DESEMPENHO DO CONCRETO FRENTE A ADIÇÕES DE *SPRAY DRYER ASH* DA USINA TERMELÉTRICA DO PECÉM[1]

ARLEGO, R., Universidade Federal do Ceará, email: raphael_arlego@hotmail.com; CABRAL, A.E.B., Universidade Federal do Ceará, email: eduardo.cabral@ufc.br

ABSTRACT

After the flue gases from a thermoelectric plant that uses coal as combustive passes through a dessulfurizator, the fly ashes get mixed with sulphurous products, hampering the use of this residue. A possible use for this ash, named spray dryer ash (SDA), is as a mineral addition to concrete. The objective of this paper is to evaluate the performance of concrete with addition of different percentages of spray dryer ash from Pecém's thermoelectric plant. Concrete specimens with 0%, 5%, 10% and 20% of SDA addition to the cement mass were cast and had its compressive strength measured. After that a sulfur attack was made to evaluate the volumetric change, a concern when working with sulfur-containing compounds in concrete. It is concluded that an addition of 20% of SDA can raise the compressive strength of concrete without worrying about sulfate attacks, while a 5% or a 10% addition behaves similar to a concrete without SDA.

***Keywords**: Solid waste. Spray dryer ash. Concrete. FGD.*

1 INTRODUÇÃO

Durante o processo de geração de energia em uma termelétrica, diversos resíduos são gerados. Dentre os resíduos sólidos estão as cinzas, de fundo e volantes, que já são estudadas formas de aproveitamento e muitas delas já são usadas na prática, segundo Rohde (2013). Além desses resíduos, emissões gasosas também contribuem para aumentar o passivo ambiental dessas indústrias, pois, dentre os gases lançados, estão os do efeito estufa e os ácidos, repletos de enxofre, que aumentam a incidência de chuvas ácidas (STAMM, 2003).

Sendo assim, de acordo com Fang et al. (2018), como forma de mitigar o lançamento dos gases sulfurosos, são instalados nas termelétricas sistemas de dessulfurização dos gases da combustão (FGD). No entanto, a depender do local onde o FGD é instalado, antes ou depois dos coletores de partículas, os resíduos sólidos gerados podem ser cinzas volantes e produtos sulfurosos, ambos podendo ser aproveitados a posteriori, ou ser uma mistura desses resíduos, chamado na literatura de *spray dryer ash* (SDA), que ainda carece de mais pesquisas para ser amplamente usado na construção civil, pois há uma preocupação quanto a possíveis ataques por sulfatos devido a seu alto teor de enxofre. (CASTELLAN, CHAZAN e D`ÁVILA, 2003; ERPI, 2007; HAMON, 2018).

Na usina termelétrica do Pecém (UTE Pecém I), localizada no município de São Gonçalo do Amarante/CE, além das cinzas leves e pesadas, devido ao

[1] ARLEGO, R., CABRAL, A.E.B. Desempenho do concreto frente a adições de *spray dryer ash* da usina termelétrica do Pecém. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 20188.

layout da planta, há ainda a geração de SDA (informação verbal)[2]. Então, haja vista o que foi exposto, nota-se a importância do desenvolvimento de estudos para aproveitamento desses resíduos gerados na termelétrica do Pecém para diversas aplicações na construção civil. Sendo assim, buscando contribuir para isso, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do concreto frente a adições de SDA da UTE Pecém I no que diz respeito à resistência à compressão e ao ataque por sulfatos.

2 MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA

2.1 Água e aditivo

A água utilizada para o preparo das soluções foi destilada, conforme preconiza a norma NBR 13583 (ABNT, 2014b). Para os demais usos, empregou-se a água tratada oriunda da rede de abastecimento local.

O aditivo utilizado foi um superplastificante sintético baseado em polímeros policarboxilatos. Seu uso foi justificado para se conseguir a mesma trabalhabilidade em todos os concretos ao se variar o teor de SDA, mas mantendo-se a relação água/cimento para todos os traços de concreto.

2.2 Cimento

Foi utilizado o cimento do tipo CP V ARI, por ser o cimento com o menor teor de adições minerais comercializado na região do estudo. Dessa forma, o comportamento apresentado pelos traços pôde ser avaliado unicamente pela influência das adições de SDA. A Tabela 1 apresenta as propriedades do cimento usado na pesquisa.

Tabela 1 – Propriedades do cimento usado

Composição Química				**Resistência à Compressão**		
P. Fogo (%)	**RI (%)**	**SO3 (%)**	**CaO Livre (%)**	**1 dia (MPa)**	**3 dias (MPa)**	**7 dias (MPa)**
4,3	0,95	2,82	0,95	19,37	31,61	38,23

Finura				**Expansibilidade**	**Pega**		**Consistência**
Massa específica (g/cm³)	**Blaine (cm²/g)**	**# 325 (%)**	**# 200 (%)**	**Quente (mm)**	**Início (min)**	**Fim (min)**	**Normal (%)**
3,11	4548,4	1,69	0,38	1,75	128,33	188,33	28,6

Fonte: Disponibilizado pelo fornecedor do cimento (2018)

2.3 Agregados

Os agregados miúdo e graúdo usados na pesquisa foram caracterizados a

[2] Informações fornecidas em abril de 2017 por Guilherme Lacerda Batista de Oliveira, engenheiro mecânico responsável pela operação das usinas da UTE Pecém I.

fim de verificar os requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009). Ambos foram adquiridos em lojas de materiais de construção locais. O resumo de suas propriedades pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades dos agregados utilizados

Propriedade	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Massa específica (g/cm³)	2,62	2,69
Massa unitária solto (g/cm³)	1,61	1,4
Massa unitária compactado (g/cm³)	-	1,51
Absorção (%)	0,42	0,4
Materiais Pulverulentos (%)	0,5	-
Teor de argila (%)	0,5	-
Módulo de Finura	3,14	4,73
Dimensão máxima característica (mm)	4,75	25

Fonte: Os autores

2.4 Spray Dryer Ash (SDA)

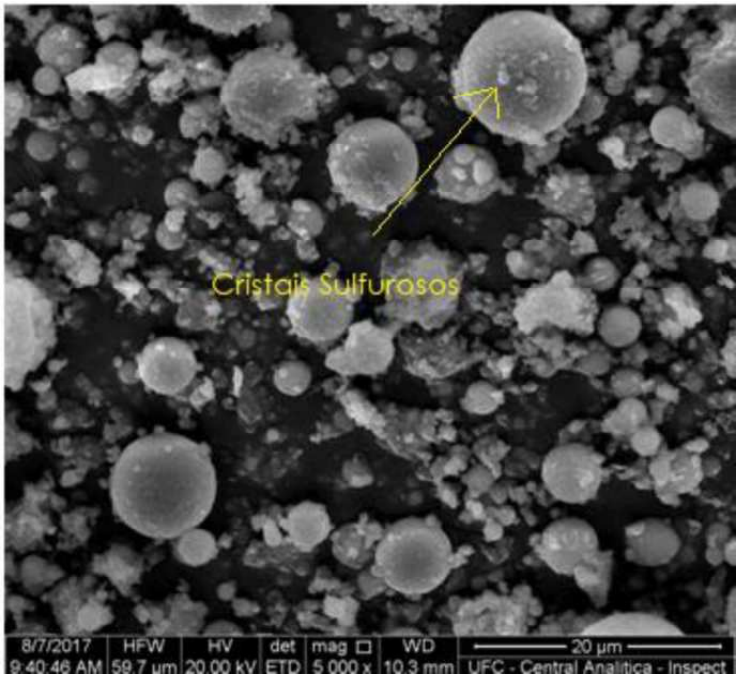
A SDA foi caracterizada física e quimicamente, obtendo-se uma massa específica de 2,40 g/cm³ (NBR 16605 – ABNT 2017). A proporção de elementos dada pelo resultado da Fluorescência de Raios X (FRX) pode ser vista na Tabela 3. A morfologia mostrada na Figura 1, pela microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os compostos cristalinos resultantes da Difração de Raios X (DRX) são apresentados na Figura 2.

Tabela 3 – Composição química da SDA

Elemento	Porcentagem em massa
CaO	35,36
SiO2	24,02
Fe2O3	22,98
SO3	7,85
Al2O3	5,45
K2O	2,08
TiO2	1,89
SrO	0,37

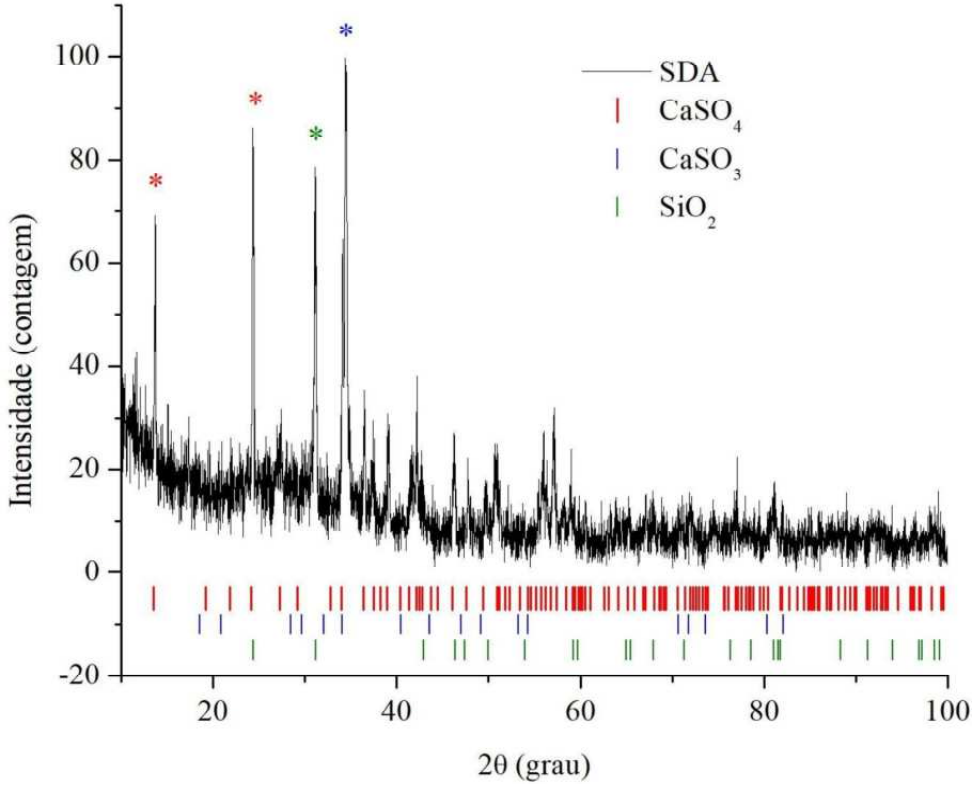
Fonte: Os autores

Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura da SDA



Fonte: Os autores

Figura 2 – Elementos cristalinos da SDA



Fonte: Os autores

A partir do FRX, nota-se que a SDA não pode ser classificada como um material pozolânico classe C segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014a). A soma dos óxidos de ferro, alumínio e silício é de 52,45%, inferior ao mínimo de 70% da norma. Da mesma forma, a porcentagem de óxido de enxofre presente é

de 7,85%, superando o limite de 5% preconizado. Dessa forma, optou-se por usar a SDA como adição mineral, aproveitando-se de seu efeito fíler.

A Figura 1 mostra como a SDA na forma de uma cinza volante convencional, mas possui cristais sulfurosos aderidos às partículas esféricas. Da Figura 2, vê-se que tais cristais são sulfitos e sulfatos de cálcio ($CaSO_3$ e $CaSO_4$), responsáveis pelo elevado teor de enxofre no resíduo.

2.5 Método de Pesquisa

Após todos os materiais serem coletados ou adquiridos e, depois, caracterizados, foi feita uma dosagem de concreto para um f_{ck} de 30 MPa e abatimento de 100 ± 20 mm, que pode ser vista na Tabela 4. Esse foi o traço usado como referência. Foram escolhidos teores de adição de SDA até 20% por ser o limite normativo na Europa (BS 8500 – BSI, 2015). Os teores usados foram os de 0% (referência - R), 5% de adição de SDA, calculado com base na massa de cimento (S1), 10% de adição de SDA (S2) e 20% de adição de SDA (S3). A Tabela 5 apresenta a quantidade de SDA adicionada e do aditivo superplastificante usado para um metro cúbico do traço de referência e os respectivos abatimentos obtidos.

Tabela 4 – Traço de concreto usado (massa por metro cúbico)

Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
377,36	804,34	999,62	200

Fonte: Os autores

Tabela 5 – Massa de cinza, porcentagem de aditivo e abatimento de cada traço

Identificação do Traço	SDA (kg)	Aditivo (%)	Abatimento (mm)
R	0	0,08%	115
S1	18,87	0,05%	90
S2	37,74	0,11%	80
S3	75,47	0,18%	80

Fonte: Os autores

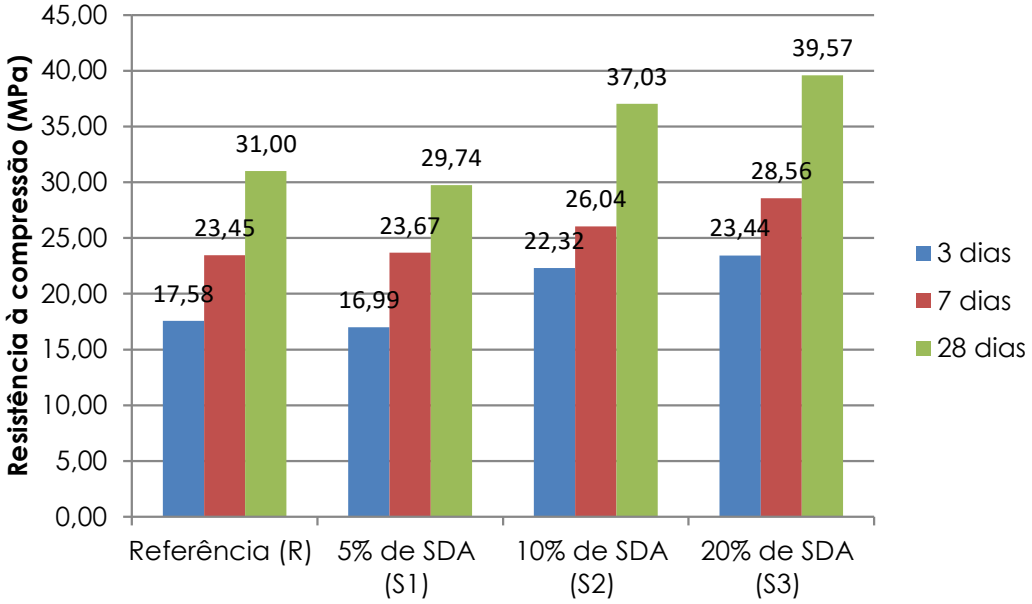
Para cada traço foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, totalizando 24 corpos de prova. Após os períodos de cura por imersão em água saturada de cal de 3, 7 e 28 dias, pares de corpos de prova foram ensaiados quanto à resistência à compressão, conforme NBR 5739 (ABNT, 2007).

Para avaliar se o teor de enxofre poderia causar um ataque por sulfatos, realizou-se os procedimentos da NBR 13583 (ABNT, 2014b), a fim de avaliar a expansão volumétrica das barras, ao serem submetidas a uma solução agressiva de sulfato de sódio.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 3 tem-se a evolução da resistência à compressão de cada traço de concreto no tempo. Nela, pode-se observar uma tendência ao aumento da resistência na medida em que a adição de SDA se eleva. Tal fato pode ser justificado pelo efeito fíler que o resíduo exerce no concreto, preenchendo a matriz e a tornando mais compacta e resistente.

Figura 3 – Resistência à compressão dos traços de concreto



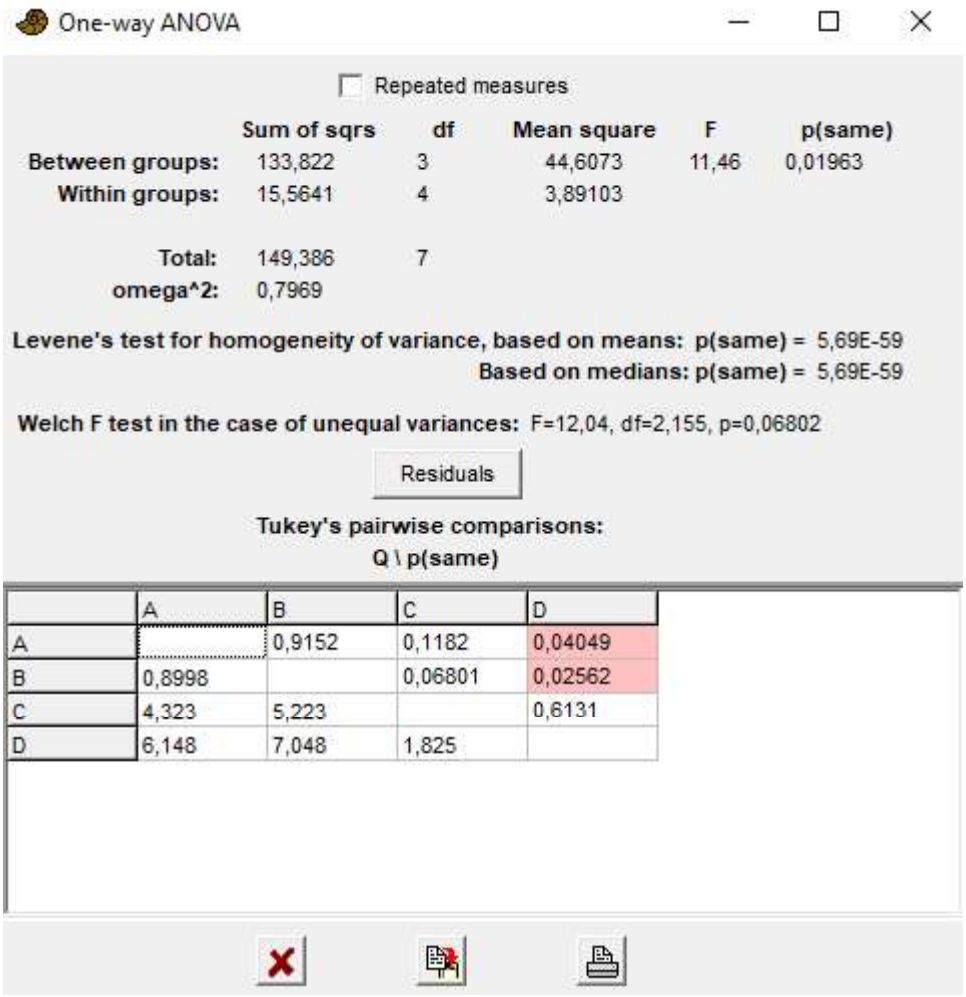
Fonte: Os autores

A fim de verificar se essa tendência pode ser justificada estatisticamente, fez-se um processamento dos dados dos rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias utilizando o software PAST (HAMMER, HARPER E RYAN, 2001). A saída do processamento dada pelo programa pode ser vista na Figura 4.

A partir da análise de variância apresentada, comprova-se que não se pode considerar os quatro traços como sendo de uma mesma família de resistência, ou seja, com diferenças nas médias estatisticamente insignificantes. No entanto, para saber quais os traços diferem dos demais, observa-se o teste de Turkey, que mostra que o traço S3 possui média estatisticamente diferente das demais.

Mesmo sendo verificada essa tendência no comportamento dos traços com adição do resíduo, existe uma preocupação com uma possível expansão por ataque por sulfatos, devido ao elevado teor de enxofre da SDA. Sendo assim, a Tabela 6 mostra a variação volumétrica de barras sujeitas à solução agressiva, de onde se conclui que o ataque por sulfatos não será um problema, pois os valores de expansão aos 42 dias são bem inferiores ao valor limite de 0,03% proposto por Marciano (1993).

Figura 4 – Análise estatística da resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Os autores (*screenshot* do software PAST)

Tabela 6 – Variação volumétrica das barras expostas à solução agressiva

Identificação do traço	Expansão (%)		
	14 dias	28 dias	42 dias*
Referência (R)	0,005	0,009	0,013
5% de SDA (S1)	0,005	0,008	0,011
10% de SDA (S2)	0,004	0,006	0,008
20% de SDA (S3)	0,003	0,004	0,005

*Valores extrapolados devido ao prazo disponível para o fim da pesquisa
Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

Da pesquisa realizada, fica evidenciado que, com a adição de SDA no concreto até valores de 20% em relação à massa de cimento, a resistência à compressão aumenta, como ocorreu com o traço S3, com 20% de adição, ou não sofre influência, como ocorreu nos demais traços. Além disso, a expansão devido a ataques por sulfatos foi inferior ao limite de 0,03% para todos os traços.

Sendo assim, conclui-se que, ao adicionar SDA da termelétrica do Pecém em até 20%, não foi comprometido o desempenho do concreto no que diz respeito à resistência à compressão e ao ataque por sulfatos. No entanto, para afirmar que tal resíduo pode ser usado no concreto ainda precisam ser feitos ensaios ambientais e de durabilidade, pois em longo prazo, os efeitos da adição da SDA no concreto ainda podem se manifestar de maneira negativa.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pelo apoio financeiro ao autor 1 durante a pesquisa. À Central Analítica-UFC/CT-INFRA/MCTI-SISNANO/Pró-Equipamentos CAPES, por realizar o MEV da SDA em estudo. Ao Laboratório de Raios X da UFC e ao CNPq (Processo: 402561/2007-4), Edital MCT/CNPq nº 10/2007, por ter feito a análise de FRX e DRX da SDA. Ao Convênio N°01/2017 entre a EDP e a UFC, com a interveniência da FUNDAÇÃO ASTEF.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____ . **NBR 7211.** Agregados para concreto **–** Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

_____ . **NBR 12653.** Materiais pozolânicos **–** Requisitos, Rio de Janeiro, 2014a (Versão corrigida: 2015).

_____ . **NBR 13583.** Cimento Portland **–** Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio, Rio de Janeiro, 2014b.

_____ . **NBR 16605.** Cimento Portland e outros materiais em pó **–** Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 2017.

BSI BRITISH STANDARD INSTITUTE**. BS 8500**: Concrete **–** Complementary British Standard to BS EN 206. 2015.

CASTELLAN, J. L.; CHAZAN, D. T.; D`ÁVILA, M. L. Dessulfuração em Termoelétricas a Carvão: O Caso da Usina de Candiota II. In: II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2003, Salvador/BA. **Anais...** Salvador/BA: Geração Termelétrica, 2003.

EPRI-ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **A Review of Literature Related to the Use of Spray Dryer Absorber Material:** Production, Characterization, Utilization Applications, Barriers, and Recommendations. Palo Alto, CA. 2007.

Fang, D.; Liao, X.; Zhang, X.; Teng, A.; Xue, X. A novel resource utilization of the calcium-based semi-dry flue gas desulfurization ash: As a reductant to remove

chromium and vanadium from vanadium industrial wastewater. **Journal of hazardous materials**, v. 342, p. 436-445, 2018.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST-palaeontological statistics, ver. 1.89. **Palaeontol electron**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HAMON. **Air Quality Systems.** Disponível em: <http://www.hamon.com.br/docs/upload/31/files/Brochures/Hamon-AQS-Brochure-2015.pdf > Acesso em 31 de março de 2018.

Marciano, Z. A. N. **Desenvolvimento de um Método Acelerado para Avaliação da Resistência de Argamassas de Cimento Portland Expostas à Solução de Sulfato de Sódio**. 1993. 202p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) **–** Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ROHDE, G. M. Cinzas, a outra metade do carvão fóssil **–** nova estratégia para a termeletricidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 4, 2013, Gramado. **Anais...** Criciúma: SATC, 2013.

STAMM, H. R. **Método para avaliação de impacto ambiental (AIA) em projetos de grande porte:** estudo de caso de uma usina termelétrica. 2003. 284 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) **–** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.