Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

AVALIAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS COM ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

P. GUILLANTE
Graduanda, Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
pguillante@gmail.com

M. KULAKOWSKI
Professora, Dra, Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
marlovak@unisinos.br

M. MANCIO
Professor, Dr, Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
mancio@gmail.com

A. SANDER
Professora, Mestre, Geologia
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
andrea.sander@cprm.gov.br

RESUMO

A exigência por concretos mais duráveis fomenta a busca por novas técnicas que visem a reduzir as manifestações patológicas que ocorrem no concreto. Dentre as inúmeras manifestações, existem aquelas ocasionadas pela reação álcali-agregado, uma reação química que envolve, basicamente, os álcalis do cimento e os minerais reativos do agregado, na presença de umidade. Na tentativa de minimizar o desencadeamento desta reação, é indicado o uso de adições minerais. Sendo assim, foi analisado o efeito da cinza de casca de arroz frente à reação álcali-agregado, bem como a sua capacidade de absorção. Estas análises levaram em consideração as características químicas, físicas e mineralógicas dos materiais, as análises de expansão pelo método acelerado da ASTM C-1567-13, e a absorção de água por capilaridade pelo método adaptado da RILEM TC 116 PCD. Através dos ensaios de expansão, foi possível verificar que tanto o teor de 10%, quanto o teor de 20% de subsituição de cimento por cinza de casca de arroz, reduziram as expansões em relação à amostra de referência. No entanto, ao longo do ensaio, ambos os teores ultrapassaram o limite estabelecido pela norma. Embora os benefícios da utilização das adições minerais estejam associados principalmente à reação pozolânica formada, acredita-se que existam outros fatores relevantes, uma vez que a cinza de casca de arroz mostrou-se altamente pozolânica e não apresentou um bom desempenho frente à reação álcali-agregado, provocando fissuras em suas superfícies e um aumento considerável na capacidade de absorção depois do ensaio acelerado.
Palavras-chave: reação álcali-agregado, cinza de casca de arroz, absorção.

ABSTRACT

The demand for more long-lasting concrete stimulates the seek for new techniques that try to reduce the pathological manifestations that occur in concrete. Among these countless manifestations, there are those caused by the alkali-aggregated reaction, a chemical reaction that involves, basically, the cement's alkalis and the reactive minerals of the aggregate, in the presence of humidity. To try reducing this reaction trigger, it is indicated the use of mineral additions. Therefore, it was analyzed the effect of the rice husk ash on the alkali-aggregated reaction, and also its absorption capacity. These analyses took into account the chemical, physical and mineral properties of the materials; the expansion analyses by the ASTM C1567-13 rapid method and; and the capillary water absorption by the adapted method of RILEM TC 116 PCD. With the expansion tests, it was possible to verify that the replacement of 10% and 20% of cement by rice husk ash reduced the expansions, when compared to the control sample. However, during the test, both levels exceeded the limit indicated by the standard. Although the benefits of using mineral additions are mainly related to the pozzolanic reaction formed, it is believed there are other relevant factors, since the rice husk ash turned out to be highly pozzolanic and didn't show a good performance on the alkali-aggregated reaction, causing cracks on the surfaces and a significant increase of the absorption capacity after the rapid test.
Keywords: alkali-aggregated reaction, rice husk ash, absorption.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Os benefícios das adições pozolânicas frente à reação álcali-agregado (RAA), podem estar relacionados a quatro fatores: a diluição do teor de álcalis devido à redução do fator clínquer, a remoção dos álcalis dos poros do concreto através da formação de C-S-H, a redução da permeabilidade que inibe a migração dos álcalis para reagir com os minerais reativos do agregado, e por último, a redução do pH. [1]. O efeito positivo das pozolandas, é fortemente defendido, pelo fato das mesmas consumirem hidróxido de cálcio da pasta do cimento, formando silicato de cálcio hidratado adicional, preeenchendo os poros do concreto, consequentemente, reduzindo sua permeabilidade. [2]. No entanto, quando há fissuração da estrutura, a mobilidade de íons aumenta, permitindo que a manifestação ocorra também nas regiões internas. Com isso, pode-se afirmar que quando há fissurações e uma fonte contínua de suprimentos alcalinos, as adições pozolânicas podem não ser tão eficientes na mitigação da RAA. [3].

A cinza de casca de arroz (CCA) é um resíduo proveniente de um processo de combustão da casca do arroz, usada pelas indústrias beneficiadoras como fonte de geração de calor necessário para a secagem dos grãos de arroz, com alto índice de atividade pozolânica. [4]. A utilização da CCA na tentativa de mitigar a RAA é bastante complexa e controversa. Há estudos que indicam que a CCA pode promover ou inibir a RAA, e acredita-se, que isso possa estar relacionado, entre outros fatores, ao tamanho das partículas, sendo que, quando estas forem menores, melhor é o desempenho da CCA. [5].

Resultados distintos foram verificados, por autores que utilizaram o mesmo agregado e diferentes teores e cinzas de casca de arroz. [6,7]. Com isso, levou-se a crer que, a morfologia, a granulometria e o teor de subsituição, influenciam diretamente no benefício ou não da CCA frente à RAA. Há, também, de se considerar que, existe uma relação entre o teor de álcalis e o teor de material pozolânico a ser adicionado na mistura, ou seja, a quantidade de material pozolânico a ser acrescentado, deve ser tal, que produza a maior quantidade de C-S-H e a menor quantidade de gel expansivo. Esta quantidade de material pozolânico a ser adicionado é considerado o teor ótimo de substituição. [7].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento e cinza de casca de arroz

O cimento utilizado para a realização dos experimentos, foi o CPV ARI da Itambé Cimentos do lote de março de 2015, tendo em vista seu baixo teor de adição mineral (em torno de 5%), permitindo assim, uma análise mais próxima da realidade, do comportamento da cinza de casca de arroz frente à RAA.

A CCA utilizada em substituição parcial ao cimento Portland, é uma pozolana proveniente da queima de biomassa em forno de leito fluidizado de uma empresa geradora de energia localizada na cidade de Alegrete/RS.

2.1.2 Agregado

O agregado de brita basáltica utilizado nesta pesquisa, foi cedido por uma mineradora e extraído de uma jazida localizada na cidade de Flores da Cunha/RS. O agregado foi obtido em forma de areia de britagem e peneirado para a obtenção das frações granulométricas necessárias.

Através da análise petrográfica do agregado, foi possível classificá-lo como um dacito, em função dos seus constituintes mineralógicos principais (plagioclásio, quartzo e clinopiroxênio). Além disso, foi verificada uma possível potencialidade reativa, devido aos domínios vítreos encontrados, que são ricos em sílica amorfa, feldspatos alcalinos, e ainda, produtos da devitrificação. Os resíduos vítreos e os produtos da devitrificação, são encontrados na matriz dos microfenocristais, e representam os intercrescimentos esferulítos, as mesóstases e os domínios micrográficos e quartzosos. Os domínios micrográficos, correspondem aos intercrescimentos entre quatzo e feldspato, que formam uma mesóstase com cristais maiores, indicando sua natureza silicosas e o rápido resfriamento do magma, visto a quantidade de quartzo presente no agregado.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização química

A caracterização química do cimento, da CCA e do agregado foi determinada pelo ensaio de Fluorescência de Raios-X (FRX) por dispersão de energia. Este ensaio, utiliza uma técnica não destrutiva, que determina, quantitativamente e qualitativamente os elementos que compõem o material sob a forma de óxidos. O ensaio de FRX do cimento e da CCA, foi realizado no Laboratório de Caracterização e Valorização dos Materiais (LCVMat) da Unisinos, e do agregado, no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

2.2.2 Caracterização mineralógica

A mineralogia da CCA e do agregado foi determinada através do ensaio de Difração de Raios-X (DRX) e o ensaio foi realizado no Laboratório de Difração de Raios X do Instituto de Física da UFRGS e o equipamento utilizado para análise foi o difratômetro Siemens D5000. Os resultados obtidos, foram interpretados no LCVMat da Unisinos, de acordo com banco de dados apropriado.

2.2.3 Caracterização física

A caracterização física dos materiais englobou os ensaios de superfície específica, granulometria e massa específica. A superfície específica do cimento e da CCA foi determinada através método de adsorção de nitrogênio BET, no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Feevale, com o auxílio do equipamento Quantachrome Inova 2200E. As dimensões das partículas do cimento e da CCA foram determinadas pelo ensaio de granulometria a laser. Este ensaio foi realizado no LCVMat da Unisinos, com o auxílio do equipamento Microtac S3500. Todos os materiais foram ensaiados em via úmida e apenas para o cimento foi utilizado ultrassom para dispersar as partículas.

2.2.4 Pozolanicidade

O índice de atividade pozolânica da CCA, foi testada através do método de ensaio descrito na NBR 5752 (ABNT, 2014), que avalia o índice de desempenho das pozolanas com o cimento Portland aos 28 dias. Para a realização deste procedimento, foi utilizado o CP II F-32 e a areia normal do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Este ensaio prevê um teor de substituição de 25% de cimento por CCA, em volume, e nesta pesquisa, foram confeccionados seis corpos de prova. A consistência das argamassas foi ajustada em relação a consistência da amostra de referência, havendo uma tolerância de ± 10mm. Este ajuste foi feito com o uso de um aditivo superplastificante, da marca Glenium 51.

2.2.5 Determinação do potecial reativo do agregado

O potencial reativo do agregado foi avaliado pelo método acelerado da ASTM C-1260 (2014), que permite avaliar o comportamento do mesmo frente a uma solução alcalina de hidróxido de sódio, com concentração de 1N à temperatura de 80ºC, através da variação dimensional das barras de argamassa. As barras de argamassa foram confeccionadas com relação cimento:agregado de 1:2,25 e relação água/cimento fixa igual a 0,47, em formas prismáticas triplas de aço que possuem um sistema de fixação composto por parafusos e pinos de aço inoxidável, que serviram, posteriormente, como ponto de referência para a realização das medidas do comprimento em extensômetro do tipo, relógio comparador.

O monitoramento da expansão das barras, foi realizado medindo-se o comprimento das barras, em diversas idades, e o resultado final expresso em percentual de expansão. A ASTM C-1260 (2014) estabelece que expansões inferiores à 0,10% aos 16 dias após a moldagem, apresentam comportamento inócuo do agregado, enquanto que, expansões acima de 0,20% aos 16 dias após a moldagem, são indicativas de agregado reativo. Expansões entre 0,10% e 0,20%, indicam que o agregado é potencialmente reativo e o ensaio deve ser prolongado até a idade de 30 dias após a moldagem.

2.2.6 Avaliação da eficiência da CCA na mitigação da RAA

Para avaliar o efeito da CCA na mitigação da RAA, foi utilizado o método de teste da ASTM C-1567 (2013). Este método, consiste em um teste padrão utilizado para determinar o potencial de mitigação dos materiais cimentícios frente à RAA, dentro de um período de 16 dias, no entanto, o ensaio foi prolongado até a idade de 30 dias, para que se pudesse observar também, o comportamento dos materiais em um período maior de exposição. O procedimento de ensaio é o mesmo descrito na ASTM C-1260 (2014).

Foram realizadas duas misturas diferentes, com teores de 10% e 20% de substituição de cimento Portland por CCA. As substituições foram calculadas em massa com compensação de volumes, tendo em vista que os materiais utilizados possuem massas específicas diferentes. A ASTM C-1567 (2013) coloca que, expansões inferiores à 0,10% aos 16 dias após a moldagem, são consideradas aceitáveis e tendem a ter baixo risco de expansão deletéria. Já expansões superiores à 0,10% aos 16 dias após a moldagem, indicam que os materiais tendem a gerar expansões potencialmente deletérias.

2.2.7 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade das barras de argamassa foi adaptado do método de teste da RILEM TC 116 PCD. (RILEM, 1999). Este ensaio, teve por principal finalidade avaliar as condições de mobilidade de fluidos nas argamassas estudadas, numa condição de porosidade similar às amostras quando iniciado o ensaio de RAA e numa condição após o mesmo ensaio. Para esta pesquisa, foram utilizados corpos de prova de seção quadrada de 25 mm e comprimento de 285 mm, seccionados transversalmente em corpos de prova com altura de 50 mm, descartando as suas extremidades.

Foram propostos dois conjuntos de amostras, com condições de armazenamento diferentes. Cada conjunto foi composto por três corpos de prova para cada mistura. Os corpos de prova do primeiro conjunto foram moldados, desmoldados em 24 horas, imersos em um recipiente com água à temperatura de 23ºC ± 2ºC e colocados em estufa à 80ºC ± 2ºC, por onde permaneceram por 24 horas. Passado este período, os mesmos foram cortados e secos em estufa à 60ºC até atingir a constância de massa. O segundo conjunto foi composto por corpos de prova utilizados no ensaio acelerado, com condições de cura conforme ASTM C-1260 (2014). Ao término do ensaio acelerado, os corpos de prova foram cortados e secos em estufa à 60ºC até atingir a constância de massa. Os corpos de prova foram medidos e tiveram suas laterais vedadas com fita adesiva de alta aderência e a parte superior coberta com uma película de látex, permanecendo livre, apenas a superfície da face inferior. O ensaio foi realizado em uma bandeja plástica com fundo nivelado, de modo que os corpos de prova permanecessem com sua face livre, coberta por uma lâmina de água de 3 mm de altura. A fim de manter o nível de água constante, o recipiente é dotado de orifícios de extravasão imediatamente acima do nível de ensaio. Para o mesmo fim, dotou-se um sistema de um reservatório que fornece água para vazão constante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização química

A Tabela 1 apresenta a caracterização química do cimento, da CCA e do agregado, obtida através do ensaio de FRX.

Tabela 1 – Caracterização química do cimento, da CCA e do agregado

Parâmetro	Cimento	CCA	Agregado
	Teor (%)	Teor (%)	Teor (%)
SiO_2	14,89	94,99	65,06
CaO	57,26	0,33	3,84
Al_20_3	3,50	0,18	13,88
MgO	3,20	0,01	1,33
Fe_2O_3	2,41	0,06	6,71
SO_3	2,17	0,57	ND
Na_2O	1,16	ND	3,31
K_2O	0,74	1,01	3,65
SrO	0,24	ND	ND
TiO_2	0,20	0,01	1,04
P_2O_5	0,06	0,10	0,28
MnO	0,04	0,20	0,11
ZnO	0,02	ND	ND
Perda ao Fogo	2,99	2,12	0,98

ND – Não Determinado

3.2 Caracterização mineralógica

A CCA, no ensaio de DRX, apresentou picos cristalinos de sílica na forma de quartzo e cristobalita, como pode ser verificado no Difratograma da Figura 1. Os minerais encontrados, podem estar associados à temperatura e ao processo

de combustão da mesma, uma vez que, a casca de arroz apresenta alto teor de sílica. A área alargada com descolamento da linha de base, observada entre os ângulos 15º e 30º no difratograma, caracteriza um halo de amorfismo do material, indicando sua reatividade pozolânica.

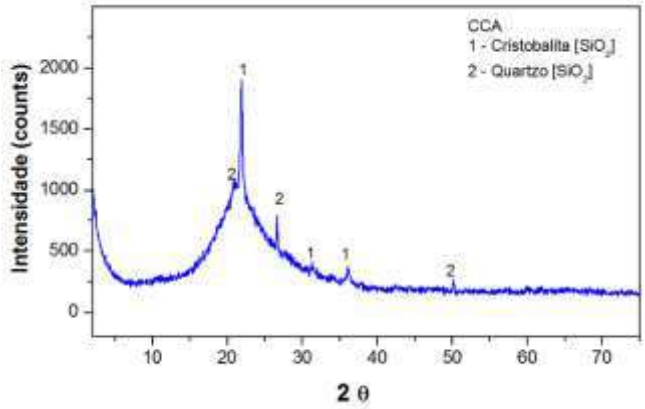

Figura 1 – Difratograma de Raios X da CCA

Através do ensaio de DRX do agregado, foi possível identificar picos cristalinos de quartzo, microclina (feldspatos), albita da família dos plagioclásios, augita da série dos piroxênios, e ainda, saponita e hematita (óxido de ferro), sendo este último, pertencente ao grupo dos opacos. Os minerais encontrados neste ensaio, evidenaciam e reafirmam as características verificadas na análise petrográfica. Estes picos, podem ser observados no Difratograma de Raios X da Figura 2.

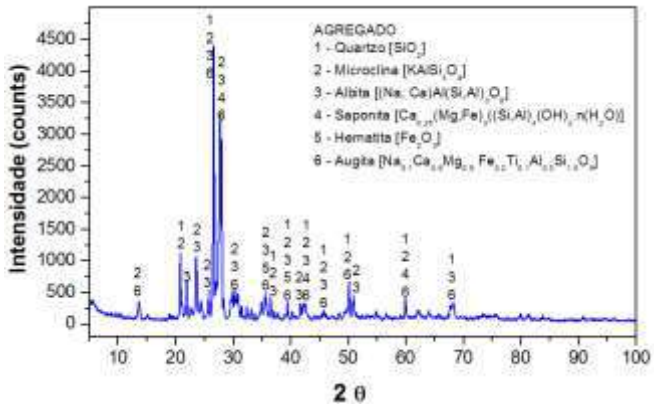

Figura 2 – Difratograma de Raios X do agregado

3.3 Caracterização física

A massa específica do cimento, fornecida pelo fabricante, é de 3,09 g/cm³ e a CCA apresenta massa específica igual a 2,12 g/cm³. A área superficial específica do cimento e da CCA é demonstrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Área superficial do cimento e da CCA.

Material	Área Superficial específica (cm²/g)
Cimento	4540
CCA	11517

Com relação à granulometria dos materiais, obtida através do ensaio de granulometria a laser, o cimento apresentou diâmetro médio de 17,07 µm, enquanto que a CCA, apresentou diâmetro médio de 9,38 µm, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados granulométricos do cimento e da CCA

Característica	Cimento (µm)	CCA (µm)
Diâmetro < 10%	3,70	2,38
Diâmetro < 50%	14,97	7,04
Diâmetro < 95%	46,84	28,7
Diâmetro médio	17,07	9,38

3.4 Pozolanicidade

Quanto aos requisitos para verificação da atividade pozolânica da CCA, pode-se observar que a soma de SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 de 95,23% (Tabela) do total de sua composição é superior à 50%, valor mínimo exigido pela NBR 12653 (ABNT, 2014) para pozolanas de Classe E, que é a classificação da CCA utilizada neste trabalho. Além disso, o valor máximo de perda ao fogo admitido é 6%, enquanto que o valor obtido é de 2,12%. O índice de atividade pozolânica da CCA obtido em relação ao cimento, foi de 131%. Ele valor, representa 41% a mais que o mínimo exigido para pozolanas de classe E, 90%.

3.5 Determinação do potencial reativo do agregado

A evolução da expansão da amostra de agregado ensaiada ao longo do tempo, é apresentada no gráfico da Figura 3. Os valores de expansão demonstrados no gráfico, referem-se à média das três barras de argamassas ensaiadas.

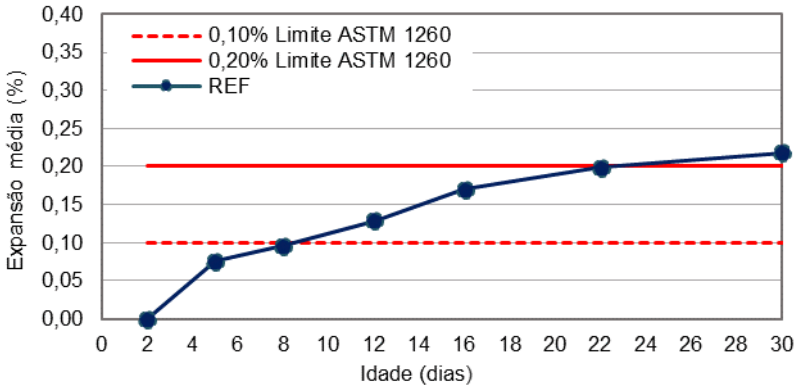

Figura 3 – Expansão média X Idade – Agregado

Através da análise do gráfico, pode-se verificar que o agregado, ao longo do tempo apresentou um crescimento linear, atingindo aos 16 dias, expansão de 0,17%, permanecendo entre os limites estabelecidos pela ASTM C-1260 (2014), 0,10% e 0,20%, que o classifica como potencialmente reativo. No entanto, devido ao provável potencial reativo do agregado verificado na análise petrográfica e no ensaio de DRX, o ensaio foi prosseguido até a idade de 30 dias. Nesta idade, o agregado apresentou expansão de 0,22%, evidenciando a sua reatividade, porém, não apresentou fissuras ou exsudação de gel. Tendo em vista as informações mineralógicas do agregado, obtidas através da análise petrográfica e do ensaio de DRX, e os resultados de expansão verificados neste ensaio, pode-se afirmar que o agregado possui potencial reativo.

3.6 Avaliação da eficiência da CCA na mitigação da RAA

O gráfico da Figura 4 se refere às expansões médias obtidas das três amostras ensaiadas, com substituição de 10% e 20% de cimento por CCA, ao longo de 28 dias de submersão em solução de NaOH.

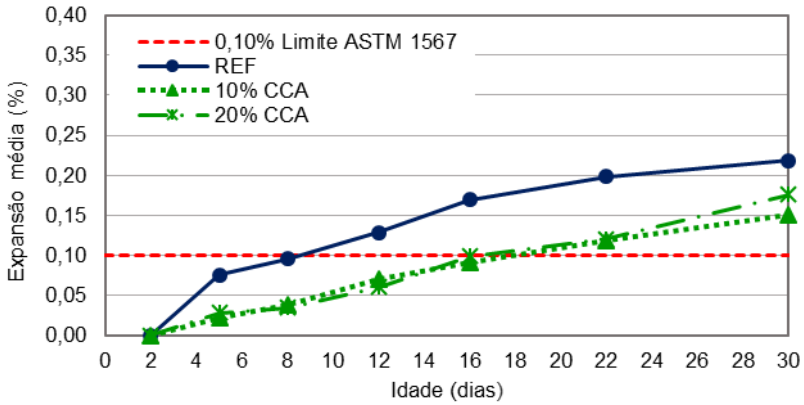

Figura 4 – Expansão média X Idade – CCA

Pode-se verificar que os teores de 10% e 20% de substituição de cimento por CCA apresentaram, aos 16 dias, expansões de 0,09% e 0,10%, respectivamente. Os valores encontrados estão dentro do limite de expansão permitido pela ASTM C-1567 (2013). No entanto, observa-se uma mesma tendência de comportamento no crescimento das expansões das amostras contendo CCA durante toda a execução do ensaio e ao final dele, a amostra com 10% de CCA atingiu a expansão de 0,15%, enquanto que, a amostra com 20% CCA, 0,18%. Nota-se ainda, que embora tenha havido um crescimento das expansões, todas as amostras contendo CCA, apresentaram expansões reduzidas se comparadas à de referência.

Apesar das expansões não terem apresentado valores muito expressivos, todas as barras de argamassa ensaiadas, principalmente aquelas com teor de substituição de 20%, apresentaram microfissuras em suas superfícies, como pode ser verificado nas imagens da Figura 5.



Figura 5 – Aspecto dos corpos de prova contendo CCA, após o ensaio acelerado.

A CCA, apresentou partículas com dimensões bastante reduzidas, como pode ser verificado no ensaio de granulometria a laser. A finura é a principal característica desta CCA, pois confere a ela elevado índice de atividade pozolânica, proporcionando o refinamento dos poros da estrutura. Assim, poder-se-ia atribuir às características físicas da CCA, contribuições significativas na redução das expansões, embora não tenha apresentado área superficial muito elevada.

No entanto, através dos resultados verificados no ensaio de RAA, pode-se afirmar que a redução das expansões não se restringe somente ao fato dos materiais serem pozolânicos, pois, nesta pesquisa, as amostras contendo CCA apresentaram excelente atividade pozolânica (131%) e não mantiveram as expansões abaixo do limite da norma, em idades posteriores à idade limite. Acredita-se, por ter havido fissuração das barras de argamassa, que uma fonte contínua de álcalis pode ter se formado, tornando a CCA não eficaz, neste caso. Assim, há dúvidas quanto ao benefício da dimensão das partículas na redução da RAA, uma vez que, o refinamento dos poros, neste caso da CCA, pode não ter permitido a acomodação do gel formado, nos poros da argamassa, fazendo com que a mesma, apresentasse diversas fissuras em sua superfície.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.7 Absorção de água por capilaridade

Neste item, são apresentados os resultados da absorção de água dos corpos de prova antes do ensaio acelerado (Antes), ou seja, não estiveram expostas à solução e os corpos de prova após o ensaio acelerado (Depois), que permaneceram 28 dias imersos em solução de NaOH. Os gráficos apresentam a absorção capilar em função do tempo e a porosidade total, e os valores se referem à média dos três corpos de prova testados.

O método para o ensaio de absorção de água propõe a apresentação dos resultados em um gráfico que relaciona massa absorvida por área com a raiz quadrada do tempo em horas. Geralmente, nestes gráficos, é possível observar dois comportamentos distintos, ou seja, na primeira fase de execução (até mais ou menos 6 horas), os dados representados referem-se à fase de sucção capilar do material. Já o segundo conjunto, refere-se a uma fase de saturação com tendência à estabilização. Assim, estes dados são divididos em dois segmentos e para cada segmento é realizada uma progressão linear, ajustando-se uma linha de tendência. No entanto, em 96 horas de ensaio, não houve saturação dos corpos de prova, porém a absorção capilar foi menos intensa nos períodos posteriores às 24 horas.

Os gráficos da Figura 6 referem-se à absroção e à porosidade total das amostras sem subsituição (REF).

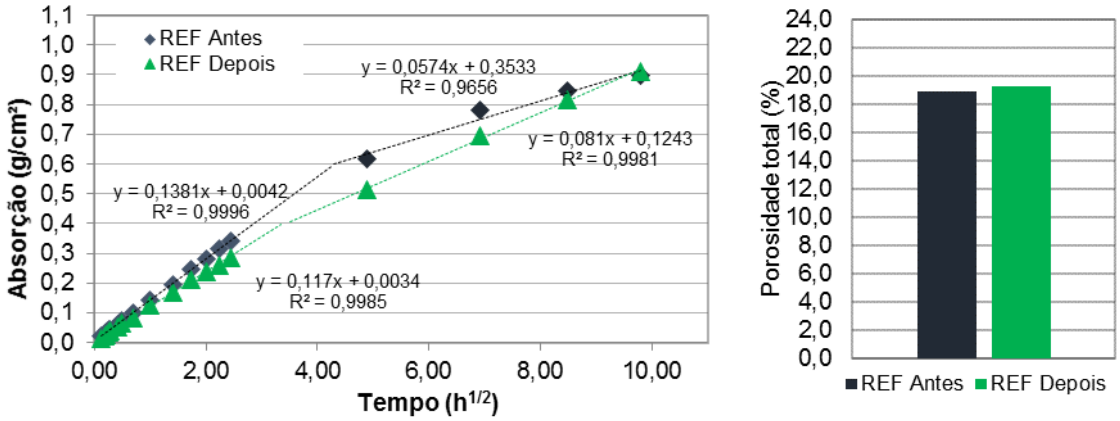

Figura 6 - Absorção de água por capilaridade X Tempo e Porosidade Total- REF

É possível afirmar que, mesmo não havendo diferença tecnicamente significativa na absorção total entre as amostras de referência "antes" e "depois", ocorreu uma mudança na estrutura de poros após a execução do ensaio de RAA. Este fato fica evidenciado pela mudança da inclinação da reta na fase de sucção capilar (até 6 horas), e pela diferença do teor de água absorvida até 6 horas, que foi de 3,40% e 2,95%, respectivamente, para a média dos resultados das amostras em condições prévias ao ensaio e as amostras obtidas após o ensaio. Esta diferença, representa uma redução de aproximadamente 13% na porosidade capilar. Pode-se supor que esta mudança se deva à uma acomodação de produtos da RAA, ou então, à algum efeito secundário de hidratação, proporcionado pela exposição à solução.

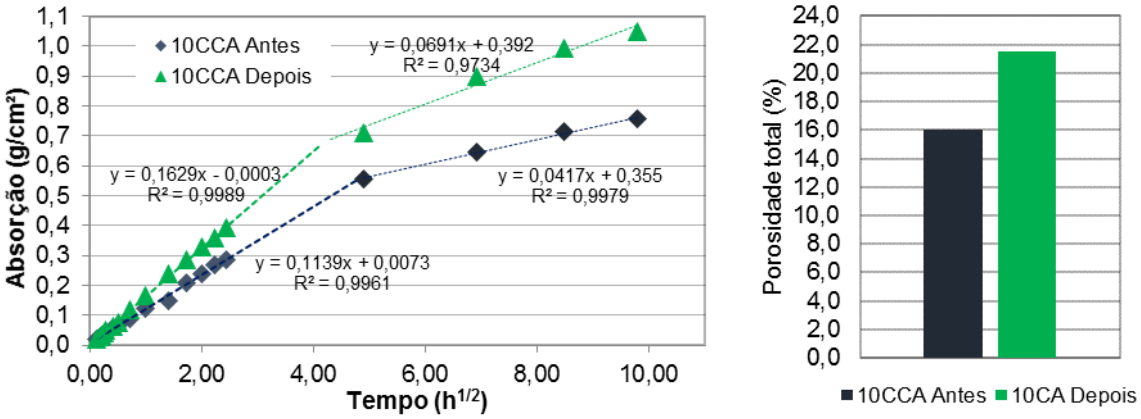

Figura 7 - Absorção de água por capilaridade X Tempo e Porosidade Total- 10% CCA

Como mostram os gráficos da Figura 7 , as argamassas com 10% de CCA "depois" da RAA, absorveram mais água em relação aos corpos de prova "antes" da RAA e portanto, apresentam mais poros. A taxa de absorção média das

argamassas “depois” do ensaio acelerado, apresentou crescimento de cerca de 22% em relação às argamassas “antes”. Assim, pode-se dizer que, as expansões ocorridas nos corpos de prova durante o ensaio acelerado, aumentaram a propriedade de absorção de água por capilaridade. Isso, porque, as expansões, no caso da CCA, provavelmente provocaram microfissuras internamente e externamente aos corpos de prova, contribuindo, além do aumento da absorção de água, para o aumento da porosidade. A porosidade total, passou de 16,04%, inicialmente, para 21,49% após o ensaio acelerado, representando um aumento de 25% na porosidade total das argamassas após o ensaio acelerado.

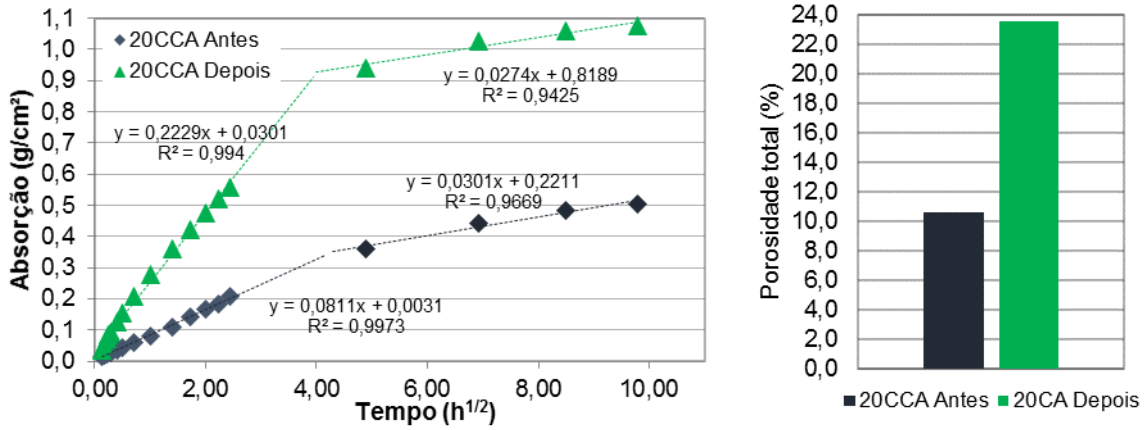

Figura 8 - Absorção de água por capilaridade X Tempo e Porosidade Total- 20% CCA

Pode-se observar, no gráfico da Figura 8, um aumento significativo na propriedade de absorção de água dos corpos de prova “antes” e “depois” do ensaio acelerado. Verifica-se, na amostra “20CCA Depois”, logo nos primeiros tempos, uma linha de tendência com maior ângulo de inclinação, indicando a rápida absorção inicial, o que não ocorre na amostra “20CCA Antes”. As amostras contendo 20% de CCA, dentre todas as misturas analisadas, foram as que apresentaram a menor e maior taxa de absorção, bem como a menor e a maior porosidade total. Antes do ensaio acelerado, as amostras apresentaram taxa de absorção média de 0,81 mm/h$^{1/2}$ e absorção total de 10,63%, enquanto que, as amostras após o ensaio, apresentaram taxa de absorção de 2,23 mm/h$^{1/2}$ e porosidade total de 23,59%.

A grande diferença (0,57 g/cm²) entre a absorção de água observada nas amostras “antes” e “depois” do ensaio acelerado, possivelmente está relacionada às expansões verificadas durante o ensaio de RAA. As barras de argamassa contendo CCA, apresentaram grande intensidade de fissuras no decorrer das suas superfícies e isso leva a crer, que, possam existir também, inúmeras microfissuras internas aos corpos de prova. O aparecimento destas fissuras, pode estar associado ao refinamento dos poros, visto que, as argamassas com 20% CCA antes do ensaio, apresentaram o menor valor de porosidade total, impossibilitando assim, a acomodação dos possíveis produtos formados da RAA.

Observa-se que as expansões ocasionadas durante o ensaio acelerado, contribuíram de maneira muito significativa para o aumento da porosidade, potencializando a capacidade de absorção capilar.

4. CONCLUSÃO

A análise petrográfica classificou o agregado utilizado como um dacito e indicou a presença de porções vítreas, microfenocristais e constituintes mineralógicos potencialmente reativos, tais como, o quartzo, alguns feldspatos, resíduos vítreos. O ensaio de DRX permitiu verificar que houve coerência entre os minerais encontrados em ambos os ensaios. Assim, foi possível concluir através do ensaio pelo método acelerado das barras de argamassa, que o agregado possui potencial reativo, pois, aos 30 dias, apresentou expansão de 0,22%, ultrapassando o limite de 0,20% prescrito pela ASTM C-1260 (2014).

A utilização da CCA na mitigação da RAA mostrou-se eficaz perante às exigências da ASTM C-1567 (2013), pois todos os teores de subsituição apresentaram expansões dentro do limite de 0,10%, permitido pela norma, na idade de 16 dias. No entanto, ambos apresentaram expansões superiores à 0,10%, já aos 22 dias de ensaio, inclusive diversas fissuras em suas superfícies, comprometendo seu desempenho.

Pode-se concluir também, que, as argamassas com CCA possivelmente tenham sofrido alterações significativas na sua microestrutura após o ensaio acelerado, pois, conforme visto, apresentaram diferenças expressivas de capacidade de absorção antes e após o ensaio de RAA, principalmente o teor de substituição de 20%. As amostras contendo 20% CCA, apresentaram ainda, porosidade total cerca de duas vezes superior após o ensaio acelerado. Assim, pode-se

afirmar que este aumento da porosidade está relacionado às fissuras observadas nas barras de argamassa com CCA, possivelmente ocasionadas pelos produtos da RAA, que não tiveram espaço para se acomodar na parte interna da argamassa, em função do refinamento dos poros.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ.

6. REFERÊNCIAS

[1] GLASSER, F. P. Chemistry of the alkali-aggregate reaction. In: SWAMY, R. N. (Ed.). **The alkali-silica in concrete. Glasgow:** Blackie and Son, 1992. P. 30-52

[2] XU, George J. Zhang.; WATT, Daniel F.; HUDEC, Peter Paul. Effectiveness of mineral admixture in reducing ASR expansion. **Cement and Concrete Research,** v. 25, n.6, p. 1225-1236, 1995.

[3] BEKTAS, Fatih; TURANLI, Lutfullah; WANG, Kejin; CEYLAN, Halil. Comparative Performance of Ground Clay Brick in Mitigation of Alkali–Silica Reaction. **Journal Of Materials In Civil Engineering,** v. 19, p. 1070-1078, 2007.

[4] DAL MOLIN. Denise. Técnicas Experimentais para o Estudo da Microestrutura. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 408-409.

[5] ZERBINO, R; GIACCIO, G; BATIC, O. R.; ISAIA, G. C. Alkali–silica reaction in mortars and concretes incorporating natural rice husk ash. **Construction and Building Materials,** v. 36, p 796-806, 2012.

[6] HASPARYK, Nicole Pagan. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado - efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa**. 1999. 257 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado em Engenhrais Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

[7] SILVEIRA, Adriana Augustin. **Contribuição ao estudo do efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos submetidos à reação álcali-agregado**. 2007. 226p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.