

# ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DO PÓ DE ACIARIA NAS PROPRIEDADES MICROESTRUTURAIS DE MATRIZES À BASE DE CINZAS VOLANTES ÁLCALI-ATIVADAS<sup>1</sup>

Alexandre Silva de Vargas<sup>2</sup>  
Bruno Barreto Pavão<sup>3</sup>  
Ângela Boreges Masuero<sup>4</sup>  
Denise Carpena Coitinho Dal Molin<sup>4</sup>  
Antonio Cezar Faria Vilela<sup>5</sup>

## Resumo

A busca de materiais alternativos para a construção civil, de menor impacto ambiental, tem sido o objetivo de diversos trabalhos. Os cimentos álcali-ativados têm mostrado potencial para o reaproveitamento de resíduos, além de poderem ser utilizados na tecnologia de solidificação/estabilização. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo principal avaliar o efeito da adição pó de aciaria (PA) nas propriedades microestruturais de matrizes à base de cinzas volantes álcali-ativadas. Três teores de PA foram estudados: 0, 5, 15 e 25%. A cura foi realizada à 70°C/24 h, e após, mantidas à temperatura ambiente até as idades de análises - 1, 28 e 180 dias, com auxílio de DRX e IV. Nos espectros de DRX foi identificado que compostos de albita e natrão diminuem a intensidade dos seus picos na medida em que ocorre aumento dos teores de PA. Quanto às análises de IV, foi observado que a banda característica da CV 1084 cm<sup>-1</sup> foi deslocada para bandas próximas a 1000 cm<sup>-1</sup>, o que demonstra que o resíduo não interferiu nas reações de polimerização das partículas de CV e na formação de gel aluminossilicatos. Portanto, sob o aspecto microestrutural, não foram identificadas mudanças importantes que comprometessem o uso deste resíduo em matrizes álcali-ativadas.

**Palavras-chave:** Cinza volante; Pó de aciaria; Álcali-ativação.

## EFFECT OF ADDITION OF ARC FURNACE DUST IN THE MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF FLY ASH ALKALI-ACTIVATED

### Abstract

The search for alternative materials for construction, with less environmental impact, has been the subject of several studies. The alkali-activated cements have shown potential for the reuse of waste, and can be used in the technology of solidification/stabilization. Thus, this study aims to evaluate the main effect of adding arc furnace dust (AFD) in the microstructural properties of matrices based on fly ash alkali-activated. Three levels of AFD were studied: 0, 5, 15 and 25%. The curing was set at 70°C/24 h, and after, kept at room temperature until the age of analysis - 1, 28 and 180 days, with XRD and FTIR analysis. In the XRD spectres it was found that compounds of albita and natron decrease the intensity of their peaks in that there is an increase in the levels of AFD. Concerning to the FTIR, we observed that the band characteristic of the fly ash (FA) 1084 cm<sup>-1</sup> was shifted to bands near 1000 cm<sup>-1</sup>, which shows that the residue does not interfere in the polymerization and aluminosilicate gel formation. Therefore, under the microstructural aspect, there were no major changes that would impair the use of this residue in alkali-activated matrices.

**Key words:** Fly ash; Arc furnace dust; Alkali-activation.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup> *Prof Dr., Centro de Estudos Superiores Feevale, Brasil*

<sup>3</sup> *Engenheiro Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil*

<sup>4</sup> *Prof. Dra., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil*

<sup>5</sup> *Prof Dr., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil*



## 1 INTRODUÇÃO

Os cimentos álcali-ativados são cimentos alternativos, com boas possibilidades de utilização mais ampla na construção civil, com propriedades eco-eficientes e possibilidades de uso de diferentes tipos de subprodutos e resíduos de outras indústrias como fonte de matéria-prima, alguns deles já utilizados como adição ao cimento Portland.<sup>(1,2)</sup> Estes ligantes são produzidos pela mistura de materiais amorfos ricos em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em um ambiente altamente alcalino, usando ativadores como  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  and  $\text{Na}_2\text{SiO}_4$ . O meio alcalino proporciona a quebra das ligações covalentes de  $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$  – e de  $\text{Al} - \text{O} - \text{Al}$  do material precursor e promove a policondensação para uma cadeia polimérica do tipo  $\text{Si} - \text{O} - \text{Al}$ , formando um gel de aluminossilicato, o qual é responsável pelas propriedades mecânicas e de durabilidade do material.<sup>(3)</sup> Uma possível alternativa é obter um cimento alternativo a partir da álcali-ativação da cinza volante (CV), como apresentado por Fernández-Jiménez *et al.*<sup>(4)</sup>

O cenário do Rio Grande do Sul estimula pesquisas para alternativas do uso de subprodutos termelétricos: a região possui 89% das reservas de carvão mineral do Brasil, um total de aproximadamente 28.8 bilhões de toneladas. Entretanto, devido ao baixo poder calorífico deste carvão, a geração de cinzas a partir da sua queima é alto – 1 kg de carvão gera aproximadamente 1 kWh de energia elétrica e 500 gramas de cinzas. Atualmente, as plantas termelétricas geram em torno de 2 milhões de CV por ano na região. Deste total, 20% a 30% são utilizados pelas indústrias cimenteira e concreteira da região. O restante é disposto como aterro nas valas onde houve a extração do carvão mineral.<sup>(5,6)</sup>

O pó de aciaria (PA) é um resíduo sólido da indústria siderúrgica, gerado como particulado nas emissões provenientes da fabricação do aço em fornos elétricos a arco e composto, principalmente, de diferentes óxidos metálicos, entre eles o Zn, Cr, Pb e Cd. A EPA<sup>(7)</sup> e a NBR 10004<sup>(8)</sup> classificam o PA como um resíduo perigoso. Em países desenvolvidos, o PA é submetido a processo que tem como objetivo a recuperação desses metais, sobretudo o Zn, para seu reaproveitamento em outras indústrias.

Palomo e Palacios<sup>(9)</sup> avaliaram a capacidade de solidificação/estabilização de elementos tóxicos em matrizes à base de cinzas volantes alcali-ativadas (CVAA), através de ensaios de lixiviação. Os resultados indicaram que o novo ligante foi capaz de estabilizar o Pb na matriz cimentante. Shi e Fernández-Jiménez,<sup>(10)</sup> revisando o progresso do uso de ligantes álcali-ativados para a solidificação/estabilização de resíduos perigosos e radioativos, concluíram que a lixiviação destes contaminantes nestes ligantes foi mais baixa do que a estabilização na matriz à base de cimento Portland. Vargas<sup>(11)</sup> estudou os efeitos do PA em blocos de concreto à base de cimento Portland. Embora verificada imobilização dos metais pesados na matriz cimentante, o resíduo retardou os tempos de pega do cimento Portland. Vargas *et al.*<sup>(12)</sup> verificaram que matrizes à base de cinzas volantes álcali-ativadas contendo PA apresentaram resistências à compressão mais elevadas do que as matrizes isentas do resíduo, o que mostra que a presença do PA melhorou as propriedades mecânicas do material. Os mesmos autores mostram excelente avanço na tecnologia de solidificação/estabilização do PA na matriz álcali-ativada: a partir de um resíduo perigoso classe I foi possível desenvolver produtos inertes classe IIa.



Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo principal avaliar o efeito da adição do pó de aciaria (PA) nas propriedades microestruturais de matrizes à base de cinzas volantes álcali-ativadas, através de análises de DRX e FTIR.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Materias

A cinza volante (CV) utilizada nesta pesquisa foi gerada em uma usina termelétrica localizada no estado do Rio Grande do Sul. A composição química desta CV foi realizada com o auxílio do Espectrômetro de Fluorescência de Raios X, Modelo XRF 1800, SHIMADZU. O resultado dessa análise pode ser conferido na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química da cinza volante

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub>
63,09	24,02	1,15	6,85	0,21	1,77	0,81	1,75	0,34

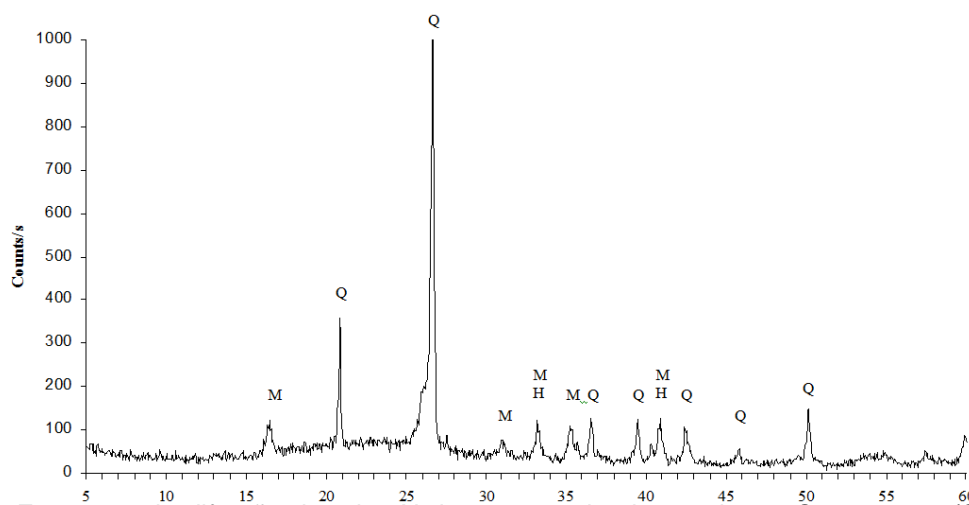
A partir dos dados da Tabela 1, constata-se que a CV (classe F, segundo a ASTM C 6128-03<sup>(13)</sup>) possui baixo teor de cálcio e é constituída preponderantemente por SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A Tabela 2 demonstra as características físicas do material. O diâmetro médio das partículas de CV ( $\varnothing$ médio ( $\mu$ m)) foi determinado com o auxílio do granulômetro à laser marca CILAS e a massa específica foi medida utilizando os procedimentos da NBR NM 23.<sup>(14)</sup> Além dessas características físicas, na Tabela 2 são apresentados os resultados do resíduo insolúvel (R.I.), da perda ao fogo (P.F.) e da área específica da CV.

**Tabela 2.** Características físicas da cinzas volante

$\varnothing$ médio ( $\mu$ m)	R.I. (%)	P.F. (%)	Área Esp. Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
23,74	97,0	0,02	270	2,17

A CV apresenta-se predominantemente na fase vítrea, contendo inclusões de fases cristalinas como mulita, hematita e quartzo, conforme pode ser verificado no espectro de difração de raios X (DRX) apresentado na Figura 1.



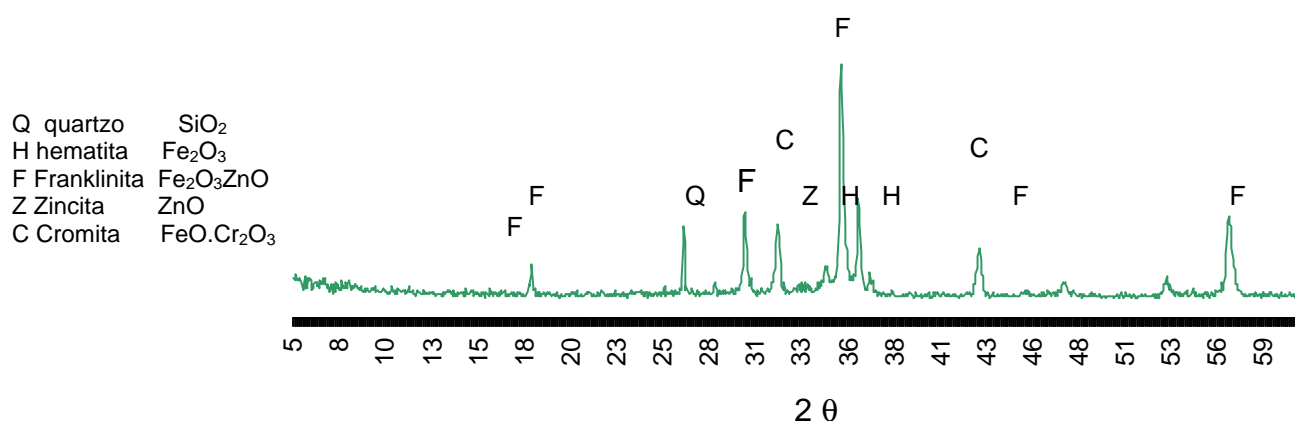
**Figura 1:** Espectros de difração de raios X da amostra de cinza volante: Q – quartzo (SiO<sub>2</sub>), M – mulita (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>), H – hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

O ativador alcalino empregado foi o hidróxido de sódio (NaOH) do tipo comercial em escamas, com pureza de 98% e densidade de 2,13 g/cm<sup>3</sup>.

O PA empregado como adição foi obtido em uma usina siderúrgica semi-integrada e coletado com filtros de manga localizados na saída do forno elétrico à arco. A composição química do PA indica que os elementos majoritários são o Fe e o Zn, de acordo com a Tabela 3. O espectro de DRX do resíduo apresenta picos característicos de quartzo (SiO<sub>2</sub>), hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), franklinita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ZnO), zincita (ZnO) e cromita (FeO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), como apresentado na Figura 2.

**Tabela 3:** Composição química do PA (% em massa)

Na	K	Fe	Mg	Ca	Pb	Si	Mn	Cd	Cr	Zn
3.35	1.08	27.30	1.87	2.54	0.90	1.70	2.06	0.37	0.13	37.25



**Figura 2.** Espectros de DRX da amostra de pó de aciaria elétrica.

O PA empregado como adição foi obtido em uma usina siderúrgica semi-integrada e coletado com filtros de manga localizados na saída do forno elétrico.

A caracterização ambiental do PA foi obtida através do ensaio de lixiviação proposto pela NBR 10005.<sup>(15)</sup> As concentrações de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) ultrapassaram os índices máximos permitidos para disposição em aterro sanitário, assim caracterizando o resíduo como perigoso de acordo com a NBR 10004.<sup>(8)</sup> Os resultados da análise ambiental são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultados do ensaio de lixiviação para amostra de PA

Elemento	Concentração (mg/l)	Limite (mg/l)
Zn	913	NN
Na	565	NN
Cd	6.9	0.5
Cr	0.002	5
Pb	61	1
Cr <sup>+6</sup>	< 0.01	NN

NN: Não normalizado.

## 2.2 Métodos

A metodologia empregada visou avaliar a influência da adição de PA em um ligante composto de cinzas volantes álcali-ativadas (CVAA) sob o aspecto microestrutural – direção de raios X (DRX) e espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (IV). Na Tabela 4 são apresentadas as relações molares e a relação água/cinza volante (a/CV) adotadas para o preparo das pastas álcali-ativadas com e sem adição de PA. Foram selecionados os valores de 5%, 15% e 25% de adição de PA em relação à massa de CV empregada, de acordo com estudos anteriores utilizando cimento convencional, de forma a determinar os limites superiores e inferiores para adição do PA ao álcali-ativado.<sup>(11)</sup> As amostras isentas de PA foram denominadas 0% (referência).

A álcali-ativação do lote de CV empregado, determinada em um trabalho anterior<sup>(6)</sup>, permitiu a fixação das principais variáveis do processo: a relação molar N/S de 0,40 e a temperatura de cura 70°C por um período de 24 h oras. As amostras curadas em estufa foram protegidas na superfície dos moldes por um filme de polietileno, para simular uma cura “hidrotérmica”. Esse processo se faz necessário para evitar a evaporação excessiva da água presente nas amostras álcali-ativadas durante a cura térmica, uma vez que essa água é importante para o processo de polimerização.

Após o período de cura térmica, as amostras foram retiradas dos moldes, identificadas e colocadas a temperatura ambiente até as datas estabelecidas para a caracterização microestrutural (1 dia, 28 dias, 91 dias e 180 dias).

**Tabela 4:** Composição molar usada para obter as pastas à base de cinzas volantes álcali-ativadas, com e sem adições do pó de aciaria

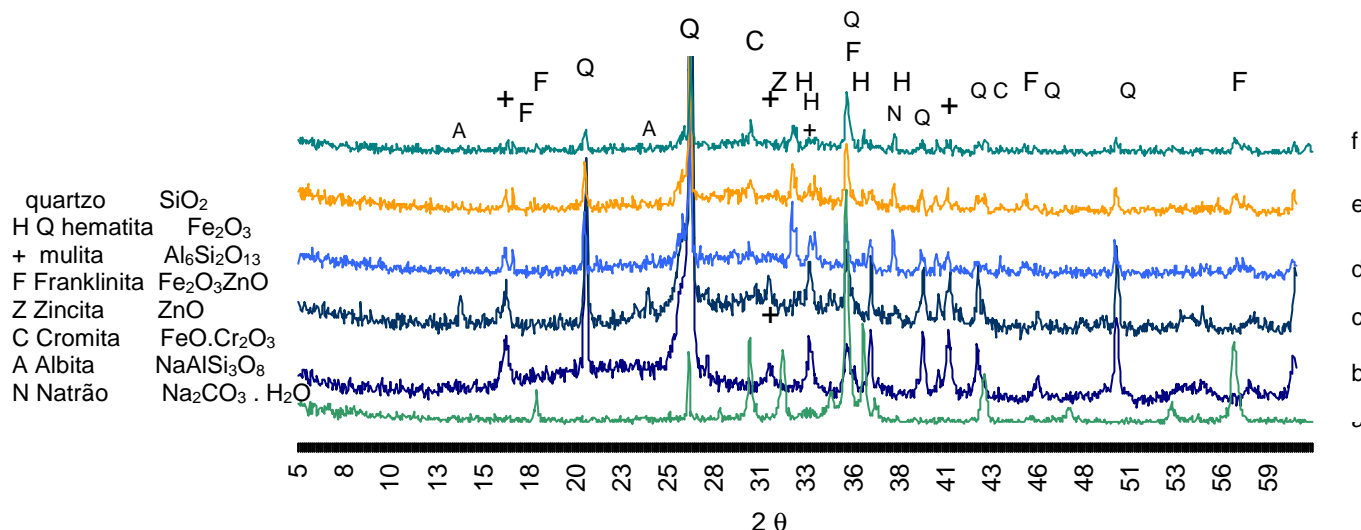
Pastas álcali-ativadas			
N/S	S/A	H/N	a/CV
0.4	4.45	7.47	0.458

$N = Na_2O$ ;  $S = SiO_2$ ;  $A = Al_2O_3$ ;  $H = H_2O$ ; a/CV – água/cinza volante

## 3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Na Figura 3 são mostrados os espectros de DRX do PA, da CV, das pastas álcali-ativadas com idade de 1 dia, com adições de PA de 0% (referência), 5%, 15% e 25%.





**Figura 3** Espectros de DRX para: (a) pó de aciaria elétrica (b) cinza volante; pastas à base de cinza volante álcali-ativadas com idade de 1 dia: (c) 0% de PA; (d) 5% de PA; (e) 15% de PA; (f) 25% de PA.

Analisando inicialmente apenas os espectros da CV (b) e da pasta álcali-ativada 0% (referência) com idade de 1 dia (c), já é verificada a incidência de um pico cristalino de albita (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) e de natrão (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> . H<sub>2</sub>O). Isso mostra que houve formação de fases cristalinas na matriz ativada no período de cura de 24 h/70°C.

Por outro lado, os picos cristalinos de albita não são identificados nas amostras contendo PA, uma vez que a altura destes picos está na mesma escala do “ruído” do espectro. Isto mostra que a presença de PA nas amostras álcali-ativadas com idade de 1 dia tenha reduzido a quantidade de fase de albita formada, ou mesmo inibido sua formação. É importante salientar que o espectro de DRX apresenta limitação quanto à identificação de compostos cristalinos quando estes apresentam baixa concentração na amostra analisada, o que abaixo do limite de detecção do equipamento não é possível afirmar que o composto não exista, pois pode existir, mas em concentração reduzida.

O mesmo não ocorre com os picos de natrão, que na medida em que os teores de PA são maiores na pasta álcali-ativada, a intensidade do pico daquele elemento diminui, indicando que possivelmente estejam ocorrendo reações que diminuem suas quantidades na matriz ativada, na medida em que são aumentados os teores de PA.

Quando se compara o espectro da cinza volante (b) com os espectros das amostras álcali-ativadas sem a adição do PA (c) e com a adição de PA (d, e, f) estão presentes picos característicos de fases cristalinas de quartzo (SiO<sub>2</sub>), de mulita (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>) e de hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), fases essas originais da CV. Isso mostra que essas fases permanecem estáveis na pasta endurecida, mesmo submetidas a um ambiente fortemente alcalino. Contudo, é importante observar que suas intensidades tendem a diminuir à medida que houve aumento do teor de adição de PA nas pastas álcali-ativadas. Essa observação sugere que aparentemente estão ocorrendo reações que promovem uma desorganização na estrutura das fases cristalinas, produzidas pelo ativador alcalino, com o aumento da idade das pastas ativadas.

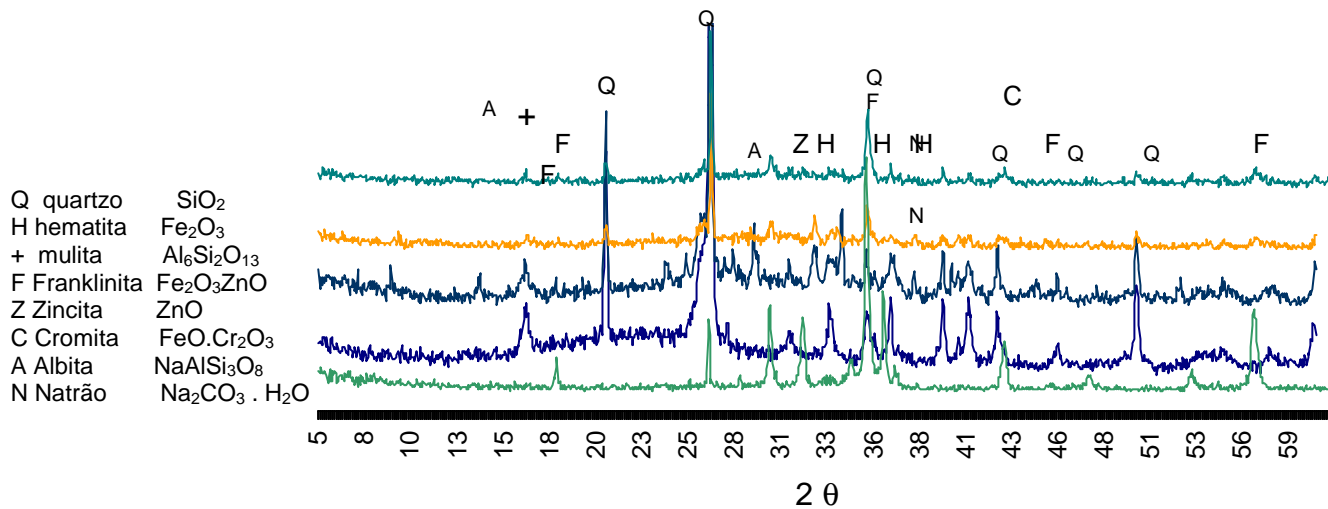
Quando se compara o espectro do PA (a) com os espectros das amostras álcali-ativadas contendo o resíduo (idade de um dia) observam-se picos característicos originais do resíduo como o quartzo, hematita, franklinita, zincita, cromita na matriz ativada. Porém, de menores intensidades, mesmo para aquelas amostras contendo



25% de adição do resíduo, o que mostra que a matriz álcali-ativada pode modificar a estrutura cristalina dos compostos.

Ao analisar os espectros das amostras álcali-ativadas contendo o PA é possível identificar que os picos característicos de natrão vão diminuindo de intensidade na medida em que se aumenta os teores de PA, mostrando, desta forma, que o carbonato de sódio hidratado (natrão) provavelmente deve estar combinando com elementos presente no PA, ou, a presença deste, através dos compostos, estejam combinando com o sódio (Na) e não permitindo a carbonatação. O mesmo vale para os compostos de albita, que nas amostras com teores mais elevados de PA não se identificam mais picos característicos de forma importante.

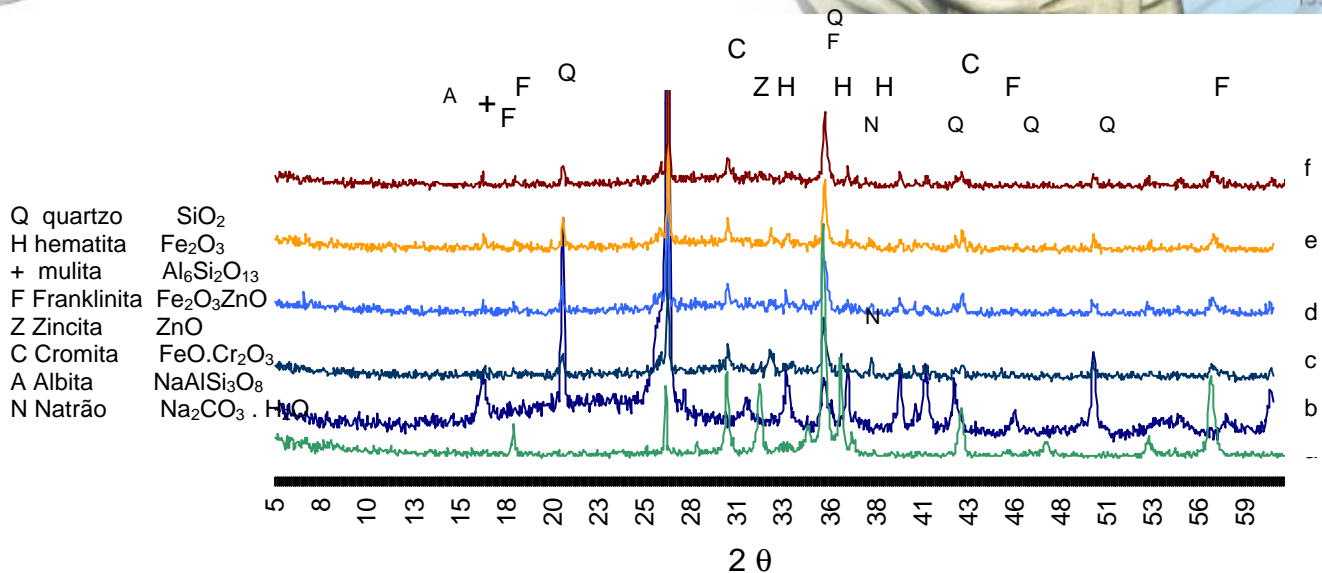
Na Figura 4 são apresentados os espectros característicos das amostras álcali-ativadas com idade de 180 dias das amostras álcali-ativadas.



**Figura 4** Espectros de DRX para: (a) pó de aciaria elétrica (b) cinza volante; pastas à base de cinza volante álcali-ativadas, com idade de 180 dia: (c) 0% de PA; (d) 15% de PA ; (e) 25% de PA

Como verificado anteriormente, observa que a intensidade dos picos característicos dos compostos cristalinos diminuem suas intensidades na medida em que os teores de PA são elevados.

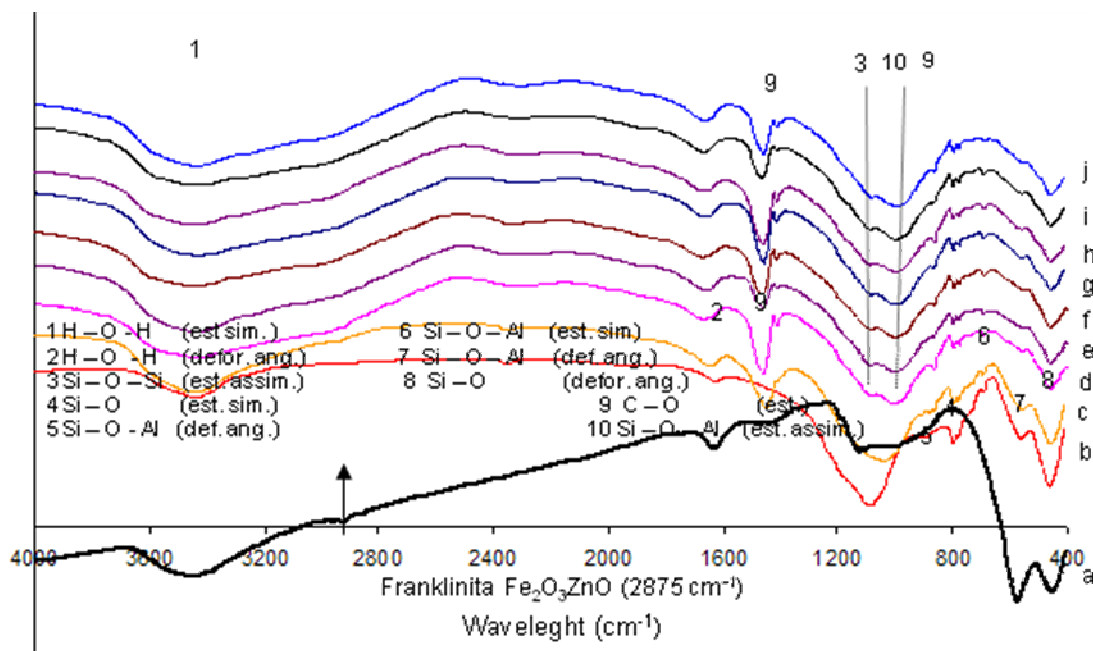
Para uma melhor visualização do comportamento das amostras, ao longo do tempo, estão apresentados na figura 5 os espectros de DRX para o pó de aciaria elétrica, para a cinza volante e para as pastas à base de cinza volante álcali-ativadas contendo 25% de PA nas idades de 1 dia, 28 dias, 91 dias e 180 dias.



**Figura 5** Espectros de DRX para: (a) pó de aciaria elétrica (b) cinza volante; pastas à base de cinza volante álcali-ativadas: **COM ADIÇÃO DE 25% de PA** com idades de: (c) 1 dia; (d) 28 dias; (e) 91 dias e (f) 180 dias

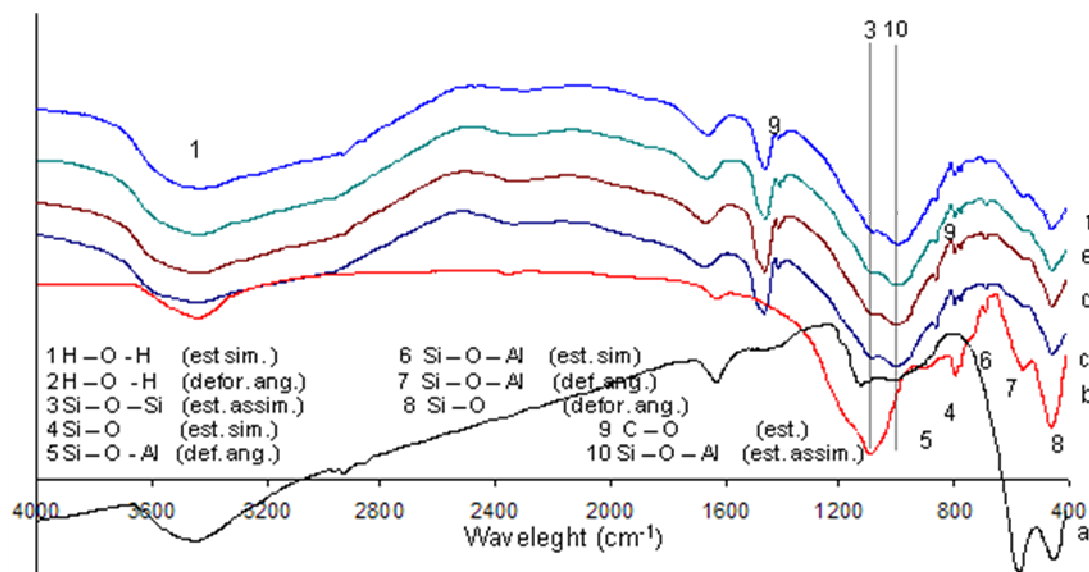
Observando os espectros de DRX, ao longo do tempo, é possível observar que a albita não se formou nas amostras álcali-ativadas contendo 25% de adição do PA. Outro ponto importante é que o natrão está presente nas amostras na idade de 1 dia, mas que na medida em que o tempo avança a intensidade dos picos diminui, principalmente na idade de 180 dias. Isto sugere que provavelmente o carbontado (do natrão) pode estar combinando com outros compostos do PA.

Na figura 6 são mostrados os espectros de IV do PA, da CV e das pastas álcali-ativadas com adições de PA de 0% (referência) e 15% nas idades de 1 dia, 28 dias, 91 dias e 180 dias. Na Figura 7 apresentam-se os espectros das amostras contendo distintos teores de PA com idade de 180 dias.



**Figura 6** Espectros de IV para: (a) pó de aciaria (b) cinza volante; pastas à base de cinza volante álcali-ativadas : **SEM ADIÇÃO DE PA** com idades de: (c) 1 dia; (d) 28 dias; (e) 91 dias e (f) 180 dias; **COM ADIÇÃO DE 15% de PA** com idades de: (g) 1 dia; (h) 28 dias; (i) 91 dias e (j) 180 dias.





**Figura 7** Espectros de IV para: (a) pó de aciaria elétrica (b) cinza volante; pastas à base de cinza volante álcali-ativadas com idades de 180 dias: (c) 0% de PA; (d) 5% de PA; (e) 15% de PA; (f) 25% de PA.

Tomando como base as bandas de absorção da CV e das amostras ativadas, independente da idade de análise (Figura 6 e 7), existem bandas que são comuns na CV antes e depois da ativação: como exemplos, citam-se as bandas a  $3.435\text{ cm}^{-1}$ ,  $1.625\text{ cm}^{-1}$ ,  $796\text{ cm}^{-1}$ ,  $779\text{ cm}^{-1}$ ,  $693\text{ cm}^{-1}$ ,  $559\text{ cm}^{-1}$  e  $461\text{ cm}^{-1}$ .

Como pode ser observado no espectro de IV da CV original (Figuras 6b e 7b), há bandas de absorção próximas a  $3.450\text{ cm}^{-1}$  e a  $1.650\text{ cm}^{-1}$ , indicando a presença de moléculas de água. Ou seja, essas bandas seriam provenientes da água adsorvida da atmosfera pela CV. Esse resultado corrobora com Barbosa et al.<sup>(16)</sup> que verificaram que bandas nessas regiões foram identificadas em amostras de metacaulim antes e depois de sua álcali-ativação.

Quando há o processo de álcali-ativação da CV, as bandas próximas a  $3450\text{ cm}^{-1}$  e a  $1.650\text{ cm}^{-1}$  apresentam-se mais definidas quando comparadas às bandas da CV original, demonstrando o aumento da intensidade nas pastas devido à água adicional da solução ativadora. A banda próxima a  $3.450\text{ cm}^{-1}$  está relacionada a vibrações de estiramento simétrico e assimétrico das moléculas de água (H-O-H), enquanto que a banda em torno de  $1650\text{ cm}^{-1}$  está relacionada com deformações angulares das ligações H-O-H.<sup>(3)</sup>

As bandas de absorção nas regiões próximas a  $796\text{ cm}^{-1}$  e a  $693\text{ cm}^{-1}$  estão relacionadas à presença de alumínio e de quartzo, respectivamente, estes fazendo parte da composição química da CV.<sup>(17)</sup>

Por fim, as bandas  $560\text{ cm}^{-1}$  e  $460\text{ cm}^{-1}$  também foram identificadas nas amostras de CV antes e depois da álcali-ativação. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Palomo et al.,<sup>(3)</sup> que identificaram as mesmas bandas em CV antes e depois da álcali-ativação. Para esses autores, a banda  $560\text{ cm}^{-1}$  é característica da presença de mulita (Al na coordenação octaédrica). Esse resultado é comprovado nos espectros de DRX em que são identificados picos cristalinos de mulita antes e depois da ativação da CV (Figuras 3, 4 e 5).

É importante comentar que não foram notadas mudanças importantes nas bandas acima referenciadas ( $796\text{ cm}^{-1}$ ,  $779\text{ cm}^{-1}$ ,  $693\text{ cm}^{-1}$ ,  $559\text{ cm}^{-1}$  e  $461\text{ cm}^{-1}$ ) entre os espectros da CV original e os espectros das amostras álcali-ativadas, independente da idade das amostras. Como essas bandas estão relacionadas a ligações Si-O-Si e



Si-O-Al, esses resultados estão de acordo com os resultados obtidos utilizando difração de raios X em que foi verificado que picos de difração característicos do quartzo e da mulita presentes na CV, também foram identificados nas amostras de CVAA, independente da idade das amostras. Isso mostra a estabilidade química desses compostos cristalinos frente ao ambiente fortemente alcalino.

A banda de vibração a  $1.090\text{ cm}^{-1}$  da CV original é deslocada para baixas frequências nas amostras ativadas ( $\approx 1.000\text{ cm}^{-1}$ ) independente da idade. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Palomo et al.<sup>(3)</sup> e Bakharev<sup>(17)</sup> em amostras de CVAA. Essa mudança está relacionada ao efeito do ativador alcalino na estrutura do material original (CV) que conduz à formação de um aluminossilicato alcalino de natureza amorfa e com cadeias tridimensionais (3D).

Comparando as amostras álcali-ativadas com e sem adição de PA na região  $1000\text{ cm}^{-1}$ , não são observadas diferenças significativas no espectro nesta região, o que demonstra que o resíduo não interferiu nas reações de polimerização das partículas de CV e tampouco na formação do gel aluminossilicato, este responsável pelas propriedades mecânicas do material. Esse comportamento pode ser observado no trabalho de Vargas et al.<sup>(12)</sup> onde as amostras à base de cinzas volantes álcali-ativadas contendo 25% de PA apresentaram as maiores resistências à compressão, quando comparadas às amostras referência (0%) e as amostras contendo 5% e 25% de PA.

#### 4 CONCLUSÃO

O uso de PA em amostras ativadas conduziu a redução de fases como a albita e natrão. Ou seja, os componentes do PA estão reagindo quimicamente na matriz álcali-ativada.

Houve redução dos picos cristalinos dos compostos do PA presentes nas amostras álcali-ativadas, ao longo do tempo, o que demonstra que o ambiente alcalino está atacando a estrutura cristalina do PA.

Quanto as análises de IV, foi notado que a banda característica da cinza volante  $1.084\text{ cm}^{-1}$  foi deslocada para bandas próximas a região  $1.000\text{ cm}^{-1}$ , o que demonstra que o PA não interferiu nas reações de polimerização das partículas de CV e tampouco na formação do gel aluminossilicato, este responsável pelas propriedades mecânicas do material.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FINEP, à FAURGS, ao CNPq; aos laboratórios LACOR, LACER e LEME.

#### REFERÊNCIAS

- 1 BUSCHWALD, A.; SCHULTZ M. Alkali-activated binders by use of industrial by-products. *Cement and Concrete Research*. v. 35, p.968–973, 2005
- 2 PACHECO-TORGAL, F.; CASTRO-GOMES, J.; JALALI, S. Alkali-activated binders: A review. Part 1. Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products. *Construction and Building Materials*. V. 22, p. 1305–1314, 2008.
- 3 PALOMO, A.; GRUTZECK, M.; BLANCO, M. Alkali-activated Fly Ashes. *A Cement for Future*. *Cement and Concrete Research*, v. 29, p. 1323-1329, 1999.

- 4 FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A.; CRIADO, M. Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: effect of the activator. *Cement and Concrete Research*. V. 35, p. 1204-1209, 2005.
- 5 ROHDE, G.M. Cinzas de carvão no Brasil: Restrições ambientais e medidas mitigadoras. In: ROHDE GM. et al. (Ed.). *Cinzas de Carvão Fóssil no Brasil – Aspectos Técnicos e Ambientais*. Porto Alegre: CIENTEC, 2006. cap. 2, p.137-195.
- 6 VARGAS, A. Cinzas volantes álcali-ativadas para a obtenção de aglomerantes especiais. 2006. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- 7 Environmental Protection Agency. RCRA Orientation Manual 2008: Resource Conservation and Recovery Act (2008). Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/inforesources/pubs/orientat/rom.pdf>> Acesso em: 02 jun 2009.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 10004: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 9 PALOMO A., PALACIOS M. Alkali-activated cementitious materials: Alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes - Part II. Stabilisation of chromium and lead. *Cement and Concrete Research*, v. 33, p. 289–295, 2002.
- 10 SHI, C.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. Stabilization/solidification of hazardous and radioactive wastes with alkali-activated cements. *Journal of Hazardous Materials* 137 (3), 11 October 2006, p. 1656-1663, 2006.
- 11 VARGAS, A. Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica na confecção de blocos de concreto para pavimentação. 2002. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- 12 VARGAS, A. S. ; BRUNO PAVÃO ; DAL MOLIN, D. C.C. ; MASUERO, ANGELA B. ; VILELA, ANTONIO C. F. . Cinzas Volantes Álcali-Ativadas: Efeitos da Adição do Pó de Aciaria ao Ligante. In: CONGRESSO DA ABM, 64, 2009, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: ABM, 2009. 1 CD.
- 13 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. “Standard Specification for Coal Fly ash and Raw or Calcined Original Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete”. ASTM C618/98. In: *Annual Book of ASTM*, V. 04.02, Philadelphia, 1998.
- 14 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT: NBR MN 23: cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.
- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT . NBR 10005: Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- 16 BARBOSA, V.; MACKENZIE, K.; THAUMATURGO, C. Synthesis and Characterisation of Materials Based on Inorganic Polymers of Alumina and Silica: Sodium Polysialate Polymers. *International Journal of Inorganic Materials*, v. 2, p. 309-317, 2000.
- 17 BAKHAREV, T. Geopolymeric materials prepared using Class F fly ash elevated temperature curing. *Cement and Concrete Research*, v. 35, p. 1224-1232, 2005.