

# REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO – VERIFICAÇÃO DA REATIVIDADE DO AGREGADO GRAÚDO, FRENTE AO ÁLCALIS DO CIMENTO, DAS PRINCIPAIS JAZIDAS FORNECEDORAS DE AGREGADOS PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Anderson Francisco Alencar Cardoso<sup>1</sup>; Paulo Sérgio Lima Souza<sup>2</sup>; Vitor Hugo Lopes Branco<sup>3</sup>

## Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os agregados graúdos das principais jazidas fornecedoras da região metropolitana de Belém, quanto a sua potencialidade reativa frente ao álcalis do cimento, visando a utilização deste material na confecção de concretos isentos de patologias relacionadas as reações álcali-agregado. Foram realizados ensaios de potencialidade reativa através do método acelerado e espectrometria de energia dispersiva. Os resultados obtidos indicaram que as amostras analisadas não apresentavam indícios de reações expansivas, sendo consideradas completamente inócuas.

**Palavras-chave:** Agregado, Cimento, Reação álcali-agregado.

## Abstract

The main objective of the study is to present and evaluate the coarse aggregate of Belem met-ropolitan area providers deposits, as its potential reactivity to cement alkalis in order to use this material in concrete pouring free from diseases related to alkali-aggregate reactions. Reactive capability tests were conducted using the accelerated test and the dispersive energy spectrometry test. The results indicated that the analyzed specimens did not present evidence of expansive reactions, so they were considered completely innocuous.

**Keywords:** Aggregate, Cement, Alkali-Aggregate Reaction.

## Introdução

A reação álcali-agregado (RAA) é uma reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo sílica, agregados reativos e água (SILVA, 2007; MUNHOZ, 2007; FIGUERÔA, 2007). Nesta reação são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto (LOPES, 2004; KIARA, 1986; BUCHER, 1986; BI-CZOK, 1972). Como a água é um dos fatores determinantes da existência desta reação, as obras hidráulicas são as mais suscetíveis de apresentarem esse tipo de patologia (MEHTA, 2008; MONTEIRO, 2008). No mundo,

---

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), professor do Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Bragança. E-mail: anderson.alencar@ifpa.edu.br.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professor Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará - UFPA. E-mail: paseso@ufpa.br.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), professor do Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Bragança. E-mail: vitor.branco@ifpa.edu.br.

foram diagnosticadas várias estruturas afetadas, desde a descoberta da RAA, podendo ser citados como exemplos a barragem Val de La Mare (Reino Unido), a barragem de Sandouping (China), a barragem La Tuque (Canadá), a barragem Kouga (África do Sul) e a barragem Chambon (França) (SILVEIRA, 2006; GUIMARÃES, 2006; LENHARO, 2006; HASPARYK, 2006; CHIOSSI, 2006; BITTENCOURT, 2006).

Nos últimos anos, exemplos de degradação prematura de algumas estruturas de concreto, principalmente de usinas hidrelétricas, tornaram-se cada vez mais frequentes. Andriolo (2000) cita ao menos 19 casos de barragens brasileiras afetadas por reação álcali-agregado, onde as estruturas atingidas não se limitam apenas às barragens em si, são também tomadas d'água, casas de força e vertedouros. A constância do aparecimento desta reação, nesse tipo de estrutura, pode ser justificada pelo maior número de variações de temperatura e umidade em que as mesmas são expostas (HASPARYK, 1998; ARMELIN, 1998; BITTENCOURT, 1998; PACELLI, 1998).

Contudo, não só obras hidráulicas sofrem este tipo de deterioração, visto que, qualquer estrutura de concreto, que tenha agregado reativo e esteja localizada em ambiente úmido, está sujeita a esta reação. Como por exemplo, obras portuárias, blocos de fundação, pontes, viadutos, dormentes de concreto, pistas de aeroportos, túneis e estruturas rodoviárias (HOOBS, 1988).

Como exemplo, temos os blocos de fundações de edifícios urbanos localizados na cidade de Recife/PE. Onde constatou-se, em estudos recentes, a presença de RAA em escala inédita para o meio técnico de todo o mundo. Aproximadamente 20 casos de elementos de fundação com reação álcali-agregado foram descobertos na região metropolitana com idades entre três e 30 anos (ANDRADE, 2006).

Portanto, torna-se necessário um maior número de pesquisas sobre o assunto, uma vez que, a melhor maneira de evitar ou, no mínimo, reduzir a possibilidade de ocorrência da RAA é conhecer as características dos materiais componentes do concreto, através de estudos prévios, e adotar medidas que atenuem as condições favoráveis à sua ocorrência. A prevenção é, segundo alguns autores, a única maneira atualmente conhecida de se evitar danos relacionados a estas reações expansivas. Pois, uma vez iniciadas em uma estrutura, não são possíveis de serem detidas, tornando os procedimentos de reparo, até hoje empregados, de efeito apenas paliativo (VIEIRA, 1996; PECCHIO, 1996; ABREU, 1996; FERREIRA, 1996).

Com relação ao estado do Pará, têm-se atualmente apenas algumas análises pontuais realizadas pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mediante este

parâmetro, se fazem necessários estudos mais abrangentes na área. Uma vez que o estado contém quatro das dez principais usinas hidrelétricas do país (Belo Monte, Tucuruí, São Luiz do Tapajós e Jatobá). Estruturas estas, sujeitas a este tipo de patologia devido as condições pelas quais estão expostas.

É importante ressaltar que o estado do Pará apresenta características climáticas propícias ao surgimento da RAA. Pois, o clima é equatorial, ou seja, quente e úmido. As chuvas são constantes, com ausência de estações de secas. Clima este que se reflete na região metropolitana de Belém, devido à influência direta da floresta amazônica.

Este fato reforça ainda mais a necessidade de estudos sobre o tema. Pois somente a prevenção, feita através de estudos prévios de potencialidade reativa dos agregados utilizados na região, poderia impedir a manifestação desta reação, neste clima extremamente favorável. Caso os agregados se apresentassem reativos.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o grau de potencialidade reativa dos agregados graúdos provindos das principais jazidas fornecedoras da região metropolitana de Belém, através dos ensaios de reatividade pelo método acelerado e espectrometria de energia dispersiva. E com isso, servir de referência para os profissionais da região quanto ao uso destes materiais na produção de concreto. Assim como, dar sua contribuição científica a futuros trabalhos, objetivando suprir a carência de estudos sobre o assunto.

## **1 Materiais e métodos**

### **1.2 Material**

Foram utilizados agregados graúdos coletados de sete jazidas de Ourém e uma do município de Capitão Poço, como apresentado na Tabela 1. Tais agregados, mesmo coletados em municípios diferentes, são provenientes do mesmo leito de rio (rio Guamá). Para a coleta das amostras, teve-se como base a NBR NM 26 (2000). Que estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinadas a ensaios de laboratório.

O cimento utilizado foi o CPV-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial). Indicado para argamassas em que se pretende observar o fenômeno de reação álcali-agregado por dois motivos: primeiro por apresentar evolução mais rápida dos processos de hidratação, fato este muito importante na realização de ensaios acelerados.

E segundo, por não conter adições na sua composição, afim de que estas não proporcionem a diminuição da alcalinidade do concreto.

**Tabela 1** - Jazidas fornecedoras de agregados graúdos para os ensaios de reatividade.

JAZIDAS	MUNICÍPIO
Ramal do 15	Ourém
São José	Ourém
Ameta	Ourém
Batuíra	Ourém
Z-Dantas	Ourém
Kataman	Ourém
W.H. Mineradora	Ourém
Mineradora MGM	Capitão Poço

Fonte: Pesquisa dos autores.

A Tabela 2, a seguir, apresenta as características químicas, físicas e mecânicas do cimento CPV-ARI. Sendo importante ressaltar que os ensaios físicos e mecânicos foram realizados no laboratório da Universidade Federal do Pará, seguindo as orientações da norma NBR 5733 (1991).

**Tabela 2** - Características químicas, físicas e mecânicas do cimento CPV-ARI.

CARACTERÍSTICAS	DETERMINAÇÕES	VALORES OBTIDOS	NBR 5733 (ABNT, 1991)
Químicas <sup>4</sup>	Óxido de Silício (SiO <sub>2</sub> )	19,41 (%)	-
	Óxido de Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,99 (%)	-
	Óxido de Magnésio (MgO)	0,74 (%)	≤ 6,5 (%)
	Óxido de Cálcio (CaO)	63,83 (%)	-
	Trióxido de Enxofre (SO <sub>3</sub> )	3,09 (%)	≤ 3,5 (%)
	Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,57 (%)	-
	Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,35 (%)	-
Físicas <sup>5</sup>	Resíduo na peneira 75 µm	4,07 (%)	≤ 6,0 (%)
	Massa específica	3,06 g/cm <sup>3</sup>	-
	Tempo de início de pega	2 h e 07	≥ 1 h
	Tempo de fim de pega	6 h e 28	≤ 10 h
Mecânicas <sup>5</sup>	Resistência à compressão	3º dia	24,15 MPa ≥ 24,0 MPa
		7º dia	34,0 MPa ≥ 34,0 MPa

Fonte: Pesquisa dos autores.

<sup>4</sup> Obtidos na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

<sup>5</sup> Obtidos através de ensaios realizados no laboratório de materiais do Centro Tecnológico de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

## 1.2 Ensaio acelerado

O ensaio acelerado permite a avaliação do comportamento de um agregado face a uma reação álcali-sílica. É chamado assim porque o tempo de ensaio é bastante reduzido, sendo sua leitura de referência aos 16 dias de idade. Este método é normatizado como NBR 15577-4 (2008).

Neste ensaio, o material foi britado até uma granulometria aproximada a do agregado miúdo, ou seja, diâmetro menor que 4,8 mm. Em seguida, foram confeccionados 24 corpos-de-prova, sendo três para cada amostra de agregado graúdo. Todas as argamassas foram confeccionadas com traço definido de 1:2,25 em massa e uma relação água/cimento também fixa de 0,47. O traço e a quantidade de cada material estão na Tabela 3.

**Tabela 3** - Traço das argamassas em massa, segundo a NBR 15577-4 (2008).

	<b>CIMENTO</b>	<b>AGREGADO</b>	<b>ÁGUA</b>
Traço	1	2,25	a/c = 0,47
Massa (g)	440	990	206,8

Fonte: Pesquisa dos autores.

Após definidos os traços em massa dos materiais, os mesmos foram levados para a argamassadeira para dar início ao processo de confecção da argamassa. As moldagens dos corpos-de-prova foram feitas em moldes metálicos, com dimensões de aproximadamente 285x25x25 mm. Na etapa seguinte, os mesmos ficaram estocados em câmara úmida para cura durante 24 horas. Após este período, foram desformados com posterior marcação da primeira medição de cada barra em relógio comparador. Em seguida, foram imersos em um tanque de água destilada à temperatura de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Essa temperatura foi aumentada gradativamente até alcançar a temperatura especificada em norma (NBR 15577-4, 2008). Ficando os corpos-de-prova imersos por mais 24 horas. Após este período, as amostras foram retiradas do tanque, novamente medidas e estocadas em outro tanque contendo solução de NaOH na concentração de 1N, já na temperatura de  $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Com isso, foram feitas leituras diárias de expansão através do relógio comparador, as quais foram expressas em porcentagem de expansão.

## 1.3 Espectrometria de energia dispersiva

Após o término do ensaio de reatividade potencial pelo método acelerado, foi dado início a espectrometria de energia dispersiva (EDS), que é uma técnica que vem

sendo largamente utilizada na identificação da composição química dos materiais utilizados na construção civil. Neste ensaio, foram usadas as barras confeccionadas para a realização do ensaio acelerado. Foram selecionadas, dentre as três barras confeccionadas de cada amostra (método acelerado), as que apresentaram áreas de maior indício de reação, tais como fissuras. Essas barras foram então conservadas para análise através de imersão em acetona por 30 minutos, com posterior secagem ao ar e armazenamento em dessecador. A acetona promove a paralisação das reações de hidratação do cimento, enquanto que a sílica-gel contida no dessecador remove a umidade do ar, evitando alterações nas mesmas.

Depois de reduzidas a um tamanho específico, as barras passaram por um processo de metalização, por meio de recobrimento de uma fina camada de ouro. Em seguida foram coladas em um suporte de amostras de alumínio com cola de prata e levadas ao microscópio. Através da técnica de espectrometria por energia dispersiva (EDS) verificou-se a composição química dos produtos formados. As análises de EDS feitas nesta pesquisa foram realizadas no laboratório de espectrometria de energia dispersiva do Museu Paraense EMILIO GOELDI (Campus de Pesquisa), que utiliza o microscópio eletrônico da marca LEO, modelo 1450 VP.

## **2 Resultados**

### **2.1 Ensaio acelerado**

A Tabela 4 apresenta os valores de expansões das amostras aos 16 e aos 30 dias. Sendo que nas duas idades adotou-se a média dos resultados de três corpos-de-prova, em porcentagem (%). É possível observar também, que todas as amostras apresentaram um percentual de expansão, tanto aos 16 quanto aos 30 dias, abaixo do especificado na norma NBR 15577-4 (2008). Onde rege que as amostras seriam consideradas potencialmente reativas, a partir do momento que as mesmas apresentassem expansões superiores a 0,10% aos 16 dias de idade. Fato este não ocorrido, o que indica um comportamento inócuo das amostras estudadas.

A amostra que apresentou maior índice de expansão foi a amostra AMETA com 0,021% aos 16 dias e 0,022% aos 30 dias. Enquanto que as amostras SÃO JOSÉ, KATAMAN e W.H, foram as que apresentaram menores índices, ou seja, 0,000% tanto aos 16 quanto aos 30 dias. Em ambos os casos, tanto no maior quanto no menor índice

de expansão, todas ficaram bem abaixo do percentual estabelecido em norma (NBR 15577-4, 2008).

**Tabela 4** - Expansões aos 16 e 30 dias (em %) para cada amostra

<b>AMOSTRA</b>	<b>EXPANSÃO AOS 16</b>	<b>EXPANSÃO AOS 30 DIAS</b>
Batuíra	0,019	0,021
Z-Dantas	0,020	0,020
Ameta	0,021	0,022
MGM	0,017	0,017
São José	0,000	0,000
Kataman	0,000	0,000
Ramal do 15	0,002	0,002
WH	0,000	0,000

Fonte: Pesquisa dos autores.

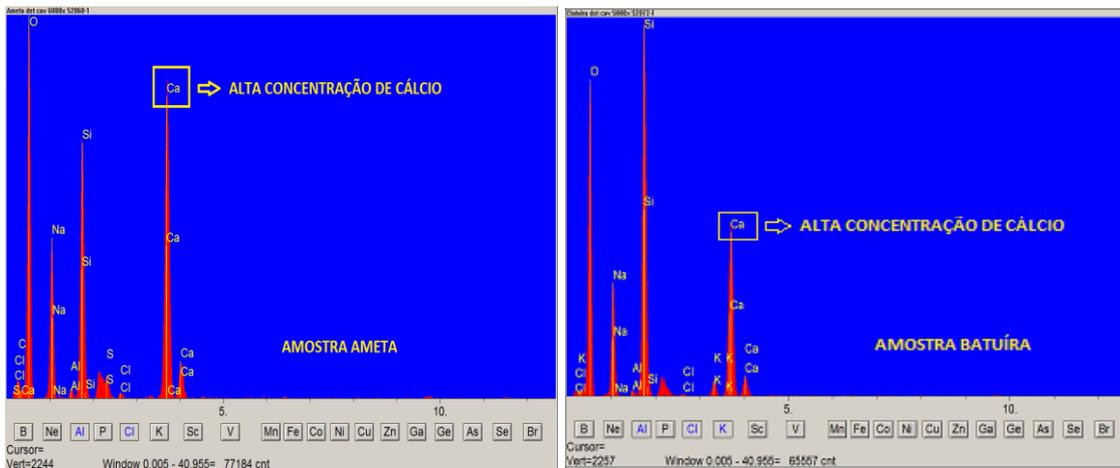
## 2.2 Espectrometria de energia dispersiva (EDS)

Foi observado, pela espectrometria de energia dispersiva, que todas as amostras ensaiadas apresentaram composição química semelhante, fato este já esperado, uma vez que as mesmas foram extraídas de jazidas localizadas na mesma região e do mesmo leito de rio. Contudo é importante ressaltar que as amostras Ameta, Batuíra e MGM apresentaram outros elementos químicos, como enxofre e potássio, mas em quantidades insignificantes.

As oito amostras ensaiadas apresentaram uma alta concentração de cálcio, ocasionando com isso, uma redução em sua concentração alcalina, tornando-as completamente inócuas. Caso a concentração de cálcio não fosse suficiente, os álcalis iriam reagir formando um gel álcali-sílica, que na presença de água, se expandiriam e ocasionariam fissuras quando as forças de expansão fossem superiores a resistência à tração da pasta de cimento.

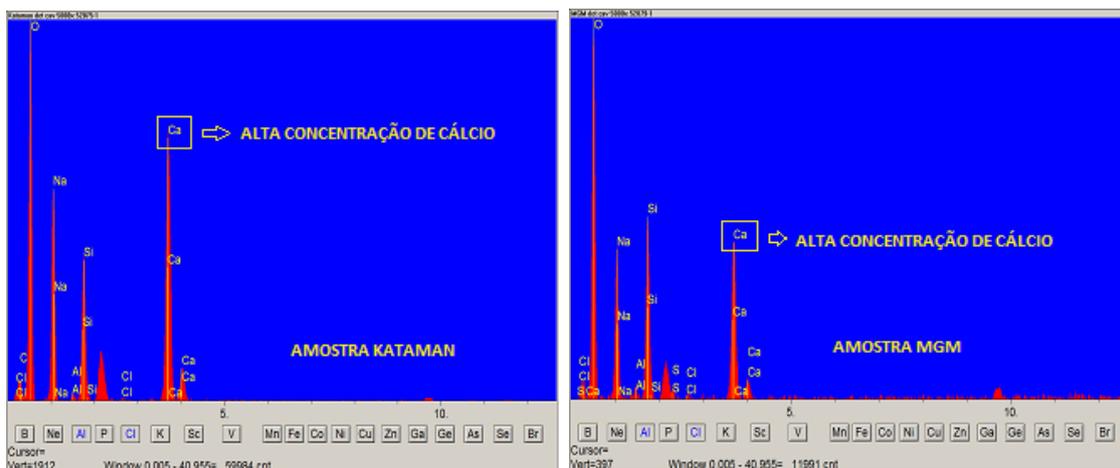
A seguir, nas Figuras de 1 a 4, serão apresentadas as imagens obtidas na técnica de espectrometria de energia dispersiva (EDS). Sendo que esta técnica tem como objetivo identificar a composição química dos materiais analisados.

**Figura 1** - EDS das amostras Ameta e Batuira apresentando alta concentração de cálcio (Ca).



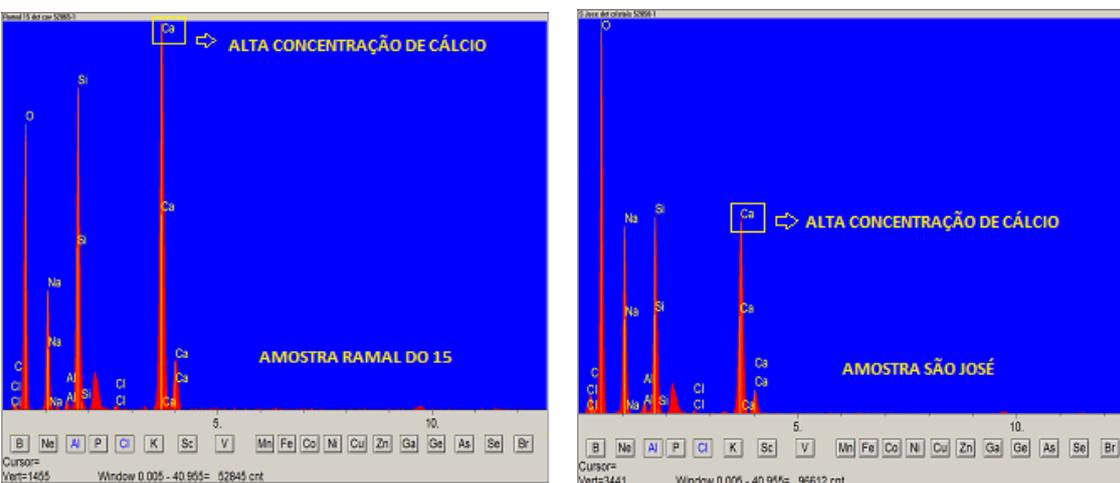
Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura 2** - EDS das amostras Kataman e MGM apresentando alta concentração de cálcio (Ca).



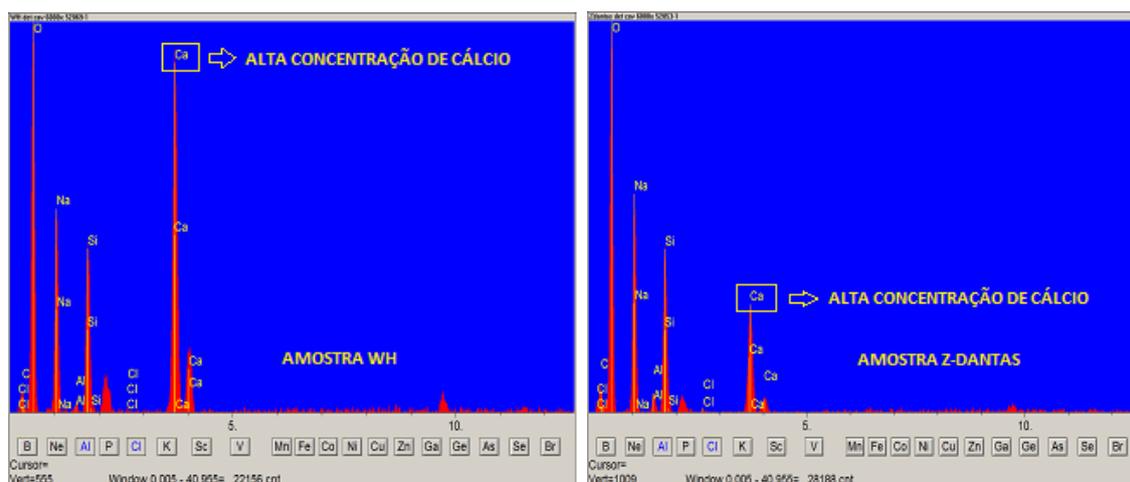
Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura 3** - EDS das amostras Ramal do 15 e São José apresentando alta concentração de cálcio (Ca).



Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura 4** - EDS das amostras WH e Z-Dantas apresentando alta concentração de cálcio (Ca).



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3 Discussão

Com os resultados obtidos neste estudo foi possível fazer uma avaliação concreta e conclusiva, referente ao potencial reativo de cada amostra. A avaliação final dos agregados constituiu numa análise conjunta das metodologias empregadas, onde observou-se a eficiência e confiabilidade de cada método.

O método acelerado foi considerado satisfatório para avaliação das amostras ensaiadas. Mesmo sendo um método bem simples, houve todo um cuidado em sua realização, principalmente no que diz respeito ao controle das condições de ensaio, moldagens e medições dos corpos-de-prova. Todas as amostras apresentaram expansões inferiores a 0,10% aos 16 dias de idade, o que caracteriza um comportamento inócuo, tendo como maior expansão a amostra coletada da jazida Ameta, com 0,021% aos 16 dias e 0,022% aos 30 dias. Houve também o cuidado em se fazer uma análise visual nos corpos-de-prova após o ensaio. Tal análise teve como finalidade verificar possíveis manifestações patológicas que pudessem evidenciar o surgimento da reação álcali-agregado. Contudo, foi verificado que nenhuma das amostras ensaiadas apresentaram grandes mudanças em seu aspecto, como por exemplo, fissuras e empenamento, confirmando assim, o não surgimento da reação expansiva.

O EDS foi considerado uma ferramenta importantíssima neste estudo, onde teve como alvo a identificação dos elementos químicos presentes nas amostras possibilitando entender o porquê da não manifestação da reação álcali-agregado. Todas as amostras apresentaram basicamente os mesmos elementos químicos em sua composição. Sendo o oxigênio, o sódio, o silício e o cálcio, os que apresentavam maior concentração,

enquanto que os elementos como cloro e alumínio, uma concentração mais baixa. Outros elementos como enxofre e potássio também foram identificados nas amostras Ameta, Batuira e MGM, porém em quantidades muito pequenas, podendo ser considerados como desprezíveis. A explicação para a não manifestação da reação expansiva pode ser atribuída ao alto teor de cálcio existente nas amostras ensaiadas. Pois o elevado teor de cálcio faz com que haja uma diminuição na concentração de álcalis, e com isso, inibição da formação do gel expansivo. A Tabela 5 apresenta as análises referentes ao EDS, para cada amostra ensaiada.

**Tabela 5 - Análise das amostras ensaiadas (EDS)**

AMOSTRAS	ANÁLISE	REATIVA?
São José Z-Dantas Ramal do 15 Kataman WH	As referidas amostras apresentaram em sua composição os seguintes elementos químicos: oxigênio, cloro, sódio, alumínio, silício e cálcio. Sendo que apenas o oxigênio, sódio, silício e o cálcio apresentaram quantidades expressivas. Mesmo com a elevada concentração de silício e com a presença de quartzo, as amostras apresentaram-se inócuas, devido o alto teor de cálcio presente nas mesmas. Pois o cálcio diminui a concentração alcalina, tornando a reação sem efeito deletério.	Não
Ameta MGM	As referidas amostras apresentaram em sua composição os seguintes elementos químicos: oxigênio, cloro, enxofre, sódio, alumínio, silício e cálcio. Sendo que apenas o oxigênio, sódio, silício e o cálcio apresentaram quantidades expressivas. O elemento químico enxofre encontrado nas amostras apresentou-se em quantidades desprezíveis, não influenciando em nada a reação. Também foi constatado nas amostras a presença de quartzo e elevada concentração de silício, contudo o alto teor de cálcio foi suficiente para assegurar a não formação de gel expansivo.	Não
Batuira	A referida amostra apresentou em sua composição os seguintes elementos químicos: oxigênio, cloro, potássio, sódio, alumínio, silício e cálcio. Sendo que apenas o oxigênio, sódio, silício e o cálcio apresentaram quantidades expressivas enquanto que o potássio manifestou-se em pequenas quantidades, podendo ser considerado desprezível. A amostra Batuira também apresentou alto teor de silício e quartzo, mas assim como as demais amostras estudadas, também foi considerada inócua devido o alto teor de cálcio, fazendo com que houvesse uma redução na concentração alcalina, impedindo o surgimento do gel expansivo.	Não

Fonte: Elaborada pelos autores.

#### 4 Conclusão

Os resultados obtidos indicam que as amostras analisadas são inócuas. Uma vez que a alta concentração de cálcio presente nas mesmas juntamente com os baixos valores de expansão dos corpos-de-prova prismáticos utilizados no ensaio de potencialidade reativa, pelo método acelerado, foram suficientes para assegurar o não

desencadeamento de uma possível reação alcalina, e conseqüentemente, o surgimento do gel álcali-silica.

É importante mencionar também que este trabalho dará, ao meio técnico científico e profissionais da região, sua contribuição para futuros trabalhos sobre este tema, com o objetivo de suprir a carência de pesquisas sobre o assunto na região. Além disso, proporcionará a confecção de concretos com maior durabilidade, quando utilizados os agregados em questão, uma vez que estes estão isentos de reações expansivas. Pois a formação do gel álcali-silica no interior do concreto provoca pressões internas devido sua expansão, levando ao aparecimento de fissuras e, conseqüentemente, perda de sua impermeabilidade, afetando assim, a durabilidade do concreto.

Como sugestão para futuros trabalhos, seria de grande relevância a realização dos ensaios de reatividade potencial pelo método químico e de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Com o objetivo de comparação dos resultados e maior conhecimento sobre o fenômeno da reação álcali-agregado.

### **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, agradeço ao corpo de professores do Centro Tecnológico de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, pelo conhecimento a mim transmitido. Agradeço também ao Laboratório de Espectrometria de Energia Dispersiva do museu EMILIO GOELDI, ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, as jazidas que forneceram os materiais para o ensaio e a toda a equipe do laboratório de materiais, que sempre foram atenciosos e prestativos em todos os momentos da pesquisa, desde o armazenamento do material até a conclusão dos ensaios.

### **Referências**

ANDRADE, T. **Histórico de casos de RAA ocorridos recentemente em fundações de edifícios na Região Metropolitana do Recife-PE.** In: II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO ÁLCALIAGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO. 2006, Rio de Janeiro. Anais...São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

ANDRIOLO, F.R. **AAR Dams affected in Brazil – Report on the Current Situation.** In: International Conference on Alkali-aggregate Reaction in Concrete, 11. pp. 1243-1252, Québec, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Mercosul, “**Agregados – Amostragem**”, NBR NM 26, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, “**Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado**”, NBR 15577-4, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, “**Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**”, NBR 5733, 1991.

BICZOK, I. **Corrosion y protección del hormigon**. Trad de Emilio J. d'Ocon Asensi. Bilbao/España: Ediciones Urmo, 1972. p.275-280.

FIGUERÔA, JOSÉ DO PATROCINIO. Andrade, Tibério, **O ataque da Reação Álcali-agregado sobre as estruturas de Concreto: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na Região Metropolitana do Recife**. – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007. 228 p.

HASPARYK, N. P.; ARMELIN, J.L.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI, W. **Investigação da reação álcali-agregado em testemunhos de concreto através da microscopia eletrônica de varredura**. In: III CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, 1998. pp. 437-446, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: UFJF, 1998.

HOOPS, D.W. **Alkali silica reaction in concrete**. Ed. Thomas Telford, Londres, 1988.

KIARA, Y.; BUCHER, H.R.E. **Microsilica: uma nova pozolana artificial**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, Rio de Janeiro, 1986.

LOPES, L. E. **Modelagem mecânica e numérica da reação álcali-agregado com aplicação a barragem de concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ. 2004. 157p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – microestruturas, propriedades e materiais**. 3ª ed; São Paulo: Ed. Pini, 2008.

MUNHOZ, F.A.C. **Efeito das adições ativas na mitigação das reações álcali-silica e álcali-silicato**. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, G.A. **Recuperação de Blocos de Coroamento Afetados pela Reação Álcali-Agregado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. 2007, 130f.

SILVEIRA, A. L.; GUIMARÃES, E. M.; LENHARO, S. L. R.; HASPARYK, N. P.; CHIOSSI, W. C.; BITTENCOURT, R. M. **Investigação da reação álcali-agregado em rochas carbonáticas**. In: II Simpósio sobre reação álcali-agregado em estruturas de concreto. 2006, Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

VIEIRA, S.R.S.S.; PECCHIO, M.; ABREU, J.V.; FERREIRA, M.C.N.F. **Avaliação de diferentes cimentos como inibidores da reação álcali-agregado**. In: Congresso Brasileiro de Cimento, 40. pp. 579-590, São Paulo. Anais... São Paulo, 1996.