



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

RAPHAEL DE OLIVEIRA BILMAYER

ANÁLISE DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM USO DAS CINZAS DA
CASCA DE ARROZ SEM CONTROLE DE QUEIMA

Palmas – TO

2019

RAPHAEL DE OLIVEIRA BILMAYER
ANÁLISE DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM USO DAS CINZAS DA
CASCA DE ARROZ SEM CONTROLE DE QUEIMA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Palmas – TO

2019

RAPHAEL DE OLIVEIRA BILMAYER

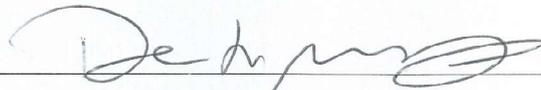
ANÁLISE DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM USO DAS CINZAS DA
CASCA DE ARROZ SEM CONTROLE DE QUEIMA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Aprovado em: 06/12/2019

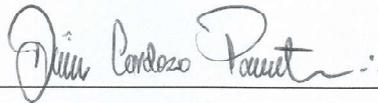
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

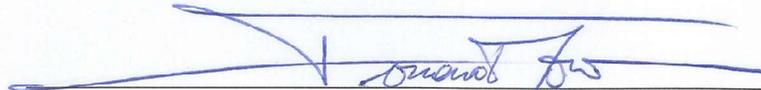
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Fernando Moreno Suarte Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de obtenção da areia	16
Figura 2 - Arroz em grão com casca	21
Figura 3 - Colheita de Arroz no Tocantins	22
Figura 4 - Depósito de CCA	24
Figura 5 - Fluxograma das atividades á serem executadas.....	29
Figura 6 - Composição Granulométrica: agregado miúdo	31
Figura 7- Granulométrica: agregado graúdo	31
Figura 8 Curva para escolha da relação a/ag x resistência à compressão.....	33
Figura 9 - Abatimentos do tronco de cone. Da esquerda pra direita 5%, 10%, 15% de CCA. 39	
Figura 10 Gráfico comparativo das resistências médias à compressão.....	40
Figura 11 Gráfico comparativo de resistência média à tração por compressão diametral	42
Figura 12 Gráfico comparativo do teor de absorção de água dos concretos aos 28 dias	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites granulométricos do agregado graúdo	13
Tabela 2 - Alguns problemas que podem ser encontrados no concreto fresco.....	18
Tabela 3 - Composição química da cinza da casca de arroz, segundo diversos autores	25
Tabela 4 - Características físicas da areia.....	30
Tabela 5 - Características físicas da brita	31
Tabela 6 Traços utilizados na pesquisa.	33
Tabela 7 - Programa experimental	34
Tabela 8 - Composição Química da CCA sem controle de queima	36
Tabela 9 Requisitos químicos para material pozolânico segundo NBR 12653:2012.....	36
Tabela 10 Comparação das características físicas e químicas do cimento Portland, cinza volante, escória e sílica ativa	37
Tabela 11 Ficha técnica metacaulim de alta reatividade	37
Tabela 12 Ficha técnica Sílica Nobre proveniente de cinza de casca de arroz	38
Tabela 13 Abatimento do tronco de cone segundo ABNT NBR NM 67 (1998)	38
Tabela 14 Resistências médias à compressão.....	40
Tabela 15 Resistência média à tração por compressão diametral aos 63 dias.....	41
Tabela 16 Ensaio de absorção por imersão NBR 9778:2009	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CP	Corpo de prova
CCA	Cinza da Casca de Arroz
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RB	Resíduo de Britagem
RSU	Resíduo Sólido Urbano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo Geral	10
1.2.2 Objetivos Específicos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	10
2.2 CIMENTO PORTLAND.....	12
2.3 AGREGADO GRAÚDO.....	13
2.4 AGREGADO MIÚDO	14
2.5 ADITIVOS	16
2.6 ADIÇÃO MINERAL	18
2.6.1 FINURA E EFEITOS DA ADIÇÃO MINERAL	19
2.7 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA	20
2.8 CASCA DE ARROZ.....	21
2.8.1 Cinza da Casca de Arroz (CCA)	23
2.8.1 Concreto com CCA.....	26
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 APRESENTAÇÃO.....	28
3.2 OBJETO DE ESTUDO	28
3.3 FLUXOGRAMA	29
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	30
3.4.1 Cimento Portland	30
3.4.2 Agregado Miúdo	30
3.4.3 Agregado Graúdo	31
3.4.4 CCA	32
3.5 DOSAGEM DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA	32
3.5.1 Ensaio do concreto no estado fresco.....	34
3.5.2 Ensaio do concreto no estado endurecido	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 CCA	36
4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO	38
4.3 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	40

4.3.1 Resistência à compressão	40
4.3.2 Resistência à tração	41
4.3.3 Teor de Absorção de água	42
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	49

RESUMO

Devido à necessidade de redução de impactos ambientais ocasionados pelo o grande crescimento da população e conseqüentemente do setor da construção civil alcançados nos últimos anos, busca-se pela a diminuição de resíduos sem um local apropriado para a sua destinação final. Entre esses resíduos pode destacar a cinza da casca de arroz, uma das soluções para este problema é a reutilização em outro setor produtivo como da Engenharia Civil. O presente trabalho tem como objetivo a utilização da cinza da casca de arroz para produção de concreto de alta resistência, como alternativa de substituição parcial do cimento, visto que a cinza da casca de arroz pode ser considerada como material pozolânico, verificando a sua influência nas propriedades do concreto de alta resistência no estado fresco e endurecido. O estudo deste resíduo e o emprego do mesmo em tecnologias construtivas são de suma importância. A pesquisa teve como programa experimental o desenvolvimento de concreto de alta resistência, com substituição de cimento por teores de 5%, 10% e 15% de cinza da casca de arroz. Utilizou-se ainda na produção dos concretos de alta resistência a sílica ativa, efetuando o comparativo dos resultados quando se aumenta o teor de CCA no CAR. Os resultados obtidos demonstraram que o uso desse resíduo ocasiona uma perda de resistência quando utilizado para a substituição de cimento, mas ainda dentro do fcj de dosagem. Também houve perda de consistência e ganho de absorção de água, porém não foram impactos que impedissem a utilização deste resíduo.

Palavras Chave: Resíduo Sólido, CCA, Concreto

ABSTRACT

Due to the need to reduce environmental impacts caused by the large population growth and consequently the construction sector achieved in recent years, we seek to reduce waste without an appropriate location for its final destination. Among these residues can highlight the rice husk ash, one of the solutions to this problem is the reuse in another productive sector such as Civil Engineering. The present work aims to use rice husk ash for high strength concrete production as an alternative to partial cement replacement, since rice husk ash can be considered as pozzolanic material, verifying its influence on properties of high strength concrete in fresh and hardened state. The study of this waste and its use in construction technologies are of paramount importance. The research had as experimental program the development of high strength concrete, with replacement of cement by contents of 5%, 10% and 15% of rice husk ash. It was also used in the production of concretes with high resistance to active silica, making the comparison of the results when increasing the CCA content in CAR. The results showed that the use of this residue causes a loss of strength when used for cement replacement, but still within the dosage range. There was also loss of consistency and gain in water absorption, but there were no impacts that prevented the use of this waste.

Keywords: Solid Waste, CCA, Concrete

1 INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2017), com produção de 12,3 milhões de toneladas colhidas na safra 2016/2017, o Brasil situa-se entre os grandes produtores mundiais de arroz. O Brasil, atualmente, é o maior produtor de arroz fora da Ásia. Após a colheita, na etapa de beneficiamento do grão, são gerados diferentes resíduos, onde a casca do arroz se destaca, principalmente devido ao grande volume gerado (GONÇALVES, 2009). A queima da casca de arroz para geração de energia se mostra uma alternativa ecológica, ética e economicamente rentável, gerando como principal resíduo a cinza (HOFMANN et. al., 2010).

As cinzas da casca de arroz já vêm sendo estudada por vários autores com o intuito de aproveitar suas características pozolânicas na substituição de parte do aglomerante. Dentre esses autores se destaca a nível mundial Povindar Kumar Mehta (MEHTA) que publicou uma serie de artigos com estudos do uso da CCA, comprovando os benefícios do resíduo no concreto e inclusive criou patentes de processos para obtenção de uma cinza com alto teor de sílica e baixos percentuais de carbono residual, transformando assim o resíduo em matéria prima de primeira qualidade para concretos. A nível de Brasil se destacam José Dafico Alves e Dario de Araújo Dafico. Dario (DAFICO, 2001) em sua dissertação de doutorado fez um estudo de concretos de alto desempenho com uso de pozolanas provenientes da casca do arroz, o interessante neste estudo é que foi feita análise de vários tipos e CCA, desde as que era simplesmente queimada sem qualquer controle e com nenhum processo de beneficiamento como moagem, até as cinzas com queima controlada e beneficiamento específico para uso como pozolanas. Nestes estudos ficaram evidentes os efeitos da CCA no concreto, comprovando a viabilidade técnica do uso deste resíduo.

Com o uso da CCA estaria se aproveitando de um material que não teria mais nenhum valor comercial e poderia estar substituindo em partes por um que tem valor comercial, no caso aglomerante. Aglomerante este e que no seu processo de fabricação causa grande impacto ambiental e se utiliza de recursos naturais não renováveis para sua produção. Sendo assim o uso da cinza além de imediato reduzir o impacto ambiental local, também reduz no meio ambiente como um todo, pois irá ter a diminuição na produção de cimento. Atualmente as emissões dessa indústria em nível mundial são estimadas em cerca de 5% do total das emissões antrópicas de carbono (WBCSD, 2010). A nível Brasil a indústria de cimento foi responsável por 29,7% das emissões de CO₂ de processos industriais em 2012 (BRASIL, 2014). Além de poder ser utilizado como substituição em parte do aglomerante, a CCA tem

potencial para ser transformada e pozolana altamente reativa, o que poderia transformar o resíduo em um produto com grande valor comercial.

Neste contexto, o presente trabalho visa estudar os efeitos da CCA sem controle de queima como substituição parcial de aglomerante no concreto de alta resistência, com intuito de avaliar o efeito na resistência de acordo com substituição de determinados percentuais da cinza na mistura do concreto de alta resistência.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o uso das cinzas da casca de arroz sem controle de queima no concreto de alta resistência.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a cinza de casca de arroz sem controle de queima.
- Avaliar a influência da substituição parcial do cimento por CAA nas propriedades do concreto no estado plástico: trabalhabilidade (*slump test*).
- Avaliar influência das propriedades do concreto no estado endurecido; resistência à compressão, resistência à tração, absorção de água e aspectos físicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com Valle et.al. (2013) a produção desenfreada de resíduos sólidos se dá por conta do crescimento populacional assim como a crescente mudança no padrão de consumo da população. O mesmo afirma que a falta de interesse e sensibilidade da população

em questão dos cuidados com o meio ambiente também influenciam para o crescimento constante da produção de RSU.

De acordo com ABNT NBR 10.004:2004:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Conforme a norma ABNT NBR 10.004:2004, para se classificar os resíduos sólidos é necessário conhecer primeiramente sua origem, conhecer o processo em que ele foi produzido, tal como a sua composição e características. Para poder classificar os resíduos sólidos é primordial conhecer sua produção e criação, pois a separação é de acordo com a periculosidade do material e para isso é necessário conhecer seus componentes.

Ainda de acordo com a mesma norma anterior, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados podem ser classificados e subdivididos da seguinte forma:

- a) Resíduos classe I – perigosos: São aqueles resíduos que em função das suas composições físicas, químicas ou infecto-contagiosas podem apresentar risco à saúde pública na qual pode provar mortes ou graves doenças ou aqueles que podem provocar risco ao meio ambiente, causando algum tipo de devastação ou trazendo malefício à natureza quando gerenciado de forma errônea. Resíduos classe I também pode ser classificado de acordo com sua patogenicidade (de acordo com a norma ABNT NBR 10007:2004 um resíduo é considerado como patogênico se uma amostra representativa contiver microorganismos patógenos, proteínas virais ou ADN e ARN), inflamabilidade (é caracterizado como inflamável quando um resíduo de acordo com a ABNT NBR 10007:2004, ser – entre várias – líquida e ter ponto de fulgor de 60°, ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio, ser um gás comprimido inflamável, entre outras.
- b) Resíduos Classe II – Não perigosos: São resíduos que não há risco à saúde da população ou do meio ambiente, resíduos que não queimam com certa facilidade ou produz algum tipo de substância maléfica à algo ou alguém. São exemplos: resíduos de restaurantes (resto de alimentos), borracha, bagaço da cana, resíduo de madeira,

resíduo de materiais têxtil, plásticos polimerizados e entre outros. Essa classe é subdividida em duas outras classes:

- Resíduos Classe II A – Não inertes: São aqueles resíduos que não se enquadram na classe I nem na classe II B, estes podem ter propriedades específicas, tais como: combustibilidade ou solubilidade em água e biodegradabilidade.
- Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.2 CIMENTO PORTLAND

De acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) o cimento é um pó fino com características e propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que enrijece quando adicionado a água e a mesma agir sobre o cimento. Quando o cimento se transforma em concreto, vira-se uma pedra artificial, que pode ter várias formas, pesos e volumes. O concreto é o segundo material mais utilizado pelo homem atualmente, perdendo apenas para a água.

Como diz a ABCP (2002) *apud* Ribeiro (2015) para se produzir o cimento são necessários vários materiais equipamentos e matéria-prima. A baixo é apresentado as matérias-primas do cimento, na qual cada um tem sua especificação e função diferente dentro do cimento:

- Clínquer: Este material tem como matérias-primas o calcário e argila. O clínquer é o componente do concreto mais complexo de todos, pois é o que tem o custo mais elevado na fabricação do cimento Portland. Dois dos componentes clínquer é o Silicato Tricalcico e Silicato Dicálcico e este dão as características de ligante hidráulico e resistência após a hidratação do cimento.
- Gesso: Normalmente tem adição de aproximadamente 3% em função da massa do Clínquer, e seu dever é regular o tempo de início de cura do cimento.
- Calcário: CaCO_3 , é usado na produção do clínquer e as vezes utilizado como aditivo do concreto. Sua função é melhorar a trabalhabilidade do concreto.

- Escória Siderúrgica: É um sub-produto do alto forno. Tem funções muito parecidas com o clínquer, mas tem maior durabilidade e apresenta maior resistência final.
- Pozolana: Rochas de origem vulcânicas que reage com hidróxido de cálcio e apresenta propriedade de ligante hidráulico.

Segundo a ABNT NBR 11578:1991 há condições exigidas dos cimentos Portland Compostos (CP II-E, CP II-Z e CP II-F) para se receber o produto em obra. Este cimento é um aglomerante hidráulico que é obtido através do Clínquer Portland quando adicionado, se necessário, sulfato de cálcio. O CP II é dividido em três diferentes tipos de cimento: o CP II-E que é o Cimento Portland Composto com escória; CP II-F na qual é o Cimento Portland Composto com filler e o CP II-Z este é o Cimento Portland Composto com Pozolana. Vale ressaltar ainda que existe as sub-classes dos cimentos, que são 25, 32, 40, estes que representam, respectivamente, a resistência á compressão aos 28 dias de idade em MPa.

2.3 AGREGADO GRAÚDO

De acordo com a norma ABNT NBR 7211:2005, agregado graúdo é o agregado cujo os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Para haver aceitação de lote, o agregado tem que ser aprovado em alguns requisitos impostos por norma anterior, tal como as ABNT NBR NM 27 e ABNT NBR NM 26. A seguir será demonstrado os requisitos necessários para aprovação de lote:

- Quanto à distribuição granulométrica: Têm que haver o peneiramento dos agregados e baseado na quantidade de material, têm-se uma porcentagem de divisão de peneiras de acordo com a ABNT NBR NM 248. Uma certa quantidade deve ficar retidas em diferentes peneiras, os agregados não podem ser totalmente uniformes.
- Quanto a forma dos grãos: O índice de forma dos grãos do agregado não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a ABNT NBR NM 7809
- Quanto ao desgaste: Segundo a ABNT NBM NM 51, o índice de desgaste por abrasão deve ser inferior á 50% em massa do material (ABNT NBR 7211:2005).

Tabela 1 - Limites granulométricos do agregado graúdo

PENEIRAS (mm)	PORCENTAGENS RETIDAS ACUMULADAS				
	CLASSIFICAÇÃO (GRADUAÇÃO)				
	0	1	2	3	4
76	-	-	-	-	0

63	-	-	-	-	0-30
50	-	-	-	0	75-100
38	-	-	-	0-30	90-100
32	-	-	0	75-100	95-100
25	-	0	0-25	87-100	-
18	-	0-10	75-100	95-100	-
12,5	0	-	90-100	-	-
9,5	0-10	80-100	95-100	-	-
6,3	-	92-100	-	-	-
4,8	80-100	95-100	-	-	-
2,4	95-100	-	-	-	-

Fonte: (ABNT NBR 7211:2005)

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) *apud* ALHADAS (2008), as diferentes granulometrias do agregado poderá afetar na resistência á compressão no artefato de concreto, contando que as peças tenham a mesma relação água cimento. Agregados que não apresentam nenhuma deficiência, quebra ou o lote não ter muita diferença de tamanho entre os agregados, esses produzem misturas de concreto com mais trabalhabilidade e são, todavia, mais econômicos. Quando se têm partículas maiores, estes tendem a ocasionar uma quantidade maior de microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

NEVILLE (1997) *apud* ALHADAS (2008) enfatiza que além de se analisar fisicamente os agregados, não se deve esquecer o aspecto econômico do artefato, resumindo, o concreto deve ser fabricado com materiais que lhe geram economia e/ou possa ser produzido com baixo custo. Neville diz que os principais coeficientes que indicam a viabilidade econômica do agregado são: a área superficial do agregado, dito que este influencia na quantidade de água á ser usada na molhagem dos sólidos, o volume relativo que o agregado ocupa, a trabalhabilidade do composto e sobre a tendência de segregação

2.4 AGREGADO MIÚDO

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e se retém na peneira cuja abertura de malha é de 150 µm (ABNT NBR 7211:2005).

O agregado miúdo fica na segunda posição no quesito utilização na confecção do concreto, perde apenas para o agregado graúdo, e o mesmo contribui incomensuravelmente

para a disposição final ideal do concreto, pois o mesmo afeta na resistência a compressão, durabilidade, trabalhabilidade, retração e entre outras.

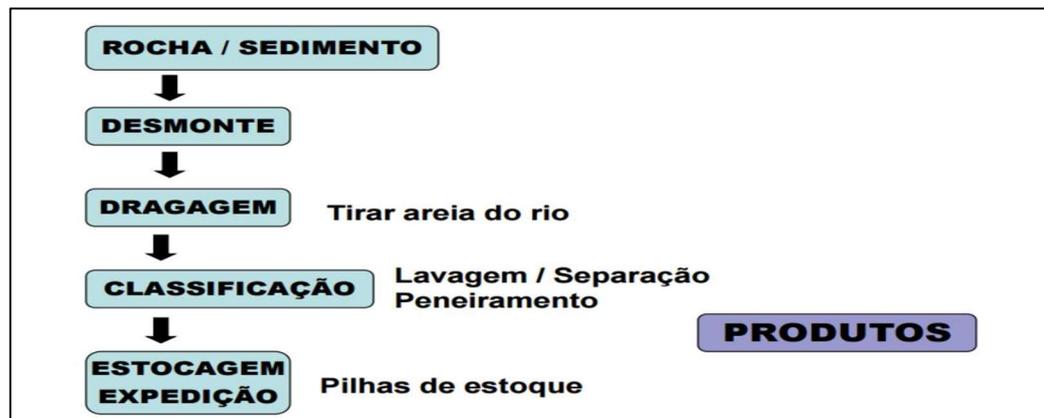
De acordo com Bauer (2011) *apud* Azevedo *et al.* (2017), os agregados têm uma função primordial no concreto e contribuem em cerca de 80% do peso total do artefato e 20% do custo final do concreto estrutural, sem adicionar aditivos e um *fck* de 15Mpa. Os agregados têm bastantes diferenças em lotes, podem ser de dimensões, de resistência, de textura, fazendo assim com que eles sejam constantemente estudados e testados, seja antes da obra seja durante ela. Para se ter um concreto de qualidade, primeiramente é necessário verificar a qualidade dos materiais que englobam o concreto, portanto é primordial conhecer as características, qualidades e defeitos de cada material, e para isso são necessárias uma gama de ensaios laboratoriais que envolvem tal ação (AZEVEDO *et al.* 2017).

O Anuário Mineral Brasileiro (2010) divulgou os dados e valores da quantidade e produção mineral, respectivamente, que foram comercializadas pelo Brasil no ano de 2009. Os valores do agregado miúdo (areia) foram: total bruto comercializado/valor = 255.807.957 t / R\$ 2.960.589.715, e total beneficiado comercializado/valor = 9.576.649,00 t / R\$ 136.665.653 (Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, 2010 *apud* Azevedo 2017)

Em sua pesquisa, Azevedo (2017) concluiu:

[...] os agregados miúdos possuem grande variedade de características que influenciam e muito na qualidade do concreto produzido. Logo, quando não são conhecidas tais características, o risco de problemas em estruturas concretadas é grande, podendo a médio e longo prazo, provocar a deterioração precoce ou a ruína da estrutura. Portanto, recomenda-se que os agregados miúdos sejam submetidos aos ensaios, para obtenção de suas propriedades, para que sejam tomadas as medidas cabíveis para a confecção do concreto a ser utilizado. Porém, não basta apenas o controle tecnológico do agregado miúdo, recomenda-se ainda que todos os materiais usados no traço tenham o mesmo rigor no seu controle, bem como na confecção do concreto.

Figura 1 - Processo de obtenção da areia



Fonte: Bauer (2000) adaptada pelo autor (2019)

2.5 ADITIVOS

Segundo Freitas (2013), aditivos são produtos que quando empregados no concreto ou argamassa de cimento, modificam propriedades específicas das mesmas, seja ele no estado fresco ou endurecido. Em países de primeiro mundo, de 70 á 80% dos concretos contêm algum tipo de aditivo. Ainda de acordo com o autor, os aditivos têm como principais funções:

- Aumentar a trabalhabilidade ou plasticidade do concreto;
- Reduzir o consumo de cimento, interferindo diretamente no custo final do concreto;
- Alterar o prazo de pega, acelerando-a ou retardando-a;
- Reduzir a retração;
- Aumentar a durabilidade

Este último tópico contém quatro maneiras diferentes de atuação do aditivo no concreto. O aditivo pode aumentar a durabilidade inibindo a corrosão das armaduras ou neutralizando as reações álcali-agregado, reduzindo o efeito do ataque por sulfatos ou até diminuindo a permeabilidade. (FREITAS, 2013).

De acordo com a ABNT NBR 11768:2011 os aditivos são produtos que são adicionados no processo de fabricação do concreto, em quantidades menores que 5% da massa do material cimentício contida no concreto, e tem como característica e função modificar algumas funções do concreto.

Contudo, de acordo com a concentração de aditivo no concreto a efetividade do aditivo imposto no artefato pode variar. O que também pode fazer modificar a efetividade é o tipo de material cimentício ali usado, a temperatura do local a produção da peça, os materiais que estão incluídos no concreto além dos aditivos e energia necessária para mistura. Portanto

são vários fatores atuando na efetividade do aditivo. (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 2014).

A norma ABNT NBR 11768:2011 classifica os aditivos como:

- Redutor de água/plastificante;
- Alta redução de água/superplastificante;
- Incorporador de ar;
- Acelerador de pega;
- Acelerador de resistência;
- Retardador de pega;
- Polifuncional/multifuncional;
- Hiperplastificantes;

Como já dito anteriormente, os aditivos contribuem significativamente para a melhoria das características do concreto. E esse fator concreto/aditivo dependem das interações que acontecem entre o aditivo adicionado e os materiais que compõe o concreto, tal como agregados, cimento e água. A tipologia e tempo de duração das interações entre aditivos e esses materiais, pode influenciar nas propriedades químicas e físicas do concreto como por exemplo: velocidade que se leva para hidratar o concreto, demanda da quantidade de água necessária, tempo de início e fim de pega assim como resistência mecânica da peça e durabilidade da mesma (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 2014).

Todavia, mesmo que os aditivos estejam em adequados perfeitamente dentro das especificações, problemas de incompatibilidade podem ocorrer com a peça de concreto quando se utiliza o aditivo em uma mistura. Estes problemas acontecem devido as interações que ocorrem entre os aditivos e todos os materiais que compõem o concreto, com destaque para cimento e adições. Assim, esses problemas podem acarretar em perda veloz de trabalhabilidade, aceleração ou retardo de pega em abundancia, incorporação em excesso de ar na peça, perda de resistência mecânica e entre outras (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 2014).

Tabela 2 - Alguns problemas que podem ser encontrados no concreto fresco

	Menor redução de água que o esperado	Perda acelerada de abatimento	Menor tempo de pega que o esperado	Maior tempo de pega que o esperado	Excessiva incorporação de ar	Segregação
Variação na composição química do cimento	X	x	x	x	x	
Aumento da finura do cimento	X	x	x			
Variação das características dos agregados	X	x			x	x
Variação na proporção dos agregados	X	x			x	x
Quantidade insuficiente de aditivo	X	x	x			
Excesso de aditivo				x	x	x

Font
e:
Ada
ptad
o de
Instit

uto Brasileiro de Impermeabilização (2014)

2.6 ADIÇÃO MINERAL

Segundo Tutikian e Molin (2008) as adições minerais podem ser classificadas em dois grandes grupos nos quais são adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividades químicas.

As adições minerais sem atividade química são adições no qual usualmente utiliza-se para adição de filler no composto em que seu efeito ocorre-se um empacotamento granulométrico nos pontos nucleação da hidratação dos grãos do cimento, outro ponto ocorrer-se a substituição do agregado miúdo por filler nos quais apresentam melhoria na sua compacidade do esqueleto granular e coesão da mistura, (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

As adições minerais quimicamente ativas têm propriedades cimentantes ou matérias pozolânica que em contato com a Ca(OH)_2 obtém-se reação química, alguns exemplos das

adições minerais quimicamente ativas são a cinza volante com baixo teor de cálcio, pozolanas naturais, sílica ativas, cinza da casca de arroz e a metacaulim, (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

Pozolanas são composições silicosa ou sílico-aluminosas, sendo apresentadas tanto como substâncias naturais ou artificiais, quando adicionada com o hidróxido de cálcio retratam propriedade cimentícias, (SALGADO, 2010).

Tashima (2006) afirma que, pozolanas naturais refere-se a derivados tipos de rochas ou minerais vulcânicos, no qual são submetidos a processos de classificações, pois na maioria das vezes apresentam impurezas no que reduz sua influência pozolânica. Alguns tipos de pozolanas naturais são citados pelo autor, como tufo vulcânicos, tetras diatomáceos e argilas calcinadas. Segundo ele a utilização das pozolanas naturais obtém-se reduções consideráveis na utilização de energia para a fabricação do cimento Portland, em virtude desta sua utilização reduz porcentagem na substituição do cimento Portland, além de influenciar na diminuição dos gases produzidos na fabricação do clínquer. Entretanto, pozolanas naturais apresentam efeitos negativos, pois trata-se de material não renovável, sendo acarretados por diversos impactos ambientais.

Pozolanas artificiais é uns subprodutos provenientes de resíduos agroindustriais. Em dias atuais são empregadas na construção civil como, cinzas volantes, escórias de alto forno e sílica ativa, (TASHIMA, 2006).

2.6.1 FINURA E EFEITOS DA ADIÇÃO MINERAL

A finura como característica física e as adições minerais como características químicas tem vários efeitos quando adicionado no concreto, seus efeitos estarão diretamente ligados um ao outro, pois ambas estão ligadas a princípios básicos da reação química que são: tamanho das partículas, o que pode acelerar a velocidade de uma reação e quantidade de reagente químico, o que pode limitar o quanto uma reação química ocorre. Como no processo de hidratação do concreto temos ambas acontecendo esses fatores são muito importantes para se analisar no processo de cura do concreto e seus efeitos ao longo do tempo.

Fernandez (2004) notou em seus estudos que uma pasta de concreto com adição de pozolanas vai diminuindo sua porosidade ao longo do tempo, já uma pasta que não possui adição pozolânica a porosidade tende a se manter estável. O autor atribuiu essa queda na porosidade por conta da reação pozolânica do hidróxido de cálcio que é produzida na hidratação dos silicatos presente no cimento e a sílica presente nas pozolanas. Fernandez pode constatar que a vai se intensificando ao longo do tempo o que ocasiona um menor diâmetro dos poros e conseqüentemente uma menor porosidade total.

A adição de pozolanas não é justificável apenas pelos efeitos de sua reação química, é interessante observar também seus efeitos físicos por conta de seu reduzido tamanho. De acordo com Duart (2008) devido aspectos físicos como a finura de uma adição ela pode facilitar a aproximação das partículas, permitindo assim uma melhor interação molecular por conta das forças de Van der Waals. O autor complementa acrescentando que o fenômeno físico ocorrer por conta do reduzido tamanho das partículas, que se dá na casa de 0,1 μm , e também pelo fato de ele se alojar nos interstícios da pasta, reduzindo assim espaço que poderia estar disponível para a água e ainda serve como ponto de nucleação para formação de novos compostos juntamente com produtos da hidratação da pasta todos esses fatores combinados proporcionam um maior refinamento dos poros.

Em adições que possuem baixo teor de compostos pozolânicos, pasta de cimento contém pouco teor de hidróxido de cálcio ou pastas que possuem baixo teor de a/água pode acontecer de toda a adição não participar da formação de silicato de cálcio hidratado, desta forma, o material que não reagir irá funcionar como material de preenchimento, material este que acaba obstruindo os poros, diminuindo a porosidade e causando o “efeito filler”. O efeito filler é uma característica bem presente nas pozolanas que podem contribuir para a formação de uma pasta bem mais densa e compacta Duart (2008)

Ainda de acordo com Meira et al (2007) o uso de adições pozolânicas do tipo CCA sem controle de queima e sem moagem pode aumentar a resistência de um concreto, diminuir a permeabilidade e melhorar a coesão da pasta. Esses fatos ocorrem em partes por conta da atividade pozolânica da CCA e pelo efeito filler que se dá pelas partículas menores preenchendo os espaços vazios do concreto.

2.7 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Segundo a ABNT NBR 12655 — Concreto de cimento Portland — diz que o concreto de alta resistência pertence ao grupo II, ou seja, se encaixa entre as classes C55 ($f_{ck} = 55$ MPa) e C90 ($f_{ck} = 90$ MPa). Essa nomenclatura é utilizada para se referir ao concreto com resistência à compressão acima de 50 MPa.

Para obtenção do concreto de alta resistência, deve-se ter cuidados específicos que vão desde a escolha dos materiais componentes, a correta dosagem, um maior controle de qualidade, entre outros. Na maioria das vezes, são empregadas adições cimentícias em

substituição ao cimento convencional, com intuito de diminuir a ocorrência de fenômenos como calor de hidratação, retração térmica e fissuras. (DAHER, 2015).

Para se obter uma elevada resistência, se é utilizado pouco água, tornando o concreto mais fluido, muitas vezes o uso de aditivos convencionais não resolve o problema. Por isso, é recomendável recorrer aos aditivos de terceira geração, como por exemplo policarboxilato. Esses materiais permitem uma alta repulsão entre os grãos de cimento, aumentando a fluidez do concreto (DAHER,2015).

Mesmo com a especificação de aditivos de alto desempenho, se forem usadas quantidades erradas de adições cimentícias, o concreto acaba se tornando fluido, mas com aspecto viscoso. Ele se transforma em uma espécie de chiclete, afetando um pouco sua trabalhabilidade. O concreto de alta resistência também é menos permeável, devido à menor relação água/cimento presente em sua preparação (DAHER.2015).

Quando bem dosados, preparados e utilizados, os concretos de alta resistência acabam sendo mais duráveis do que os convencionais, por terem densidade elevada e serem menos permeáveis. Na comparação, eles também apresentam um maior módulo de elasticidade (DAHER,2015).

2.8 CASCA DE ARROZ

A produção do arroz se encontra presente em todos os continentes e dificilmente será substituído por outro grão por conta da grande presença do seu consumo ao longo do tempo, e ele é produzido em mais de 120 países em todo mundo (Gurgel, 2012).

Figura 2 - Arroz em grão com casca



Fonte: Any Karolyne Galdino

Segundo (DINIZ, 2005), o arroz é o segundo maior grão consumido no mundo, ficando atrás apenas do trigo. Na safra de 2017 o Brasil produziu 12,3 milhões de toneladas de arroz, tendo assim um aumento de 16,2% na produção em relação a 2016 (IBGE,2017). O Tocantins ocupou posição de destaque sendo o terceiro maior produtor de arroz, produzindo 670 mil toneladas do grão (CONAB, 2017).

De acordo com (GONÇALVES, 2009), durante o beneficiamento do grão de arroz é produzida a casca de arroz, que é um resíduo derivado de um rejeito agrícola, resíduo este que é produzido em todo mundo e não possui grande valor comercial ou interesses em outros usos na agricultura o que acaba gerando problemas aos produtores devido a necessidade de ser feito o armazenamento deste resíduo.

Figura 3 - Colheita de Arroz no Tocantins



Fonte: Manoel Junior (2017)

Segundo (GONÇALVES, 2009), durante o beneficiamento do grão de arroz é produzida a casca de arroz, que é um resíduo derivado de um rejeito agrícola, resíduo este que é produzido em todo mundo e não possui grande valor comercial ou interesses em outros usos na agricultura o que acaba gerando problemas aos produtores devido a necessidade de ser feito o armazenamento deste resíduo. A Casca de arroz de acordo com Gurgel (2012), é um material fibroso sendo constituído principalmente de celulose (50%), lignina (30%) e resíduos inorgânicos. Nos resíduos inorgânicos se tem em média de 95% a 98% de SiO_2 , na forma amorfa hidratada, deste modo, a massa de SiO_2 é em torno de 13% a 29% da massa total da casca. E de acordo com Houston (1972) a CA é o maior subproduto da produção do arroz, sendo em torno de 20% do peso do grão.

Dependendo da safra os percentuais de sílica e dos outros constituintes presentes na CA podem variar, pois pode se mudar a variedade da cultura, tipo de solo, clima, etc. Todas essas variáveis são responsáveis pela diferença da composição da CA (GURGEL, 2012).

A CA em média uma massa unitária de 101 kg/m³, massa específica aparente de 900 kg/m³ e massa específica de 1400 kg/m³ (AGOPYAN, 1991). A CA por ter uma densidade baixa, acaba gerando grandes volumes para serem armazenados.

Por conta do baixo custo e grande potencial calorífico (em torno de 16720 kJ/kg) a CA acaba se tornando um combustível interessante para a própria indústria de produção do arroz que a utilizam em processos de secagem e parabolização de grãos de arroz, através da queima da CA (DELLA et al. 2001).

A CA vem cada vez mais sendo utilizada como fonte energética na alimentação de fornos industriais, na forma de queima direta, gaseificação e pirolise. O uso da CA como biomassa é benéfica, pois após a queima é liberado Co₂ na atmosfera, Co₂ este que será utilizado pelas plantas para realizar o processo de fotossíntese (HOFFMANN E HOFFMANN, 2005). A utilização de biomassa gera uma quantidade significativa de cinzas, cinzas estas que em sua maioria acabam não tendo um destino por em sua maioria não possuírem mais propriedades interessantes para viés econômicos e acabam sendo descartadas a céu aberto ou em aterros, gerando assim impacto ambiental no local na qual é descartada, podendo poluir o ar, solo e manuais de água (TRINDADE, 2011).

2.8.1 Cinza da Casca de Arroz (CCA)

A cinza da casca de arroz é obtida através do processo de combustão e de acordo como esse processo é realizado, as características das cinzas podem variar (Silva et al.2007). De acordo com James e Rao, 1986, são três os principais fatores que influenciam nas características da cinza após a combustão, são eles: tipo de equipamento, tempo de queima e a temperatura. De acordo com a combinação desses fatores iriam se obter cinzas com diferentes características, variando um dos fatores, podendo assim, se executar uma combustão controlada, que seria um dos métodos mais eficientes para a liberação da sílica presente na CA.

Dependendo da maneira como é feita a queima da CA, a CCA pode ir variando de cor, a cor irá estar ligada diretamente a quantidade de carbono e matéria orgânica presente, sendo em geral preta quanto existe uma grande quantidade de carbono residual, e indo para tons de cinza, púrpura ou até branca conforme vai se tendo menos impurezas e uma queima mais

eficiente (HUSTON, 1972). Após o processo de combustão, irá se gerar em torno de 20% do volume de casca de arroz em CCA, e as cinzas resultantes serão bastante leves, porosas e volumosas (Pouey, 2006).

Figura 4 - Depósito de CCA



Fonte: Pouey (2006)

A CCA é uma boa fonte de renovável de sílica, pois ela contém em torno de 90% a 95% de sílica, desta forma é dado um bom destino ao resíduo da casca de arroz, de acordo com James e Rao (1986) e Gurgel (2012).

São vários os fatores que podem influenciar na quantidade de sílica presente em uma CCA, como exposto anteriormente, variáveis como: solo, variedade da cultura de arroz, temperatura. etc, podem variar os percentuais de sílica presentes na CAA. Metha (1994) analisou a diferença entre a cinza produzida com casca de arroz proveniente de localidades diferentes, uma de Arkansas e outra Louisiana, ambas foram realizadas a combustão nas mesmas condições e obtiveram respectivamente 90% e 100% de sílica amorfa. A sílica é o maior constituinte da CCA, tendo uma variação entre de 78,6 a 94,7% como é possível observar na tabela feita por Silveira (1996).

Cordeiro (2009) considera a CCA uma superpozolana. Suas características variam, em função da composição química da casca e das condições de queima utilizada. Possuem um alto teor de sílica e com tratamento a uma temperatura entre 500 °C e 700 °C, têm como resultado um material amorfo com uma estrutura porosa. Desta forma, a área específica pode alcançar até 50.000 m²/kg, mesmo com partículas de tamanho de 10 µm a 75 µm (NEVILLE, 1997).

Vaske (2012), afirma que a morfologia da CCA depende da temperatura da queima. Visto que a estrutura da sílica que contém na CCA é modificada de acordo com a temperatura e tempo de queima em que está sujeita.

Tabela 3 - Composição química da cinza da casca de arroz, segundo diversos autores

Composição Química (%)	COOK (1976)	SALAS (1986)	CINCOTTO (1988)	GUEDERT (1989)	FARIAS (1990)	SUGITA et.al. (1992)	ISAIA (1995)
Temperatura de Queima	450°C	1000°C	500 - 600°C	sem controle	n i.	600°C	(*)
SiO ₂	93,15	91,26	94,7	93,11	91,78	90,0	78,60
Al ₂ O ₃	0,41	0,94	0,09	0,92	0,60	0,1	2,30
Fe ₂ O ₃	0,20	0,37	1,46	0,40	0,34	0,40	2,30
CaO	0,41	2,15	0,99	0,52	0,50	0,40	1,00
MgO	0,45	0,88	0,95	0,85	0,52	0,3	0,80
SO ₃	nd	nd	0,21	nd	0,02	nd	0,04
Na ₂ O	0,08	nd	0,04	0,12	0,11	0,06	0,01
K ₂ O	2,31	nd	1,75	1,12	1,30	2,41	0,56
Perda ao fogo	2,77	nd	7,29	nd	nd	4,2	11,80
Res. Insolúvel	nd	0,17	nd	nd	nd	nd	nd

Obs: nd = não determinado ni = não informado

(*) = 50 % à 650°C + 50% sem controle

Fonte: Silva (1996)

A sílica possui algumas características muito interessantes para o concreto, entre elas: uma maior resistência mecânica, baixa condutividade térmica e maior resistência a ataques químicos de acordo com Fonseca (1999).

Dafico (2001) salienta que não é muito comum o uso da CCA no Brasil por não se ter um processo controlado o que acaba ocasionado uma CCA com um alto teor de carbono e por conta do material serm geralmente escuro ele não é visto com bons olhos para uso comercial pois acabam gerando concretos bem escuros, além disto, por conter altos teores de carbono residual o concreto com CCA tende a ter um aumento no consumo de água, isso se da pela elevada superfície especifica da CCA. O autor também complementa que as vezes por falta de visão comercial a maioria dos pesquisadores no país não procuraram desenvolver um processo no qual fosse possível se obter uma CCA com baixo teor de carbono e alta reatividade, o que agregaria bastante valor comercial ao produto final.

Em seus estudos Santos (1997) mostra que apesar da CCA escura produzida sem controle de queima traz benefícios para o concreto, porém, o autor acredita que

provavelmente por conta de sua coloração escura ela acaba sendo vista como sem valor comercial para a indústria.

2.8.1 Concreto com CCA

As primeiras utilizações da CCA nos concretos e argamassas se deram na década de 70 a partir de processos de queima controlada da casca de arroz com Mehta e Pitt (1976), a qual apresentou excelentes resultados.

Metha (1992) observou que com a substituição do concreto por CCA, o concreto acabou tendo um maior ganho de resistência em um menor intervalo de tempo, bem como uma menor segregação e exsudação, tendo assim um concreto com um melhor desempenho na sua resistência e trabalhabilidade. Thasima et al. (2011) comenta que diversas pesquisas utilizando CCA como substituição parcial do cimento em concretos e argamassas, obtiveram produtos com propriedades finais melhores, dependendo das propriedades mineralógicas da CCA, podendo ser uma alternativa ao uso da sílica ativa.

Essas melhoras se devem ao fato que durante o processo de hidratação do cimento, além de se formar produtos cimentantes caracterizados como gel do tipo C-S-H, também é liberado cerca de 20% de hidróxido de cálcio que acabam por reagir com a pozolana para formar novos produtos cimentantes, similares aos iniciais, diferenciados apenas pela relação Si/Ca, tendo como resultado a produção de fases químicas com maior estabilidade e poder aglomerante (CARMO; PORTELLA, 2008).

A microestrutura do concreto também é alterada com adição da CAA, pois ela também atua como filer inerte, tendo assim efeito filler. Esse fato se dá, pois, a CCA neste caso acaba sendo um material de preenchimento, tornando assim o material mais coeso e menos poroso (TASHIMA et al.,2011)

Neville (1997), afirma que quando misturada com o cimento, com quantidades às vezes superiores que 50%, a cinza da casca de arroz é consumida e ainda provoca benefícios e vantagens técnicas ao concreto, desde a sua reologia no estado fresco, e particularmente no seu estado endurecido, quanto à sua impermeabilidade e durabilidade.

Cordeiro, Toledo Filho, Fairbairn (2009) analisou a influência nas características de concretos convencionais e de alta resistência com substituição parcial de cimento Portland por CCA ultrafina e com alto teor de carbono, para obtenção da cinza com grande área superficial, os autores submetem a CCA a moagem por duas horas. A CCA apresentada pelos autores possuíam teor de sílica 82,62% e uma perda ao fogo de 11,88%, características essa que a

tornam uma cinza de alto teor de carbono pela elevada perda ao fogo. Em seus resultados no concreto de alta resistência se observou um ganho de resistência não tão significativo, se comparado ao convencional, e a substituição de 20% de aglomerante por CCA foi a que obteve um melhor desempenho em relação a resistência se comparado com o traço referência. Observou-se também a perda de abatimento do concreto conforme foram aumentando os teores de substituição de CCA.

3 METODOLOGIA

3.1 APRESENTAÇÃO

A devida pesquisa possui caráter qualitativo e quantitativo, e visa estudar a utilização da cinza da casca de arroz sem controle de queima no concreto de alta resistência, cinzas esta proveniente de resíduo industrial da cerâmica Santa Maria localizada na cidade de Paraiso do Tocantins - TO.

A prática de uso de resíduos no concreto tem se mostrado cada vez mais comum, pois além do material possuir um custo praticamente nulo ainda é feito um reaproveitamento de materiais que possivelmente iriam continuar poluindo o meio ambiente ou indo para aterros sanitários. Com isto, a pesquisa tem objetivo exploratório, pois se trata de novas tecnologias. O estudo será realizado no complexo laboratorial Ceulp-Ulbra na cidade de Palmas-TO.

3.2 OBJETO DE ESTUDO

Para conseguir atingir o objetivo geral e os objetivos específicos desse trabalho, foram necessários os desenvolvimentos de programas experimentais que auxiliem na avaliação das características físicas e mecânicas do concreto de alta resistência com adição de cinza de casca de arroz sem controle de queima. A cinza da casca de arroz foi coletada logo após a queima da mesma, aguardando apenas que haja uma diminuição da temperatura. Foi efetuada a coleta o mais rápido possível com objetivo de se obter uma amostra com o mínimo de interferência possível de outros materiais que venha a prejudicar a amostragem. Tal programa foi dividido em quatro partes primordiais:

- Estudo físico dos materiais;
- Dosagem do concreto de referência;
- Dosagem do concreto com substituição parcial do cimento Portland pela CCA;

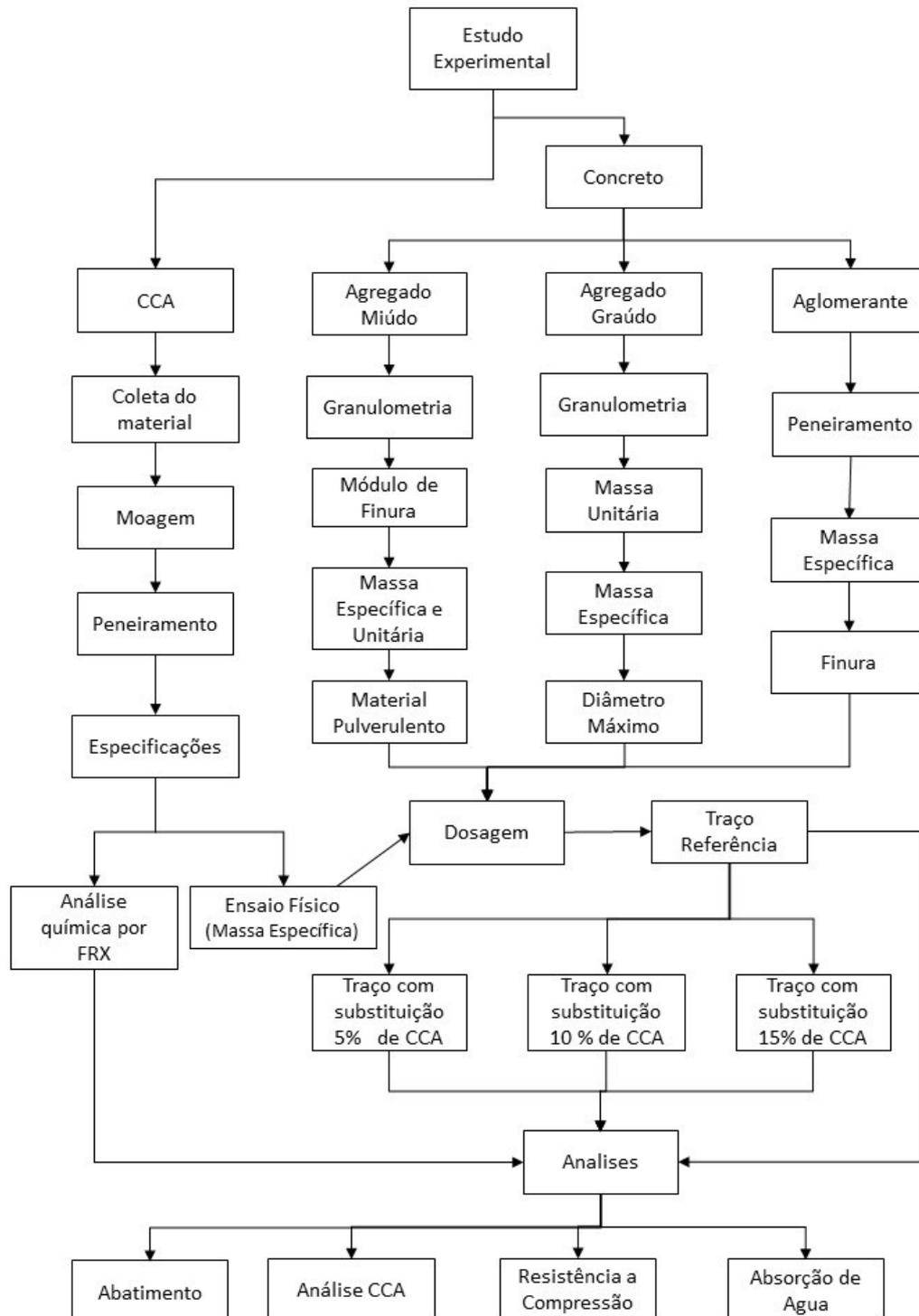
Este trabalho analisou a influência da substituição do cimento por teores de 5%, 10% e 15% de CCA (em massa) em um concreto de alta resistência ($f_{ck} = 50\text{MPa}$).

Foram moldados os corpos de provas cilíndricos de acordo com a NBR 5738 com as dimensões de 100mm (base redonda) por 200 mm de altura. Os corpos de provas foram avaliados de acordo com cada idade, sendo feito análise após 3 dias, 7 dias, 28 dias e 63 dias de cura. O ensaio de absorção de água foi feito somente após os 28 dias.

3.3 FLUXOGRAMA

A seguir será apresentado as etapas do estudo de forma sistemática

Figura 5 - Fluxograma das atividades á serem executadas



3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios para caracterização dos materiais do presente estudo foram realizados de acordo como prevê as normas pertinentes para cada material de conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios foram realizados no completo laboratorial do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Todos os ensaios necessários para caracterização dos materiais constituintes do estudo foram realizados de acordo com as especificações técnicas das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Todos os ensaios de caracterização foram realizados no laboratório de materiais do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

3.4.1 Cimento Portland

O cimento Portland que foi utilizado nessa pesquisa será o CP II F – 40 (Cimento Portland composto com pozolana) da marca Goyaz, comumente utilizados e facilmente encontrados na região de Palmas – TO, além de apresentar classe de resistência mais elevada, recomendado para concretos de altas resistências e não possuir adições minerais. As propriedades deste cimento atendem tanto estruturas em concreto armado quanto argamassas de assentamento e revestimento. A de finura do cimento utilizado, segundo ABNT NBR 11579 (2012) para a peneira #200 foi de 12,4% e a massa específica determinada pela ABNT NBR NM 23 (2000) foi de 3,10 g/cm³.

3.4.2 Agregado Miúdo

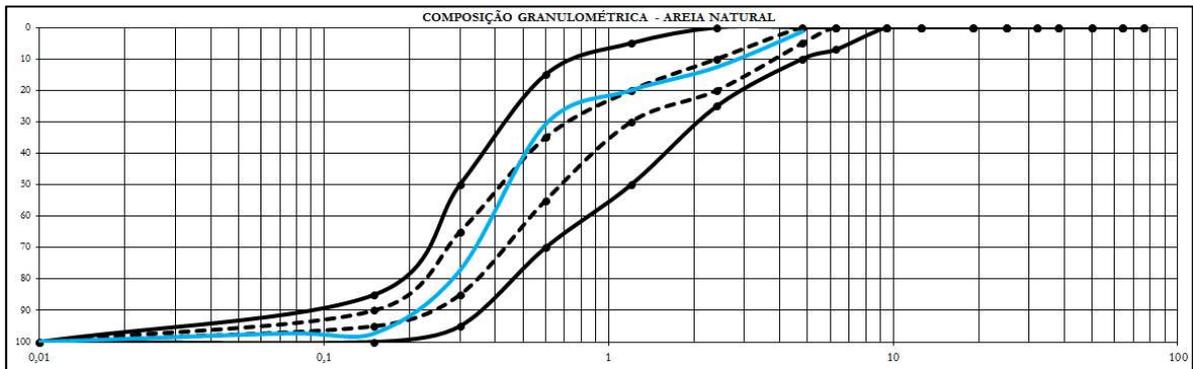
Foi utilizada areia da região de Palmas. Suas características podem ser observadas na tabela 4 e sua curva granulométrica (figura 6).

Tabela 4 - Características físicas da areia.

Características físicas da areia	
Massa específica (NBR 9776:1987)	2640 kg/m ³
Massa unitária (NBR 7251:1982)	1553 kg/m ³
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	4,8 mm
Teor de Material Pulverulento (NB NM 46: 2003)	2,6%
Classificação (NBR 7211:2009)	Zona Ótima Inferior

Fonte: Autor (2019)

Figura 6 - Composição Granulométrica: agregado miúdo



Fonte: Autor (2019)

O módulo de finura da areia natural utilizada nessa pesquisa, segundo a ABNT NBR 248 (2003), foi de 2.39, trata-se, portanto de uma areia média. O teor de material pulverulento atende o limite da NBR 7211 (2009) para concretos submetidos a desgaste superficial

3.4.3 Agregado Graúdo

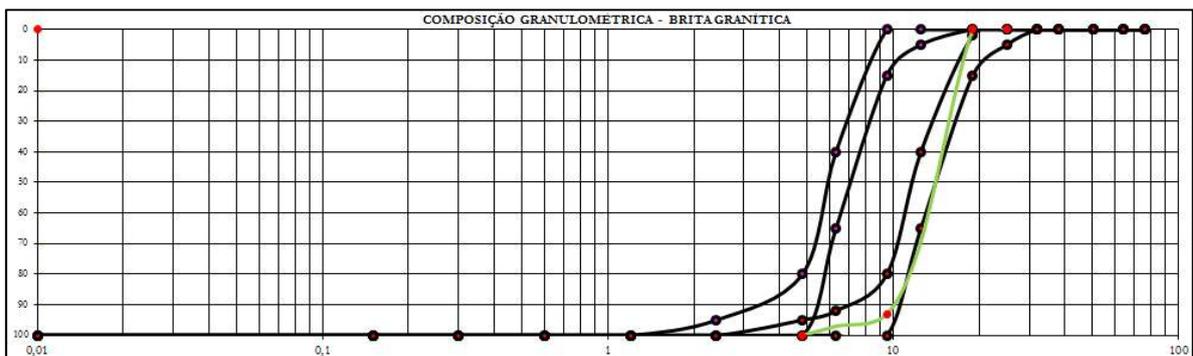
Foi utilizada brita granítica da região de Palmas. Suas características podem ser observadas na tabela 5 e sua curva granulométrica (figura 7).

Tabela 5 - Características físicas da brita

Características físicas da brita	
Massa específica (NBR 9776:1987)	2660 kg/m ³
Massa unitária (NBR 7251:1982)	1354 kg/m ³
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	19 mm
Classificação (NBR 7211:2009)	Zona Ótima Inferior

Fonte: Autor (2019)

Figura 7- Granulométrica: agregado graúdo



Fonte: Autor (2019)

O módulo de finura da brita granítica utilizada nessa pesquisa, segundo a ABNT NBR 248 (2003), foi de 6.93. As curvas pretas representam as zonas granulométricas (d/D). Conclui-se que o material enquadra de forma análoga sua visualização, ficando entre a grade 0 e 1, no entanto nosso material aproxima-se mais da brita 1, segundo a classificação da ABNT NBR 7211 (2009).

3.4.4 CCA

Por conta de suas características e tendo em vista o potencial de uso a CCA foi escolhida como substituição em parte do aglomerante. A CCA antes do uso foi processada no moinho de bola por 20 minutos tendo como objetivo obter uma granulometria mais uniforme do resíduo. Para determinação de suas características foram efetuados os seguintes ensaios;

- Ensaio de massa específica. Foi utilizado a ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.
- Composição química por espectrometria de fluorescência de raios-X (Espectrômetro PANalytical Axios Max).

3.5 DOSAGEM DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

Os traços de concreto de alta resistência foram dosados pelo método proposto por Aïtcin (2000). Este método se assemelha ao ACI 211-1, sendo a combinação dos resultados empíricos e de cálculos matemáticos, baseado no método do valor absoluto, ou seja, a partir de uma classe de resistência, estima-se uma relação a/c e a partir daí outros consumos, tais como água, aglomerante, agregados, e aditivo superplastificante. Sendo o agregado miúdo a diferença entre 1m^3 de concreto e os volumes absolutos de todos os componentes.

Dosou-se, portanto, um concreto cujo $f_{ck} = 50\text{Mpa}$ e $f_{cj28} = 55,6\text{ MPa}$, considerando, portanto, um desvio padrão de 4Mpa e para que fosse possível verificar se houve ganho de resistência após aos 28 dias para auxiliar a verificação da ação pozolânica da CAA. O cimento foi substituído pela CCA moída e peneirada na peneira #200 nos teores de 5%, 10% e 15%. O abatimento almejado na dosagem foi de $200 \pm 30\text{mm}$, classe de abatimento de concreto bombeável para elementos estruturais, segundo a ABNT NBR 8953 (2015).

Após a determinação do traço, foi utilizada uma quantidade de material suficiente para o preenchimento do tronco de cone, para a determinação do abatimento e posteriormente a moldagem dos corpos de prova. A mistura e o preparo do concreto foram realizados em

betoneira de 350L comum eixo horizontal. Os corpos de prova foram moldados segundo recomendações da ABNT NBR 12655 (2015).

Dosou-se um concreto com $f_{ck} = 50\text{MPa}$, portanto o $f_{cj28} = 55,6\text{MPa}$. Aïtcin (2000) divide a dosagem em duas etapas. A primeira relaciona às propriedades específicas para o concreto com as características de todos os materiais usados, então, na segunda parte determinam-se os quantitativos de cada material. Aqui a única informação pendente é o teor de agregado miúdo, calculado pelo o método do volume absoluto, ou seja, determinam-se os volumes de todos os componentes do traço, para encontrar o volume de agregado miúdo suficiente para completar 1m^3 de concreto. É importante lembrar que este método de dosagem leva em consideração o teor de sólidos do aditivo superplastificante. A tabela 6 apresenta os consumos em massa do traço de referência, bem como os traços com 5%, 10% e 15% de substituição do cimento Portland pela CCA.

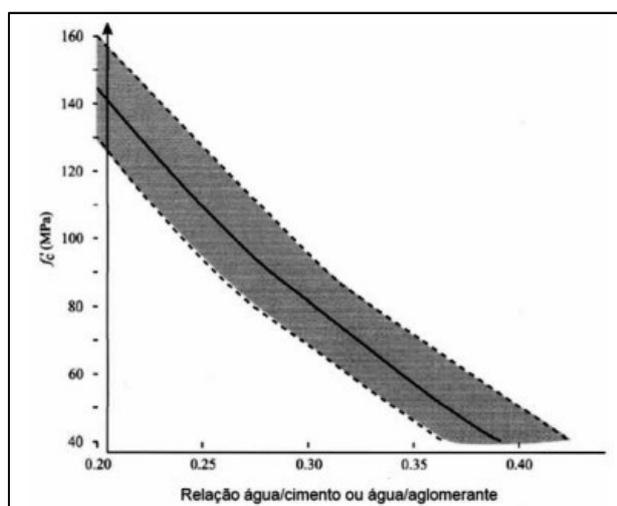
Tabela 6 Traços utilizados na pesquisa.

Traço/ Componente	Aglomerante	Cimento	Sílica	Cinza	Areia	Brita	Água	SP
Tref(massa)	414,29	381,14	33,14	0,00	776,69	1070,00	145,00	2,49
T5(massa)	414,29	362,09	33,14	19,06	769,52	1070,00	145,00	2,49
T10(massa)	414,29	343,03	33,14	38,11	762,35	1070,00	145,00	2,49
T15(massa)	414,29	323,97	33,14	57,17	755,18	1070,00	145,00	2,49

Fonte: Autor (2019)

A relação a/aglomerante para o f_{ck} almejado foi 0,35, conforme figura 8

Figura 8 Curva para escolha da relação a/ag x resistência à compressão



Fonte: Aïtcin (2000).

O teor de superplastificante foi 0,6% em relação ao consumo de cimento, recomendação do fabricante. Utilizou-se o superplastificante de terceira geração *Sika-*

ViscoCrete 3535 CB. Este apresenta massa específica $1,08 \pm 0,02\text{g/cm}^3$ e teor de sólidos 38,5%, o fabricante recomenda a utilização de 0,3% a 1,2% de superplastificante em relação à massa de cimento. Portanto foi feito um traço piloto o qual foi dosado o teor de superplastificante até que se alcançasse o abatimento desejado. E visto que não se tinha conhecimento do ponto de saturação do aditivo, Aïtcin (2000) recomenda usar um consumo de 145 L de água por metro cúbico de concreto.

Em virtude da discrepância entre as massas específicas do cimento Portland e da CCA, foi feita uma compensação volumétrica nos valores de massa de material por metro cúbico de concreto, ou seja, houve uma redução proporcional da massa de agregado miúdo a fim de que se mantivesse 1m^3 de material, trazendo, assim, mais uma vantagem nessa substituição. (CORDEIRO et.al, 2009).

3.5.1 Ensaios do concreto no estado fresco

No estado fresco foi feito o abatimento do tronco de cone (*slump test*) descrito pela ABNT NBR NM 67 (1998) para verificação do abatimento. O traço piloto atendeu o abatimento estabelecido na dosagem (200 ± 30 mm) para que, na medida em que o cimento fosse substituído pela CCA pudesse ser possível observar o comportamento do concreto em relação à sua fluidez. É um parâmetro fundamental na obtenção do teor ótimo de substituição.

3.5.2 Ensaios do concreto no estado endurecido

Os ensaios do concreto endurecido foram realizados conforme programa experimental descrito na tabela 7.

Tabela 7 - Programa experimental

Ensaio	Norma	Idades (dias)	Nº de CPs / Idade	Total de Cps
Compressão axial	NBR 5739/2007	03,07, 28, 63	3	12
Absorção de água	NBR 9778/2009	28	3	3
Tração por Comp. Diametral	NBR 7222/2011	63	2	2

Fonte: Autor (2019)

Como foram feitos 1 traço de referência e 3 traços de substituição de cimento Portland pela CCA, foram confeccionados ao todo 68 cps. Os corpos de prova foram moldados em

moldes metálicos de dimensões precisas conforme definido pela ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. O volume total de concreto produzido foi de aproximadamente, 0.12 m³ de concreto considerando 15% de desperdício. Após a moldagem, os moldes foram alocados em ambiente fechado, livre de intempéries, sobre uma superfície plana durante 24h. Após o desmolde, os CPs foram identificados e em seguida, submersos em água para processo de cura, seguindo a recomendação da ABNT NBR 5738:2015, retirados apenas nas datas de ensaio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CCA

Abaixo serão apresentados os resultados das análises da CCA. No momento da coleta do material já foi possível observar alguns aspectos que mais tarde viriam a ser confirmados com análises laboratoriais, um exemplo, é o alto teor de carbono residual que está diretamente ligado a coloração escura do material que acabou se confirmar pelas análises.

Toda cinza foi moída em moinho de bolas por 30 minutos e peneirada na peneira #200. Sua massa específica foi determinada de maneira semelhante à do cimento Portland, cujo resultado foi 2,15g/cm³.

A tabela 8 apresenta a composição química da cinza determinada pelo Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná. (Anexo A)

Tabela 8 - Composição Química da CCA sem controle de queima

Amostra 325/19	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)	MnO (%)
	76,9	2,2	2,1	2,0	1,2	1,1	0,9	0,2
	TiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	ZnO (%)	ZrO ₂ (%)	SrO (%)	Rb ₂ O (%)	P.F. (%)
	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	13,08

Fonte: UFPR (2019)

Nota-se que o teor de sílica da amostra é elevado, assim como outros minerais que condizem como óxido de alumínio e óxidos de ferro, quando se compara aos requisitos químicos (tabela 9) da ABNT NBR 12653 (2012) observa-se que atendem os teores de material pozolânico natural (classe N).

Tabela 9 Requisitos químicos para material pozolânico segundo NBR 12653:2012

Propriedades	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	≥ 50%
SO ₃	≤ 4%	≤ 5%	≤ 5%
Teor de umidade	≤ 3%	≤ 3%	≤ 3%
Perda ao fogo	≤ 10%	≤ 6%	≤ 6%
Álcalis disponíveis em Na ₂ O	≤ 1,5%	≤ 1,5%	≤ 1,5%

Fonte: ABNT (2012)

A sílica ativa (microsílica) comumente utilizada em concretos de alta resistência e no presente trabalho apresenta entre 85 e 97% de SiO₂, conforme tabela 10.

Tabela 10 Comparação das características físicas e químicas do cimento Portland, cinza volante, escória e sílica ativa

COMPARASION OF CHERMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS - PORTLAND CEMENTE, FLY ASH, SLAG CEMENTE, AND SILICA FUME

PROPERTY	PORTLAND CEMENT	CLASS F FLY ASH	CLASS C FLY ASH	SLAD CEMENT	SILICA FUME
SiO ₂ content, %	21	52	35	35	85 to 97
Al ₂ O ₃	5	23	18	12	-
Fe ₂ O ₃	3	11	6	1	-
CaO content, %	62	5	21	40	<1

Fonte: <https://engciv.wordpress.com/2012/09/06/silica-ativa-microsilica-concreto/>

Porém, a perda ao fogo da CCA utilizada foi de 13,08%, acima dos 10% permitidos pela norma. Provavelmente por se tratar de um material sem queima controlada, um resíduo, portanto nem toda sua matéria orgânica foi incinerada (carbono residual). Ou seja, existe a possibilidade de se adicionar uma etapa de queima adicional neste material para padronização, porém seria um custo adicional e perderia parte de sua relevância ambiental.

Os outros compostos são comumente encontrados em outras adições minerais, tais como cinzas volantes e metacaulim. As adições metacaulim de alta reatividade, por exemplo, apresentam teores de 50% a 65% de SiO₂. (METACAULIM, 2016).

Tabela 11 Ficha técnica metacaulim de alta reatividade

PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS METACAULIM	
Propriedades	Valores (%)
SiO ₂	57
Al ₂ O ₃	34
Fe ₂ O ₃	<0,1
Na ₂ O	<0,1
Perda ao Fogo	3%

Fonte: <http://www.metacaulim.com.br>.

Ao realizarmos a comparação da CCA sem controle de queima do estudo com uma pozolana obtida através da queima e moagem controlada da casca de arroz (tabela 12), que é classificada como uma sílica altamente reativa de acordo com (MEHTA & MONTEIRO, 1994). É notável a diferença nas concentrações de sílica, ficando a CCA industrializada com teores acima dos 90%, bem superior aos 76,6 % da CCA sem controle de queima. Também é

interessante notar o teor de perda ao fogo, que fica abaixo dos 5%, esse fato ocorre pois a cinza da casca de arroz é obtida através de uma queima controlada, visando a obtenção justamente de baixos teores de carbono, proporcionando conseqüentemente um maior teor de sílica, diferente do que ocorre com a amostra do estudo em questão, que foi queimada sem nenhum controle para fim além de se manter uma determinada temperatura para os fornos da cerâmica, por conta disto ela apresentou altos teores de perda ao fogo, acima dos 13 %.

Tabela 12 Ficha técnica Sílica Nobre proveniente de cinza de casca de arroz

**PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS
SILICCA NOBRE**

Propriedade	Resultado
Teor de SiO ₂	>90%
Perda ao fogo (%)	<5
Retido peneira #325	<5%

Fonte: http://silcca.com.br/arquivos/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20Silcca_completa.pdf

Fica evidente, portanto, que do ponto de vista químico, de acordo com a ABNT NBR 12653 a CCA utilizada no presente estudo possui características pozolânica, porém, ao compararmos com produtos semelhantes industrializados (sílica altamente reativa), se tem uma notável diferença no teor de sílica e na perda ao fogo, fatores estes que estão diretamente ligados ao processo de produção de cada uma das CCA.

4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

A dosagem foi realizada para que os concretos atendessem um intervalo de abatimento do tronco de cone de 200 ± 30 mm. A tabela 13 apresenta os valores dos abatimentos obtidos na medida em que o cimento Portland foi substituído pela CCA.

Tabela 13 Abatimento do tronco de cone segundo ABNT NBR NM 67 (1998)

TRAÇO	Abatimento (mm)
Tref	230
T5	220
T10	210
T15	190

Fonte: Autor (2019)

Nota-se, portanto, que houve perda no abatimento na medida em que se aumentou o teor de finos, porém ainda dentro do intervalo proposto, ou seja, não foi preciso fazer nenhum ajuste adicional no traço. A sequência de figuras mostra essa diferença de abatimento dos traços com cinza.

Figura 9 - Abatimentos do tronco de cone. Da esquerda pra direita 5%, 10%, 15% de CCA.



Fonte: Autor (2019)

A cinza da casca de arroz reduz a trabalhabilidade do concreto em razão da elevada superfície específica de suas partículas e em alguns casos, do alto teor de carbono remanescente após a queima da casca. (CORDEIRO et.al, 2009). Apesar de o cimento ser mais fino que a CCA, em média, em números absolutos a CCA pode ser mais fina que o cimento utilizado, pois foi toda passada na peneira #200, portanto, é um forte indicativo que a granulometria influenciou no abatimento e na coesão do concreto.

Além disso, a CCA geralmente apresenta grão de formato alongado e contorcido. Em um estudo feito por Hotza, Kuhn e Della (2001) a CCA apresenta este formato em virtude do processo de queima e, além disso, possui:

“estrutura celular e porosa resultante da remoção de lignina e celulose presentes na casca durante a queima, uma vez que a celulose é o maior constituinte orgânico da casca”.

Ou seja, alto teor de perda ao fogo, superfície porosa do grão e tamanho absoluto do grão menor que $0.74\mu\text{m}$ são elementos que justificam a perda de abatimento na medida em que se eleva o teor de CCA.

Os abatimentos permaneceram dentro do intervalo almejado. Entretanto, o traço com 15% de CCA, a partir de julgamento visual sugerido por Mehta & Monteiro (1994), aparentou elevado ganho de coesão. Materiais com elevada área específica, em maiores quantidades, aumentam a coesão do concreto podendo impossibilitar o bombeamento, mas ainda se torna interessante para concreto lançado e vibrado. (MARTINS, 2008). Esse ganho de coesão pode estar relacionado também ao tamanho dos grãos de CCA.

4.3 CONCRETO NO ESTADO EDURECIDO

Os corpos de prova foram moldados em moldes metálicos de dimensões 10x20cm e o processo de cura foi feito em cura submersa no tanque da câmara úmida do Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA. Essa cura foi adotada em virtude da tendência a sofrer retração do concreto nas primeiras idades devido à evaporação da água de amassamento.

4.3.1 Resistência à compressão

A tabela 14 apresenta os resultados das médias dos ensaios da resistência à compressão axial.

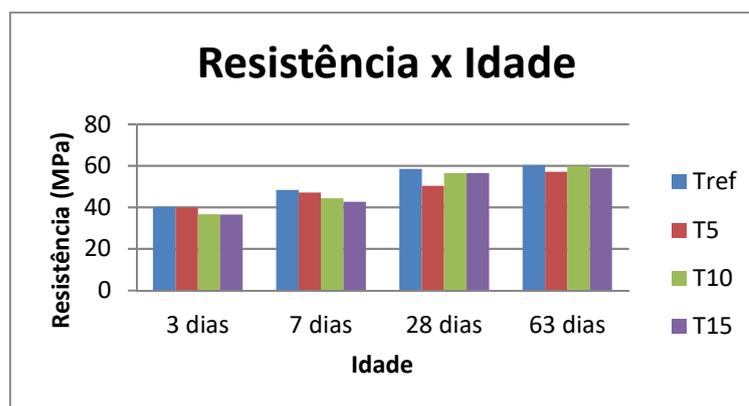
Tabela 14 Resistências médias à compressão

Idade Traço	3 dias	7 dias	28 dias	63 dias
Tref	40,23	48,33	58,53	60,3
T5	39,93	47,13	50,27	57,03
T10	36,67	44,27	56,5	59,77
T15	36,43	42,6	56,53	58,77

Fonte: Autor (2019)

Observa-se que todos os valores médios aos 28 dias ultrapassaram o feij de dosagem (56,6MPa).

Figura 10 Gráfico comparativo das resistências médias à compressão



Fonte: Autor (2019)

Quando se compara os resultados médios das resistências de cada traço com cinza ao traço referência observa-se que o T5 apresentou uma perda de 5.73%, o T10, 0.89% e o T15, 2.60%, aos 63 dias. Segundo Tashima et al. (2011), concretos e argamassas que utilizam CCA apresentam acréscimos de até 24% de resistência à compressão para teores de 5 a 10% de adição de CCA (apud SILVA, 2004). Neste estudo, como se trata de uma substituição do

cimento pela CCA, não houve acréscimo de resistência, porém ao confrontar o teor de SiO₂ da cinza com o fato de se estar substituindo o principal aglomerante do concreto (cimento Portland) não houve perda significativa de resistência ($f_{cjm} \geq f_{ck}$). Portanto, fazendo um paralelo das características da CCA discutidas no item 4.1, nota-se que, apesar da CCA apresentar características químicas idênticas à de uma pozolana, do ponto de vista da resistência mecânica ela não mostrou tais propriedades. Novamente, a principal justificativa pode ser o teor de perda ao fogo, que indica alta concentração de matéria orgânica, logo, mais grãos porosos.

Em relação aos ganhos de resistência, ao comparar a resistência à compressão aos 28 dias com os 63 dias tem-se que o Tref ganhou 2.94%, T5 ganhou 11.85%, o T10 ganhou 5.47% e o T15, 3.81. A provável causa do maior acréscimo e do traço T5 em relação aos demais foi falha de moldagem ou algum desnível do apoio dos cps durante as primeiras 24 horas. Isso também pode ter influenciado a perda de resistência do T5 em relação aos demais. A tabela 14 apresenta os desvios e coeficientes de variação das resistências à compressão.

Portanto, apesar da CCA não ter ocasionado ganho de resistência, os concretos se mantiveram classificados como CAR e todos tiveram resistências acima dos f_{cj} , portanto, seu uso não foi comprometido.

4.3.2 Resistência à tração

A tabela 15 apresenta a resistência média à tração por compressão diametral dos concretos. Optou-se por realizar este ensaio apenas aos 63 dias, pois, segundo Neville & Brooks (2013) a resistência à tração diminui na medida em que se aumenta a resistência à compressão, então se torna interessante determinar a resistência à tração em comparação à maior resistência à compressão determinada no estudo.

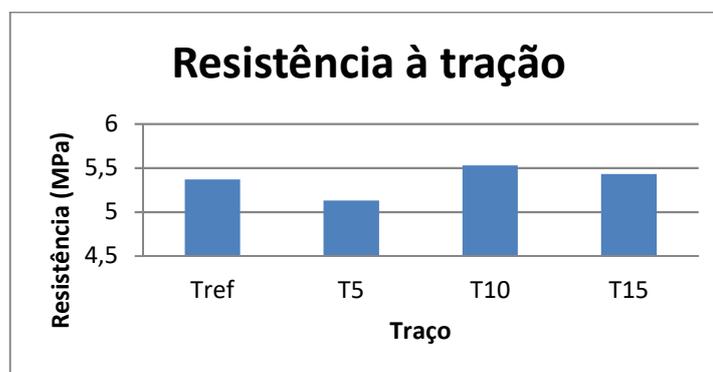
Tabela 15 Resistência média à tração por compressão diametral aos 63 dias

Traço	Resistência (MPa)
	NBR 7222:2011
Tref	5,37
T5	5,13
T10	5,53
T15	5,43

Fonte: Autor (2019)

Silva (1995) traz vários estudos que mostram que concretos de alta resistência à compressão tendem a apresentar menores resistências à tração, principalmente em resistências acima de 50 MPa, devido à forma como ocorrem a propagação de fissuras. Silva (1992) relaciona esse comportamento à forma do agregado graúdo: concretos com agregados britados possuem melhor desempenho em relação à tração do que seixo rolado. Não é o caso deste trabalho, porém, sugere-se que seja feita uma extrapolação dessa análise à microestrutura do concreto, pois, segundo Mehta & Monteiro (1994) a forma e textura dos componentes do concreto influenciam em suas propriedades. Portanto, a forma lamelar e a superfície porosa da CCA empregada neste trabalho pode ter impactado também na resistência à tração.

Figura 11 Gráfico comparativo de resistência média à tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2019)

No caso do traço T5, a resistência à tração não apresentou um comportamento padrão, quando se observam os demais concretos. Possivelmente, como discutido em 4.3.1 houve uma provável falha de moldagem, ou algum outro fator externo impactou este traço.

4.3.3 Teor de Absorção de água

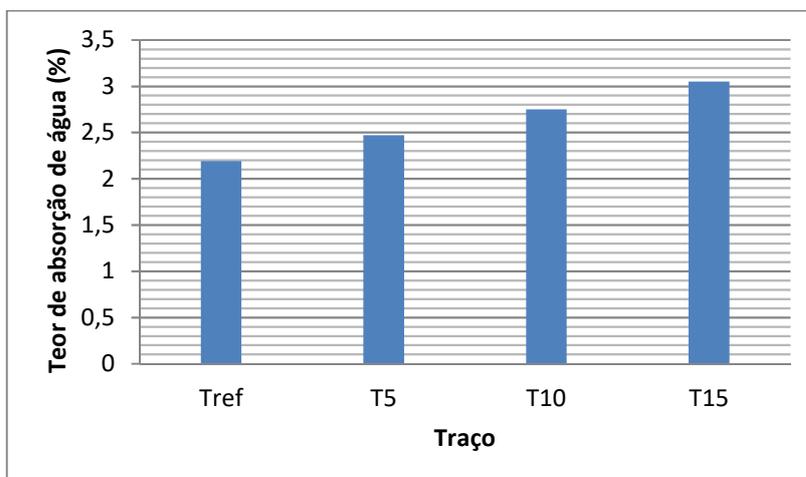
Os resultados dos ensaios de absorção de água por imersão segundo NBR-9778 ABNT, 2005 em função da substituição de cimento por CCA estão descritos na tabela 16.

Tabela 16 Ensaio de absorção por imersão NBR 9778:2009

Tempo em estufa	-	24h	48h	72h	absorção
TRAÇO		Massa (kg)			(%)
Tref	3,74	3,68	3,66	3,66	2,19
T5	3,73	3,67	3,65	3,64	2,47
T10	3,74	3,66	3,64	3,64	2,75
T15	3,72	3,64	3,62	3,61	3,05

Fonte: Autor (2019)

Figura 12 Gráfico comparativo do teor de absorção de água dos concretos aos 28 dias



Fonte: Autor (2019)

Observa-se que as substituições aumentaram a absorção de água em relação ao traço referência, corroborando com a perda de resistência na medida em que se aumentou o teor de substituição, em virtude do aumento de vazios. Tashima (2006) correlaciona este comportamento com a quantidade de carbono presente na CCA, o qual tem grande influência na absorção de água, já que a CCA utilizada é considerada, segundo Tashima (2011) apud Maeda et al (2001) como uma cinza de alto teor de carbono residual, pois apresenta teor de perda ao fogo maior do que 3% (item 4.1, tabela 8). Não somente isso, mas a própria perda de resistência dos concretos, com o aumento dos teores de substituição, corrobora com o aumento da absorção de água, pois, conforme discutido por Medeiros-Junior, Munhoz e Medeiros (2019), a absorção de água se mostra inversamente proporcional à resistência à compressão.

Medeiros, Andrade e Helene (2010) salientam a importância de se evitar o aumento da absorção do concreto. Segundo eles um concreto mais permeável facilita o ataque de agentes agressivos (tais como sulfatos, sulfetos) quando os poros do concreto formam capilares (ar aprisionado). Apesar desse aumento da absorção, esta não prejudica o concreto. Neville (1997) diz que concretos de boa qualidade são os que possuem absorção de até 10%.

5 CONCLUSÃO

Em vista dos resultados obtidos podem-se concluir alguns pontos em relação à utilização da CCA:

- A composição química da CCA se mostrou equivalente a uma adição mineral, que dentro outros compostos, apresentou teor de 76,9% de SiO₂, que comparado aos teores tipos da microssilica (80% a 95%) conforme mostra a tabela 10 ou Metaucalim (2016), (50% a 65%). Além de ultrapassar o mínimo da NBR 12653 (2012) para ser considerado material pozolânico.
- Em relação à trabalhabilidade, a cinza impactou significativamente. Em relação ao traço de referência o abatimento do traço com 15% de substituição reduziu 17,39%. Apesar de todos os abatimentos estarem no intervalo almejado, o concreto com 15% de CCA apresentou um nível de coesão tal que possa inviabilizar seu bombeamento.
- Do ponto de vista da resistência dos concretos, as substituições impactaram negativamente, quando se compara ao traço de referência. Porém, todos superaram o fck (50MPa) aos 28 dias, ou seja, foi possível obter um concreto de alta resistência substituindo-se o cimento pela CCA sem controle de queima
- No quesito durabilidade, apesar da absorção ter aumentado na medida em que se aumentava o teor de CCA, os teores de absorção não ultrapassaram os 10% recomendados por Neville (1997).

Assim sendo, os objetivos deste trabalho foram alcançados. Foi possível obter um concreto de alta resistência substituindo o cimento pela CCA sem queima controlada. Supondo que a coesão do concreto com 15% de CCA impossibilite o bombeamento, ainda sim, será possível se obter uma economia de 38,11 kg de cimento para 1m³ de concreto, ou seja, trata-se de um material viável tecnicamente e de menor impacto econômico e ambiental, mas ainda não se pode afirmar que a CCA sem queima controlada apresenta comportamento pozolânico.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam feitos ensaios de durabilidade do concreto, ou que sejam obtidos concretos convencionais, ou ainda, concretos auto adensáveis, a fim de ampliar as possibilidades de uso desse resíduo na construção civil e que seja proposto um beneficiamento do resíduo de CCA para explorar seu potencial pozolânico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland – Composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº200). Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland, Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ACI/CANMET **Conference on quality of concrete structures and recent dvances in concrete materials end testing**. Anais do IV HPC. Olinda, 2003.

AGOPYAN, Vahan. **Materiais Reforçados com Fibras para a Construção Civil nos Países em Desenvolvimento: uso de fibras vegetais**. São Paulo, 1991. 99 p. Tese de Livre-docência. Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo.

AÏTCIN, Pierre Claude. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo, SP: Pini, 2000. 667 p.

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

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil**. 2. ed. Brasília, 2014.

DAFICO, Dario de A. **ESTUDO DA DOSAGEM DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO UTILIZANDO POZOLANAS PROVENIENTES DA CASCA DE ARROZ**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, abril 2001.

DELLA, Viviana Possamai; KÜHN, Ingeborg; HOTZA, Dachamir. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, [s.l.], v. 24, n. 6, p.778-782, dez. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422001000600013>.

FOLETTTO, HOFFMANN, SCOPEL, LIMA, JAHN; **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. Departamento de Engenharia Química**, UFSM – RS. *Quim. Nova*, V. 28 Nº 6, 2005, 1055-1060 pp.

FONSECA, M. R. G; **Isolantes Térmicos Fabricados a partir da Cinza de Casca de Arroz: Obtenção, caracterização de Propriedades e sua Relação com a microestrutura**. Porto Alegre, 1999. 120p. Tese Doutorado. UFRS

GONCALVES, Gislayne Elisana et al . **Síntese e caracterização de mulita utilizando sílica obtida da casca de arroz**. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, v. 62, n. 3, set. 2009. Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037044672009000300016&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 11 abr. 2019.

GURGEL, Fábio de Lima. **A Cultura do Arroz**. 2012. Disponível em:<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAARc4AE/cultivo-arroz>. Acesso em: 11 abr.2019.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo,SP: Ibracon, 2011. Cap. 29. p. 906-944.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agro2017**.Disponível em https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76424 acessado em 12 de abril de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola nacional**. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON,2005. 1600 p.

ISAIA, Geraldo C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712 p.

JAMES, J.; SUBBA RAO, M. **Reactivity of Rice Husk Ash. Cement and Concrete Research**, v. 16, n. 3, p. 296-302, 1986.

MEDEIROS, Marcelo H. F. ; ANDRADE, J. J. O. ; HELENE, Paulo . **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Geraldo Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 773-808.

MEDEIROS-JUNIOR, Ronaldo Alves de; MUNHOZ, Guilherme da Silva; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de. Correlations between water absorption, electrical resistivity and compressive strength of concrete with different contents of pozzolan. **Revista Alconpat**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.152-166, 30 abr. 2019. Revista ALCONPAT. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.335>.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 684 p.

MEHTA, P.K. & MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pinni, 1994.

METHA, P. K. **Properties of Blended Cements Made from Rice Husk Ash**. ACI Journal. Set, 1977.s

NEVILLE, A, M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, Adam M.. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo,SP: Pini, 1997.828 p.

POUEY, M. T. F.. **Beneficiamento da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345 p. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

POUEY, M. T. F.. **Beneficiamento da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 257 p. Disponível em:<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, 1997, 111p.

SILVA, Inês Santana da. **Concreto de alta resistência: composição, propriedades e dimensionamento**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 1995. 128p.

SILVEIRA, A. A. **A utilização de cinza de casca de arroz com vistas à durabilidade de concretos: estudo de ataque por sulfatos**. Porto Alegre, 1996. 139 p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia). Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi et al. REAPROVEITAMENTO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Holos Environment**, São Paulo, v. 11, n. 1, p.81-89, nov. 2011.

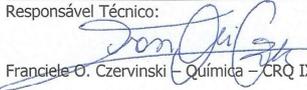
THASHIMA, M. M.; SILVA, C. A. R.; AKASKI, J. L.; BARBOSA M. B. **Influence of Rice Husk Ash in Mechanical Characteristics of Concrete**. In. IV International, 2006.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho**. In: ISAIA, G. (Ed). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo,SP: IBRACON, 2011. Cap. 36

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD.
Cement Sustainability Initiative. Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050. Paris, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Laudo Análise Química Semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA							
	LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS							
Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br								
CERTIFICADO DE ANÁLISE Nº. 2019 325 FRX								
Análise solicitada: Análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X, pó prensado.								
Equipamento: Espectrômetro PANalytical Axios Max.								
Solicitante: Raphael de Oliveira Bilmayer		Data de entrada: 08/10/2019	Data de emissão: 23/10/2019					
Identificação da(s) amostra(s) pelo solicitante: Amostra CCA		Nº LAMIR: 325/19						
Composição Química:								
Amostra 325/19	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)	MnO (%)
	76,9	2,2	2,1	2,0	1,2	1,1	0,9	0,2
	TiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	ZnO (%)	ZrO ₂ (%)	SrO (%)	Rb ₂ O (%)	P.F. (%)
	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	13,08
<ul style="list-style-type: none"> • P.F. = Perda ao fogo • Resultados normalizados para 100 % 				<p>Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações significativas nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).</p>				
- FINAL DO CERTIFICADO -								
PÁGINA 1 de 1								
<small>OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS AS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.</small>								
Responsável Técnico:		Coordenador:						
 Franciele O. Czervinski – Química – CRQ IX 09202385		 Prof. Dr. Leonardo Fadel Cury						

Arquivo de entrada: [TCC 2 Raphael 21-11-19.docx](#) (9749 termos)

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
aecweb.com.br/cont/m...	Visualizar	1485	201	1,82
www2.ifrn.edu.br/ojs...	Visualizar	705	70	0,67
tecnomor.com.br/blog...	Visualizar	834	52	0,49
agro.ufg.br/upi/68/o/...	Visualizar	4413	52	0,36
lume.ufrgs.br/bitstr...	Visualizar	7890	50	0,28
ufrgs.br/necod/site/...	Visualizar	416	18	0,17
uvanet.br/essentia/l...	Visualizar	560	11	0,1
passeidireto.com/arq...	Visualizar	1243	10	0,09
abntcatalogo.com.br/...	Visualizar	201	5	0,05
sciencedirect.com/sc...	Visualizar	357	5	0,04