

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS DE SOLO-ESCÓRIA DE ACIARIA-CINZA VOLANTE VISANDO A APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO¹

MSc. ANDRÉ LUÍS DOS SANTOS², DR. HERALDO NUNES PITANGA³, DR^a. ANA CLÁUDIA BERNARDES SILVA⁴, Dr. TACIANO OLIVEIRA DA SILVA⁵

¹ Apresentado no XII Seminário de Meio ambiente e Energias Renováveis

² Universidade Federal de São João del-Rei UFSJ

E-mail: andresantos@ufs.edu.br

³ Universidade Federal de Viçosa UFV

E-mail: heraldopitanga@yahoo.com.br

⁴ Universidade Federal de São João del-Rei UFSJ

E-mail: anaclaudiabs@ufs.edu

⁵ Universidade Federal de Viçosa UFV

E-mail: taciano.silva@ufv.br

RESUMO

Grandes quantidades de resíduos siderúrgicos, a exemplo da escória de aciaria, são geradas pelas indústrias, estimulando o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o aproveitamento desses resíduos em obras de engenharia. Este trabalho visou introduzir e avaliar o potencial técnico de um estabilizante oriundo da mistura íntima de pó de escória de aciaria elétrica moída e cinza volante, visando à melhoria das propriedades de engenharia de solos para fins de aplicação em pavimentação rodoviária. Utilizou-se um programa experimental de ensaios laboratoriais destinados a caracterizar o comportamento mecânico de amostras compactadas de um solo regional e de misturas desses solos com escória oxidante de aciaria elétrica moída e cinza volante. A caracterização mecânica das combinações foi realizada por meio dos ensaios ISC (Índice de Suporte Califórnia e expansão) e de resistência à compressão simples. O

comportamento hidro-mecânico destes materiais foi avaliado por meio de ensaios de Perda de massa por imersão em água conforme a metodologia Miniatura Compactado Tropical. As proporções das misturas dos resíduos (escória oxidante de aciaria elétrica e cinza volante) foi de 10% da massa seca total das combinações solo-resíduos, e as porcentagens de escória de aciaria moída serão de 75%, 87,5% e 100% em relação à massa seca total das misturas dos resíduos. Ao término do trabalho, pretendeu-se avaliar a viabilidade técnica do emprego de resíduos siderúrgicos em obras de pavimentação, realçando a relevância da proposta no atendimento à necessidade das empresas siderúrgicas da região do Alto Paraopeba, de conferirem uma destinação sustentável de seus resíduos.

Palavras-chave: Resíduo siderúrgico, estabilizações mecânica e química, pavimento, desenvolvimento sustentável.

CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF MIXTURES SOIL-STEEL SLAG – FLY ASH VISING THE APPLICATION IN PAVING

ABSTRACT

Large quantities of siderurgical waste, such as steel slag, are generated by industries, stimulating the development of research aimed at the use of these wastes in engineering works. This article aimed at introducing and evaluating the technical potential of a stabilizer from the intimate mixture of ground electric steel slag powder and fly ash, aiming to improve the soil engineering properties for the application of road paving. An experimental laboratory program was used to characterize the mechanical behavior of compacted samples of regional soils and mixtures of these soils with oxidized slag from ground electrical steel and fly ash. The mechanical characterization of the combinations will be made through CBR (California Bearing Ratio and CBR expansion) and simple compression strength tests. The hydro-mechanical behavior of these materials was evaluated by means of mass loss tests by immersion in water according to the Tropical Compact Miniature methodology. The proportions of the waste mixtures (electric melt and fly ash) were 10% of the total dry mass of the soil-residue combinations, and the percentages of milled steel slag would be 75%, 87.5% And 100% relative to the total dry mass of the waste mixtures. At the end of the work, it was intended to evaluate the technical feasibility of the use of steel residues in paving works, highlighting the relevance of the proposal in meeting the need of

steel companies in the Alto Paraopeba region, to provide a sustainable destination for their residues.

KEYWORD: Siderurgical waste, Stabilization mechanical and Chemical, paving, Sustainable Development.

INTRODUÇÃO

As indústrias siderúrgicas são de grande relevância para a modernização e novas tecnologias da vida moderna e trazem indiscutíveis benefícios à sociedade global, no entanto é uma atividade que gera grandes quantidades de resíduos, sendo que as empresas siderúrgicas brasileiras produziram um total de, aproximadamente, 19,2 milhões de toneladas de coprodutos e resíduos no ano de 2011(AÇO BRASIL, 2012). Somado a isso, nas obras de pavimentação rodoviária existe a carência de agregados tradicionais, aliada às exigências e limitações ambientais impostas na construção de pavimentos. Segundo Rohde *et al* (2003), tornou imperativa a investigação cuidadosa de materiais alternativos, procurando-se com isso soluções técnicas mais econômicas e que minimizem os impactos negativos ao meio ambiente (ROHDE et al., 2003). Desta forma, a viabilização da utilização das escórias de aciaria na engenharia rodoviária é vantajosa não só sob o ponto de vista econômico, mas também pela preservação do meio ambiente, visto que possibilita a redução do volume de extração de matérias-primas não renováveis, a redução da emissão de poluentes e do consumo energético.

Ainda dentro da perspectiva de aplicação da escória de aciaria na engenharia rodoviária, estudos recentes têm apontado para a possibilidade de mobilização de suas boas propriedades mecânicas e hidráulicas quando combinada com cinza volante. Segundo Núñez (2007), a cinza volante é uma pozolana artificial, produzida geralmente em termelétricas que queimam carvão mineral ou matéria orgânica. A pozolana é definida pela ASTM (American Society for Testing and Materials) como um material silicoso ou sílico-aluminoso que, por si só, possui pouca ou nenhuma capacidade de cimentação, porém, em forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com hidróxidos alcalinos e alcalinos terrosos à temperatura ambiente para formar ou ajudar na formação de compostos possuindo propriedades cimentantes. LITTLE (1995) relata que, freqüentemente, os solos utilizados em obras de pavimentação

requerem uma estabilidade mecânica adicional, a fim de propiciar a estes uma maior durabilidade ou a alteração de seus volumes potenciais.

As escórias de aciaria possuem a vantagem de poderem ser 100% trituradas, atingindo a composição granulométrica desejada, e permitirem melhor trabalhabilidade e compacidade, favorecendo assim a durabilidade do pavimento (NOUMAN et al., 1992). Dessa maneira, considerando o grande potencial de aproveitamento desses materiais em aplicações de grande escala, justifica-se a avaliar a viabilidade técnica do emprego dos resíduos industriais “escória oxidante de aciaria elétrica em pó e cinza volante”, dentro do contexto de sua aplicação como agente estabilizante de solos passíveis de serem utilizados em pavimentação e obras de terra.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada amostra de solo residual representativo de formação geológica que se estendem sobre porção significativa da região do Alto Paraopeba, Minas Gerais, de gnaiss jovem, representativo, dos horizontes B de taludes de corte existentes na zona rural do município de Ouro Branco-MG. Possui características de erodibilidade e baixa capacidade de suporte que reforçam a necessidade de algum tipo de adequação ou melhoria destes materiais para emprego em engenharia rodoviária.

A escória de aciaria utilizada no programa experimental de ensaios foi cedida pela unidade siderúrgica da VSB (Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil), Jeceaba-MG, advinda do forno elétrico e coletada no pátio de estocagem à céu aberto com período de cura de 6 meses. A amostra foi acondicionada em tonéis (bombonas) adequadamente vedados, em quantidade suficiente para a realização de todos os ensaios de laboratório previstos e foi moída em um equipamento de moinho de bolas para redução da granulometria inicial a faixa granulométrica, em torno de, 0,6 mm.

A cinza volante utilizada foi proveniente da empresa Comércio de Cinzas Lima Ltda, situada no município de Capivari de Baixo - SC, em quantidade suficiente para a realização de todos os ensaios previstos no programa experimental desse trabalho. Foi produzida a partir da queima de carvão mineral em usinas termoelétricas, atendendo aos requisitos da norma técnica NBR 12653 (ABNT, 2012).

Ensaio de caracterização geotécnica

A amostra de solo residual foi coletada, destorroada, passada nas peneiras #4 (4,8mm), secas ao ar e acondicionadas em sacos plásticos, para posterior caracterização geotécnica. Foram realizados os seguintes ensaios para caracterização física do solo natural no estado natural: i) Granulometria conjunta - NBR 7181 (ABNT, 1984a); ii) Limites de Atterberg: limite de liquidez - NBR 6459 (ABNT, 1984b) e limite de plasticidade – NBR 7180 (ABNT, 1984c); iii) Massa específica dos grãos do solo - NBR 6508 (ABNT, 1984d). Caracterização física da cinza volante representada pelo Índice de Finura, pela Área específica Blaine e pela Massa Específica dos Sólidos. Além da caracterização física da escória de aciaria.

O solo foi misturado às proporções de agregados conforme tabela 2.1, onde foram feitos os seguintes ensaios: i) Classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), conforme os procedimentos prescritos no método de classificação DNER – CLA 259 (1996) e tendo por base os resultados dos ensaios de Mini-MCV (DNER - ME 258, 1994) e de Perda de massa por imersão (DNER – ME 256, 1994); ii) Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895, 1987); iii) Compactação nas energias do Proctor Normal e do Proctor Modificado (NBR 7182, 1986).

Tabela 2.1: Designação das misturas do tipo solo-escória oxidante de aciaria elétrica-cinza volante em função das percentagens dos resíduos.

Table 2.1: Designation of the type soil-steel slag oxidant- fly ash as a function of the percentages of the residues

Mistura	Tipo de resíduo	
	Cinza volante	Escória oxidante de aciaria elétrica
X	12,5%	87,5%
Y	0%	100%
Z	25%	75%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização física do solo apresentou 2,91% de massa específica dos sólidos (g/cm^3), 35% do limite de liquidez (LL), 31% de limite de plasticidade (LP) e 4% de índice de plasticidade (IP).

Na tabela 3.1, apresentam-se os resultados da caracterização física de amostras da cinza volante empregada na pesquisa, representada pelo Índice de Finura, pela Área específica Blaine e pela Massa Específica dos Sólidos.

Tabela 3.1: Propriedades físicas da cinza volante empregada na pesquisa

Table 3.1: Physical properties of fly ash used in research

Propriedade física	Unidade	Magnitude
Massa específica dos sólidos	(g/cm ³)	1,95
Índice de finura	(%)	48,81
Área específica Blaine	(m ² /kg)	438,91

Considerando-se as propriedades físicas identificadas na Tabela 3.1, as magnitudes do índice de finura e da superfície específica para esse material realçam a sua atividade pozolânica e, conseqüentemente, o seu potencial de estabilização das misturas solo-resíduos estudadas.

Na tabela 3.2 apresentam-se os resultados da caracterização física de amostras da escória oxidante de aciaria elétrica em pó empregada na pesquisa, representada pelo Índice de Finura, pela Área Específica Blaine e pela Massa Específica dos Sólidos.

Tabela 3.2: Propriedades físicas da escória oxidante de aciaria elétrica em pó empregada na pesquisa.

Table 3.2: Physical properties of oxidizing slag from powdered electrical steel used in there search.

Propriedade física	Unidade	Magnitude
Massa específica dos sólidos	(g/cm ³)	3,75
Índice de finura	(%)	25,75
Área específica Blaine	(m ² /kg)	542,31

Os resultados confirmam a expectativa quanto à maior massa específica da escória de aciaria em pó comparativamente aos demais materiais empregados na pesquisa, o que se justifica pela sua composição química particular, sobretudo pela presença de ferro em sua constituição. No

que concerne ao índice de finura e à superfície específica, espera-se que quanto maior a magnitude desses parâmetros físicos para a escória de aciaria em pó, maior seja a sua atividade pozolânica e, conseqüentemente, maior seja o seu potencial de estabilização das misturas quando combinada com os outros materiais das mesmas previstas nessa pesquisa (solo e cinza volante), estabilização essa que pode ter reflexos no melhor desempenho mecânico das misturas compactadas comparadas aos solos compactados sob mesmas condições. A classificação das misturas foi feita utilizando curvas representativas dos resultados dos ensaios de caracterização das misturas visando a sua classificação segundo a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), apresentados na tabela 3.3, e permitiram o enquadramento das mesmas em uma das classes ou grupos desse sistema de classificação destinado aos solos tropicais.

Tabela 3.3: Classificação MCT do solo e das misturas do tipo solo-escória de aciaria-cinza volante pesquisadas

Table 3.3: MCT classification of soil and soil, steel slag- fly ash –type blends of surveyed

Percentagem de resíduos na mistura	Mistura	Coeficiente			Perda de massa por imersão (%)	Grupo MCT
		c'	d'	e'		
Solo	-	1,055	19,90	1,1515	52,20	NA' (arenoso não-laterítico)
10%	X	1,021	21,02	1,0347	15,64	LA' (Arenoso Laterítico)
	Y	1,410	58,19	0,8016	17,13	LA' (Arenoso Laterítico)
	Z	1,344	33,19	0,9176	17,00	LA' (Arenoso Laterítico)

A partir dessa classificação foi possível concluir as respectivas aptidões dessas misturas compactadas dentro do contexto de seu potencial de emprego em obras viárias, as quais estão resumidas na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Aptidões técnicas das misturas do tipo solo-escória de aciaria-cinza volante pesquisadas segundo a classificação MCT

Table 3.4: Technical skills of blast furnace type soil, steel slag-fly ash blends surveyed according to the MCT classification

Porcentagem de resíduos na mistura	Mistura	Grupo MCT	Aptidões técnicas para obras viárias
Solo	-	NA' (arenoso não-laterítico)	-
10%	X	LA' (Arenoso Laterítico)	Base de pavimento de vias de baixo volume de tráfego Reforço do subleito Corpo de aterro compactado Camada de proteção à erosão Revestimento primário
	Y	LA' (Arenoso laterítico)	
	Z	LA' (Arenoso Laterítico)	

É importante realçar, com base nesse sistema de classificação, a expectativa de significativa melhoria das propriedades geotécnicas do solo estudado, quando combinados com os resíduos, dentro do contexto de sua aplicação em obras viárias. A classificação do Solo na classe NA' (solo arenoso não laterítico) sendo que solos da classe NA' não se enquadram dentre os prioritários para utilização em obras viárias. À luz do sistema de classificação MCT, materiais geológicos compactados do grupo LA' tendem a apresentar, no que concerne a sua interação com a água, baixa a média variação dimensional (expansão ou contração), baixo coeficiente de permeabilidade e baixo coeficiente de absorção, características técnicas exigidas que favorecem os adequados. Assim, a classificação das misturas segundo a Metodologia MCT aponta para a perspectiva de viabilidade técnica de emprego desses solos combinados com os resíduos estudados (escória de aciaria e cinza volante) em obras viárias numa extensão que, a princípio, não era possível ou era restrita considerando-se os solos em seus estados originais.

Ensaio de compactação

A partir das curvas de compactação das misturas, na energia do Proctor Modificado, foram obtidos os correspondentes parâmetros de ótimo de compactação (teor de umidade ótimo e massa específica seca máxima), os quais foram adotados como referência na moldagem de corpos-de-prova compactados destinados à realização dos ensaios CBR para definir a expansão CBR e o índice de suporte CBR dos mesmos. A tabela 3.5 apresenta os resultados de CBR e expansão média.

Tabela 3.5: . Dados dos ensaios CBR realizados sobre amostras do Solo e das misturas do tipo Solo -escória de aciaria-cinza volante, para 10% em massa desses resíduos, na energia do Proctor Modificado.

Table 3.5:. Data from the ISC tests carried out on Soil samples and soil, steel slag- fly ash mixtures, for 10% by mass of these residues, in the energy of the Modified Proctor.

Material	Percentagem em massa de resíduos	W_{ótimo} (%)	W_{médio} (%)	CBR_{médio} (%)	Expansão_{média} (%)
Solo	0%	14,8	15	10,3	4,10
Mistura X		16	15	14,8	1,83
Mistura Y	10%	14	14	21,2	2,23
Mistura Z		12	12	29,1	1,50

De acordo com as exigências técnicas constantes no Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1981), constatou-se experimentalmente que o solo, após a estabilização com os resíduos, tornou-se tecnicamente adequado para a composição da camada de reforço do subleito (expansão $CBR \leq 2\%$), com a exceção da mistura Y de resíduos, onde o resultado da expansão CBR foi de 2,23%. Para esse solo, com a adição dos resíduos, houve uma redução da expansão e um aumento da resistência, indicando que a reação química cinza volante escória de aciaria foi satisfatória na maioria das misturas estudadas, permanecendo inadequado para a camada de sub-

base em todas as misturas estudadas, pois embora tenha havido um aumento da resistência mecânica, o que poderia adequá-lo para a camada de sub-base ($\text{CBR} \geq 20\%$), nota-se que a expansão ainda continua acima do tolerável ($\text{expansão CBR} \leq 1\%$).

Ensaio de Resistência à compressão Simples

Na energia do Proctor Normal, foram determinadas as curvas de compactação das misturas do tipo solo-escória de aciaria-cinza volante, obtendo assim os correspondentes parâmetros de ótimo de compactação (teor de umidade ótimo e massa específica seca máxima), os quais foram adotados como referência na moldagem de corpos-de-prova compactados destinados à realização dos ensaios de resistência à compressão não confinada ou resistência à compressão simples das mesmas. A Tabela 3.6 apresentam os valores médios da tensão de ruptura dessas misturas obtidos de ensaios em triplicata, considerando-se períodos de cura de 7, 14 e 28 dias para os corpos-de-prova.

Tabela 3.6: Dados dos ensaios de resistência à compressão não confinada realizados sobre amostras compactadas das misturas do tipo solo-escória de aciaria-cinza volante pesquisadas, para 10% de resíduos.

Table 3.6: Unconfined compressive strength test data on the compacted samples of the investigated 10% residues of the soil, steel slag-fly ash- type blends.

Misturas	Período de curados corpos-de-prova ensaiados		
	7 dias	14 dias	28 dias
	TR média (KPa)	TR média (KPa)	TR média (KPa)
Solo	140		
Mistura Y	240	250	260
	210	250	400
Mistura Z	190	250	300
	140	230	370
Mistura X	230	250	296
	290	310	366

Notou-se que todos os tratamentos dos solos com as misturas de escória de aciaria e cinza volante foram responsáveis por acréscimos significativos nos valores de resistência à compressão não-confinada e, conforme esperado, que este valor foi aumentando com a evolução do período de cura dos corpos-de-prova. Considerando-se os corpos-de-prova submetidos à cura de 28 dias em câmara úmida com temperatura e umidade relativa do ar controlados (25°C e 95%, respectivamente).

Com base nesses resultados, nota-se que, para esse solo e para as proporções entre materiais previstas na pesquisa, a escória de aciaria em pó é capaz de, exclusivamente, impor aumentos na resistência mecânica desse solo (mistura Y) maiores que aqueles promovidos pela sua combinação com a cinza volante.

CONCLUSÕES

A combinação dos solos estudados com os resíduos propostos (escória de aciaria e cinza volante) foi responsável por melhorias nas propriedades de engenharia dos mesmos, considerando-se as modalidades de ensaios mecânicos e hidro-mecânicos previstas nesta pesquisa;

A avaliação do comportamento hidro-mecânico dos materiais através do ensaio de perda de massa por imersão da metodologia MCT demonstrou reduções significativas da erodibilidade dos solos estudados com a adição dos resíduos propostos nas proporções pré-definidas para esta pesquisa.

A classificação MCT das misturas estudadas permitiu o enquadramento das mesmas em possibilidades de aplicação técnica no âmbito da engenharia rodoviária que não eram permissíveis para os solos naturais.

A partir dos resultados dos ensaios CBR, constata-se que muitas das misturas solo-resíduos estudadas apresentam potencial de aplicação técnica em camadas de estruturas de pavimento flexível, visto que seus valores de índice CBR e de expansão CBR foram significativamente melhorados quando comparados aos mesmos parâmetros dos solos naturais estudados.

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão simples realizados sobre os materiais envolvidos nesta pesquisa ratificam o bom desempenho mecânico apresentado pelas misturas solo-resíduos nos ensaios CBR.

Considerando-se as particularidades físico-químicas dos resíduos empregados nesta pesquisa, é possível constatar, à luz dos resultados mecânicos e hidro-mecânicos obtidos, que a reações de cimentação envolvendo a escória de aciaria em pó e a cinza volante provavelmente promoveram uma aglutinação ou aglomeração das partículas dos solos estudados, melhorando o desempenho dos mesmos no que concerne aos comportamentos de engenharia avaliados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio, NBR 7181/84.** Rio de Janeiro: 1984a. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo, Determinação do Limite de Plasticidade, NBR 7180/84.** Rio de Janeiro: 1984c. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo, Determinação da Massa Específica Aparente, NBR 6508/84.** Rio de Janeiro: 1984d. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Materiais pozolânicos: especificação, NBR 12653.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Solo: ensaio de compactação – Procedimento, NBR 7182/86.** Rio de Janeiro: 1986. 10p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C 618: Standard Specification for Flyash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.** Philadelphia, 1978.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Classificação de Solos Tropicais para Finalidades Rodoviárias Utilizando Corpos-de-prova Compactados em Equipamento Miniatura, DNER – CLA 259/96.** Rio de Janeiro: 1996. 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Coleta de amostras deformadas de solos. DNER - PRO 003/94.** Rio de Janeiro: 1994c. 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-PRO 120/97: procedimento: coleta de amostra de agregado.** [S.l.], 1997, 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Classificação de Solos Tropicais para Finalidades Rodoviárias Utilizando Corpos-de-prova Compactados em Equipamento Miniatura, DNER – CLA 259/96.** Rio de Janeiro: 1996. 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Coleta de amostras deformadas de solos. DNER - PRO 003/94.** Rio de Janeiro: 1994c. 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-PRO 120/97: procedimento: coleta de amostra de agregado.** [S.l.], 1997, 7 p.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Estatística.** Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp?par=201112>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

LITTLE, D. N. (1995). **Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime,** Published by Kendall/Hunt Publishing Company.

NOUMAN, A. A., MALLMAN, J. E. C.. **The use of steel slag in asphaltic concrete.** ASTM – Special Technical Publication. n. 1147, Philadelphia, PA, USA. p.3-18, 1992.

NÚÑEZ, W. P. **Notas de aula de estabilização de solos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 2007.

ROHDE, Luciana (2003). **Escoria de aciaria elétrica: uma alternativa aos materiais granulares tradicionais.** Revista Transporte Vol. XI, ANPET SENAI-PR, 2003.