideal para o agregado miúdo é de aproximadamente de $2,60 \text{ g/cm}^3$. Para a massa unitária o valor encontrado foi de $1,49 \text{ g/cm}^3$ podendo ser considerado igual ao citado pelo mesmo autor ($1,50 \text{ g/cm}^3$). Em relação ao teor de materiais pulverulentos o valor encontrado

foi de 1,70%, este resultado encontra-se dentro do estabelecido por norma da ABNT NBR 7219 (1982) que permite até 5%. Portanto os resultados encontram-se dentro dos valores da literatura.

Como a areia se constitui de material detrítico e tem boa resistência às intempéries, na construção civil sua aplicação é feita em função do tamanho dos grãos, da distribuição granulométrica e das impurezas limitadas pelas normas brasileiras. As areias empregadas em concreto não podem conter grande quantidade de feldspato, de calcedônia e de sílica amorfa, pois estes minerais reagem com os álcalis do cimento provocando alterações nas propriedades do concreto. Na Tabela 6 encontra-se a distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado.

Tabela 6 – Composição granulométrica do agregado miúdo (série normal).

Peneira (n°)		Material retido			% que passa da Amostra total
N°	mm	Peso (g)	% amostra total	% acumulada	
04	4,80	3,00	0,30	0,30	99,70
08	2,40	39,50	3,95	4,25	95,75
16	1,20	118,84	11,88	16,13	83,87
30	0,60	227,53	22,75	38,88	61,12
50	0,30	306,92	30,69	69,57	30,43
100	0,15	238,10	23,81	93,38	6,62
Fundo:		66,20	6,62	100,00	0,00
Total:		1000,00	100,00	-	-

Na Figura 9 mostra a distribuição granulométrica do agregado miúdo em forma de gráfico, onde observa-se que o agregado miúdo encontra-se dentro dos limites inferior e superior estabelecidos pelas normas da ABNT.

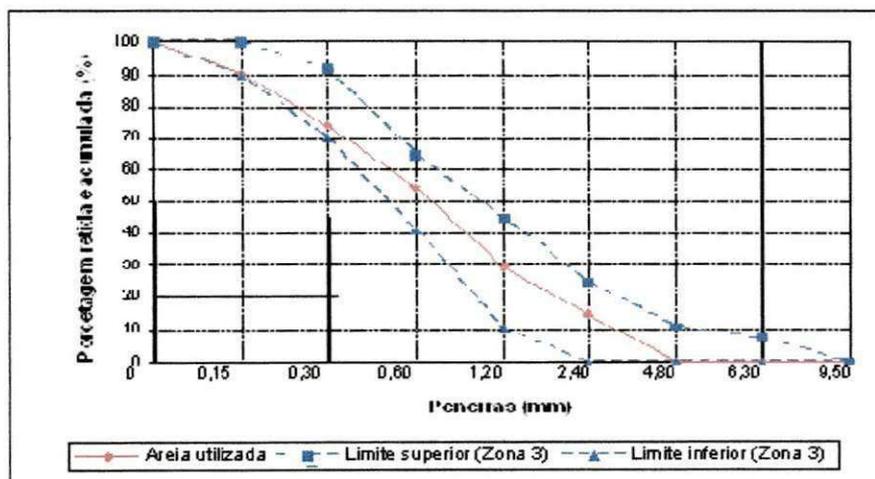


Figura 9 – Curva granulométrica da areia utilizada.

A granulometria deve atender aos limites preconizados pela NBR 7217 (1987) para areia média, admitindo-se módulo de finura (soma das porcentagens retidas acumuladas divididas por 100) entre 2,4 e 3,3 sendo sempre aconselhável valores mais próximos do limite superior, para esta areia o módulo de finura foi de 2,22%.

Nas Tabelas 7 e 8 encontram-se os resultados da caracterização do agregado graúdo e sua distribuição granulométrica, respectivamente, cujos resultados estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas da ABNT para uso em concreto.

Tabela 7 – Ensaio para caracterização do agregado graúdo (AG).

Ensaio		Resultados (AG)
Massa específica real (g/cm^3)		2,63
Massa unitária no estado solto (g/cm^3)		1,34
Granulometria	Dimensão máxima (mm)	9,50
	Módulo de finura (%)	5,70

Tabela 8 – Composição granulométrica do agregado graúdo (série normal).

Peneira (n°)		Material retido			% que passa da Amostra total
N°	mm	Peso (g)	% amostra total	% acumulada	
3/8"	9,50	11,06	0,74	0,74	99,26
04	4,80	1179,40	78,68	79,37	20,63
08	2,40	267,74	17,85	97,22	2,78
16	1,20	26,90	1,79	99,01	0,99
30	0,60	9,32	0,62	99,63	0,37
50	0,30	3,88	0,26	99,89	0,11
100	0,15	1,50	0,10	99,99	0,01
Total:		1500,00	100,00	-	-

4.2. Composições químicas

Na Tabela 9 encontram-se os resultados obtidos da caracterização química do cimento Portland CII-F 32 e da CCA utilizados no preparo das argamassas e do concreto estudados.

Tabela 9 – Análise química do cimento (C) e da cinza de casca de arroz (CCA).

Ensaio realizado		Cimento	CCA	
Perda ao fogo (%)		4,80	2,63	
Análise* Química (%)	Dióxido de silício (SiO ₂)	29,22	87,44	
	Óxido de magnésio (MgO)	2,40	0,41	
	Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	12,69	1,90	
	Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	2,32	0,20	
	Óxido de cálcio (CaO)	44,80	0,56	
	Álcalis totais (%)	Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,68	0,12
		Óxido de potássio (K ₂ O)	1,51	3,33
Resíduo insolúvel (RI)		0,58	0,72	

*Laboratório de análises minerais da UFCG.

Analisando os valores contidos na Tabela 9 observa-se que o cimento tem baixo teor de SiO₂, com valor de 29,22%, enquanto a CCA revelou um elevado percentual de SiO₂, sendo este valor de 87,44%. Os demais óxidos encontrados na

análise da CCA, como principais impurezas, apresentam valores inferiores a 1%. Comparando os valores de SiO_2 da CCA com os valores apresentados por Della et al (2005) e por Rego (2004), cujo teor de óxidos é de 97,87% e 86,72%, respectivamente, pode-se concluir que são valores próximos aos encontrados para a cinza em estudo. Ressaltando-se que o alto teor de dióxido de silício é um dos indicadores para o material ser considerado pozolânico.

As características químicas do cimento permitem utilizá-lo em aplicações gerais: pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros, NBR 11578 (1991).

4.3. Índice de atividade pozolânica

Na Tabela 10 estão relacionados os valores encontrados para as propriedades químicas da cinza de casca de arroz e os limites estabelecidos pela NBR 12653 (1997). Comparando os resultados encontrados para a CCA com os estabelecidos pela norma da ABNT, NBR 12653 (1997) verifica-se que, para as propriedades estudadas, a cinza de casca de arroz encontra-se dentro das exigências das normas da ABNT, apresentando somatório dos valores $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ de 89,54%, superior ao mínimo exigido, perda ao fogo de 2,63% e álcalis disponíveis de 0,12%, ambos inferiores às especificações da norma.

Tabela 10 – Exigências químicas.

Propriedades	Material Pozolânico	Resultados (%): CCA
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (% min.)	70	89,54
SO_3 (%máx.)	4	X
Teor de umidade (% máx.)	3	X
Perda ao fogo (% máx.)	10	2,63
Álcalis disponíveis em Na_2O (% máx.)	1,5	0,12

As exigências físicas estabelecidas pela ABNT estão relacionadas na Tabela 11, bem como os resultados encontrados na avaliação com a cinza de casca de arroz, onde se observa que o IAP da cinza de casca de arroz realizado tanto com

cimento quanto com cal, estão dentro dos limites estabelecidos pela norma, podendo-se verificar que a CCA possui potencial pozolânico para ser substituído pelo cimento, conforme proposto no objetivo deste trabalho.

Tabela 11 – Exigências físicas.

Propriedades	Material Pozolânico	Resultados (%): CCA
Material retido na peneira ABNT n° 200 (% máx.)	12	3,77
Índice de atividade pozolânica:		
- com cimento aos 28 dias, em relação ao controle (% mín.)	75	78,70
- com cal aos 7 dias, em MPa (min.)	6,0	10,20
- água requerida (% máx.)	115	105

Além destes requisitos, a NBR 12653 (1997) indica também outras análises, facultativas, para que um material possa ser considerado pozolânico, conforme mostra a Tabela 12, mas estes parâmetros não foram analisados para esta pesquisa.

Tabela 12 – Outros parâmetros sugeridos pela NBR 12653 (1997).

Propriedades	Material Pozolânico
Aumento na retração por secagem de barras a 28 dias (%máx.)	0,05
Reatividade com alçais do cimento:	
- redução da expansão da argamassa a 14 dias (% min.)	75
- expansão da argamassa a 14 dias (% máx.)	0,020

4.4. Análise por difração de raios X

Os resultados da difração de raios X para a cinza de casca de arroz e para o cimento são apresentados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Com base na Figura 10 observa-se que a cinza da casca de arroz é um material predominantemente amorfo com a presença de uma banda associada a material amorfo situada em torno de 21°. Essa banda está provavelmente relacionada a sílica amorfa, conforme dados da literatura (Della et al 2001). Verifica-se na Figura 10 a presença de pequenos picos de difração relacionados a material

cristalino, que não foram identificados, mas que se acredita estarem relacionados a impurezas associadas ao processo de queima. Estudos estão sendo relacionados para analisar essa hipótese, bem como pesquisas para identificar os picos presentes na Figura 10.

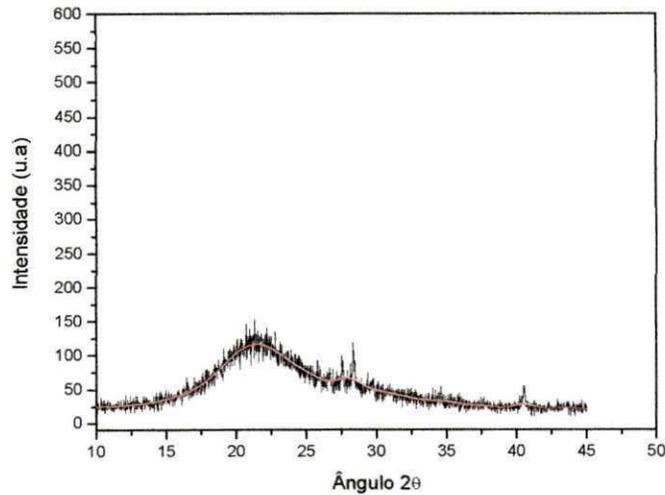


Figura 10 – Difração de raios X da cinza de casca de arroz.

Comparando os resultados obtidos com os apresentados por Della et al (2005), observa-se grande semelhança nos difratogramas (Figura 10a). Della et al (2005) afirma que temperaturas acima de 800°C fazem com que o potássio e o sódio contidos aceleram tanto a fusão das partículas quanto a cristalização da cristobalita a partir da sílica amorfa, por diminuir o ponto de fusão do material. Entretanto a tendência destes elementos em acelerar a cristalização da sílica não foi observada devido à temperatura aplicada ter sido inferior a 800°C (600°C). Resultado semelhante ao obtido na Figura 10 foi constatado também por Chandrasekhar (2003) que empregou a mesma temperatura de queima deste trabalho, 600°C.

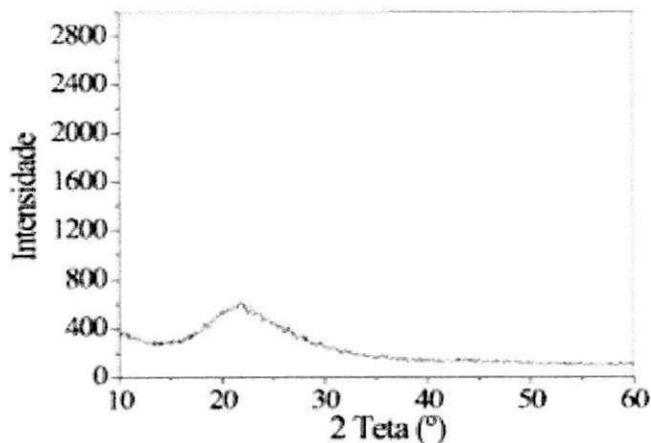


Figura 10a – Difração de raios X da cinza de casca de arroz.
Fonte: Della et al (2005).

Com base na Figura 11 observa-se que difração de raios X do cimento Portland é constituído por vários materiais cristalinos, basicamente silicatos de cálcio e silicatos hidratados de cálcio. Observa-se a presença de picos referentes ao Ca_3SiO_5 , SiO_2 , Ca_2SiO_4 e $\text{Ca}_4(\text{SiO}_3)_3(\text{OH})_2$, conforme os cartões 86-0402, 46-1045, 24-0034 e 29-0377, respectivamente.

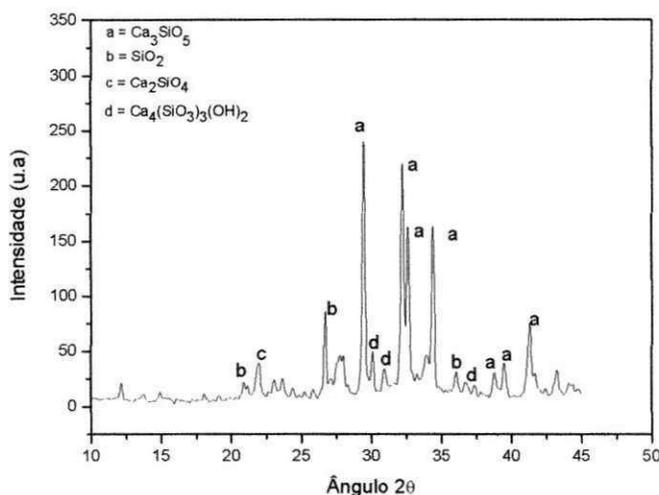


Figura 11 – Difração de raios X do cimento Portland.

4.5. Granulometria a laser

A distribuição granulométrica da cinza de casca de arroz empregada neste trabalho encontra-se na Figura 12.

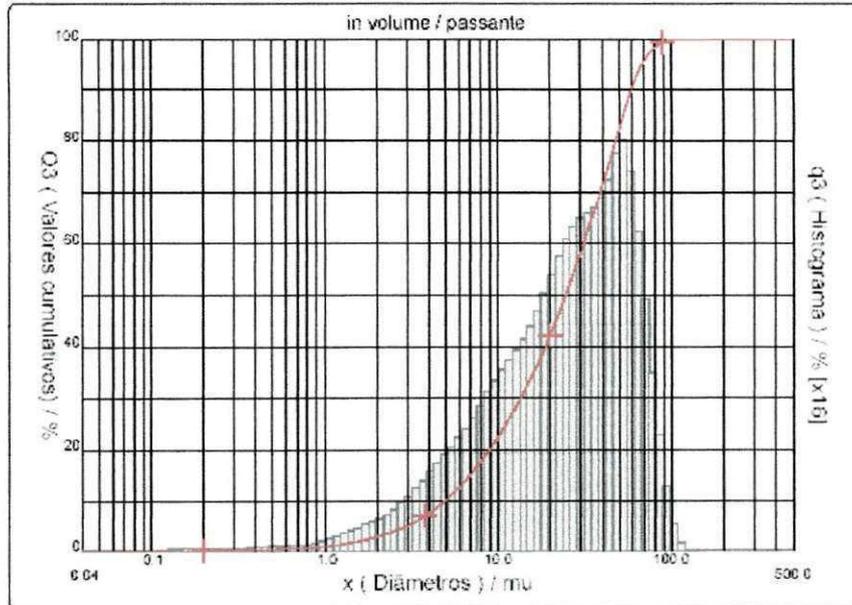


Figura 12 – Distribuição granulométrica por difratometria a laser da CCA.

Analisando a curva de distribuição de tamanho de partículas da cinza de casca de arroz utilizada neste trabalho (Figuras 12), verifica-se que apresentou curva com comportamento modal com pico em $80\mu\text{m}$ e média distribuição de tamanho de partículas, com D_{10} de $4,97\mu\text{m}$, D_{50} de $24,59\mu\text{m}$, D_{90} de $59,21\mu\text{m}$ e diâmetro médio de $28,98\mu\text{m}$. Comparando o gráfico da CCA proposta para este trabalho com o difratograma da cinza estudada por Della (2001), Figura 12a, verifica-se que os gráficos apresentam a mesma configuração, ou seja, a distribuição granulométrica para a cinza em estudo é semelhante à cinza estudada pela referida autora.

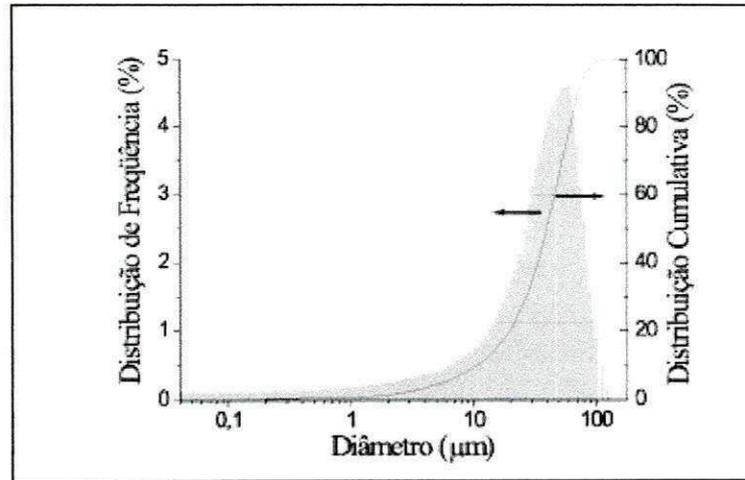


Figura 12a – Distribuição granulométrica da cinza estudada por Della et al. Fonte: Della et al (2001).

A distribuição granulométrica do cimento Portland encontra-se na Figura 13.

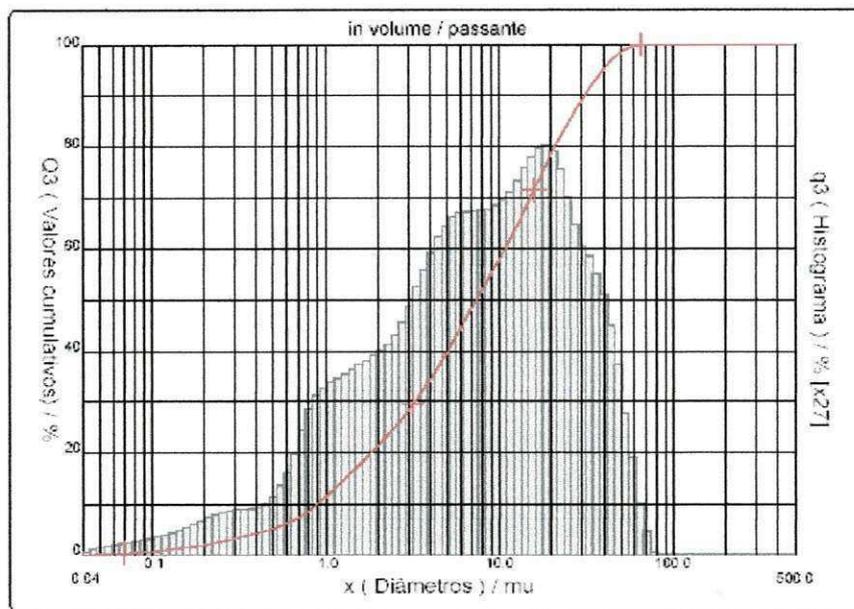


Figura 13 – Distribuição granulométrica por difratometria a laser da do CP.

Analisando-se a distribuição granulométrica do cimento Portland mostrado na Figura 13 observou-se que este apresentou curva com comportamento modal com pico em $80\mu\text{m}$ e média distribuição de tamanho de partículas, com D_{10} de $0,90\mu\text{m}$, D_{50} de $7,41\mu\text{m}$, D_{90} de $31,21\mu\text{m}$ e diâmetro médio $12,18\mu\text{m}$.

4.6. Análise termogravimétrica

A Figura 14 apresenta a análise térmica diferencial da cinza da casca de arroz. Pode-se observar um pico endotérmico por volta de 100°C, provavelmente relacionada a perda de água livre e um pico exotérmico por volta 950°C, que provavelmente está relacionado a cristalização da sílica amorfa em cristobalita. Estudos estão sendo desenvolvidos a fim de avaliar e essa hipótese da cristalização da cristobalita, através de difração de raios X.

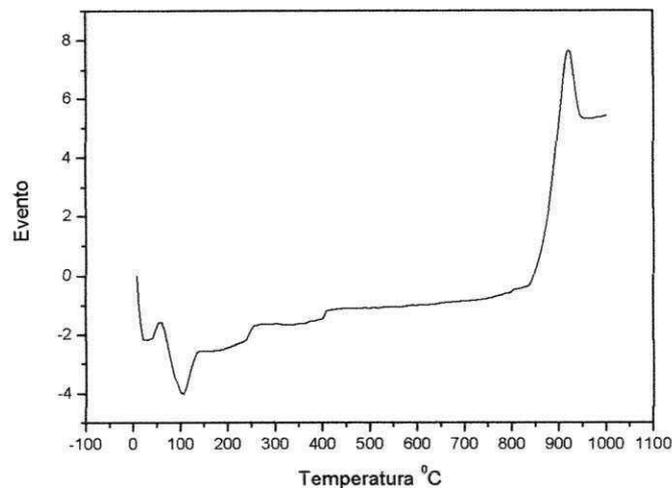


Figura 14 – Análise térmica diferencial da cinza de casca de arroz (CCA).

A Figura 15 apresenta a análise térmica diferencial do cimento Portland. Verifica-se a existência de apenas um pico endotérmico por volta de 850°C, que possivelmente está relacionado a desidroxilação do silicato de cálcio hidratado observado através da difração de raios X.

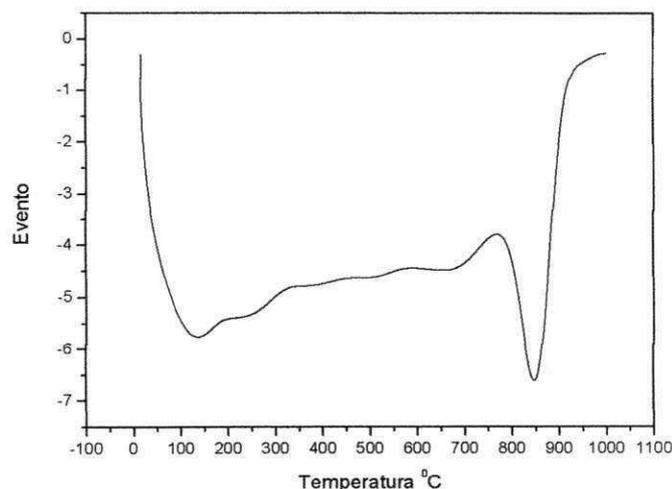


Figura 15 – Análise térmica diferencial do cimento Portland comum.

4.7. Resistência à compressão simples dos blocos de concreto

Os ensaios de resistência à compressão seguiram os procedimentos indicados pela norma brasileira NBR 7184 (1991), utilizando três blocos de concreto por traço escolhido de acordo com os resultados obtidos no estudo do fator água/cimento, sendo os traços pré-determinados, 1:4, 1:6 e 1:8 convencionais e com substituições de resíduos agrícolas (casca e cinza de casca de arroz). Foram verificadas as resistências dos traços para as idades de 28, 63 e 91 dias de moldagem.

Os resultados para os blocos de concreto no traço 1:4 encontram-se na Tabela 13 e também plotados no Gráfico 5.

Tabela 13 – Resistência à compressão simples dos blocos de concreto nos traços 1:4 convencionais e com substituições.

Cura (dias)	TRAÇO 1:4 - RCS (MPa) – BLOCOS DE CONCRETO		
	Casca de arroz		Cinza de casca de arroz
	REF.	6%	20%
28	6,00	5,80	1,70
63	8,10	8,25	2,25
91	9,25	9,50	2,90

Analisando os resultados da Tabela 13 verifica-se que para blocos, traço 1:4, com substituição do aglomerante por resíduo CCA, no percentual de 6% obteve valor de RCS maior que os blocos de referência apresentando um valor de 9,5Mpa aos 91 dias de cura, enquanto que para o traço com substituição do agregado miúdo por CA não apresentou resistência favorável para blocos de concreto, apresentando RCS inferior a 2,5Mpa, logo diante dos resultados obtidos o uso de CCA em blocos de concreto é favorável podendo ser considerados blocos com função estrutural devido apresentar RCS superior a 4,0Mpa. Os blocos de concreto com substituição de 20% de CA pode ser utilizado apenas como bloco de vedação ou divisorias, devido sua resistência ter sido inferior a exigida pela ABNT NBR 7173 (1974).

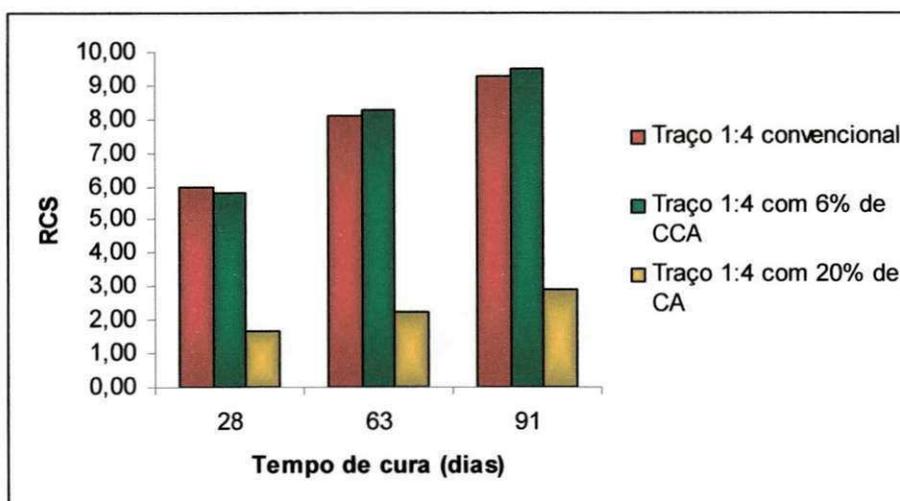


Gráfico 5 – Resistência à compressão simples dos traços 1:4 com e sem substituição.

Os resultados dos blocos, traço 1:6, encontram-se na Tabela 14 e no Gráfico 6.

Tabela 14 – Resistência à compressão simples dos blocos de concreto nos traços 1:6 convencionais e com substituições.

Cura (dias)	TRAÇO 1:6 - RCS (MPa) – BLOCOS DE CONCRETO		
	Casca de arroz		Cinza de casca de arroz
	REF.	3%	10%
28	4,40	4,60	1,20
63	5,85	6,40	1,50
91	6,50	7,00	2,25

Estudo das Propriedades Mecânicas de Blocos Fabricados com Cinzas e Casca de Arroz

Nos blocos de traço 1:6, observa-se que as melhores resistências obtidas foi na substituição da CCA pelo aglomerante, tendo aos 91 dias de cura uma resistência à compressão simples de 7,0Mpa sendo esta uma resistência superior a exigida por norma. Os blocos de concreto com substituição de 10% de CA, assim como no traço 1:4 obteve resistência inferior a exigida por norma, então neste caso seria aconselhável apenas utiliza-los como bloco de vedação ou divisorias, devido sua resistência ter sido inferior a exigida pela ABNT NBR 7173 (1974).

O Gráfico 6 mostra o desempenho da resistência à compressão simples dos blocos de concreto, no traço 1:6, com substituição do aglomerante pela cinza de casca de arroz e com substituição do agregado miúdo por casca de arroz, comparando estes resultados com os da argamassa de referência no mesmo traço.

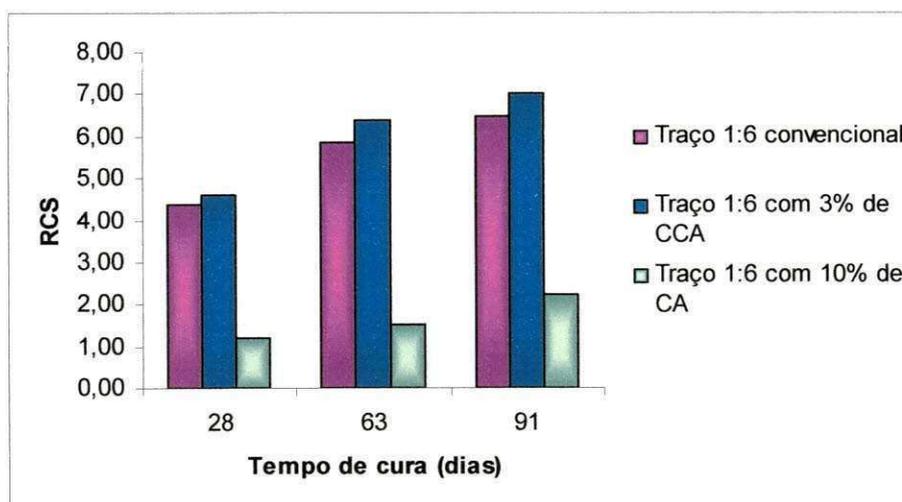


Gráfico 6 – Resistência à compressão simples dos traços 1:6 com e sem substituição.

Os resultados para os blocos de concreto no traço 1:8 encontram-se na Tabela 15 e também plotados no Gráfico 7.

Tabela 15 – Resistência à compressão simples dos blocos de concreto nos traços 1:6 convencionais e com substituições.

Cura (dias)	TRAÇO 1:8 - RCS (MPa) – BLOCOS DE CONCRETO		
	Casca de arroz		Cinza de casca de arroz
	REF.	9%	10%
28	3,80	2,10	1,10
63	5,10	3,00	1,50
91	6,00	3,50	2,00

Para os traços 1:8, verifica-se que os blocos que apresentaram maior resistência foram os sem substituições, ou seja, os convencionais, tendo em vista que os blocos com substituição do aglomerante por CCA apresentou resistência maior que 2,5MPa sendo considerado sem função estrutural e os blocos que apresentam em sua constituição 10% de CA apresentou comportamento mecânico equivalente aos dos traços 1:4 e 1:6 contendo casca de arroz, logo para o traço 1:8 ele também pode ser utilizado como divisória e parede de vedação.

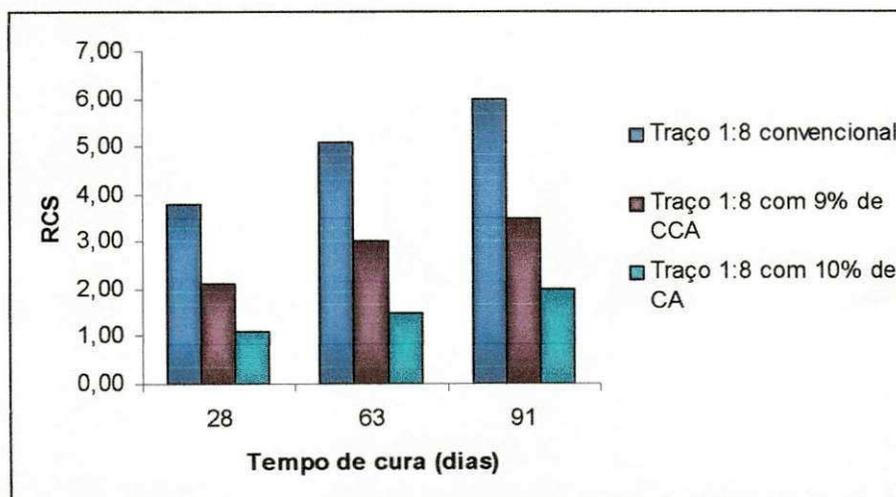


Gráfico 7 – Resistência à compressão simples dos traços 1:6 com e sem substituição.

De acordo com os dados obtidos e analisados, observa-se que para os traços convencionais o que apresentou maior resistência foi o 1:4, apresentando aos 91 dias de cura 9,25MPa. Para os traços que tem em sua constituição a cinza da casca de arroz o que apresentou maior resistência foi o traço 1:4 com 6% de CCA, apresentando 9,5MPa, enquanto que para os traços contendo CA, a maior

resistência foi para o traço 1:4 com 20% de CA sendo de 2,90 MPa. Então, o traço que apresentou melhor desempenho foi o 1:4, seja com ou sem substituições de resíduos.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir para o estudo dos blocos de concreto que:

- com as análises realizadas com as matérias-primas pode-se afirmar que estas encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pelas normas da ABNT;
- a casca de arroz possui elevado teor de absorção de água, cerca de 114%;
- a cinza de casca de arroz apresentou elevada área específica, em relação ao cimento empregado, sendo benéfico seu uso em substituição à parte do cimento;
- na composição química da cinza de casca de arroz, a soma dos teores de óxido de silício, alumínio e ferro é igual a 87,54%, superior ao valor mínimo de 70%, um dos requisitos exigidos pela NBR 12653 (1997) para que um material seja considerado com atividade pozolânica;
- a atividade pozolânica da cinza de casca de arroz, com cimento, foi de 78,70% e com cal 10,20MPa, resultados superiores aos mínimo exigido pelas normas da ABNT;
- a cinza de casca de arroz, empregada neste estudo, possui boa atividade pozolânica e obedece às exigências da NBR 12653 (1997), podendo substituir parte do cimento empregado;
- de acordo com a difração de raios x, a que a cinza é um material amorfo.

As análises da resistência a compressão simples para os traços 1:4, 1:6 e 1:8 convencionais e com substituições, pode-se concluir:

- os blocos de referência apresentaram valores de resistência à compressão simples inferiores aos blocos com cinza de casca de arroz e superiores aos com casca de arroz;
- dos blocos referência o que apresentou melhor desempenho de resistência a compressão simples foi o traço 1:4;
- os blocos com 6% de CCA, traço 1:4, obtiveram melhores valores de resistência à compressão simples;
- os blocos com 10% de substituição do agregado miúdo por CA, no traço 1:4, obtiveram melhor desempenho de resistência à compressão simples;

Portanto, de acordo com dos resultados encontrados e uma vez que a norma estabelece uma resistência à compressão simples mínima de 2,5MPa para blocos de concreto sem função estrutural, pode-se concluir que a cinza de casca de arroz pode ser empregada, nos percentuais estudados, em substituição ao cimento, para a confecção de blocos de concreto para alvenaria.

Conclui-se então que, quando o parâmetro avaliado é a resistência à compressão simples, é possível substituir, parcialmente, o cimento por cinza de casca de arroz e o agregado miúdo por casca de arroz.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Blocos de concreto pré-moldados sem função estrutural**. 6ª edição. Boletim técnico, nº 33, ABCP. São Paulo, 1978.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

_____. Determinação do índice de atividade pozolânica com cal. **NBR 5751**. 1992.

_____. Determinação do índice de atividade pozolânica com cimento. **NBR 5752**. 1992.

_____. Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da massa específica. **NBR 6474**. 1998.

_____. Calibração de desempenho – dinamômetro, calibração de cilindro padrão. **NBR 6674**. 2002.

_____. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Fixa características exigíveis no recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural. **NBR 7173**. 1974.

_____. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Determinação da resistência à compressão. **NBR 7184**. 1991.

_____. Agregados. Determinação da composição granulométrica. **NBR 7217**. 1987.

_____. Agregados. Determinação do teor de materiais pulverulentos dos agregados.. **NBR 7219**. 1982.

_____. Agregados no estado solto. Determinação da massa unitária. **NBR 7251**. 1982.

_____. Agregados. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. **NBR 9776**. 1987.

_____. Cimento Portland. Especificação. **NBR 11578**. 1991.

_____. Cimento Portland Comum. **NBR 11579**. 1991.

_____. Cimento Portland. Determinação do tempo de pega. **NBR NM 65**. 2003.

_____. Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da finura pelo método da permeabilidade ao ar (Método Blaine). **NBR NM 76**. 1998.

_____. Resíduos Sólidos. **NBR 10004**. 2004.

_____. Amostragem de Resíduos. **NBR 10007**. 2004.

_____. Materiais Pozolânicos. Exigências químicas e físicas. **NBR 12653**. 1997.

ASTM - **American Society for Testing and Materials Standards from ANSI** – C 618 (1978).

ATLÂNTICA MAQ. Indústria e Comércio de Máquinas Ltda. Histórico sobre os **blocos de concreto**. Obtida via Internet, em: <http://www.atlanmaq.com.br>. Acesso em 2006.

BRAGA FILHO, A. C. Bambu: generalidades e seu emprego como reforço em **vigas de concreto**. Dissertação de Mestrado. 144p. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2004.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com adição de microssílica**. Tese de Doutorado. 286p. São Paulo, 1995.

DELLA, V. P.; KUNH, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: **cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica**. Disponível em <http://www.ceramicaindustrial.org.br>. Acesso em 22 set. 2005.

DELLA, V. P. Processamento e caracterização de sílica ativa obtida a partir de **cinzas de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2001.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations: online. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat>. Acesso em 06 de abril de 2006.

FEITOSA, A. O. **Utilização do resíduo da serragem de granito para uso em blocos de concreto sem função estrutural**. Dissertação de Mestrado. 97p. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. Campina Grande/PB, 2004.

FERREIRA JÚNIOR, S. Produção de blocos de concreto para alvenaria: prática **recomendada**. 3ª edição. Boletim técnico, nº 107, ABCP. São Paulo, 1995.

FILEV, R. **Escória de alto forno**. Graduando da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP/PCC). Bolsista FAPESP. Obtida via Internet, disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/escoria_de_aciaria.htm em 21/03/2006

HABITARE. Utilização de resíduos na construção civil. Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção civil. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4. Porto Alegre/RS, 2002.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993. 231p.

HOUSTON, D. F. **Rice Hulls, Rice Chemistry and Technology**. American Association of Several Chemistry, Minnesota, p. 301-352, 1972.uston 1972.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Obtida via Internet, disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em Janeiro de 2006.

JONH, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. Tese de Livre Docência. 102p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LEIRIAS, H. S.; FERREIRA, H. C. & CONCIANI, W. Estudo da influência da cinza da **casca de arroz na massa de argila para produção de blocos cerâmicos de 8 furos**. I Seminário Mato-Grossense de Habitação de Interesse Social, Cuiabá/MT, Anais, 2005.

LIMA, M. S. **Utilização do resíduo de caulim para uso em blocos de concreto sem função estrutural**. Dissertação de Mestrado. 79p. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2005.

MARTINEZ, R.G. Placas pré-moldadas de argamassa armada e casca de arroz Dissertação de Mestrado. 89p. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2003.

MARTINEZ, R.G.; FERREIRA, H.C.; NOGUEIRA, M. C. J. A. & NOGUEIRA, J. S. **Placa de argamassa composta com casca de arroz para painéis de fechamento vertical em habitações populares**. I Seminário Mato-Grossense de Habitação de Interesse Social. Anais, p. 509-524. Cuiabá/MT, 2005.

MATTOS, L. R. S.; DAL MOLIN, D. C. C. **Caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas em Belém/PA (Brasil): estudo do comportamento no estado fresco.** Engenharia Civil, UM, nº 15. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, Porto Alegre/RS, 2002.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** Dissertação de Mestrado. 149p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

MEHTA, P. K. Rice Husk Ash: A Unique Supplementary Cementing Material. *Advances in Concrete Technology*, p 407-431. Ottawa: Canmet, 1992.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais.** Editora PINI. São Paulo, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2ª edição, revisada e atualizada. Tradução Salvador E. Gammusso. Pini. São Paulo. 1997.

OLIVEIRA, D. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil.** Tese de Doutorado. 251p. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2004.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**, 13ª edição, rev. Por Paulon, V. A. Editora Globo, São Paulo, 1998.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; SANTOS, S. & DAFICO, D. A. **Estudos com cinzas de casca de arroz buscam aproveitamento em concretos de alto desempenho.** Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção civil. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4, 2002.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; SANTOS, S. & DAFICO, D. A. **Cinzas da casca de arroz.** Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção civil. Editora Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4, pg. 242-246, 2003.

SANTOS, R. A. **Vidro.** Bolsista de iniciação Científica do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (FUSP/USP). Obtido via Internet: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/vidro.htm> em 21/03/2006.

SILVA, E. P. **Incorporação de resíduos da indústria de calçados (EVA – Etileno Vinil Acetato) em tijolos prensados de terra crua.** Dissertação de Mestrado. 81p. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2003.

SILVEIRA, A. A. A utilização da cinza da casca de arroz com vistas a **durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos.** Dissertação de Mestrado. 139p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 1996.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília/UnB. Brasília, 2001.

SOUSA, S. M. T. Tijolos de terra crua reforçada com fibras vegetais. Dissertação de Mestrado. 135p. Universidade Federal da Paraíba, CAMPUS II. Campina Grande/PB, 1993.

SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de Argilas**, vol II, Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1989.

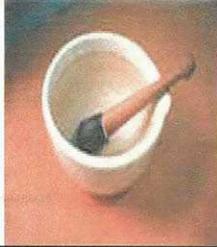
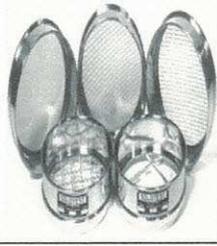
SOUZA, J. – **Estudo da durabilidade de argamassas e blocos para alvenaria não estrutural utilizando cinzas e casca de arroz.** Exame de Qualificação apresentado ao Doutorado de Engenharia de Processos da UFCG. Campina Grande-PB, 2007.

TOLEDO FILHO, R. D. Utilização de materiais não convencionais nas **construções rurais.** Relatório Técnico, Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba, CAMPUS II. **Campina** Grande/PB, 1990.

VISCONTE, L. L. Y. **Rejeitos agrícolas em composições poliméricas: cinza da casca de arroz, 2003.** Acesso: <http://www.ima.ufrj.br/linhaspes/modulo>, 2006.

ANEXOS

INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA

			
Infravermelho	DRx	Almofariz e mão-de-gral	Mufla
			
Moinho de bolas	Balanças que permitam pesar até 5 kg	Bomba de vácuo com registros, para remoção do ar aderente às partículas do solo;	Recipientes adequados, tais como dessecadores, que permitam esfriar amostras sem absorção de umidade
			
Soquete	Molde cilíndrico de corpo de prova, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura	Peneiras de peneiramento grosso e peneiramento fino, conforme a NBR 5734	Estufa capaz de manter temperatura entre 60-65 °C e entre 105-110 °C
			
Proveta de vidro, com cerca de 450 mm de altura, com traço de referência indicando 1.000 cm ³ a 20°C;	Picnômetro com capacidade de 500 ou 1000 ml, com tampa de vidro esmerilhada externamente e perfurada;	Prensa para rompimento dos corpos de prova de concreto	Prensa para rompimento dos corpos de prova de argamassa

Estudo das Propriedades Mecânicas de Blocos Fabricados com Cinzas e Casca de Arroz

			
<p>Aparelhos de TG e ATD</p>	<p>Betoneira</p>	<p>Espátula</p>	<p>Molde dos blocos de concreto (9 cm x 19 cm x 39 cm)</p>