



## ESTUDO DA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA ENTRE CIMENTO COM ADIÇÕES E CINZA DA CASCA DO ARROZ NATURAL, PELO MÉTODO ACELERADO EM ARGAMASSAS

**Guilherme Höehr (1); Geraldo Isaia (2); Antônio Gastaldini (2); Tatiana Cervo (3);  
Raúl Zerbino (4); Fabrício Bolson (5); Pedro Borges (5); Andrigo Zanella (5)**

(1) Mestrando – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil – e-mail: guihoechr@hotmail.com

(2) Professor Doutor – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil – e-mail: gisaia@terra.com.br, gastaldini@terra.com.br

(3) Professor Doutor – Departamento de Transportes – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil – e-mail: gastaldini@terra.com.br

(4) Professor Doutor – LEMIT/UNLP, Argentina – e-mail:

(5) Iniciação científica – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil – e-mail:  
fabricio.engcivil@hotmail.com, pedro\_juniorsm@hotmail.com, digao\_zanella@hotmail.com

### **RESUMO.**

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica do uso da cinza de casca de arroz (CCA) natural, queimada sem controle de temperatura, sem pré-moagem e sem peneiramento, para dar destino mais nobre para esse material que antes era considerado um resíduo poluente. O emprego de CCA natural em substituição ao clínquer é uma medida para solucionar as questões ambientais, que visa contribuir para o aumento da sustentabilidade da construção. Entretanto, algumas CCA's naturais, apresentam efeito expansivo devido à reação entre a sílica sob a forma microcristalina e os álcalis do cimento. O uso de cimentos com adições minerais tem sido a solução para mitigar a expansão gerada pela reação álcali-agregado ou álcali-sílica (RAS). O presente estudo apresenta os resultados de investigação realizada sobre neutralização das RAS da CCA natural, pelo emprego de cimentos com adições minerais, assim como a substituição adicional de parte do cimento CPIIZ por cinza volante. Foi empregado o método de expansão acelerada em argamassa, segundo a NBR 15577, com emprego de 4 teores distintos (entre 10 e 40%) de cinza volante com CCA natural, além do emprego de cimento pozolânicos tipo CPIIZ e CPIV, e cimento composto de escória CPIII. Dentre as misturas de referência, apenas a com adição de CCA natural ultrapassou o limite de expansão. O cimento CPIIZ com adição a partir de 20% de cinza volante se mostrou mitigador da RAS e seu efeito aumentou proporcionalmente com a adição de cinza volante. O cimento CPIV mostrou excelência em mitigar a reação expansiva. Conclui-se que a CCA natural gerou expansão nas barras de argamassa, mas seu efeito expansivo foi mitigado pelo uso de cimentos, pozolânico CPIV e/ou uso adicional de cinza volante juntamente com o cimento CPIIZ.

Palavras-chave: cinza da casca do arroz natural, cinza de casca de arroz moída, reação álcali-sílica, cimentos com adições minerais, cinza volante.

## 1 INTRODUÇÃO

Em tempos de consciência ambiental é cada vez mais visível a preocupação com o planeta em que vivemos. O uso parasita da Terra e de seus recursos naturais nos trouxe riquezas e desenvolvimento, porém as respostas por nossa irresponsabilidade no passado já estão sendo sentidas no presente. O aquecimento global, as mudanças climáticas, tsunamis, enchentes dos rios, etc., são fenômenos que tem ocorrido seguidamente e de forma intensa. Um dos responsáveis pelo consumo de recursos naturais extraídos do meio ambiente é a construção civil. Além disso, a construção civil é certamente um dos maiores poluentes de toda a sociedade.

Devido à crescente necessidade mundial em reduzir as cargas poluentes e a retirada de matéria-prima do ambiente, tem-se pesquisado em vários campos da construção civil formas de se manter o crescimento, porém diminuindo o custo ambiental.

O concreto é considerado um dos materiais mais utilizados no mundo, e em função de sua vasta aplicação, este tem sido alvo de pesquisas cada vez mais avançadas com o objetivo de se obter um melhor desempenho e durabilidade de suas estruturas.

Grande parte destas pesquisas sobre o concreto é realizada no cimento, que é o seu principal constituinte. O cimento é uma das maiores indústrias, produz-se muito e tem capacidade para absorver enorme quantidade de resíduo. A sociedade vai continuar consumindo grandes quantidades de cimento, em obras de infra-estrutura e renovação. Para utilizá-lo de forma eficiente, é preciso controlar e reduzir o consumo de clínquer diminuindo assim, a emissão de carbono.

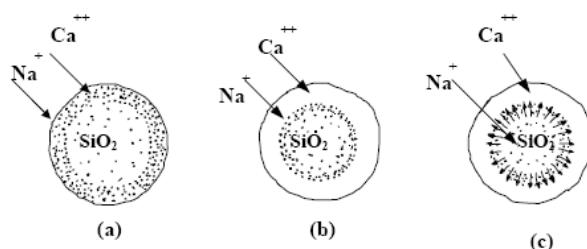
A utilização da cinza de casca de arroz (CCA), especialmente a obtida com queima controlada, assim como as demais adições minerais (como cinza volante, sílica ativa, escória de alto forno, etc.) é um tema que vem se desenvolvendo rapidamente nos últimos anos, porque este é o repositório ideal para abrigar tais subprodutos industriais e agroindustriais com segurança, economia e ganhos ambientais. Cerca de 50 a 70% da massa de clínquer presente no cimento Portland pode ser substituída por diversos materiais complementares (MEHTA, 2008). Entre os exemplos estão às cinzas volantes, pozolânicas naturais e CCA. Os especialistas propõem que pelo menos dois desses materiais sejam utilizados de forma complementar ao clínquer. Essa é uma das propostas sustentáveis e ecológicas.

Outro tipo de adição mineral é a CCA natural que é obtida da combustão realizada nos engenhos beneficiadores que usam a casca do cereal para secagem e parboilização do arroz. Essa CCA natural é queimada em caldeiras sem controle de temperatura, produzindo cinza residual produto rico em sílica (teor maior que 90%), normalmente em forma cristalina e não amorfa (CHANDRASEKHAR *et al.*, 2002). Por isso, adicionar a CCA natural ao concreto em substituição parcial ao cimento é uma forma nobre de destino para esse material que antes seria considerado um resíduo poluente se descartada no meio ambiente.

### 1.1.1 REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA (RAS)

Este tipo de reação expansiva é a mais conhecida e a que ocorre mais rapidamente (KIHARA, 1993). O maior número de casos registrados no mundo envolve este tipo de reação.

De acordo com Plum, Paulsen e Idorn (*apud* PAULON, 1981), a figura 1 mostra o mecanismo de reação álcali-sílica (RAS).

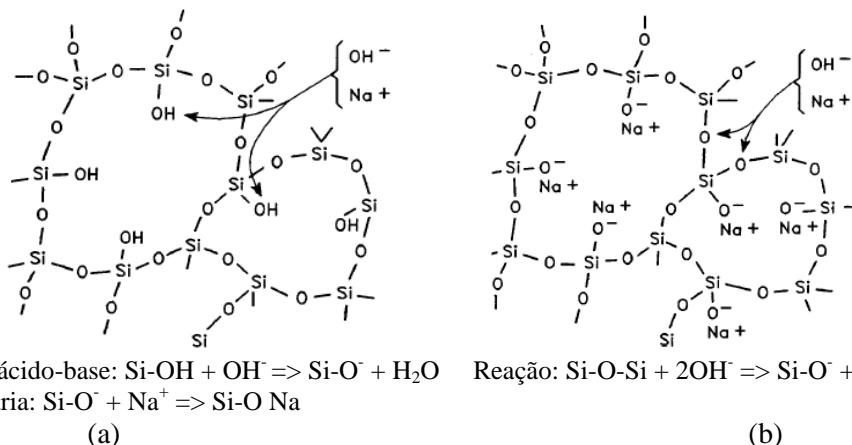


**Figura 1** - Partícula de sílica reativa envolta com pasta de cimento (Fonte: PAULON, 1981)

Inicialmente, na figura 1a nota-se a partícula de sílica reativa circundada por íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  contidos na pasta de cimento em solução básica. Devido à alta concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na pasta, forma-se, segundo a figura 1b, uma fina camada de um gel de cal-álcali-sílica de caráter não expansivo ao redor da sílica. Essa fase é inócuia.

Na fase seguinte, figura 1c, os íons de cálcio e sódio penetram na membrana semipermeável, onde reagirão com a sílica. Esta reação será inócuia se a concentração de cálcio for alta o suficiente para assegurar a contínua formação do gel não-expansivo, uma vez que há o consumo de álcalis durante a reação, havendo uma redução na concentração alcalina. Porém, se a concentração de cálcio não for suficiente, os álcalis reagirão formando um gel de álcali-sílica, que em presença de água, se expandirá e ocasionará fissuras quando as forças de expansão do gel forem superiores à resistência à tração da pasta de cimento. Estas expansões cessarão somente quando os álcalis ou a sílica reativa forem consumidos.

Outro mecanismo bastante aceito para a RAS, segundo Glasser e Kataoka (1981a, b) e outras publicações (BULLETIN, 1991; TURRUZIANI, 1986; HELMUTH; STARK, 1992; CAPRA et al., 1995; FURNAS, 1997) é de que inicialmente ocorre a reação ácido-base, quando os íons hidroxilas  $\text{OH}^-$  atacam as ligações do grupo silanol  $\text{SiOH}$ , neutralizando-as. Em seguida ocorre a associação do cátion ( $\text{Na}^+$ ) à estrutura, balanceando assim a carga negativa dos átomos de oxigênio, formando o gel sílico-ácalino. Este mecanismo pode ser observado na figura 2a. Um segundo estágio da reação ocorre através do ataque do grupo siloxano pelos íons hidroxilas em excesso levando à desintegração de sua estrutura, ficando em solução os monômeros de silicatos ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ), permitindo a adsorção de água e dos íons alcalinos. A figura 2b apresenta esta reação.



**Figura 2 - Neutralização das ligações do grupo silanol pelas hidroxilas (a) Ruptura das ligações do grupo siloxano pelas hidroxilas (b) (Fonte: TURRUZIANI, 1986)**

Os resultados desta reação são: expansão, fissuração, exsudação de gel e deterioração da estrutura de concreto (BULLETIN, 1991).

## 2 OBJETIVO

Uma vez que a RAS ocorre entre a sílica amorfã da CCA natural e os álcalis dos materiais cimentícios é preciso que essas reações expansivas sejam neutralizadas. Por isso, encontrar os materiais capazes de combater de maneira eficiente à expansão nas barras de argamassa é o objetivo inicial dos ensaios feitos em laboratórios.

Esta pesquisa tem por objetivo estudar a viabilidade técnica do uso da CCA natural, queimada sem controle de temperatura e sem beneficiamento, ou seja, sem pré-moagem e sem peneiramento, na produção de concreto estrutural e produtos estruturais pré-moldados de concreto. Em estudo anterior foi constatada a RAS entre a CCA natural e os álcalis do cimento, razão pela qual foi planejada a presente investigação, com o objetivo de utilizar esta cinza em seu estado natural em concretos estruturais e cimentos nacionais.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados no protocolo experimental foram:

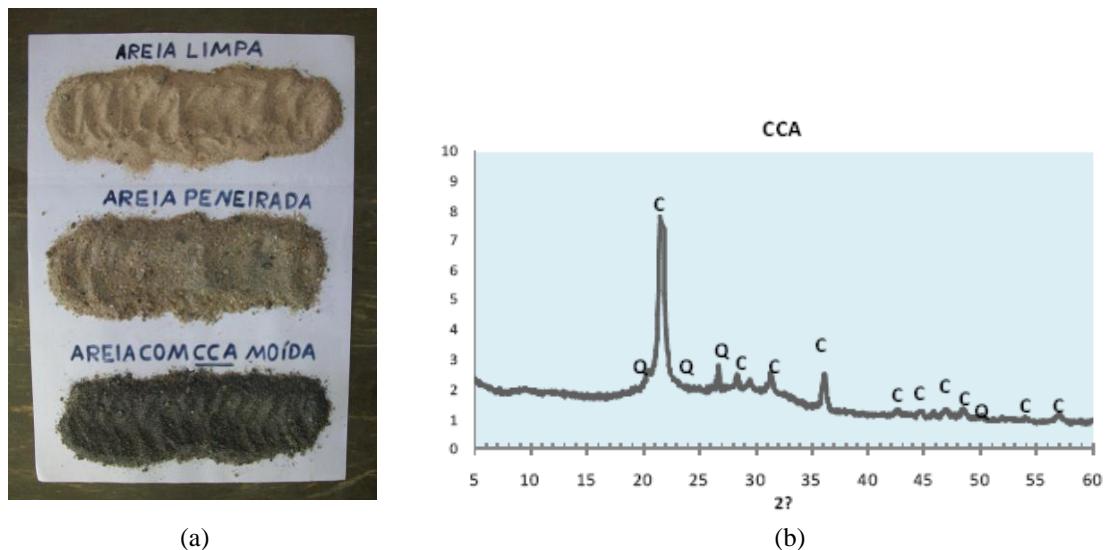
- a) agregado: areia normal brasileira segundo NBR 7214 (1982) procedente do IPT São Paulo (SP);
- b) aglomerantes: cimento-padrão segundo ABNT NBR 5732/5733 (1991), ABNT NBR NM 76 (1980), ABNT NBR NM 17 (2004) e ASTM C 151 (1997), CPII-Z-32 (Votorantim, Brasil), CPIII (CSN, Brasil) e CPIV (Cimpor, Brasil);
- c) adição mineral: cinza volante (CV);
- d) aditivo tipo superplastificante: Power flow 1059 (MC-Bauchemie).

A cinza de CCA natural foi obtida através de uma pré-moagem feita diretamente na betoneira por 15 minutos com os agregados que fariam parte do traço em concreto. O processo de simulação do traço em concreto para obter essa CCA natural é descrito abaixo. Nessa simulação a quantidade de CCA adicionada na betoneira equivale aos 15% de substituição ao cimento:

Primeiro: as britas 0 e 1 foram colocadas (partes iguais) junto com a CCA na betoneira. A CCA foi moída por 5 min.

Segundo: as areias fina e média (partes iguais), previamente peneiradas numa malha 0,149 mm (Tyler 100), foram adicionadas à CCA e às britas na betoneira. Neste segundo processo, a CCA foi moída por mais 10 min.

Terceiro: Após o término do tempo total de 15 min esses materiais foram retirados da betoneira. Eles foram peneirados para se obter somente uma CCA passante na peneira malha 0,074mm (Tyler 200). As areias que passaram por esse processo estão mostradas na figura 3a. A figura 3b apresenta o difratograma de uma CCA tipicamente amorfa, porém com alguns picos cristalinos de Quartzo (Q) e de Cristobalita (C) em destaque, resultado de uma queima não controlada da casca de arroz.



**Figura 3** - Areia limpa, areia após peneiramento e areia com CCA, respectivamente (a) Difração de Raios-X da CCA, fonte: (Laboratório de Física – UFSM, 2006) (b).

Além disso, foi utilizada nos ensaios, para efeito de comparação, a cinza de CCA moída que foi obtida através da moagem por uma hora de CCA em um moinho de bolas de aço.

As propriedades químicas e físicas dos cimentos, cinza volante, CCA moída e CCA natural estão resumidas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** - Análise química dos cimentos e cinza volante teor (% em massa)

Composição Química	Cim. Padrão	CPIIZ	CPIII	CPIV	Cinza volante
CaO	-	50,84	54,95	34,18	2,85
SiO <sub>2</sub>	-	21,92	23,97	35,37	67,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	6,33	7,66	10,17	21,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3,27	2,13	5,17	4,44
SO <sub>3</sub>	-	2,53	1,39	2,04	0,14
MgO	-	5,70	3,10	4,30	0,87
K <sub>2</sub> O	0,87	1,17	0,43	1,67	2,05
TiO <sub>2</sub>	-	0,26	0,37	0,51	-
Na <sub>2</sub> O	0,32	0,16	0,14	0,16	0,40
SrO	-	0,10	0,19	0,06	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,09	0,07	0,10	-
MnO	-	0,10	0,34	0,14	-
PF	-	5,46	4,02	4,45	0,60
Total	-	97,93	98,76	98,32	99,72
Resíduo	-	10,42	0,53	41,80	-
insolúvel	-	2,00	2,35	1,43	-
CaO livre					

(-) não determinado; (PF) perda ao fogo

**Tabela 2** - Caracterização física dos cimentos e cinza volante teor (% em massa).

Composição Química	Cim. Padrão	CPIIZ	CPIII	CPIV	CCA natural	CCA moída	Cinza volante
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,09	2,96	2,95	2,68	1,96	2,09	1,96
Área específica (cm <sup>2</sup> /g)	4920	5240	4190	4940	4441	4501	2310
Dimensão média (μm)	-	7,70	9,30	8,18	33,19	15,54	41,32
Diâmetro abaixo do qual encontram-se 10% das partículas ( μm)	-	0,97	1,01	1,06	5,19	2,38	4,98
Diâmetro abaixo do qual encontram-se 90% das partículas ( μm)	-	27,52	26,40	25,59	80,51	54,14	261,14
Expansibilidade em autoclave	0,02%	-	-	-	-	-	-

(-) não determinado

### 3.2 Protocolo experimental

No protocolo experimental foi empregado o método de expansão acelerado em argamassa segundo a NBR 15577 (2008), Partes 4 e 5, onde foram utilizados 4 teores distintos (entre 10 e 40%) de cinza volante com CCA natural, além do emprego de cimento pozolânicos tipo CPII-Z e CPIV, e cimento composto de escória CPIII.

Os ensaios laboratoriais tiveram como objetivo investigar o mecanismo da RAS na mistura de cimento padrão com CCA natural ou moída bem como o efeito dos cimentos com adições minerais, como o CPIIZ, CPIII e CPIV, assim como a substituição adicional de parte do cimento CPIIZ por cinza volante no controle das expansões geradas nas barras de argamassas.

Os traços que foram investigados estão relacionados abaixo:

- Com 100% de cimento-padrão para teste de expansão da areia (NBR 15577-4, 2008), e com 15% de substituição de cimento por CCA natural ou moída (3 traços).
- Com 100% de CPIII para mitigação das reações de expansão (NBR 15577-5, 2008) e com substituição de 15% de cimento por CCA natural ou moída (3 traços).
- Com 100% de cimento CPII-Z para mitigação das reações de expansão (NBR 15577-5, 2008) e com substituição de 15% de cimento por CCA natural ou moída, acrescidas de substituições de 10, 20, 30 e 40% de cimento por cinza volante (15 traços).
- Com 100% de CPIV para mitigação das reações de expansão (NBR 15577-5, 2008) e com substituição de 15% de cimento por CCA natural ou moída (3 traços).

Os traços somente com cimento padrão, CPII-Z, CPIII e CPIV (0% de substituição) foram chamados de referência e serviram como controle das reações. Esses traços controle foram utilizados para verificar o efeito das adições. Primeiramente, foi investigada a possível reatividade das adições da CCA natural ou moída, somente utilizando cimento padrão normalizado. Essas investigações foram realizadas pela NBR 15577-4/5 (2008) comparando a expansão limite da NBR 15577-1 (2008) com a gerada pelas misturas e pelo cimento padrão puro.

Os corpos de prova (CP's) foram confeccionados de acordo com as prescrições da NBR 15577 – 4/5 (2008) e sua consistência obtida conforme ensaio normalizado NBR 7215 (1982). Este método tem por objetivo investigar a RAS por meio do estudo da variação de comprimento de barras de argamassa estocadas em recipientes hermeticamente fechados. O ensaio torna-se acelerado quando após 24 horas de imersão em água a 80°C, as barras são imersas em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1N a uma temperatura de 80°C por 16 dias. Entretanto, o ensaio foi realizado até 30 dias. Os valores que foram utilizados para a validação do ensaio estão representados abaixo para o traço com cimento-padrão:

- Expansões inferiores a 0,19% aos 30 dias indicam que a CCA natural ou moída pode ser considerada potencialmente inócuas para o uso em concreto, se superiores pode ser considerada reativa. Para a avaliação da eficiência dos materiais inibidores da RAS os valores que foram utilizados para a validação do ensaio estão representados abaixo para os demais traços:
- Expansões inferiores a 0,10% aos 16 dias indicam a mitigação da RAS, se superiores são necessários novos ensaios com novas misturas.

Três CP's foram moldados para cada um dos 24 traços num total de 72 corpos de prova.

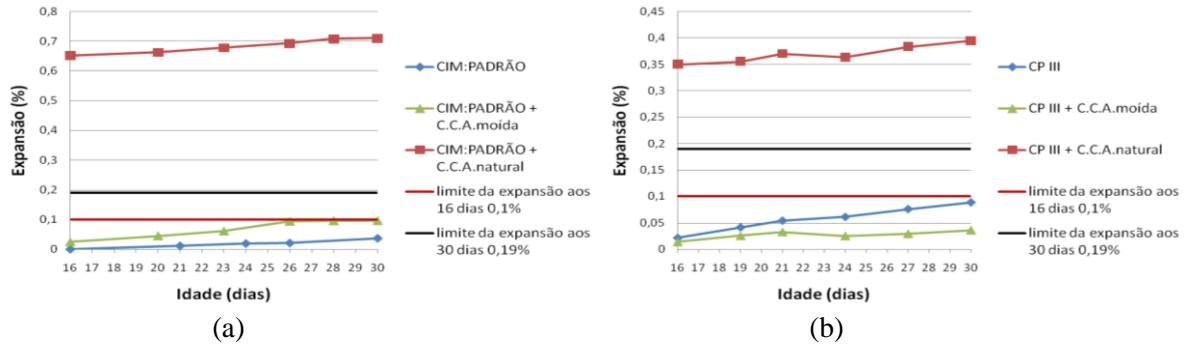
## **4 ANÁLISE DE RESULTADOS**

### **4.1 Cimento padrão e CPIII**

O ensaio segundo a NBR 15577-4 (2008) envolvendo cimento padrão e os 15% de CCA moída ou natural em substituição parcial ao cimento foi realizado para verificar e comparar o potencial reativo dessas misturas. Os resultados obtidos com o cimento padrão estão representados no gráfico 1a. Como já era previsto o traço com cimento padrão sem adição ficou longe de atingir o limite de expansão exigido pela NBR15577-1, pois o agregado utilizado foi areia normal brasileira. A mistura com CCA moída apresentou uma expansão um pouco maior que o traço com cimento padrão, mas ainda assim o seu resultado foi muito inferior que o limite de norma. Esses resultados estão de acordo com Metha e Monteiro (1994) os quais demonstraram que a CCA obtida sem queima controlada quando finamente moída apresenta boa atividade pozolânica. Ao contrário, a mistura com CCA natural se mostrou extremamente reativa pelo método de expansão acelerado em barras de argamassa, o que exigiu a busca de materiais inibidores da RAS. Dessa forma, foram utilizados 4 teores distintos (entre 10 e 40%) de cinza volante com CCA natural, além do emprego de cimento pozolânicos tipo CPII-Z e CPIV, e cimento composto de escória CPIII.

No presente estudo, a mistura de CPIII com CCA natural diminuiu a expansão nas barras de argamassa, em comparação as com cimento padrão. No entanto a redução da expansão não foi suficiente para passar pelo limite de norma. Outro resultado interessante foi que as barras da mistura de CPIII com CCA moída apresentaram menor expansão quando comparadas com o traço de referência com CPIII puro. Na composição do CPIII, que segue as normas brasileiras, a CSN utiliza

70% da escória que é produzida pelos altos-fornos da própria Usina em Volta Redonda. Os resultados obtidos estão representados no gráfico 1b.

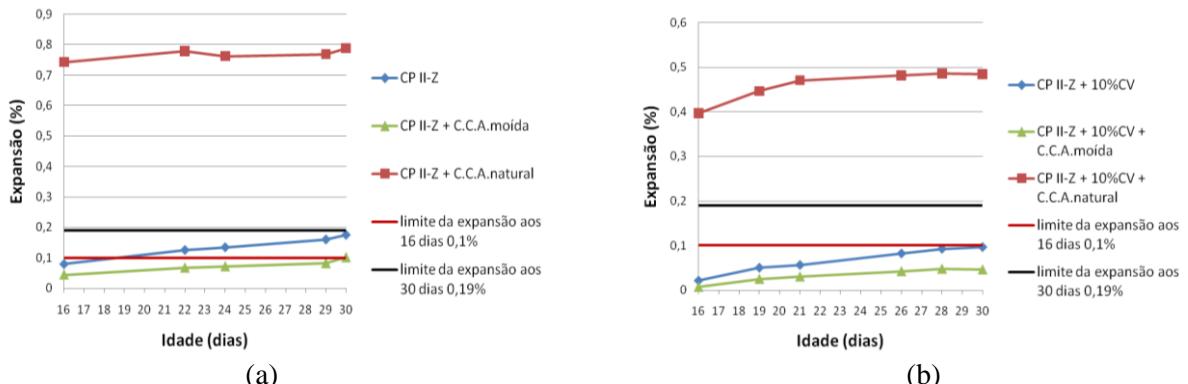


**Gráfico 1** - Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado ABNT NBR 15577-4/5 utilizando cimento padrão (a) e com CPIII (b)

Segundo Stark (1994), a hidratação da escória pode reduzir a taxa de difusão dos álcalis até os minerais reativos presentes no agregado utilizado, produzindo um gel menos expansivo, ou um gel não expansivo. Estudos realizados por Hobbs (1982) demonstraram que a escória é mais eficiente do que a cinza volante no combate à RAS, agindo como diluidor dos álcalis. A escória é capaz de combater a RAS, entretanto, os álcalis presentes na mesma devem ser investigados e limitados na mistura para que não contribuam negativamente para a reação (HOOBS, 1988). Ensaios acelerados desenvolvidos por FURNAS (1997) também demonstraram que, no caso do basalto, 25% de escória adicionada no cimento reduzem muito pouco as expansões, mantendo-as em valores críticos. Teores acima de 50% de escória reduziram as expansões abaixo do limite prescrito pela norma. No caso do cloritaxisto e arenito reativo, foram necessários 55% de escória de alto-forno.

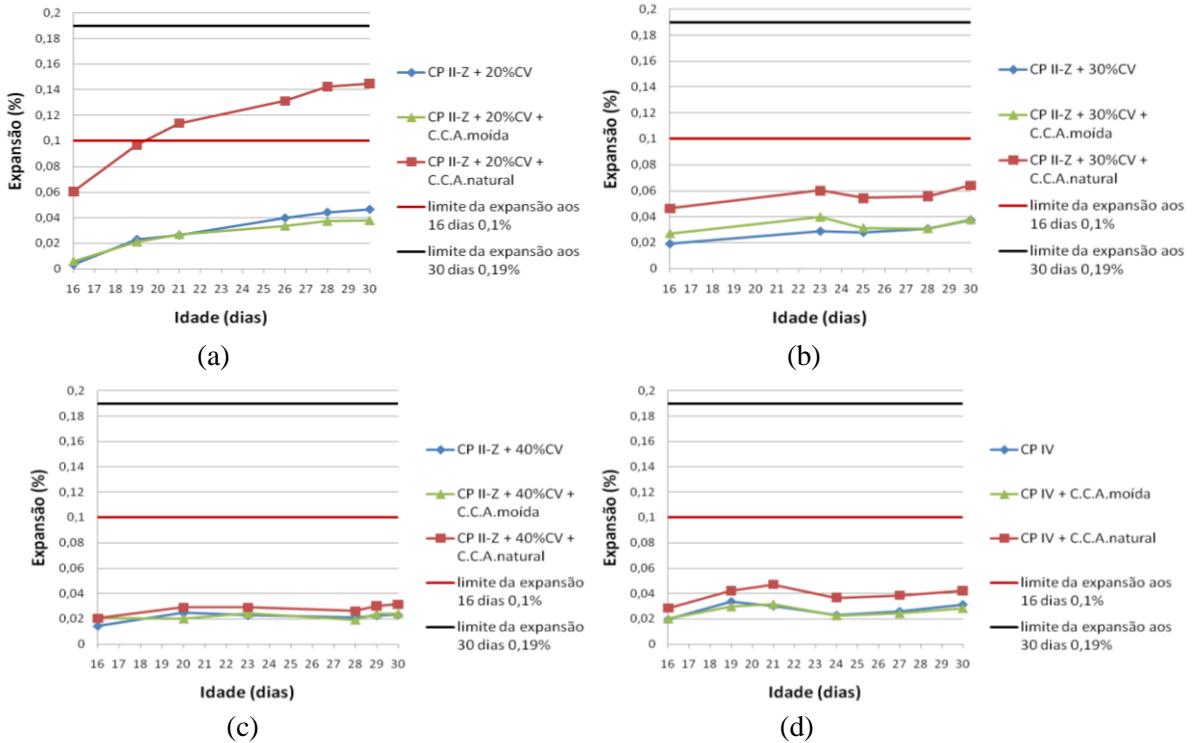
#### 4.2 CPIIZ, Cinza volante e CPIV

O cimento CPIIZ é um cimento pozolânico e esse teor pode variar de 6 a 14% na sua composição, permitindo assim a adição da cinza volante na mistura do traço para o ensaio acelerado em barras de argamassa. A cinza volante é uma pozolana utilizada como adição ao cimento que melhora suas propriedades frente ao ataque de agentes agressivos. Segundo pesquisadores que investigam a RAS gerada por agregados reativos em concretos, a utilização dessa adição, com prévio estudo de proporções, mitiga a reação deletéria. Acredita-se que a formação de gel somente ocorra na presença de íons  $\text{Ca}^{2+}$ . Isso é importante para impedir as reações expansivas álcali-sílica com a inclusão de pozolanas no concreto, que retiram o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (DIAMOND, 1989; HELMUTH, 1993). No presente estudo, as misturas de CPIIZ com CCA natural, com adição de 0 e 10% de cinza volante, diminuíram a expansão nas barras de argamassa, em comparação as com cimento padrão. No entanto, a redução da expansão não foi suficiente para passar pelo limite de norma. Esses resultados estão representados no gráfico 2.



**Gráfico 2** - Expansão em barras de argamassa pelo método acelerado ABNT NBR 15577-5 com CPII-Z sem adição de cinza volante (a) com CPII-Z e 10% de adição de cinza volante (b)

O cimento CPIIZ com CCA natural e com adição de 20, 30 e 40% de cinza volante se mostrou mitigador da RAS e seu efeito aumentou proporcionalmente com a adição de cinza volante. Os resultados obtidos estão representados no gráfico 3a, b, c. O cimento CPIV é um cimento pozolânico e esse teor pode variar de 15 a 50% em sua composição. Os resultados obtidos estão representados no gráfico 3d.



**Gráfico 3 – Expansão em barras de argamassa pelo método acelerado ABNT NBR 15577-5 com CPII-Z e 20% de adição de cinza volante (a) com CPII-Z e 30% de adição de cinza volante (b) com CPII-Z e 40% de adição de cinza volante (c) e com CPIV (d)**

A eficiência da cinza volante também foi investigada por Davies e Oberholster (1987). Os pesquisadores verificaram que 22% do material pozolânico foram suficientes para prevenir a expansão deletéria em ensaios acelerados, no caso da RAS. Soroushian e Alhozaimy (1993) estudaram dois tipos de cinza tipo F, contendo diferentes teores de álcalis e verificaram que ambos se comportaram de forma similar. Para baixos teores de álcalis no cimento (0,53%) a redução das expansões foi muito pequena na presença da cinza volante. Já para um elevado teor de álcalis no cimento, representando 1,21%, os dois tipos de cinza se comportaram de maneira eficiente no combate da reação. Os pesquisadores acreditam que apesar de uma das cinzas possuir elevado teor alcalino, a sua finura compensou o efeito benéfico proporcionada pela pozolana. Os teores ideais encontrados foram de 20 e 30% de substituição na presença de baixo e elevado teor de álcalis no cimento, respectivamente.

No caso dos agregados reativos arenito, siltito e quartzito, teores de cinza de 30, 20 e 15%, respectivamente foram suficientes para manter as expansões abaixo dos limites aceitáveis pelo método NBRI (FONTOURA; SANTOS; BITTENCOURT; PACELLI, 1990). Com isso, verifica-se que o teor ideal varia em função do tipo de agregado.

Ensaios acelerados através do método NBRI indicaram que a reatividade do arenito e quartzito foi praticamente eliminada (expansões abaixo dos limites) quando da substituição de 30% do cimento por cinza volante (FURNAS, 1997).

MONTEIRO et al. (1997) também estudaram o efeito da cinza volante na redução da reatividade causada pelo quartzito através do ensaio acelerado. Os resultados indicam que 15% de substituição não alteraram as expansões e que 25% atuam de maneira eficiente, com expansões bastante inferiores à amostra de referência, sem adição. No presente estudo, os resultados de expansão nas barras de argamassa das três misturas ficaram muito próximos e bem abaixo do limite de norma, o que mostra o

cimento CPIV como excelente mitigador da reação expansiva. Esse poder benéfico ocorre porque o cimento CPIV possui grande quantidade de pozolana em sua composição, e como foi visto anteriormente nas misturas de cimento CPIIZ com cinza volante, quanto maior o teor de cinza volante melhor foi o resultado mitigador. Os resultados do presente trabalho estão de acordo com MUNHOZ (2007). No trabalho de Munhoz o objetivo foi mitigar a expansão causada pela RAS no agregado reativo de basalto que foi combinado com quinze cimentos experimentais preparados a partir da substituição parcial do CPV-ARI por adições ativas. Os ensaios foram realizados pela norma ASTM C (1567). As barras de argamassa preparadas com os cimentos portland pozolânicos com cinza volante (CPIV) com adição de 25 e 35% de adição apresentaram expansão aos 14 dias de cura em solução alcalina de 0,04 e 0,03%, respectivamente, indicando que esses teores são adequados para mitigar a RAS do basalto.

## 5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **Standard Test Method for Determining the Potential Alkali Reactivity Combinations of Cementitious Materials and Aggregate** (Mortar-Bar Method), ASTM C 1567, Philadelphia, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 4: **Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado**, NBR 15577-4, 2008.

\_\_\_\_\_. Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 5: **Determinação da mitigação da expansão de barras de argamassa pelo método acelerado**, NBR 15577-5, 2008.

\_\_\_\_\_. Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: **Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**, NBR 15577-1, 2008.

\_\_\_\_\_. Areia normal para ensaio de cimento – Especificação, NBR 7214. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

\_\_\_\_\_. Cimento Portland comum – Especificação, NBR 5732. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. Cimento Portland de alta resistência inicial – Especificação, NBR 5732. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. Cimento Portland - Análise química - **Método de arbitragem para a determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama**, NBR NM 17. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**- Especificação: NBR NM 76. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_. **Determinação da índice de consistência da argamassa normal**, NBR 7215, 1982.

BULLETIN 79 - alkali-aggregate reaction in concrete dams – review and recommendations. Paris: CIGB/ICOLD, 1991.

CAPRA, B.; BOURNAZEL, J. P.; BOURDAROT, E. **Modeling alkali-aggregate reaction - effects in concrete dams**. In: second international conference on alkaliaggregate reactions in hydroelectric plants and dams, 1995, Chattanooga/Tennessee. *Proceedings...* Chattanooga/Tennessee: United States Committee On Large Dams (USCOLD), 1995. p.441-455.

CHANDRASEKHAR S.; PRAMADA P. N.; RAGHAVAN P. **Microsilica from rice husk as a possible substitute for condensed silica fume for high performance concrete**, Journal of Materials Science Letters, 2002. v.21, p. 1245-1247.

DAVIES G.; OBERHOLSTER R. E. **Use of the NBRI accelerated test to evaluate the effectiveness of mineral admixtures in preventing the alkali-silica reaction**, Cement and Concrete Research, 1987. Vol.17, n.1. p.97-107.

DIAMOND S. A. **Another look at mechanisms of alkali-silica reaction**. in alkali-aggregate reaction, proc 8 th, International Conference, Kyoto, 1989. p.83-94.

- FONTOURA J. T. F.; SANTOS M. C.; BITTENCOURT R. M.; PACELLI W. A. **Estudo de inibidores da reação álcali-agregado através de ensaios acelerados**, In: 32º REIBRAC – REUNIÃO ANUAL DO IBRACON (1990), Fortaleza. Anais...Fortaleza. IBRACON, 1990. p.413-423.
- FURNAS, Equipe de; Laboratório de Concreto. **Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo - Ensaios e propriedades**. São Paulo: Walton Pacelli de Andrade/PINI, 1997. cap.17.
- GLASSER, L. S.; KATAOKA, N. **The chemistry of „alkali-aggregate“ reaction**. Cement and Concrete Research, 1981a. v.11, n.1, p.1-9.
- GLASSER, L. S.; KATAOKA, N. **Some observations on the rapid chemical test for potentially reactive aggregate**. Cement and Concrete Research, 1981b. v.11, n.2, p.191-196.
- HELMUTH R. **Alkali-silica reactivity**: An Overview of Research. Strategic Highway Research Program – SHRP-C342, National Research Council, Washington/DC, 1993.
- HELMUTH, R.; STARK, D. **Alkali-silica reactivity mechanisms**. In: SKALNY, J. Materials Science of Concrete III. Westerville/Ohio, The American Ceramic Society, 1992. p.131- 208.
- HOOBS D. W. **Influence of pulverized-fuel ash and granulated blastfurnace slag upon expansion caused by the alkali-silica reaction**, Magazine of Concrete Research, 1982. v.34, n.119. p.83-94.
- \_\_\_\_\_. **Alkali-silica reaction in concrete**, Thomas Telford, London, 1988. p.183.
- KIHARA, Y & SCANDIUZZI, L. **Reação álcali-agregado: mecanismo, diagnose e casos brasileiros**. In: 3º congresso brasileiro de cimento, 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1993, v.1, p. 319-338.
- MEHTA P. K. **Concreto Sustentável** (editora, Pini, Revista Téchne, 139). São Paulo, Brasil, Outubro de, 2008.
- MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- MONTEIRO P. J. M.; WANG K.; SPOSITO G.; SANTOS M. C.; ANDRADE W. P. **Influence of mineral admixtures on the alkali-aggregate reaction**, Cement and Concrete Research, 1997. v.27, n.12. p.1899-1909.
- MUNHOZ F. A. C. **Efeito de Adições Ativas na Mitigação das Reações Álcali-Sílica e Álcali-silicato**, dissertação de Mestrado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2007.
- PAULON, V. A. **Reações álcali-agregado em concreto**. São Paulo, 1981. 114p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.
- SOROUSHIAN P.; ALHOZAIMY A. **Effects of class F fly-ash on alkali-silica reaction**, In: Durability of Bulding Materials and Components 6, Edited by S. Nagataki, T. Nireki and F. Tomosawa , 1993. p.344-352.
- STARK D. **Alkali-silica reaction**. In: Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, P. Klieger and J. F. Lamond (ASTM/STP 169C). Philadelphia, ASTM, 1994. p.372-387.
- TURRIZIANI, R. **Internal degradation of concrete: alkali-aggregate reaction, reinforcement steel corrosion**. In: 8th international congress on the chemistry of cement, 1986, Rio de Janeiro, Proceedings...Rio de Janeiro, 1986. v.1, p.388-442.