A Cinza de casca de arroz (CCA) residual como adição mineral ao cimento

J.H.S. Rêgo, UFG; A.A. Nepomuceno, UnB; F.L. Vieira, FURNAS; A.N. Lopez,FURNAS

Resumo - **Dentre os resíduos ambientais utilizados como adição mineral, a cinza de casca de arroz (CCA) vem sendo cada vez mais estudada. Mas, segundo a maioria da bibliografia analisada, a obtenção da CCA amorfa com alta reatividade exige temperatura e duração de queima controlada. O alto custo do processo de queima controlado têm inviabilizado a utilização da CCA como adição mineral, fazendo com que os resultados das pesquisas não sejam efetivamente aplicados. Enquanto isso, nas indústrias de beneficiamento de arroz, na maioria das vezes a casca de arroz é utilizada como combustível em fornalhas para os processos de secagem ou parboilização dentro da própria indústria. Nos últimos 5 anos, principalmente no sul do país, a geração de energia elétrica através de biomassa vem ganhando impulso. Várias beneficiadoras de arroz já instalaram usinas termoelétricas que utilizam o resíduo casca de arroz como combustível para geração de vapor e energia e outras estão em fase de implantação ou estudos. Devido à ausência de controle desses processos de queima, as CCAs produzidas tem a estrutura cristalina (CCA residual), sendo considerada um resíduo produzido em grande quantidade e sem destinação pela industria e cuja deposição final é um grave problema ambiental. Esse subproduto é o material básico do presente estudo. Nesse artigo foi constatado que as CCAs residuais, independente do processo de queima não-controlado utilizado, apresentam características físicas e químicas que demonstram uma grande viabilidade para sua utilização como adição mineral ao cimento.**

Palavras-chave - **CCA, Resíduo Agroindustrial, Usinas Termoelétricas, Adição Mineral, Cimentos Portland**

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das potencialidades dos materiais alternativos tem se constituído em um dos pilares básicos para a consolidação da tecnologia moderna. Esse novo posicionamento está relacionado a uma exigência do mercado que recentemente mostra-se inserido aos sistemas de reciclagem e preocupado com a sustentabilidade dos processos de produção. A indústria da construção civil possui um grande potencial para se inserir nesse processo,

devendo sentir-se responsável pela procura de soluções dentro do seu próprio processo produtivo.

A incorporação de resíduos industriais ao cimento, tais como as pozolanas, é uma das soluções para o aproveitamento de subprodutos de outros setores como material nobre pela substituição de parte do cimento, enriquecendo as propriedades do produto final, além de dar finalidade ao resíduo. NEVILLE (1992), ao comentar as perspectivas do concreto para o ano 2000, salienta que o cimento é um material muito caro, e que, portanto, no futuro, devem ser empregados, cada vez mais, materiais alternativos adicionados ao cimento, como a escória, a cinza volante, a cinza de casca de arroz (CCA) e a sílica ativa, bem como suas combinações, que podem produzir concretos mais econômicos e com melhor desempenho.

Adições minerais são materiais com propriedades pozolânicas e/ou cimentícias, adicionadas ao cimento, antes ou durante a mistura, em quantidades que variam geralmente entre 5 e 70% da massa do cimento. Segundo SILVEIRA (1996), o seu emprego pode ser feito de duas formas distintas: (1) como substituição de parte do cimento, visando a redução dos custos e (2) como adição em percentuais variáveis em relação à massa de cimento, geralmente com uso concomitante com aditivos superplastificantes. MEHTA e MALHOTRA (1996), comentam que as vantagens associadas ao uso dos materiais pozolânicos ou cimentícios permanecem essencialmente as mesmas, independente da maneira como foram incorporados na mistura de concreto.

Dentre as pozolanas, a cinza de casca de arroz (CCA) vem sendo cada vez mais estudada nos últimos anos. Mas, segundo a maioria da bibliografia analisada como DASS (1984), COOK (1986), JAMES e RAO (1986) e SUGITA et al (1992), a obtenção da CCA amorfa com alta reatividade exige temperatura e duração de queima controlada. O alto custo do processo de queima controlado têm inviabilizado a utilização da CCA como adição mineral, fazendo com que os resultados das pesquisas não sejam efetivamente aplicados. Enquanto isso, nas indústrias de beneficiamento de arroz, na maioria das vezes a casca de arroz é utilizada como combustível em fornalhas para os processos de secagem ou parboilização dentro da própria indústria. Mais recentemente, com a crescente crise de energia, tem sido incentivada a utilização de biomassa como combustível em usinas termoelétricas sendo esta uma forma alternativa e eficiente de geração de energia elétrica minimizando a dependência nacional em relação às usinas hidrelétricas. Principalmente no sul do país, a geração de energia elétrica através de biomassa vem ganhando impulso nos últimos cinco anos. Várias indústrias de arroz já instalaram usinas termoelétricas que utilizam o subproduto casca de arroz como combustível para

geração de vapor e energia e outras estão em fase de implantação ou estudos, com perspectiva de geração de cerca de 110 megawatts por dia. Devido à ausência de controle desses processos de queima, diz-se que as CCAs produzidas são obtidas sem controle da temperatura (CCA residual), sendo considerada um resíduo produzido em grande quantidade e sem destinação pela industria e cuja deposição final é um grave problema ambiental. Esse subproduto é o material básico a ser estudado.

A diferença básica entre a CCA residual e a CCA produzida com a temperatura de queima controlada é o teor de material amorfo nas cinzas. Nota-se que praticamente todos os autores pesquisados são unânimes com relação ao aparecimento de fases cristalinas na sílica contida na cinza da casca de arroz queimada a elevadas temperaturas, especialmente acima de 500ºC, o que é evidente ao se analisar difratogramas de raios x das amostras analisadas. Além disso, os resultados apontam também para a influência do tratamento térmico nas características da CCA, principalmente em relação à finura e área superficial dos grãos. Diversos trabalhos nacionais como ISAIA (1995), PRUDÊNCIO e SANTOS (1996) e RÊGO (2001, 2004) tem criticado a linha de raciocínio que converge no sentido de discriminar a cinza de casca de arroz queimadas a altas temperaturas. Segundo os autores, existe um certo preconceito no meio técnico quanto à cinza de casca de arroz queimada a temperaturas elevadas, principalmente pelo estigma das mesmas serem consideradas de baixa pozolanicidade, pela presença marcante de fases cristalinas, sem que tenham sido apresentadas evidências de mau comportamento quando adicionadas a concretos e argamassas. Os resultados dessas pesquisas tem demonstrado a viabilidade técnica da utilização da CCA cristalina como adição mineral ao cimento e incentivado a realização de mais estudos sobre o tema.

O interesse na realização da pesquisa desse material é justificado pela grande quantidade da CCA residual produzida no país. Sendo a produção anual de arroz estimada em 10.500.000 toneladas, temos uma produção potencial de CCA residual de cerca de 500.000 toneladas (IBGE, 2002). Certamente com este volume de produção, a Cinza de casca de arroz residual seria competitiva no mercado, inclusive, no caso da produção da CCA amorfa, concorrendo com a adição de sílica ativa tanto no que concerne a custo quanto a qualidade. Isto sem considerar o ganho agregado da utilização deste resíduo agroindustrial no aspecto ambiental.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ISAIA (1995) critica a linha de raciocínio que converge no sentido de discriminar a cinza de casca de arroz queimadas a altas temperaturas, a começar pela própria classificação de material altamente pozolânico adotada pelo Comitê da RILEM (1988), quando se refere à cinza produzida por processo de queima controlado. Segundo ele, existe um certo preconceito no meio técnico quanto à cinza de casca de arroz queimada a temperaturas elevadas, principalmente pelo estigma das mesmas serem consideradas de baixa pozolanicidade, pela presença marcante de fases cristalinas, sem que tenham sido apresentadas evidências de mau comportamento quando adicionadas a concretos e argamassas. Quase toda a literatura investigada pelo autor, versa sobre a cinza da casca de arroz queimada à temperatura controlada, tendo sido encontrado apenas um trabalho com cinza queimada a céu aberto (NIMITYONSGSKULL, 1981 apud ISAIA (1995)).

Neste sentido, ISAIA (1995) questiona: *"quão importante é a presença dessas fases cristalinas nas pozolanas, analisadas isoladamente, para o desempenho de concretos ou argamassas? Na realidade*, continua, *o que interessa é o resultado final que a pozolana específica ou a mistura com outra pozolana pode fornecer quando estudados um ou vários teores de substituição, em relação à mistura de referência".*

Tal afirmativa está consubstanciada nos resultados que obteve no programa experimental. Utilizando-se de uma cinza composta de metades iguais, uma queimada em um forno de laboratório, com temperatura controlada, e outra proveniente de um forno de olaria, obtida a temperaturas elevadas, o autor evidenciou que o índice de atividade pozolânica não foi significativamente baixo quando comparada com o da sílica ativa ou com o obtido com a cinza volante.

Na dissertação de mestrado de REGO (2001), na qual foi dada ênfase principalmente aos aspectos de resistência, foi observado que a CCA residual apresenta um grande potencial para a utilização como adição mineral. A CCA queimada sem controle de temperatura, quando moída durante 5 horas em moinho de bolas, apresentou o valor de Índice de atividade pozolânica com cimento de aproximadamente 85%, considerado já como material pozolânico tendo em vista que a NBR-12653 estipula o valor de 75% para a qualificação do material como pozolana.

Os trabalhos realizados pelo Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC) da UFSC, sobre cinza de casca de arroz, geraram quatro dissertações de mestrado além de muitas outras publicações. Apesar deste ser um tema de pesquisa desde a década de 70, os trabalhos realizados pelo Núcleo tem como característica principal o estudo de cinzas residuais, subproduto do beneficiamento do arroz que usa a casca como combustível, e não de cinzas obtidas sob condições de queima controlada. Os resultados obtidos têm motivado o grupo a desenvolver novas pesquisas principalmente para ajustar as normas nacionais para incrementar o uso de pozolanas em concreto.

III. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A Tese de Doutorado de RÊGO (2004), realizada através de uma parceria entre a UnB e Furnas Centrais Elétricas S/A financiada pela ANEEL, fez um amplo estudo da utilização das CCAs amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento. O Programa Experimental foi elaborado com o objetivo de verificar a influência da substituição das CCAs amorfa e cristalina ao cimento Portland, contribuindo tecnicamente para a consolidação do uso desse material como alternativa de produção de cimentos com características

específicas e adequadas para a produção de concretos e argamassas de qualidade ou à produção de concretos e argamassas com este tipo de adição. Para que esse objetivo seja alcançado, alguns aspectos dessa substituição necessitavam ser melhor esclarecidos como: a caracterização das CCAs residuais, a reação pozolânica que envolve as CCAs cristalina e amorfa, a caracterização dos cimentos compostos com as CCAs amorfa e cristalina e o efeito da substituição das CCAs cristalina e amorfa ao cimento Portland CP I na microestrutura das pastas dos aglomerantes formados. Dessa forma, a metodologia deste programa experimental foi dividida em 4 (quatro) fases distintas, mas interligadas.

A Primeira fase, chamada de "Caracterização das CCAs residuais" tem como objetivo a caracterização das CCAs residuais produzidas por diferentes indústrias, tanto indústrias de beneficiamento de arroz quanto usinas termoelétricas, e por diferentes processos de queima. O resultado final dessa fase é a seleção de duas CCAs, sendo uma amorfa e outra cristalina, para a utilização nas etapas seguintes do Programa Experimental. O principal requisito para a seleção da CCA residual cristalina é que ela represente bem o universo das CCAs produzidas como resíduo pelas industrias. A intenção de escolher uma CCA amorfa é justamente servir como padrão de comparação para as etapas seguintes da pesquisa. Desta forma pode-se comparar os resultados obtidos com a incorporação de uma CCA cristalina e de uma CCA amorfa ao cimento, já que a grande maioria da bibliografia analisada trata o teor de material amorfo como o principal parâmetro para a classificação de uma CCA de alta reatividade.

Através da ABIAP (Associação Brasileira das indústrias de arroz parboilizado) e do Sindicato das indústrias de arroz do estado de Goiás, foi possível entrar em contato, via telefone e email, com cerca de 50 beneficiadoras de arroz de diversas partes do país. Essas indústrias foram submetidas a um questionário que tratava das suas principais características em relação à produção da CCA. Assim foi realizado um amplo estudo dos processos de queima utilizados pelas indústrias produtoras do resíduo CCA, de maneira que se pudesse selecionar 10 (dez) destas, que representariam de maneira mais global os principais processos. Dessa forma, caracterizou-se as CCAs residuais que representam o universo do resíduo produzido no país. Observou-se que a CCA é um dos resíduos agrícolas mais produzidos no Brasil proveniente tanto de indústrias de beneficiamento de arroz quanto de Usinas termoelétricas. Todo esse resíduo não tem valor agregado na industria e sua deposição final é um grande problema ambiental, como pode ser observado nas Fotografias 1 e 2. Depois de realizada a moagem e os ensaios de caracterização das CCAs, conforme mostrado na Tabela 1, pôde-se observar que mesmo com diâmetros médios maiores do que o recomendado pela bibliografia, as CCAs residuais apresentaram resultados de IAP com cimento e IAP com a cal que as qualificam para a utilização como adição mineral. Também foi realizado o selecionamento da CCA mais cristalina dentre as analisadas e de uma CCA amorfa produzida com o processo de queima controlado, para utilização na fase 2 do Programa Experimental. Os difratogramas de raios X das CCAs amorfa e cristalina são mostrados nas Figuras 1 e 2.

Fotografia 1 – Depósito da CCA residual em terrenos baldios próximos a industria produtora do resíduo

Fotografia 2 - Deposição da CCA residual nas margens de riacho vizinho a industria beneficiadora de arroz

Tabela 6.2 - Resultado dos ensaios de caracterização das CCAs residuais

Propriedades Determinadas			CCAs residuais									
			CCA 1	CCA 2	CCA 3	CCA 4	CCA 5	CCA 6	CCA 7	CCA 8	CCA 9	CCA 10
Industria de origem			BA	BA	BA	BA	BA	UT	UT	UT	BA	UT
Massa Específica (g/cm³)			2,24	2,21	2,20	2,12	2,12	2,16	2,11	2,21	2,13	2,11
Análise química. Componentes químicos (%).	Perda ao fogo		3,38	6,02	2,39	13,78	11,86	12,03	15,20	4,85	13,27	9,81
	Óxido de magnésio (MgO)		1,31	1,52	0,86	0,56	1,21	1,11	0,61	0,66	1,01	0,40
	Dióxido de silício (SiO_2)		89,08	85,00	90,25	82,62	83,12	81,58	79,13	89,20	81,30	84,95
	Óxido de ferro (Fe_2O_3)		1,19	1,27	0,92	0,10	0,40	0,44	0,30	0,42	0,44	0,32
	Óxido de alumínio (Al_2O_3)		0,65	0,15	0,14	0,51	0,08	0,37	0,69	0,50	0,15	0,45
	Óxido de cálcio (CaO)		1,83	1,55	1,48	0,91	1,05	0,98	0,84	0,91	0,91	0,84
	Álcalis totais	Óxido de sódio (Na_2O)	0,17	0,19	0,19	0,21	0,13	0,07	0,15	0,04	0,10	0,21
		Óxido de potássio (K_2O)	1,17	2,06	1,89	0,15	0,14	0,84	0,58	0,89	0,36	0,50
		Equiv. alcalino	0,94	1,55	1,43	0,31	0,22	0,62	0,53	0,63	0,34	0,54
Índice de ativ. Pozol. c/ cimento CPI (%).			80,1	79,9	81,6	71,5	75,2	77,9	76,4	85,6	80,1	81,9
Índice de ativ. Pozol. c/ cal (Mpa).			5,4	5,8	6,3	5,9	6,0	4,8	4,9	6,3	5,4	7,8
Teor de umidade em materiais pozolânicos (%)			1,06	1,00	0,72	1,39	1,09	0,48	1,80	0,80	1,88	2,05
Granulometria a laser	Dimensão média. (µm)		12,22	9,43	12,61	17,19	17,39	15,05	17,05	13,38	15,87	15,80
	Diâmetro abaixo do qual encontram-se 10% das partículas. (µm)		2,01	1,49	2,07	2,66	2,54	2,29	2,51	1,99	2,33	2,37
	Diâmetro abaixo do qual encontram-se 90% das partículas. (µm)		39,41	26,61	39,61	49,60	48,25	44,71	48,88	43,25	46,80	48,14
Finura	Resíduo na peneira 325 (%)		12,4	12,6	16,0	19,1	17,0	19,6	17,0	13,9	14,5	18,0
Superfície específica B.E.T (m²/g)			6,71	4,01	5,10	21,20	21,33	9,99	14,23	5,30	13,68	15,97
Difração de raios X			Crist.	Crist.	Crist.	Amorf.	Crist.	Crist.	Crist.	Crist.	Crist.	Amorf.
Teor de amorficidade (%)												
Observações			QNC	QNC	QNC	QNC	QNC	QNC	QNC	QNC	QNC	QC

UT - Usina Termoelétrica
BA - Beneficiador de arroz
QNC - Queima não controlada
QC - Queima controlada

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização das CCAs residuais

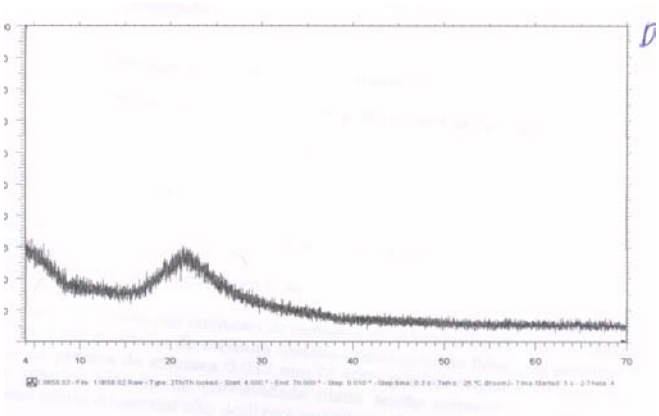

Gráfico 1 - Difratograma de raios-X da CCA amorfa

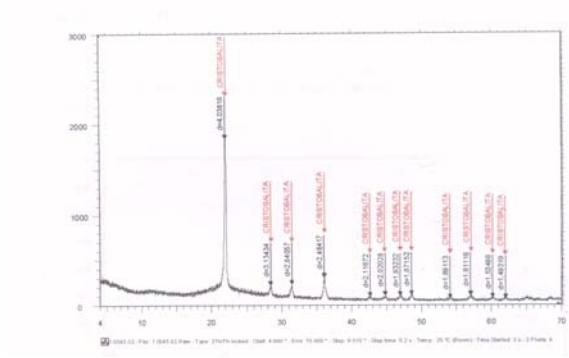

Gráfico 2 – Difratograma de raios - X da CCA cristalina

O objetivo da fase 2 do programa experimental (Reação Pozolânica das CCAs Amorfa e Cristalina) é investigar a influência do índice de amorfismo (I.A) e do grau de finura sobre a atividade pozolânica das CCAs residuais, dando subsídios para o melhor entendimento da reação pozolânica em questão. Abordando o índice de amorfismo (I.A) da CCA, foram selecionadas duas CCAs, uma cristalina e outra amorfa, na etapa anterior (fase 1) do Programa Experimental. Em relação à finura, ambas CCAs selecionadas foram moídas a 5 (cinco) tempos de moagem diferentes (1, 3, 5, 10 e 20 horas), o que gera 5 (cinco) diferentes granulometrias para cada material. Dessa forma foram avaliadas 10 amostras de CCAs residuais, sendo 5 amorfas e 5 cristalinas, quanto à sua atividade pozolânica. Os ensaios para a determinação da atividade pozolânica abrangem desde ensaios químicos (Fratini e Chapelle) a ensaios relacionados à resistência à compressão (IAP com cimento e IAP com cal). O resultado final dessa fase do programa experimental é a seleção do diâmetro médio das partículas mais adequado para cada tipo de CCA que virá a ser utilizada na fase seguinte do programa experimental.

Segundo os resultados de caracterização apresentados na Tabela 2, observa-se que ambas CCAs apresentaram aumento do IAP com o cimento e com a cal com a diminuição do diâmetro médio das partículas. Quando com diâmetro médio menores que 10μm, tanto a CCA amorfa quanto a CCA cristalina mostraram-se altamente pozolânicas em relação a esses ensaios. O grau de finura parece ter uma maior influência na atividade pozolânica das CCAs do que o índice de amorfismo, tendo em vista os bons resultados obtidos pela CCA cristalina quando finamente dividida sendo qualificada, em todos os ensaios realizados, como material pozolânico.

Tabela 6.4 – Resultados do ensaios de avaliação da atividade pozolânica da CCA cristalina e amorfa

CCAs residuais		Propriedades			
		IAP c/ cimento CPI (%)	IAP c/ cal (MPa)	Fratini	Chapelle modificado (mg CaO/g amostra)
CCA amorfa	1hora	58,5	3,1	Cimento Pozolânico	676,3
	3 horas	67,5	4,7	Cimento Pozolânico	688,5
	5 horas	76,7	5,7	Cimento Pozolânico	673,0
	10 horas	81,6	7,2	Cimento Pozolânico	637,7
	20 horas	90,8	8,6	Cimento Pozolânico	617,3
CCA cristalina	1 hora	71,7	3,1	Cimento Pozolânico	400,4
	3 horas	80,4	4,3	Cimento Pozolânico	438,7
	5 horas	78,7	5,3	Cimento Pozolânico	463,3
	10 horas	86,6	6,5	Cimento Pozolânico	534,1
	20 horas	90,8	7,6	Cimento Pozolânico	610,3

Tabela 2 - Avaliação da reação pozolânica das CCAs amorfa e cristalina

A fase "Aglomerantes compostos com as CCAs amorfa e cristalina" tem como objetivo verificar o comportamento dos aglomerantes formados pela substituição do cimento Portland comum CPI (referência) por diferentes teores de CCA amorfa e cristalina (5, 10 e 20%) em relação a aspectos físicos, químicos, calor de hidratação e de pozolanicidade. Todos os resultados dos ensaios de caracterização mostrados nas Tabelas 3 e 4, qualificam os aglomerantes formados pela substituição de parte do cimento CPI pelas CCAs cristalina e amorfa com os respectivos tipos de cimentos denominados pela norma brasileira, inclusive com aumento da resistência à compressão aos 28 dias para todos os aglomerantes com ambas CCAs em relação ao aglomerante de referência (100% CP I). Esse aumento da resistência à compressão chegou, respectivamente, a 30% e 10% para 20% de substituição da CCA amorfa e cristalina.

Propriedades		100% CP I	CCA amorfa			CCA cristalina		
			5% (CP I-S)	10% (CP II-Z)	20% (CP IV)	5% (CP I-S)	10% (CP II-Z)	20% (CP IV)
Finura	# 200	0,9	0,2	0,5	0,6	0,1	0,1	0,1
Tempo de pega (h:min)	Início	1:40	1:50	1:50	2:00	1:40	2:00	2:10
	Fim	3:00	3:10	3:10	3.20	3:00	3:00	3:10
Água de consistência – Pasta (%)		30,4	34,40	35,40	37,40	34,00	34,40	35,80
Expansão em autoclave (%)		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Massa específica (g/cm^3)		3,10	3,03	2,98	2,87	3,04	2,99	2,89
Área específica (cm^2/g)		4.780	5.218	5.790	6.910	4.862	5.090	5.590
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	36,7	40,4	39,90	40,80	36,10	35,30	31,90
	7 dias	37,9	48,2	46,80	45,10	37,70	42,50	37,70
	28 dias	45,7	55,6	57,60	58,30	50,90	49,70	49,00

Tabela 3 - Caracterização física dos aglomerantes com as CCAs amorfa e cristalina

Propriedades		100% CP I	CCA amorfa			CCA cristalina		
			5% (CP I-S)	10% (CP II-Z)	20% (CP IV)	5% (CP I-S)	10% (CP II-Z)	20% (CP IV)
Perda ao fogo		1,63	2,61	2,90	3,52	1,91	2,25	2,99
Resíduo Insolúvel		1,60	4,09	10,18	20,04	5,04	10,77	19,25
Trióxido de enxofre (SO_3)		4,50	2,99	2,49	1,87	3,00	2,63	1,84
Óxido de magnésio (MgO)		4,29	3,36	3,14	2,79	3,34	3,19	2,78
Dióxido de silício (SiO_2)		19,19	23,27	26,44	33,25	23,21	26,71	33,63
Óxido de ferro (Fe_2O_3)		3,32	2,31	2,26	2,05	2,32	2,28	2,08
Óxido de alumínio (Al_2O_3)		4,42	4,20	4,13	3,73	4,36	4,16	3,69
Óxido de cálcio (CaO)		60,06	59,78	55,54	49,48	58,94	56,20	49,23
Óxido de cálcio livre (CaO)		1,90	1,50	1,40	1,20	1,50	1,40	1,30
Álcalis Totais	Óxido de sódio (Na_2O)	0,30	0,33	0,29	0,27	0,27	0,29	0,27
	Óxido de potássio (K_2O)	0,88	0,87	0,91	0,93	0,83	0,91	1,04
	Equivalente alcalino	0,88	0,90	0,89	0,88	0,82	0,89	0,95
Sulfato de cálcio ($CaSO_4$)		7,65	7,27	6,88	6,12	7,27	6,88	6,12

Tabela 4 - Caracterização química dos aglomerantes com as CCAs amorfa e cristalina

A Difração de raios X (DRX), Termogravimétria (TG) e o Microscópio eletrônico de varredura (MEV) com microanálise por raios-X são três das técnicas mais utilizadas para o estudo tanto do cimento anidro quanto dos seus produtos das reações de hidratação. Na fase "Microestrutura das pastas com as CCAs amorfa e cristalina" essas técnicas foram utilizadas para a identificação dos produtos da hidratação de 7 pastas de aglomerantes formados pela substituição do cimento Portland CPI (referência) por 5%, 10% e 20% das CCAs amorfa e cristalina. Pelos ensaios de DRX também foi constatada a diminuição dos picos de hidróxido de cálcio (CH) nas pastas a medida que aumentava a substituição do cimento CPI pelas CCAs. Os resultados dos ensaios de Termogravimetria (TG) mostrados na Tabela 4 também comprovam essa diminuição. Nas pastas com a substituição da CCA amorfa esse consumo de CH foi maior devido a maior reação pozolânica entre a CCA com 100% de sílica amorfa e o CH. Apesar de menor do que com a CCA amorfa, também foi constatado o consumo de CH nas pastas com a substituição da CCA cristalina. Isso se deve provavelmente a reação pozolânica que se dá entre a parte amorfa da CCA cristalina (6,5%) e o CH. Constatou-se também que quanto maior a porcentagem de material com estrutura amorfa, maior a disponibilidade de sílica para a reação pozolânica, o que leva a uma diminuição da relação C/S do C-S-H nas pastas, conforme mostrado na Tabela 5.

Relação a/agl	Aglomerantes	Idade			
		1 dia	7 dias	28 dias	91 dias
0,35	100% CP I	14,63	18,62	20,22	21,33
	5% CCA a	13,52	15,33	15,29	15,86
	5% CCA c	14,42	17,59	18,05	16,67
	10% CCA a	10,27	12,29	11,96	12,45
	10% CCA c	13,33	14,34	15,41	15,12
	20% CCA a	8,05	8,63	7,15	7,81
	20% CCA c	10,64	11,51	11,75	9,80
0,50	100% CP I	16,76	19,60	22,32	22,97
	5% CCA a	15,17	15,90	16,23	17,14
	5% CCA c	15,33	19,03	17,92	17,92
	10% CCA a	13,03	12,62	12,62	13,44
	10% CCA c	13,81	16,07	16,23	15,58
	20% CCA a	9,82	8,34	8,34	7,77
	20% CCA c	11,79	11,55	10,48	10,27

Tabela 5 - Teor de Hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) nas pastas dos aglomerantes com as CCAs amorfa e cristalina

Aglomerante	Relação C/S média	Desvio Padrão
100% cimento CP I	2,46	0,64
20% CCA amorfa	1,60	0,48
20% CCA cristalina	2,08	0,52

Tabela 6 - Análise semiquantitativa da relação C/S do C-S-H nas pastas com as CCAs amorfa e cristalina

Após defesa da Tese de Doutorado, o autor foi aceito no Programa de Pós-Doutorado PRODOC da CAPES. No Pós- doutorado espera-se investigar outros aspectos da microestrutura das pastas com as CCAs amorfa e cristalina. Também foi desenvolvido o equipamento de extração da fase aquosa dos poros da pasta de cimento que será utilizada no programa experimental das pesquisas.

Além da Tese de Doutorado de RÊGO (2004), também estão sendo realizados dentro do projeto, estudos abordando a durabilidade dos concretos com as CCAs amorfa e cristalina, gerando 3 (três) dissertações de mestrado (1 (uma) orientada pelo Prof. Enio Pazini (UFG) e 2 (duas) orientadas pelo Prof. Antônio Alberto Nepomuceno (UnB)). Outro estudo que vem sendo realizado é a avaliação da influência do índice de amorfismo (I.A) na reação pozolânica das CCAs, que gerará 1 (uma) dissertação de mestrado orientada pela Profª. Denise Dal Molin (UFRGS).

IV . CONCLUSÕES

Segundo os resultados apresentados em REGO (2004) mostra-se a grande viabilidade técnica da utilização da CCA

residual, produzida por industrias beneficiadoras de arroz ou usinas termoelétricas, tanto amorfa quanto cristalina, finamente dividida como adição mineral ao cimento. Espera-se com o presente trabalho incentivar o mercado e os pesquisadores a intensificarem as pesquisas envolvendo o resíduo, o que trará vantagens ambientais, econômicas e tecnológicas à sociedade.

V. AGRADECIMENTOS

1. Furnas Centrais Elétricas S/A, pelo auxílio na realização dos ensaios da pesquisa;
2. ANEEL pelo financiamento da pesquisa;
3. CNPq pelo auxílio financeiro durante a realização da Tese de Doutorado;
4. CAPES pelo auxílio financeiro durante a realização do Pós-Doutorado;
5. PECC - UnB, especialmente ao Prof. Antônio Alberto Nepomuceno pela orientação no Doutorado;
6. Programa de Mestrado em Engenharia Civil da UFG, em especial ao Prof. Enio Pazini, pela realização do Pós-Doutorado;
7. Indústrias beneficiadoras de arroz e usinas termoelétricas pela doação das CCAs utilizadas na pesquisa;
8. A Profª. Denise Dal Molin pelo auxílio na pesquisa

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NEVILLE, A. M. Concrete in the year 2000. In: MALHOTRA, V.M. (ed) Advances in Concrete Technology. Otawa, 1992, p. 21-78.

SILVEIRA, A . A . A Utilização de Cinza de casca de Arroz com Vistas a Durabilidade de Concretos: Estudo do ataque por Sulfatos. Dissertação (Mestrado). UFRGS, Brasil, 139p., 1996.

MALHORTRA, V. M.; MEHTA, P. K. Pozzolanic and Cimenticious Materials, Advances in Concrete Technology. vol. 1, Gordon and Breach Publishers, Canadá, 1996.

DASS, A. Pozzolanicity of rice husk ash. In: The 9th CIB Congress, Stocholm – CIB-83. To builod and take care of what we have built with limited resources. Building Materials and Components, 1984, v. 4, p. 85-96

COOK,D. J. Rice Husk ash. In: SWAMY, R. (ed) Cement replacements Materials. Concrete technology and Design. Glasgow: Surrey University Press, 1986, 3v. V.3, p.171-196.

JAMES, J.; RAO, M.; Reactivity of rice husk ash. Cement and Concrete Research: Pergamon Press, Ltd., v. 16, p. 296-302, 1986.

SUGITA, S.; SHOYA, M.; TOKUDA, H. Evaluation of pozzolaic activity of rice husk ash. In: 4 th International Conference on Fly ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istambul, 1992. Proceedings. Detroit: American Institute, 1993, 2v., v.1. SP 132-28, p. 495-511.

ISAIA, G. C. Efeito de Misturas Binárias e Ternárias de Pozolanas em Concreto de Elevado Desempenho: Um estudo de Durabilidade com Vistas à Corrosão da Armadura. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de são Paulo, São Paulo, 1995.

PRUDÊNCIO, J. R., SANTOS, S. Influência do grau de moagem na pozolanicidade da cinza da casca de arroz. In: Reciclagem e Reutilização de Resíduos como materiais de construção, Workshop, USP – São Paulo, SP, Nov, 1996, p.53-62.

REGO, J. H. S. Viabilidade Técnica da Utilização da Cinza de Casca de arroz produzida sem controle da temperatura como adição mineral ao cimento. Goiânia. CMEC/UFG, 2001, 200p. Dissertação de Mestrado

REGO, J. H. S. As Cinzas de casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento – Aspectos da microestrutura das pastas Brasília - PECC-UnB 2004, 274p. Tese de Doutorado.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Julho/2002.

RILEM TECHNICAL REPORTS. Final report: Siliceous by-products for use in concrete. Materials and structures, vol. 21, n° 121, p. 69-80, 1988.