



WELLINGTON ANDRADE FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO USO DA ESCÓRIA NA PAVIMENTAÇÃO  
ASFÁLTICA**

**EVALUTION OF THE USE OF SCOBS IN ASPHALT PAVING**

Lavras

2022

WELLINGTO ANDRADE FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO USO DA ESCÓRIA NA PAVIMENTAÇÃO  
ASFÁLTICA**

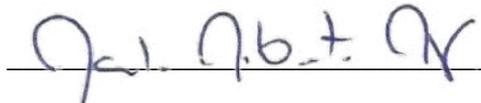
**EVALUTION OF THE USE OF SCOBS IN ASPHALT PAVING**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Colegiado do Curso de Engenharia Civil, para  
obtenção do título de Bacharelado em  
Engenharia Civil.

Lavras, 14 de junho de 2022.

Paulo Roberto Borges

Orientador, UFLA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P.R. Borges', is written over a horizontal line.

Lavras

2022

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus. Agradeço ao meu orientador Paulo Roberto Borges por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa. A todos os meus professores do curso de Engenharia da Universidade Federal de Lavras pela excelência da qualidade técnica de cada um. A minha mãe Maria Cristina de Andrade Ferreira que sempre estive ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória. À minha esposa Ingrid Oliveira Pinto pela compreensão e paciência demonstrada durante o período do projeto. Dedico também todo meu esforço ao meu pai, que hoje não pode fazer parte dessa trajetória, mas sempre lutou para ver seus filhos formados.

## **Resumo**

O presente trabalho consiste em analisar diferentes estudos já existentes sobre a utilização e aplicação da escória de aciaria em pavimentos asfálticos. Para tal, foram utilizados dados que mostraram os ensaios de compressão diametral, de granulometria, índice de Califórnia e modo de resiliência, afim de comprovar sua resistência em aplicação nos solos nas camadas de base e sub-base. Sendo a escória um material oriundo do processo de fabricação do aço, sua reutilização traz inúmeros benefícios ao meio ambiente, como o da sustentabilidade, além de proporcionar maior benefício lucrativo.

**Palavras chaves:** Escória, Escória de Aciaria, Escória Misturada e de Forno

## **Abstract**

The present work consists of analyzing different existing studies on the use and application of steel slag in asphalt pavements. For this, data were used that showed the tests of diametral compression, granulometry, California index and resilience mode, in order to prove it's resistance in soil application in the base and sub-base layers. The slag is a material from the steel manufacturing process, it's reuse brings numerous benefits to the environment, such as sustainability, in addition to providing greater profitable benefit.

**Keywords:** Slag, Steel Slag, Mixed and Furnace Slag.

## **Lista de Tabela**

Tabela 1. Composição química da escória de aciaria brasileira.....	p. 13
Tabela 2. Composição química da escória de alto forno brasileira.....	p. 14
Tabela 3. Valores padrão de deformação e pressão.....	p. 20
Tabela 4. Principais elementos químicos da escória (forno e misturada).....	p. 23
Tabela 5. Principais elementos químicos da escoria de alto forno moída.....	p. 23
Tabela 6. Parâmetros dos solos ETA e VS.....	p. 24
Tabela 7. ISC de amostras de escória de aciaria com diferentes configurações.....	p. 26
Tabela 8. Variação da resistência à compressão diametral para o corpo de prova contendo 20% de cinza pesada.....	p. 26
Tabela 9. Variação da resistência à compressão diametral para o corpo de prova contendo 33% de cinza pesada.....	p. 27
Tabela 10. Resultados da resistência à compressão diametral para os solos ETA e VS.....	p. 27

## **Lista de Figuras**

Figura 1. Processo siderúrgico.....	p. 11
Figura 2. Escória de aciaria.....	p. 12
Figura 3. Camadas do pavimento flexível asfáltico.....	p. 15
Figura 4. Camadas do pavimento rígido de concreto.....	p. 16
Figura 5. Diferentes granulometrias de solo.....	p. 19
Figura 6. Prensa para determinação do ISC.....	p. 20
Figura 7. Distribuição granulométricas e os limites da faixa C do DNER.....	p. 24
Figura 8. Distribuição granulométricas da EGS e os limites da faixa C do DNER.....	p. 25
Figura 9. Módulo de resiliência para escória forno nos meses 2, 4 e 7.....	p. 28
Figura 10. Módulo de resiliência para escória misturada nos meses 2, 4 e 6.....	p. 28

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	p. 7
2. Objetivo.....	p. 8
3. Justificativa.....	p. 8
4. Revisão Bibliográfica.....	p. 9
4.1. Processo de Fabricação do aço.....	p. 9
4.2. Origem da Escória.....	p. 11
4.2.1. Escória Proveniente de Alto Forno .....	p. 11
4.2.2. Escória Aciaria.....	p. 11
4.3. Propriedade da Escória.....	p. 12
4.3.1. Reatividade.....	p. 12
4.3.2. Ativação.....	p. 13
4.3.3. Propriedade Física.....	p. 13
4.3.4. Propriedade Química.....	p. 13
5. A Pavimentação.....	p. 14
5.1. Estrutura do Pavimento.....	p. 14
5.2. Escória na Pavimentação.....	p. 16
5.2.1. Características Desejáveis da Escória.....	p. 16
5.2.2. Escória de Aciaria.....	p. 16
5.2.3. Vantagens.....	p. 17
5.2.4. Desvantagens.....	p. 18
5.3. Ensaios.....	p. 18
5.3.1. Preparação das amostras.....	p. 18
5.3.2. Análise Granulométrica.....	p. 18
5.3.3. Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	p. 19
5.3.4. Resistência à Compressão Diametral.....	p. 21
5.3.4.1. Mistura Betuminosas.....	p. 21
5.3.4.2. Solos Estabilizados com Cinza Volantes e Cal Hidratada.....	p. 21
5.3.5. Módulo de Resiliência.....	p. 21
6. Resultados e Discussões.....	p. 22
6.1. Composição Química das Escórias.....	p. 22
6.2. Caracterização dos Solos ETA e VS.....	p. 23
6.3. Análise Granulométrica.....	p. 24
6.4. Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	p. 25
6.5. Resistência à Compressão Diametral.....	p. 26
6.6. Módulo de Resiliência.....	p. 27
7. Considerações Finais.....	p. 29
8. Referências Bibliográficas.....	p. 30

## 1. Introdução

O presente trabalho, tem como objetivo analisar os estudos já existentes sobre a utilização e aplicação da escória em pavimentos asfálticos, utilizando os ensaios de compressão diametral e ensaio Marshall para comprovar sua resistência. Para tal, será feita uma pesquisa qualitativa, visando o melhor desempenho que o material potencialmente pode oferecer a partir de uma revisão bibliográfica.

De acordo com Rohde, “é crescente a demanda por agregados para o uso em obras de engenharia e em particular para obras rodoviárias. A carência de agregados tradicionais, aliada às exigências e limitações ambientais impostas na construção de pavimentos, 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)

Sabe-se que o principal meio de transporte utilizado no Brasil hoje, é o modal rodoviário, cujo qual está diretamente ligado ao transporte de cargas. Logo, a crescente necessidade pela demanda de profissionais nas obras rodoviárias que garantam a segurança nos pavimentos é essencial. Nesse sentido, a CNT (Confederação Nacional do Transporte) propõe que “as estradas deveriam ser pavimentadas de modo a propiciar segurança e maior conforto ao usuário, uma vez que o custo de manutenção dos veículos seria menor e as entregas seriam feitas com maior agilidade”. (CNT, 2017).

Ainda de acordo com a CNT, em sua última pesquisa em 2019, “a malha rodoviária tem 1.719.991 quilômetros de extensão, sendo que 1.349.474 quilômetros não são pavimentados, representando um percentual de 78,5% do total”. (CNT, 2019). Nessa perspectiva, visando propiciar maior conforto a população e conseguir maior rendimento na pavimentação e diminuir a porcentagem da malha rodoviária não pavimentada, é necessário ou a utilização de novas tecnologias ou o melhoramento das técnicas utilizadas atualmente, para manterem o baixo custo e causar o menor impacto possível no meio ambiente. Evidentemente, quanto menor o custo e maior eficiência de tecnologia implementada na pavimentação, mais conforto há para a população, logo há o aumento do fluxo do transporte.

Para que isso aconteça, Rohde afirma que: “uma fonte alternativa de agregados nas camadas de base, sub-base e reforço de subleito é a escória, cuja obtenção se dá por meio de empresas siderúrgicas”. (ROHDE, 2002). Como o Brasil, de acordo com o IBS (2017), é o 8º

produtor mundial de produção de aço bruto, produzindo cerca de 48,9 milhões de toneladas/ano, produz consecutivamente, aproximadamente 6 milhões de toneladas/ano de escória.

Silva também afirma que esse resíduo gerado pelas siderúrgicas a:

“escória de aciaria, sendo ela um subproduto gerado durante a produção do aço, podendo ser oriunda de diferentes processos, tais como as geradas nos fornos conversores Linz-Donawitz (LD), ou de arco elétrico (FEA). O variado leque de aplicações da escória de aciaria em obras de pavimentação é possível em função de tratar-se de um material que, comprovadamente, pode atender a todas as granulometrias, apresentar alta resistência mecânica à compressão, elevada resistência ao desgaste, boa adesividade a emulsões asfálticas de petróleo (EAPs) e cimentos asfálticos de petróleo (CAPs) e excelente poder hidráulico.” (SILVA, 1994).

Hoje, observa-se que a implementação da escória de aciaria, se dá no uso como agregado nas camadas inferiores de pavimentos, mas em mistura asfáltica, esse composto já não é tão utilizado, logo, novas pesquisas estão sendo feitas, buscando comprovar a viabilidade do uso da mesma na mistura na pavimentação.

## **2. Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é a análise e comparação de diferentes pesquisas sobre a adição de escória na estrutura do pavimento asfáltico. Desse modo, avaliando se esse agregado trará vantagens ou desvantagens. Nesse sentido, posteriormente, será avaliado se a incorporação desse agregado nas camadas de base e sub-base dos pavimentos é benéfica ou não.

## **3. Justificativa**

A escoria é um material muito versátil podendo ser aplicado de várias maneiras como em aterro/terraplanagem, agregado para concreto e na produção de cimento. Além de ter vantagens com sua utilização, por ser um material residual.

## 4. Revisão Bibliográfica

### 4.1. Processo de Fabricação do aço

O processo siderúrgico na fabricação do aço, de acordo com Mourão, é composto pelas seguintes etapas nas usinas integradas: extração do ferro do minério; transformação do ferro-gusa em aço; lingotamento do aço e a adequação da forma desejada do produto. Já nas usinas semi-integradas, o processo tem início com a fusão da sucata de aço no Forno Elétrico a Arco (FEA) e depois segue as etapas descritas anteriormente. (MOURÃO et al., 2007).

De acordo com Chavierini,

“O aço consiste em uma liga de ferro, carbono, com variação deste último entre 0,008% e 2,11%. Diferente do ferro fundido que também é uma liga de ferro e carbono porém, com teor de carbono variando entre 2,11% e 6,67%. Como a presença do carbono influencia diretamente sobre a dureza do aço, convencionou-se as seguintes tipologias de aços-carbonos:

- Aços doces: com percentual de carbono variando de 0,15% a 0,25%;
- Aços meio-duros: com percentual de carbono variando de 0,25% a 0,50%;
- Aços duros: com percentual de carbono variando de 0,50% a 1,40%.

(CHAVIERINI, 1977)

Em toda a crosta terrestre é possível encontrar o ferro, já o minério de ferro é uma mistura de óxido de ferro e areia fina e o carbono é encontrado de diversas formas na natureza e com grande abundância. As empresas siderúrgicas costumam utilizar ou o carvão mineral ou o vegetal.

De acordo com o IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), o carvão possui duas finalidades na produção do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (aprox. 1.500°C), necessárias para fusão do minério. No processo de redução, que consiste na remoção de oxigênio do ferro, o carvão (carbono) associa-se ao oxigênio que se desprende do minério devido à alta temperatura e antes de serem transportados ao alto forno para redução, tanto o minério de ferro, como o carvão passam por um processo denominado preparação de carga, que consiste na otimização do rendimento e economia para o processo posterior. O minério de ferro é transformado em pelotas e o carvão mineral é destilado para obtenção do coque, sendo que dele ainda obtém-se subprodutos carboquímicos.” (IBS, 2017).

Ainda sobre esse processo, a redução que acontece no alto forno, faz com que o ferro se liquefaça, o que dá origem ao “ferro gusa” e de acordo com o IBS, as impurezas como calcário, sílica, etc., resultado dessa redução é que geram a escória de alto forno (IBS, 2017). Sendo que esse agregado, é um dos componentes utilizados na fabricação de cimento.

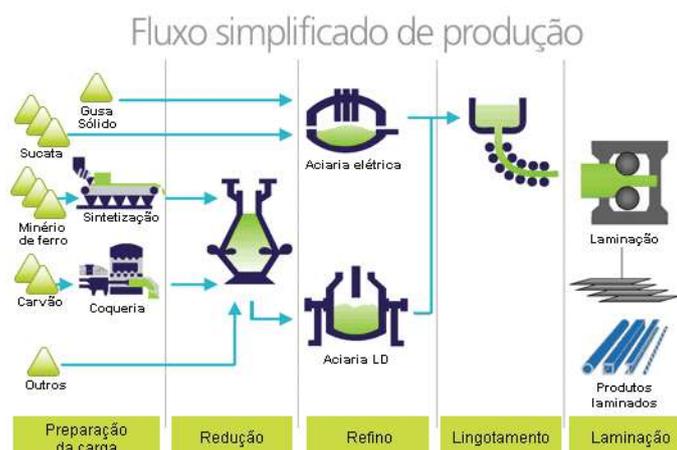
Observa-se que posteriormente é feito o refinamento do ferro gusa, ao qual de acordo com o IBS ele é levado para fornos a oxigênio ou elétricos ainda em estado líquido para, após feitas adições e queimas de impurezas, originar o aço e a escória de aciaria (IBS, 2017). E sequentemente, o aço em estado de solidificação dá origem a novos produtos siderúrgicos que são utilizados pela indústria como: arames, bobinas, chapas grossas e finas, vergalhões, barras e entre outros.

Portanto, de acordo com o IABr, basicamente, há dois processos tecnológicos adotados para a produção de aço mundial: a rota integrada e a rota semi-integrada, onde a primeira é caracterizada pelas etapas de redução, refino e laminação e a segunda não possui a etapa de refino. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019).

De acordo com Mourão et al. (2007), o minério de ferro é a principal matéria-prima a ser transformada em ferro-gusa nos altos fornos por meio da operação de conversão, enquanto na usina semi-integrada a sucata de aço é o agente predominante. Sendo que a primeira é a mais atuante, correspondendo por 85,7% do aço gerado no país, já as semi-integradas são responsáveis por apenas 14,3% da produção nacional. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017)

Na Figura 1 é apresentado um resumo da produção de aço de acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia. (IBS, 2017).

**Figura 1 – Processo siderúrgico**



**FONTE: CEMS em siderurgia.**

## **4.2. Origem da Escória**

### **4.2.1 Escória Proveniente do Alto Forno**

Como descrito anteriormente, a de alto forno é proveniente do processo produtivo do ferro-gusa, nas indústrias siderúrgicas. E de acordo com Mourão et al. (2007), a cada 1000 quilogramas de ferro-gusa produzido, são gerados de 200 a 350 quilogramas de escória. E de acordo com Sant'Ana (2003), essa escória é separada do gusa por gravimetria, onde esta fica situada na camada superior, sendo transportada a 1400°C até um resfriador.

### **4.2.2 Escória Aciaria**

Como visto anteriormente, a partir do refinamento do aço, é que se obtém a escória aciaria. E de acordo com Souza (2007), quanto maior o teor de carbono no aço produzido, maior será a quantidade de fundentes utilizada e, conseqüentemente, maior o volume de escória produzido.

Ainda sobre o processo de produção da escória aciaria, Geyer (2000) afirma que a mesma é triturada de acordo com as medidas (granulometrias) desejadas após o seu resfriamento. No entanto, no Brasil, o processo de resfriamento da escória é muito lento, de acordo com Rhode (2002), o resfriamento ocorre nos pátios de escória ao ar livre recebendo jatos d'água assim que as escórias chegam.

Esse processo, embora seja mais lento, possui um custo benefício maior, já que não há a necessidade de grandes investimentos.

Na figura 2 será mostrada a escória de aciaria elétrica e de oxigênio:

**Figura 2 – Escória de aciaria**



### **4.3 Propriedades da Escória**

#### **4.3.1 Reatividade**

Sendo a reatividade uma tendência que uma reação química venha acontecer, a escória também está submetida a sofrer uma reatividade, dessa forma Sant'Ana (2003) afirma que a reatividade da escória depende do tipo de resfriamento a que ela foi submetida, uma vez que a granulação da escória proveniente de resfriamentos abruptos possui propriedades hidráulicas ocultas, ao passo que a escória cristalizada oriunda do resfriamento lento é estável química e mineralogicamente, não portando propriedades hidráulicas. (SANT'ANA, 2003).

Ou seja, como a escória de alto forno e a escória de aciaria possuem alto teor de expansibilidade, as duas podem mostrar reatividade, sendo visível as rachaduras no pavimento mesmo que ambas tenham sido empregadas nas camadas de base e sub-base da malha asfáltica.

#### **4.3.2 Ativação**

A ativação térmica e química da escória, são feitas com o intuito de aumentar a resistência à compressão. Segundo Sant'Ana (2003), a ativação da escória de alto forno pode ser química, térmica (por meio do aumento de temperatura da solução água-escória) e mecânica (através da trituração da escória). Essa ativação química e térmica de escória é uma alternativa ao uso de materiais tradicionais aglomerantes.

#### **4.3.3 Propriedades Físicas**

As propriedades físicas da escória de aciaria, de acordo com Souza (2007), é dotada de forma angular e apresenta textura mais grosseira, permitindo o intertravamento entre suas partículas. No entanto, elas são mais porosas quando comparadas aos agregados naturais, tornando-as suscetíveis à absorção de água e, por conseguinte, instáveis volumetricamente.

#### **4.3.4 Propriedades Químicas**

As propriedades químicas da escória de aciaria variam de acordo com o tipo de resfriamento, e também pelo produto do aço, já que os processos são distintos. Para que possa utilizar esse agregado na malha asfáltica, Souza (2007) afirma que é necessário que haja baixos índices de óxido de magnésio e óxido de cálcio livres, uma vez que eles são hidratados e causam

a expansibilidade das partículas, ocasionando a perda de resistência do material. Será apresentado na tabela 1 as composições químicas das escórias de aciaria do tipo LD e do tipo elétrica no Brasil.

Tabela 1 – Composição química das escórias de aciaria brasileiras

Constituintes	Nome	Aciaria LD	Aciaria Elétrica
CaO	Óxido de cálcio	36 – 46	28 _ 50
MgO	Óxido de magnésio	5 – 12	04 _ 17
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício	11 – 16	08 _ 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio	1 – 4	02 _ 13
Fe Total	Ferro	14 – 22	08 _ 28
S Total	Enxofre	0,1 - 0,3	0,1 _ 0,3

Fonte: Arthur D. Little e Setepla (19992 apud SOUZA, 2007)

Observa-se que cada uma das amostras, possuem suas particularidades e de acordo com Sant’Ana (2003) e Souza (2007), tanto a escória de aciaria quanto a escória de alto forno são alcalinas, isto é, possuem potencial Hidrogeniônico (pH) entre 8 e 12. Na Tabela 2 estão as composições químicas das escórias de alto forno brasileiras.

Tabela 2 – Composição química das escórias de alto forno brasileiras

Constituintes	Nome	Teores Citados na Literatura [%]	Teores das Escórias de Alto Forno Brasileiras [%]
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício	23 – 55	30 - 35
CaO	Óxido de cálcio	27 – 55	40 - 45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio	5 – 55	11 _ 18
MgO	Óxido de magnésio	2 – 12	2,5 - 9
MnO	Óxido de manganês	0,5 – 3	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido férrico	-	0 - 2
FeO	Óxido de ferro	0,5 – 2	0 - 2
S	Exnfore	0,4 - 1,2	0,5 - 1,5

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (20083 apud KELES, 2011)

## 5. A Pavimentação

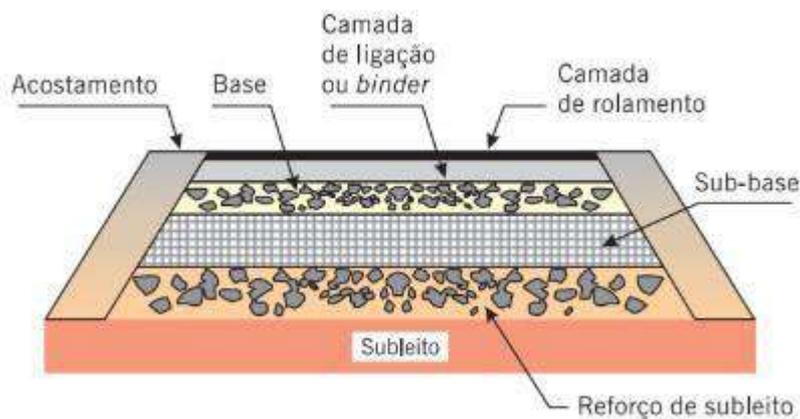
A pavimentação é feita para resistir tanto ao clima, como ao intenso fluxo de tráfego de veículos. A pavimentação também pode ser classificada em flexível ou rígida. Segundo Senço (2008), o pavimento rígido é pouco deformável e geralmente é composto de concreto na camada superficial – responsável por absorver os esforços, enquanto o pavimento flexível

permite maior deformabilidade sem se romper. O pavimento flexível, possui o menor custo para sua implementação, e é o mais usado no Brasil atualmente.

### 5.1 Estrutura do Pavimento

Como visto anteriormente, a pavimentação pode ser definida em dois tipos: flexível e rígido. De acordo com DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) (2006) o pavimento flexível, que tem sua estrutura exemplificada na Figura 3, pode ser definido como aquele em que todas as camadas constituintes sofrem deformação elástica quando o carregamento é aplicado. A carga é distribuída de forma equivalente entre as camadas. Sua constituição pode apresentar camadas de subleito até uma base de brita e revestimento asfáltico, essas camadas variam em função da competência do material e do tipo de tráfego. Nesse segmento Senço (2008), afirma que o revestimento tem a função de receber os esforços oriundos do tráfego bem como possibilitar maior conforto e segurança ao usuário. Já a camada de base é responsável por distribuir os carregamentos para o subleito. Caso haja necessidade de haver sub-base (principalmente por motivos econômicos), ela atuará como um suporte à camada de base. O reforço do subleito também é opcional e é utilizado em casos que o subleito apresenta baixa capacidade de suporte.

**Figura 3 – Camadas do pavimento flexível asfáltico**

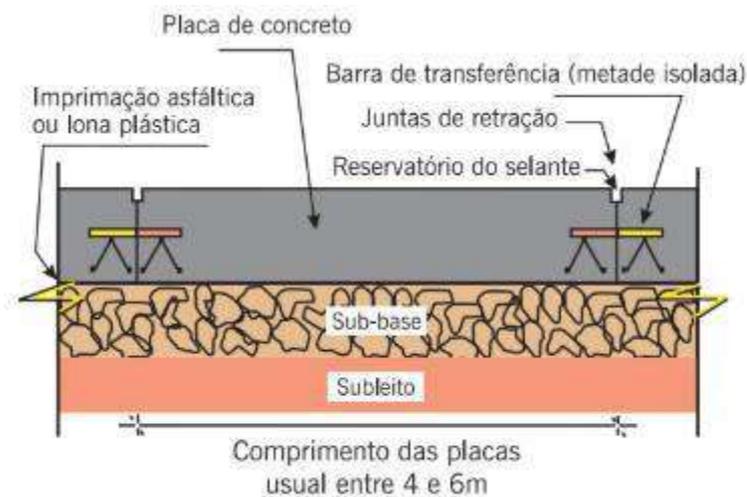


**Fonte: Bernucci et al. (2010)**

Já o pavimento rígido, Bernucci et al (2006), afirma que o composto pode ser definido como aquele que possui uma placa de concreto de cimento Portland em seu revestimento. Nos pavimentos rígidos a espessura é orientada de acordo com a resistência das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. As placas podem ser armadas ou não com barras

de aço. É comum referir-se à subcamada desse pavimento como sub-base, pois sua qualidade equivale à essa camada em pavimentos flexíveis. A figura 4 exemplifica esse tipo de pavimento.

**Figura 4 – Camadas do pavimento rígido de concreto**



**Fonte: Bernucci et al. (2010)**

## **5.2 Escória na Pavimentação**

### **5.2.1 Características Desejáveis da Escória**

Ao aproveitar a escória na pavimentação asfáltica, Bernucci et al. (2010) afirma que é necessário a distribuição granulométrica, não possuir alto teor de impurezas, resistência à abrasão, textura, formato das partículas, massa específica e outras. Logo, é preciso fazer a verificação se a escória atende essas propriedades, antes de sua implementação.

### **5.2.2 Escória de Aciaria**

O DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) (1994b), na especificação de material 262, impõe algumas condições para que as escórias de aciaria sejam implementadas na pavimentação, sendo elas:

a) Avaliação do potencial de expansão: expansão máxima de 3% ou valor determinado pela expansão particular de projeto;

b) Teor de impurezas: as escórias de aciaria não devem portar impurezas orgânicas e nem devem estar contaminadas com solo, escória de alto forno e afins;

c) Granulometria: a faixa granulométrica deve ser composta por 40% de partículas cujo diâmetro não exceda 1,27 centímetros e 60% na faixa entre 1,27 a 5,08 centímetros de diâmetro de abertura nominal;

d) Absorção de água: 1,0% a 2,0% em peso;

e) Massa específica: 3,0 a 3,5 g/cm<sup>3</sup>;

f) Massa unitária: 1,5 a 1,7 kg/dm<sup>3</sup>;

g) Desgaste (Abrasão “Los Angeles”)  $\leq 25\%$  para sub-base, base e revestimento;

h) Durabilidade ao sulfeto de sódio – 5 ciclos: 0 a 5%.

### 3.5.1.2 Escória de Alto Forno

Já a especificação de material 260 do DNER (1994a) mostra que as características desejáveis das escórias de alto forno na pavimentação, são::

a) As escórias de alto forno devem ser resfriadas ao ar e devem possuir fragmentos angulares (e isentas de grãos lamelares);

b) Teor de impurezas: não deve possuir impurezas e nem materiais indesejáveis;

c) Granulometria: a faixa granulométrica deve ser composta por 40% de partículas cujo diâmetro não exceda 1,27 centímetros e 60% na faixa entre 1,27 a 5,08 centímetros de diâmetro de abertura nominal;

d) Absorção de água: 1,0% a 3,0% em peso;

e) Massa específica: 2,0 a 3,0 g/cm<sup>3</sup>;

f) Massa unitária: 1,1 a 1,24 kg/dm<sup>3</sup>;

g) Desgaste (Abrasão “Los Angeles”)  $\leq 35\%$  para sub-base, base e revestimento;

h) Durabilidade ao sulfeto de sódio – 5 ciclos: 0 a 5%.

### 5.2.3 Vantagens

A escória de aciaria, possui muitas vantagens ao serem utilizadas como agregado nas camadas de base da pavimentação rodoviárias, de acordo com Resende (2010) algumas delas são:

Maior resistência à abrasão (abaixo de 25% pelo ensaio Los Angeles); maior resistência ao desgaste (em solução de sulfato de magnésio); ausência de material orgânico; maior módulo de elasticidade; maior capacidade de suporte (CBR). A

solidificação por carbonatação ou cimentação eleva ainda mais a capacidade de suporte da escória; forma de grãos cúbicos (menor lamelaridade), que confere ótima consistência e adesividade nas misturas asfálticas; escória de aciaria fornece uma maior e melhor capacidade de suporte após a compactação do que usando materiais convencionais; grande disponibilidade do produto; custo relativamente baixo; corrobora com a redução dos impactos ambientais [...]. (RESENDE, 2010, p. 63-64)

#### **5.2.4 Desvantagens**

Como todo componente, a escória também possui algumas desvantagens, e algumas das desvantagens ao utilizá-la como agregado na pavimentação asfáltica rodoviária de acordo com Resende (2010) é de que ela necessita de supervisão e acompanhamento constantes da expansibilidade das partículas e a logística dependendo da localidade da obra.

### **5.3 Ensaio**

#### **5.3.1 Preparação de Amostras**

A fim de seguir os parâmetros e as exigências de amostragem dos resíduos sólidos, é necessário seguir a preparação de amostras da Norma Brasileira (NRB 10007).

#### **5.3.2 Análise Granulométrica**

A análise granulométrica do solo, de acordo com a ABNT (2017), consiste no processo de peneiramento ou combinação de sedimentos com peneiramento, isso sempre dentro dos parâmetros regulamentares da NRB 7181. Já a análise dos agregados granulométricos de acordo com DNER (1998c), será analisada por meio do método de ensaio ME 083 que também utiliza o método de peneiramento.

Para Senço (2008), o método de peneiração, consiste em calcular a massa acumulada, bem como sua porcentagem, que foi retida em peneiras com aberturas de vários tamanhos. Além disso, Bernucci et al. (2010), afirma que a dimensão máxima dos agregados a serem utilizados, varia de acordo com a espessura mínima da camada do pavimento.

Ao realizar o processo de peneiração granulométrica, é feito a curva granulométrica, cujo qual, de acordo com Caputo (1988), através de um gráfico em escala semi-logarítmica, com eixo das ordenadas, determina a porcentagem que passa e a porcentagem retida, e no eixo das abscissas obtêm-se os diâmetros das partículas. Desse modo a curva pode ser contínua,

descontínua ou constante e bem graduada ou mal graduada. Na Figura 5 são mostradas as diferentes granulometrias.

**Figura 5 – Diferentes granulometrias do solo**



Fonte: Caputo (1988)

### **5.3.3 Índice de Suporte Califórnia (ISC)**

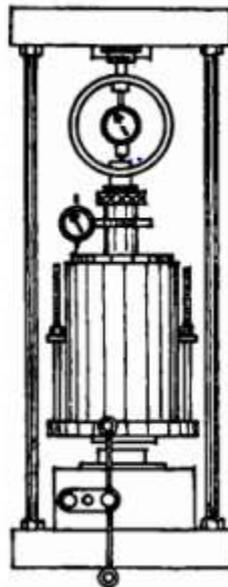
Para o processo de pavimentação, principalmente de estradas e rodovias, é necessário calcular o Índice de Suporte Califórnia (ISC), que de acordo com Bernucci et al. (2010), é calculado por meio de porcentagem, a relação entre a pressão necessária para um pistão ser penetrado num corpo-de-prova do material a ser analisado, sendo este solo ou granular, e a pressão necessária para gerar a mesma pressão no material padrão. Sendo assim, medindo sua resistência.

O cálculo do ISC, de acordo com a ABNT (1987), é feito de acordo com as recomendações da NBR 9895 ou pelos métodos de ensaio do ME 049, por meio da peneira de 19 milímetros,

o material passante não trabalhado das amostras deformadas, estabelecem o valor relativo de suporte dos solos.

Para melhor exemplificar, o DNER (1994c), nos dá que uma amostra representativa de 6 quilogramas para solos siltosos ou argilosos e de 7 quilogramas para solos argilosos ou pedregulhosos é seca e passada na peneira de 19 milímetros; caso o material fique retido, ele é substituído por agregados que passam na peneira de 19 milímetros e ficam retidos na peneira de 4,8 milímetros e, assim, serão moldados cinco corpos de prova. Ainda de acordo com o DNER (1994), o procedimento é marcado por três fases principais: moldagem do corpo-de-prova para caracterização da curva de compactação; expansão na qual o corpo-de-prova é submerso em água e penetração, em que é utilizada uma prensa com anel dinamométrico, conforme exibido na Figura 6.

**Figura 6 – Prensa para determinação do ISC**



Fonte: Caputo (1988)

Na Tabela 3 são apresentados os valores padrão de deformação e pressão.

**Tabela 3 – Valores padrão de deformação e pressão**

Tempo (min)	Deformação (mm)	Deformação (pol)	Pressão Padrão (kg/cm <sup>2</sup> )
0,5	0,63	0,025	-
1,0	1,27	0,050	-
1,5	1,90	0,075	-
2,0	2,54	0,100	70
3,0	3,81	0,150	-
4,0	5,08	0,200	105
6,0	7,62	0,300	132
8,0	10,16	0,400	161
10,0	12,70	0,500	182

Fonte: Adaptado de DNER (1994c)

### **5.3.4 Resistência à Compressão Diametral**

#### **5.3.4.1 Misturas Betuminosas**

O ME 138, é quem define o método de ensaio cujo os quais estabelecem os parâmetros e procedimentos para definir a resistência à tração por compressão diametral em misturas betuminosas. De acordo com com o DNER (1994h), o corpo-de-prova a ser ensaiado deve conter diâmetro equivalente a  $(10 \pm 0,2)$  centímetros e altura entre 3,50 e 6,50 centímetros. Definidas as medidas, o material deve ir para a estufa por 2 horas na temperatura especificada (25°C, 30°C, 45°C ou 60°C) e, em seguida, deve ser colocado na horizontal no prato inferior da prensa para que a compressão seja aplicada com velocidade de deformação de  $(0,8 \pm 0,1)$  milímetros por segundo até que haja ruptura completa.

#### **5.3.4.2 Solos Estabilizados com Cinza Volante e Cal Hidratada**

Para a comprovação da utilização do Cinza Volante e a Cal Hidratada, é utilizado o método de ensaio ME 181/94, o qual explicita que o método a ser utilizado para determinação da resistência à tração por compressão diametral de solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada, a serem utilizadas em camadas e base e sub-base de pavimentos. (DNER, 1994).

Depois de realizados os procedimentos preliminares descritos no método de ensaio ME 181/94, as amostras moldadas de acordo com a energia de compactação adotada devem ser

rompidas com taxa de aplicação, sendo está de  $(0,5 \pm 0,02)$  MPa por segundo. Essa aplicação é feita em 7, 14 e 28 dias de cura, sendo que nesses respectivos dias, também é necessário obter as resistências à compressão diametral associadas aos teores de umidade. Ainda sobre a resistência à compressão, o valor obtido da mesma é resultado da média da resistência de 3 amostras que são correspondentes a cada uma das 5 umidades adotadas, e ainda, o resultado que for destoante em  $\pm 10\%$  da média deverá ser desconsiderado. (DNER, 1994j).

### **5.3.5 Módulo de Resiliência (MR)**

O termo resiliência indica o potencial de deformação em um corpo, logo, o módulo de resiliência significa a relação existente entre a tensão vertical desviadora e a deformação resiliente, dessa relação, obtém-se pares de tensões definidos os quais são denominados confiantes e desviadores.

Em termos de tensão e deformação dos pavimentos é necessário fazer uma análise estrutural do pavimento, para tal usa-se o módulo de resiliência (MR), o qual, Senço (2008) o define como a deformação recuperável correspondente à tensão aplicada abruptamente em uma amostra de solo.

O MR de acordo com Bernucci (2010), consiste na aplicação de carga no plano diametral vertical de uma amostra a uma dada temperatura, produzindo assim, uma tensão de tração no eixo horizontal, o qual mostrará qual o deslocamento diametral provocado. (BERNUCCI et al., 2010).

Logo para que essa análise seja feita, o método de ensaio utilizado é o ME 134 do DNIT, (2010) e o ME 133 do DNER (1994g), o qual descreve o procedimento para obtenção do MR em misturas betuminosas também em pavimentos flexíveis.

## **6. Resultados e Discussões**

Os resultados que serão apresentados neste capítulo, foram obtidos através do estudo dos resultados obtidos nas dissertações de mestrado, sendo elas: Escória de Aciaria Elétrica em Camadas Granulares de Pavimentos – Estudo Laboratorial da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS) e Caracterização Tecnológica de Misturas Solo-Escória de Alto Forno Granulada Moída para Fins Rodoviários da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

As duas dissertações tiveram como objetivo analisar o comportamento da escória como agregado na pavimentação, a qual o primeiro trabalho se dedicou na análise da escória de aciaria do refino oxidante obtida no forno elétrico, intitulada como Forno e com a escória de aciaria dos refinos oxidante e redutor adquirida no forno elétrico e no forno panela, também intitulada como Misturada, além de terem adicionados alguns componentes como cinza pesada e cal. Já o segundo trabalho, analisou o comportamento da escória de alto forno misturada com dois tipos de solo: o ETA que consiste em uma argila areno-siltosa e o VS, que é uma areia silto-argilosa.(ROHDE, 2002; SANT'ANA 2003;)

### 6.1 Composição Química das Escórias

A composição química das escórias pode ser visualizada por meio da Tabela 4 para as escórias Forno e Misturada, através da Tabela 5 para a escória de alto forno moída.

Tabela 4 – Principais elementos químicos das escórias (Forno e Misturada)

Característica química	Resultados (%)	
	Misturada	Forno
Ca	17,90	17,30
SI	9,40	8,30
MG	6,90	6,60
Al	2,20	2,00
MN	2,90	3,20
Fe	21,50	25,70
Zn	1,20	1,00
Cr	0,42	0,42
Ti	0,40	0,42

Fonte: Adaptado de Rohde (2002)

Tabela 5 – Principais elementos químicos da escória de alto forno moída

Característica química	Resultados (%)
SiO <sub>2</sub>	34,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,90
CaO	42,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40
FeO	0,20
MgO	3,20
K <sub>2</sub> O	0,70
Na <sub>2</sub> O	0,10
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90
SO <sub>3</sub>	0,03
S	0,06

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2003)

## 6.2 Caracterização dos solos ETA e VS

A Tabela 6 indica alguns parâmetros que caracterizam os solos ETA e VS, sendo estes o limite de liquidez, limite de plasticidade, peso específico e granulometria.

Tabela 6 – Parâmetros dos solos ETA e VS

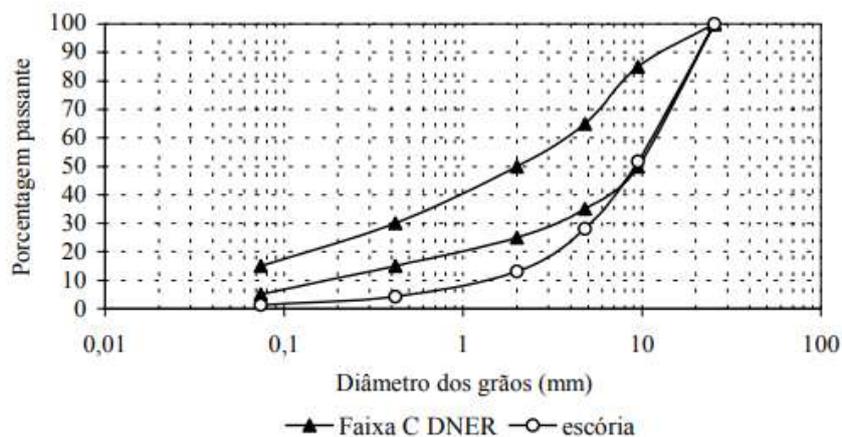
Parâmetros	Solo	
	ETA	VS
Limite de Liquidez - LL (%)	63	29
Limite de Plasticidade - LP (%)	33	19
Argila (%)	50	5
Silte (%)	15	17
Areia (%)	35	78
Pedregulho (%)	0	0
Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	27,25	26,15

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2003)

### 6.3 Análise Granulométrica

A seguir estão apresentadas as figuras da distribuição granulométrica e os limites da faixas C do DNER.

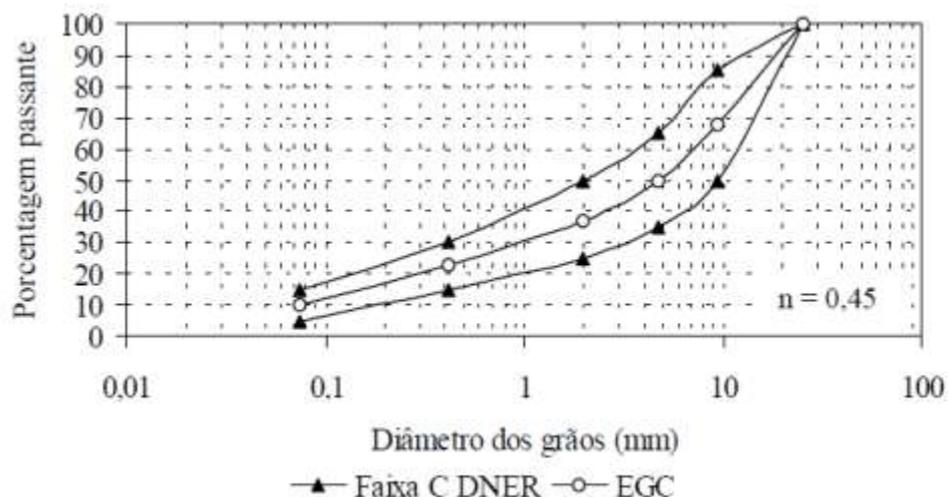
Figura 7 – Distribuição granulométrica e os limites da faixa C do DNER



Fonte: Rohde (2002)

Com base na Figura \_ pode-se observar que a distribuição granulométrica está fora dos parâmetros exigidos pela ME 083 (DNER, 1998 c) levando a necessidade de ser realizada uma correção. Em seguida foi executada a correção da escória de Forno e Misturada, para se encaixar nos parâmetros exigidos pela ME 083(DNER,1998 c), é apresentada na Figura a seguir com os limites da faixa C do DNER - atual DNIT. (ROHDE, 2002).

Figura 8 – Distribuição granulométrica da EGC e os limites da faixa C do DNER



**Fonte: Rohde (2002)**

Após a correção pode-se visualizar que o material está de acordo com a ME 083(DNER,1998 c), o material garante uma melhor trabalhabilidade, assim, podendo atingir graus de compactação melhores, tendo como resultado, dados mais preciso e confiável e uma amostra mais homogeneizada.

#### **6.4 Índice de Suporte Califórnia (ISC)**

O ensaio de ISC foi realizado por Rohde (2002) para amostras de escória de Forno e Misturada com diferentes tempos de estocagem, sendo eles de 4, 5 e 6 meses. Em seus estudos, o teórico realizou ensaios com misturas de escória-cal e escória- cinza, que foram pesadas com teores distintos, sendo que a energia de compactação utilizada para os experimentos foi a Proctor Modificada.

Tabela 7 – ISC de amostras de escória de aciaria com diferentes configurações

Amostra	ISC (%)
Escória Forno – Mês 4	120
Escória Forno – Mês 5	160
Escória Forno – Mês 6	216
Escória Misturada – Mês 4	204
Escória Misturada – Mês 5	187
Escória Misturada – Mês 6	204
Escória + 13% Cal	217
Escória + 10% Cinza Pesada	174
Escória + 20% Cinza Pesada	210
Escória + 33% Cinza Pesada	54
Escória + 50% Cinza Pesada	56

**Fonte: Adaptado de Rohde (2002)**

Pode-se observar com os resultados de ISC que apenas duas amostra não superou o 100% que foram as que tiveram a adição de 33% e 50% de cinza pesada. Já as outra amostra superou o 100%, por consequência, quanto maior é o ISC, maior a resistência do solo.

## 6.5 Resistência à Compressão Diametral

O ensaio de resistência à compressão diametral foi realizado por Rohde (2002) que analisou dois corpos de prova, um contendo 20% e o outro com 33% de cinza pesada, exibida nas Tabela 8 e a Tabela 9.

Tabela 8 – Variação da resistência à compressão diametral para o corpo de prova contendo 20% de cinza pesada

RCD (kPa)		
Teor de Cal (%)	3 dias	28 dias
1	20,99	22,29
3	11,95	32,91

Fonte: Adaptado de Rohde (2002)

Tabela 9 – Variação da resistência à compressão diametral para o corpo de prova contendo 33% de cinza pesada

RCD (kPa)		
Teor de Cal (%)	3 dias	28 dias
1	12,28	26,92
3	29,87	32,51

Fonte: Adaptado de Rohde (2002)

Com base no resultado obtido nas tabelas, pode-se observar que a amostra contendo 20% de cinza pesada teve um aumento na sua resistência com a adição do teor de cal com relação ao tempo de cura de 28 dias. Já a amostra com tempo de cura de 3 dias teve o comportamento contrário, pois apresentou decréscimo na sua resistência com a adição do teor de cal. Analisado a amostra que contém 33% de cinza pesada apresentou um acréscimo na sua resistência tanto quando teve a adição do teor de cal e com o tempo de cura.

Os ensaios realizados por Sant'Ana (2003) mostram os resultados para as misturas de solo-escória-cal denominado solo ETA, com 10% de escória de alto forno e 5% de cal. Já o solo VS

tem em sua composição 10% de escória de alto forno e 10% de cal e utilizado tempo de cura de 7 e 28 dias.

Tabela 10 – Resultados da resistência à compressão diametral para os solos ETA e VS

RCD não confinada(kPa)		
Solo	7 dias	28 dias
ETA	101	155
VS	24	110

Fonte: Sant’Ana (2003)

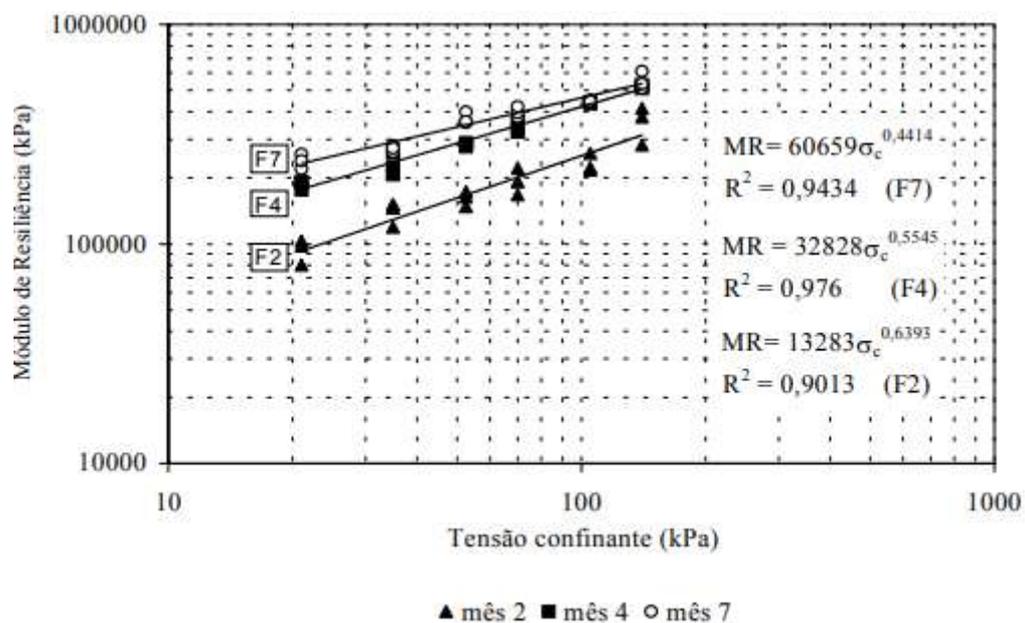
Foi observado que os solos ETA e VS teve um acréscimo na sua resistência aumentando o tempo de cura. Mas com o aumento no teor de escória de alto forno na amostra VS ocorreu um decréscimo na sua resistência tanto no tempo de cura de 7 dia quanto no de 28 dias.

### 6.6 Módulo de Resiliência

Os resultados do módulo de resiliência para as escórias Forno e Misturada, encontram-se a seguir.

A figura 9 a seguir apresenta a variação do módulo de resiliência em função da tensão confinantes para diferentes tempos de armazenamento da escória de Forno.

Figura 9 – Módulo de resiliência para escória Forno nos meses 2, 4 e 7

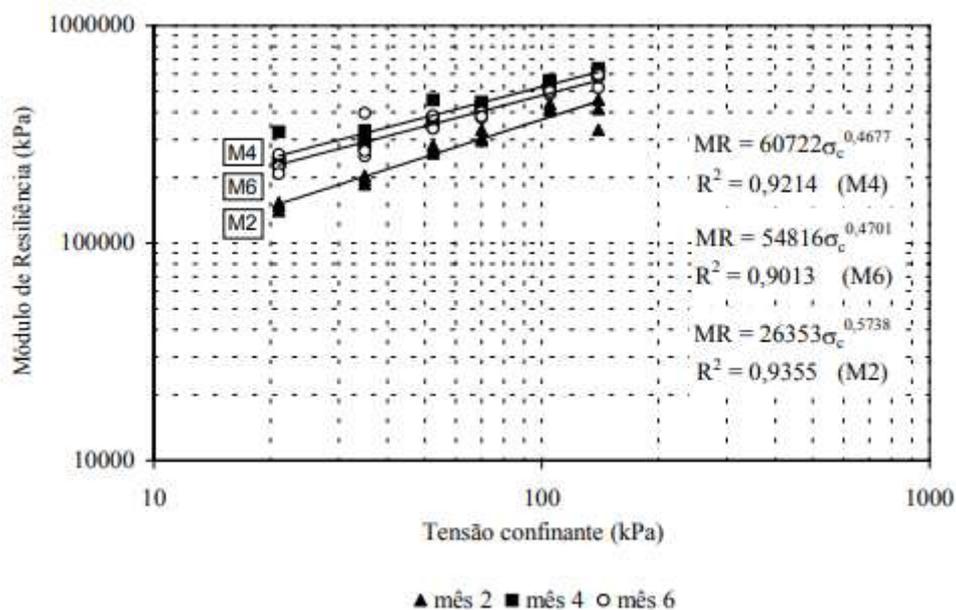


Fonte: Rohde (2002)

Posteriormente, a análise dos parâmetros de modelo k1 (módulo para tensão confinante igual a 1) e k2 (coeficiente angular da reta de ajuste), nota-se que após o tempo de exposição, nas amostras de forno tem-se um crescimento de k1 e uma redução de k2. Desse modo, é visto que com aumento do período de cura das amostras, perde-se a sensibilidade do módulo de resiliência às tensões confinantes.

A figura 10 a seguir apresenta a variação do módulo de resiliência em função da tensão confinantes para diferentes tempos de armazenamento da escória de Misturada.

Figura 10 – Módulo de resiliência da escória Misturada nos meses 2, 4 e 6



Fonte: Rohde (2002)

Nota-se que a variação dos parâmetros  $k_1$  e  $k_2$  para a escória Misturada são diferentes da verificada para a escória de Forno. O crescimento de  $k_1$  e a diminuição de  $k_2$ , foram significativas apenas para as amostras que foram armazenadas entre 2 e 4 meses. Essa diferença de comportamento presente nas amostras do Forno, pode ser causada devido a heterogeneidade das amostras, visto que a escória Misturada apresenta uma maior quantidade de material contaminante, o que tornaria seu comportamento menos previsível.

As demais dissertações não apresentaram o módulo de resiliência da escória, o que inviabilizou a comparação dos resultados.

## **7. Considerações Finais**

Com o trabalho, pode-se observar que o material de escória de Forno e Misturada, mostram um desarranjo granulométrico considerável, dessa forma, é necessário que haja a correção granulométrica para que haja uma compactação melhor. Por outro lado, também foi observado que a adição de escória de aciaria, sendo esta elétrica ou não, aumenta a capacidade de suporte do material aplicado posteriormente.

Mesmo com os benefícios da escória, é importante a criação de um banco de dados sobre esses benefícios, tanto da escória como de outros aditivos, sendo estes, os tendem a aumentar a resistência dos solos que são utilizados nas camadas de base e sub-base de um pavimento. Durante as análises, nota-se que em alguns casos, o uso de aditivos se mostrou suficiente para melhorar a resistência dos solos estudados.

Pode-se concluir que o uso do aditivo escória de aciaria, melhora significativamente a resistência dos solos para fins de aplicação em bases e sub-bases de pavimentos asfálticos. Por tanto quanto maior for sua implementação e mais pesquisas forem desenvolvidas na área, maior será a contribuição para o destino adequado dos rejeitos liberados pelas siderúrgicas. Assim, elevando o valor do material, e trazendo benefícios para o meio ambiente, já que os rejeitos podem ser reaproveitados.

## 8. Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). D4792 – Standard Test Method for Potential Expansion of Aggregates from Hydration Reactions. EUA, 2019. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6.459:2017 – Solo Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7.180:2016 – Solo Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7.181:2017 – Solo Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2017. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9.895:1987 – Solo Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, RJ: ABEDA, 2010. 501 p. 4ª reimpressão.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. 6ª ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1988. 234 p.

CHAVARINI, V. (1977). Aços e Ferros Fundidos. 4ª ed. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, SP.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Boletins. 2019. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/boletins>> Acesso em: 09/08/2021

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Transporte Rodoviário: Desempenho do Setor, Infraestrutura e Investimentos. Brasília, DF: CNT, [entre 2000 e 2018]. 67 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). EM 260/94: Escórias de Alto Forno para Pavimentos Rodoviários – Especificação de Material. Rio de Janeiro, 1994a. 4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). EM 262/94: Escórias de Aciaria para Pavimentos Rodoviários – Especificação de Material. Rio de Janeiro, 1994b. 4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 035/98: Agregados – Determinação da Abrasão “Los Angeles” – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998a. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 049/94: Solos Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994c. 15 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 081/98: Agregados – Determinação da Absorção e da Densidade de Agregado Graúdo – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998b. 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 083/98: Agregados – Análise Granulométrica– Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998c. 5 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 084/95: Agregado miúdo – Determinação da Densidade Real – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1995. 3 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 089/94: Agregados – Avaliação da Durabilidade pelo Emprego de Soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994d. 6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 129/94: Solos Compactação Utilizando Amostras Não Trabalhadas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994e. 8 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 131/94: Solos Determinação do Módulo de Resiliência – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994f. 9 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 133/94: Misturas Betuminosas – Determinação do Módulo de Resiliência – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994g. 5 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 138/94: Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994h. 4 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 180/94: Solos Estabilizados com Cinza Volante e Cal Hidratada – Determinação da Resistência à Compressão Simples – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994i. 11 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). ME 181/94: Solos Estabilizados com Cinza Volante e Cal Hidratada – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994j. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). PRO 120/97: Coleta de Amostras de Agregados – Procedimento. Rio de Janeiro, 1997. 5 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). ME 113/09: Pavimentação Rodoviária – Agregado Artificial – Avaliação do Potencial de Expansão de Escória de Aciaria – Método de Ensino. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). ME 134/10: Pavimentação – Solos – Determinação do Módulo de Resiliência – Método de Ensino. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

GEYER, R. M. T. Estudo Sobre a Potencialidade de Uso das Escórias de Aciaria como Adição ao Concreto. 2000. 173 f. Dissertação (Tese de Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Centro de Coprodutos. 2019. Disponível em: <<http://acobrasil.org.br/site2015/coprodutos.asp>> Acesso em: 09/06/2019

INSTITUTO AÇO BRASIL. Etapas do Processo Siderúrgico. 2019. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>> Acesso em 18/06/2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de Sustentabilidade de 2018. 2019. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>> Acesso em 09/06/2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA – IBS (2017). Disponível em: [www.ibs.org.br](http://www.ibs.org.br). Acesso em: 20/01/2017, Brasil.

KELES, K. C. Influência da Basicidade da Escória de Alto Forno com Adição de Concreto. 2011. 99 f. Dissertação (Tese de Mestrado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2011.

MOURÃO, M. B. et al. Introdução à siderurgia. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Metalurgia - ABM, 2007.428 p. ISBN 85-7737-015-1.

PEDROSA, R. A. A. Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Uso de Agregados de Escória de Aciaria em Concreto Betuminoso Usinado a Quente. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

RESENDE, A. D. Utilização da Escória de Aciaria Pura e com Adição de Argila como Camada de Base em Pavimentação Rodoviária. 2010. 210 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

RHODE, L. Escória de Aciaria Elétrica em Camadas Granulares de Pavimentos – Estudo Laboratorial. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

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

SANT'ANA, A. P. Caracterização Tecnológica de Misturas Solo-Escória de Alto Forno Granulada Moída para Fins Rodoviários. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SENÇO, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. 2ª edição. São Paulo, SP: PINI, 2008. 761 p. ISBN 978-85-7266-199-7.

SILVA, E.A., 1994, Uso de escória de aciaria em pavimentação viária. 28a

Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, v. 1, p. 261-283. SILVA, E.A. e R.L.

SOUZA, E. B. O. Escória de Aciaria e Resíduos de Concretos Refratários em Componentes de Pavimentação. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TAVARES, D. S.; ODA, S; MOTTA, L. M. G. Utilização Do Agregado Siderúrgico (Escória de Aciaria) em Pavimentação Asfáltica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão – RJ, 2011. p.4.