

# Escória de Aciaria

## ALTERNATIVA ECONÔMICA E AMBIENTALMENTE ADEQUADA PARA OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO E CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

José Flávio do Nascimento  
Lisete Celina Lange

### 1. INTRODUÇÃO

Durante a fabricação do aço, produto estratégico e nobre, são gerados diversos tipos de resíduos, dentre os quais aquele composto da fração leve que se separa do aço líquido, pela diferença de peso específico, que é conhecido como escória de aciaria.

Conforme estatísticas publicadas pelo IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), a produção mundial de aço bruto no ano de 2002 foi de 902 milhões de toneladas, enquanto a produção brasileira foi de 29,604 milhões de toneladas (IBS, 2003). A geração média de escória de aciaria nas empresas sediadas no Estado de Minas Gerais é de 70 a 80 quilogramas por tonelada de aço bruto produzido. Pode-se, portanto, estimar que a geração anual de escórias de aciaria é da ordem de

2,5 milhões de toneladas/ano. A quantidade de escória de aciaria estocada é de difícil avaliação, mas pode-se estimar que existam 10 milhões de toneladas em estoque, dentro de uma avaliação pessimista.

A escória de aciaria é um resíduo sólido classificado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) como material não inerte (Classe II), porém ressalte-se que o material não apresenta característica de periculosidade para uso.

A utilização ou o reaproveitamento da escória de aciaria tem tido como principal obstáculo, apresentar elevado potencial de expansibilidade quando aplicada em determinadas condições de confinamento. A expansibilidade da escória de aciaria pode ser reduzida, tornando-a um

agregado igual ou melhor que os agregados oriundos da britagem das melhores rochas, porém alguns insucessos ocorridos com a utilização dessa escória, provocam um imenso temor por parte de técnicos que ainda não a conhecem adequadamente.

As escórias de aciaria apresentam grande versatilidade em suas aplicações potenciais. A fração graúda da escória de aciaria, após período de cura, pode ser considerada como material inerte de elevada dureza, de bom atrito superficial e reduzida porosidade, constituindo-se em um agregado de boa qualidade para todas as obras da engenharia de infra-estrutura.

É consenso entre os pesquisadores, que o fenômeno da expansibilidade das escórias de aciaria é provocado pela hidratação

Quadro 1 – Transformações nas principais espécies químicas

ESPÉCIE QUÍMICA ORIGINAL		ESPÉCIE QUÍMICA APÓS TRANSFORMAÇÃO		VARIÇÃO DE VOLUME (%)	MECANISMO
FÓRMULA	NOME	FÓRMULA	NOME		
CaO	Cal	Ca(OH) <sub>2</sub>	Portlandita	99,4	Hidratação
MgO	Periclásio	Mg(OH) <sub>2</sub>	Brucita	119,5	Hidratação
FeO	Ferro Metálico	Fe(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido	271,7	Hidratação
FeO	Ferro Metálico	FeO(OH)	Goetita	192	Hidratação
FeO	Ferro Metálico	FeO	Wustita	77,4	Oxidação
FeO	Ferro Metálico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematita	328,7	Oxidação
CaO	Cal	CaCO <sub>3</sub>	Calcita	105,9	Carbonatação

Fonte: WEAST (1971), citado por MACHADO (2000)

do óxido de cálcio livre e do óxido de magnésio não reagido. Em presença de umidade, estes óxidos hidratam-se, aumentando de volume. A expansão também pode estar associada ao polimorfismo do silicato dicálcico (C2S) e à oxidação e corrosão do ferro metálico (FeO). Também é consenso que o óxido de cálcio é responsável pela expansibilidade inicial, enquanto o óxido de magnésio pela manutenção do fenômeno de expansibilidade continuar por um longo tempo.

WEAST (1971), citado por MACHADO (2000), apresenta as variações volumétricas em função das transformações ocorridas nas principais espécies químicas presentes na escória de aciaria. As principais transformações são apresentadas no Quadro 1.

Observa-se que ocorre um significativo aumento de volume em relação às dimensões originais do cristal. Este fenômeno conduz à expansão destrutiva na escória de aciaria.

A expansibilidade da escória de aciaria pode provocar o aparecimento de erupções superficiais ("pequeninos vulcões") no pavimento, que têm como características principais a formação de trincas radiais de pequeno tamanho e o estufamento do revestimento que, em alguns casos, podem atingir alguns centímetros de altura. Apesar dessas erupções superficiais, isoladamente, não passam de um dano basicamente estético e sem maiores conseqüências estruturais, em grandes quantidades podem tornar-

se um sério problema funcional. Portanto, não se recomenda o uso de escórias de aciaria novas e não curadas, por apresentarem elevado potencial de expansibilidade (ALBERNAZ et al., 2000).

## 2. PESQUISAS REALIZADAS

A pesquisa realizada consistiu na exposição, em laboratório, de amostras de escória de aciaria, procedentes de fontes geradoras diferentes, às condições de hidratação diária, por períodos de tempo variáveis, sendo que parte das amostras foram preservadas desta hidratação, ficando protegidas do sol em ambiente coberto. Cada amostra de escória foi submetida ao ensaio de expansibilidade volumétrica, com o objetivo de conhecer o comportamento da redução da expansibilidade com relação ao período de tratamento de hidratação e ao período de armazenamento abrigado de umidade e sol.

Este trabalho estudou apenas as escórias de aciaria produzidas em fornos do tipo BOF, por serem, geralmente, aquelas que apresentam maior potencial de expansibilidade volumétrica. Apesar de sua constituição básica ser semelhante, pequenas diferenças na composição ou nos processos utilizados podem causar mudanças significativas de comportamento. Para a realização deste trabalho, foram estudadas 04 (quatro) fontes, dentre aquelas que possuem geração expressiva destes resíduos: USIMINAS, COMPANHIA SIDERURGICA TUBARÃO (CST),

AÇOMINAS e V & M do Brasil. Em cada uma das fontes foi coletada uma amostra representativa, com peso aproximado de 1500 quilogramas. Estas amostras foram quarteadas em laboratório e separadas para a realização dos ensaios.

## 3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESCÓRIAS DE ACIARIA

Os ensaios iniciais tiveram a finalidade de caracterizar a escória de aciaria procedente de cada fonte de produção, sendo realizados aqueles rotineiros para caracterização de materiais para uso em pavimentação rodoviária.

Os resultados dos ensaios serão apresentados, sem a identificação da fonte da escória. A Tabela 1.1 apresenta os valores médios de alguns ensaios de caracterização das escórias de aciaria estudadas.

## 4. DETERMINAÇÃO DA EXPANSIBILIDADE VOLUMÉTRICA DAS ESCÓRIAS DE ACIARIA

Paralelamente, promoveu-se a execução dos ensaios de expansibilidade volumétrica das amostras de escória de aciaria, separadas especificamente para este fim. Os ensaios foram realizados em idades crescentes (múltiplo de 15 dias), da idade inicial até 180 dias.

A escolha deste ensaio deve-se ao fato de que, no meio rodoviário, foi sempre utilizado como referência para aceitação de uma escória de aciaria quanto ao aspecto de expansibilidade volumétrica. Além

Tabela 1.1 – Quadro Resumo de Resultados de Ensaios de Caracterização

ENSAIOS	UNIDADE	FONTE A	FONTE B	FONTE C	FONTE D
Abrasão Los Angeles	(%)	14,1	11,5	9,7	16,5
Índice de Lamelaridade	(%)	10,3	11,7	12,7	9,1
Densidade aparente solta	G/cm <sup>3</sup>	2,029	1,771	2,001	1,876
Densidade real do graúdo	G/cm <sup>3</sup>	4,005	3,525	3,928	3,824
Permeabilidade	cm/seg	2,89 x 10E-6	3,3 x 10E-5	-	9,6 x 10E-4
Limite de liquidez	(%)	NL	NL	NL	NL
Índice de Plasticidade	(%)	NP	NP	NP	NP
Índice de Grupo		0	0	0	0
Classificação TRB		A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a
Energia de compactação	Golpes/camada	59	59	59	59
Umidade Ótima de compactação	(%)	6,6	7	5	8,8
Densidade seca máxima	G/cm <sup>3</sup>	2,71	2,679	2,699	2,559
Índice de Suporte Califórnia	(%)	190	295	198	220
Expansão CBR	(%)	0	0	0	0
Granulometria (% que passa)					
Peneira 2"	(%)	100	100	100	100
Peneira 1"	(%)	97,3	100	100	88,4
Peneira 3/8"	(%)	66,8	72,2	59,8	50,2
Peneira N° 4	(%)	34,6	49,6	40,4	30,7
Peneira N° 10	(%)	19,7	33,1	16,3	17,2
Peneira N° 40	(%)	11,3	21,7	8,3	8
Peneira N° 200	(%)	5	7,7	3,4	4,1

NL = ausência de sensibilidade à água – teor de umidade indeterminado  
 NP = ausência de plasticidade – intervalo de umidades indeterminado.

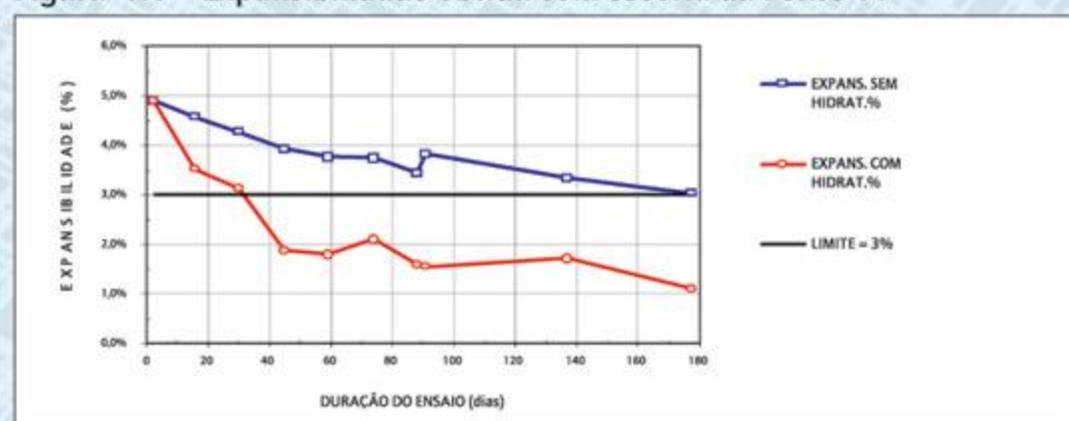
disto, constitui-se no método de ensaio especificado e aprovado pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). De acordo com a especificação de material DNER-EM 262/94, a escória de aciaria deve apresentar expansibilidade máxima de 3% (três por cento) ou o valor determinado pela especificação particular de projeto, quando submetida à avaliação do potencial de expansão determinada pelo Método PTM 130.

As Figuras 1.1 a 1.4 apresentam as evoluções (comportamento) das expansibilidades volumétricas das

escorias de aciaria das fontes A, B, C e D. Cada gráfico representa o comportamento da expansibilidade (redução) em função do tempo de cura do material, considerando a

condição de cura com hidratação diária e a cura sem hidratação, mantendo-se a amostra em local abrigado de sol e de chuva. Estes gráficos foram obtidos através

Figura 1.1 - Expansibilidade obtida com escória da Fonte A



da plotagem dos valores médios das expansibilidades volumétricas de cada fonte em função das idades de cura de cada amostra.

A Figura 1.5 apresenta os gráficos das expansibilidades médias obtidas com os resultados de ensaios de expansibilidade das amostras de escórias de aciaria das fontes A, B, C e D, mantidas sem tratamento de hidratação e com tratamento de hidratação diária. Esta figura foi composta com os valores médios representativos das curvas apresentadas anteriormente para cada fonte.

### 5. AMOSTRAS SEM HIDRATAÇÃO DIÁRIA

A análise dos resultados de ensaios de expansibilidade volumétrica realizados com amostras sem hidratação diária, teve como objetivo verificar a possibilidade da definição de um tempo mínimo de estabilização natural para a escória de aciaria ou, ainda, a consistência da recomendação, em grande parte da literatura, de um tempo de estocagem mínimo de seis meses.

Considerando-se algumas condições específicas de armazenagem, foram verificados os seguintes resultados de ensaios de expansibilidade volumétrica:

- a escória de aciaria obtida na fonte B, apresentou valores de expansibilidade menores que 3% a partir de, aproximadamente, 35 dias de armazenagem;
- a escória de aciaria obtida na fonte C, apresentou valores de expansibilidade menores que 3% a partir de, aproximadamente, 90 dias de armazenagem;
- a escória de aciaria obtida na fonte D, apresentou valores de expansibilidade menores que 3% a partir de, aproximadamente, 125 dias de armazenagem;
- a escória de aciaria obtida na fonte A, apresentou valores de expansibilidade na

Figura 1.2 – Expansibilidade obtida com escória da Fonte B



Figura 1.3 – Expansibilidade obtida com escória da Fonte C

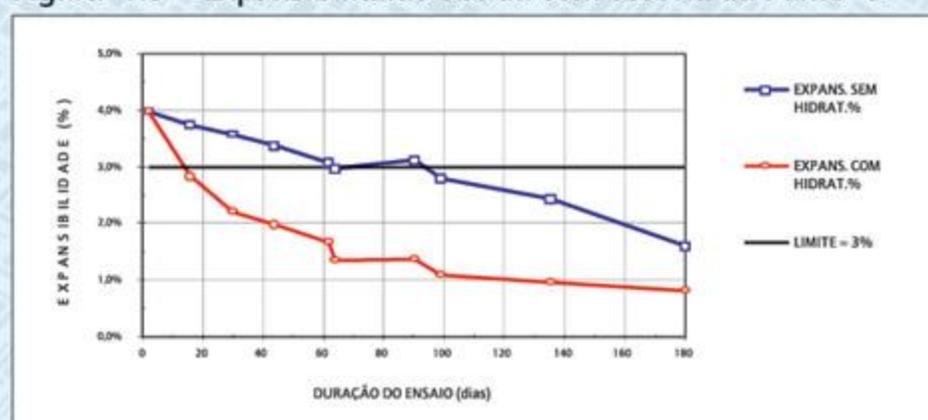
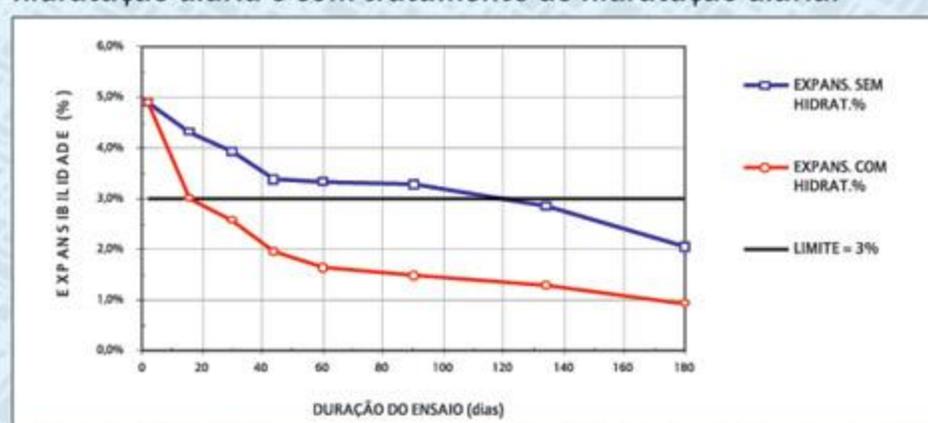


Figura 1.4 – Expansibilidade obtida com escória da Fonte D



Figura 1.5 - Gráfico da expansibilidade média obtida com escórias das fontes A, B, C e D, mantidas sem tratamento de hidratação diária e com tratamento de hidratação diária.



circunvizinhança de 3% a partir de, aproximadamente, 180 dias de armazenagem;

A análise dos resultados obtidos na pesquisa permite concluir que, mantendo-se as condições deste estudo, um período de cura de 04 (quatro) meses já é adequado para estabilizar a maior parte das escórias de aciaria. Novas pesquisas devem ser realizadas para identificar o fator laboratório x campo, pois as condições de aeração no campo seriam certamente diferentes. Por outro lado, seria arriscado afirmar que toda e qualquer escória de aciaria que esteja armazenada por 180 dias, esteja já estabilizada.

## 6. AMOSTRAS COM HIDRATAÇÃO DIÁRIA

A análise dos resultados de ensaios de expansibilidade volumétrica realizados com amostras hidratadas diariamente, teve como objetivo verificar a possibilidade da definição de um tempo mínimo de estabilização para a escória de aciaria, considerando-se que as condições de hidratação da pesquisa possam ser reproduzidas em campo.

As condições de hidratação praticadas neste estudo foram as seguintes:

- amostras pequenas bem espalhadas, garantindo aeração (presença de oxigênio, CO<sub>2</sub>, umidade higroscópica, outros) na amostra total;
- irrigação diária, através de aspersão. A quantidade de água utilizada variou de 5%

para amostras com menores teores de materiais finos até 7% para amostras com maiores percentuais de finos na peneira nº 200. As porcentagens da água a ser adicionada diariamente referem-se ao peso das amostras;

- mistura da água adicionada à escória de aciaria diariamente.

Considerando-se estas condições de armazenagem, tivemos os seguintes resultados de ensaios de expansibilidade volumétrica:

- as escórias de aciaria obtidas nas fontes C e D, apresentaram valores de expansibilidade menores que 3% a partir de, aproximadamente, 15 dias de tratamento;
- a escória de aciaria obtida na fonte B, apresentou valores de expansibilidade menores que 3% a partir de, aproximadamente, 18 dias de tratamento;
- a escória de aciaria obtida na fonte A, apresentou valores de expansibilidade na circunvizinhança de 3% a partir de, aproximadamente, 32 dias de tratamento.

A análise dos resultados obtidos na pesquisa permitiu concluir que, com hidratação diária e mantendo-se as condições deste estudo, um período de cura de 18 (dezoito) dias já é adequado para estabilizar a maior parte das escórias de aciaria. Novas pesquisas devem ser realizadas para identificar o fator laboratório x campo, pois as condições de aeração no campo seriam certamente diferentes.

## 7. CONCLUSÃO

A escória de aciaria deve ficar exposta a condições que permitam, ao longo de um determinado tempo, que os mecanismos de hidratação e carbonatação possam transformar de forma completa estas espécies químicas. Fatores como a exposição do material à umidade, alta temperatura, tempo e presença de CO<sub>2</sub> são importantes para se atingir mais eficientemente a estabilização de uma escória de aciaria.

Percebe-se, claramente, que a hidratação diária promove a sua estabilização de aciaria de forma mais rápida que a cura da escória deixada sob as condições de envelhecimento protegido. Esta hidratação diária é um processo relativamente simples de ser executado pelas empresas geradoras de escórias de aciaria, considerando que as operações necessárias são simples e podem ser realizadas com equipamentos normalmente utilizados por elas. Portanto, é muito recomendável que cada empresa geradora desenvolva processos específicos de tratamento por hidratação de suas escórias de aciaria e que a sua comercialização seja acompanhada de verificações de qualidade, por meio de ensaios, preservando que o mercado receba somente material estabilizado volumetricamente.

---

José Flávio do Nascimento atua no DER/MG / Diretoria de Engenharia / Divisão de Estudos de Materiais (jflavionascimento@yahoo.com)

Lisete Celina Lange atua no Universidade Federal de Minas Gerais / Escola de Engenharia / Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (lisete@desa.ufmg.br)