

# **ESTUDO DO DESEMPENHO DE UMA MISTURA ASFÁLTICA A QUENTE COM A SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DO AGREGADO NATURAL POR ESCÓRIA DE ACIARIA**

**Eliza Zulmira Coelho Serafim**

**Rafael Batista Fernandes**

**Paulo Roberto Borges**

Universidade Federal de São João Del Rei

Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades

## **RESUMO**

O concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), usualmente composto por agregados naturais e cimento asfáltico de petróleo (CAP), é um dos tipos de revestimento asfáltico mais utilizados nas vias urbanas e rodovias brasileiras. Foi analisado o desempenho de uma mistura asfáltica a quente, composta de 25% de agregados naturais e 75% escória de aciaria. A dosagem, realizada através do método Marshall, teve variação do teor de ligante de 4% a 6%, utilizando o CAP 50/70 como material betuminoso. Após a realização dos ensaios de resistência por compressão diametral, fluência e estabilidade, no teor de projeto, os resultados obtidos com a utilização da escória de aciaria em substituição a parte dos agregados naturais e como alternativa para utilização dos resíduos da indústria siderúrgica, foram satisfatórios. Dessa forma, os requisitos mínimos exigidos pelas normas vigentes, apontando a viabilidade de sua utilização em misturas asfálticas a quente foram atendidos.

## **ABSTRACT**

The hot mix asphalt concrete (HMA), usually composed by natural aggregates and asphalt binder, is one of the most used types of asphalt coating on Brazilian urban roads and highways. It was analyzed the performance of a hot mix asphalt using in its composition 75% of the slag and 25% of the natural aggregate. The dosage was made through the Marshall method, with a binder content varying from 4% to 6%, and using the petroleum asphalt cement (PAC) 50/70 as a bituminous material. After the tests of resistance by diametrical compression, creep and stability, made with the optimum binder content, the obtained result by the use of steel slag as an alternative for the natural aggregates and as an alternative for the use of the steelworks residues, were satisfactory. Thus, the minimum standard requirements by the current normative, indicating the viability of their use in hot mix asphalt, were attended.

## **1. INTRODUÇÃO**

A produção de aço é de expressiva importância no que diz respeito ao desenvolvimento econômico de um país, e foi só após a Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam corrigir as impurezas do ferro e adicionar-lhes propriedades especiais, que o aço passou a ser amplamente utilizado em todo mundo.

Segundo o Instituto Aço Brasil (2017), o Brasil é o 9º maior produtor de aço no ranking mundial, o que o coloca em uma posição estratégica do cenário mundial. Em 2016, foram produzidos cerca de 31,3 milhões de toneladas de aço, e o setor obteve um faturamento líquido de R\$ 67 bilhões.

Em decorrência desta fonte contínua de produção, segundo BALTAZAR (2001 apud Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS, 1999), “as siderúrgicas brasileiras geram em média de 100 a 150 kg de escória de aciaria por tonelada de aço bruto, sendo a maior aplicação voltada para a construção de estradas (bases e misturas betuminosas). Essa aplicação corresponde a 30% da destinação total das escórias de aciaria ou 59% da destinação com algum retorno econômico às siderúrgicas”.

Com a redução de recursos naturais em algumas áreas e o ganho ambiental ocasionado pela

venda das sobras do processo de fabricação de aço, mudou-se o conceito de resíduo para o setor. Materiais que antes eram descartados, hoje são aproveitados como matéria prima para pavimentação de estradas, correção de solo, fabricação de cimento, fundições, materiais cerâmicos, etc. (Congresso Brasileiro do Aço, 2013).

Uma vez que o transporte rodoviário é o principal meio para o deslocamento de cargas dentro do Brasil, “fatores como a necessidade de ampliação da malha e a elevação constante dos custos dos materiais e dos serviços, vêm tornando a manutenção das rodovias cada vez mais onerosa para a sociedade, fazendo com que sejam priorizadas as medidas que tornem os pavimentos mais duradouros, de modo a aumentar a relação benefício/custo dos investimentos” (PEDROSA, 2010).

Pesquisas na área vêm mostrando que o emprego de escória de aciaria em camadas de pavimentos é uma alternativa viável técnica e economicamente. De acordo com BALTAZAR (2001), o enorme volume produzido e o baixo custo agregado fazem da escória de aciaria um coproduto siderúrgico de baixo custo, porém com características físicas e mecânicas iguais ou superiores aos agregados naturais normalmente encontrados, tais como a brita.

Diante do exposto, foi utilizada a escória de aciaria como parte dos agregados na pavimentação de estradas, mais especificamente, na camada de revestimento do mesmo. A mistura asfáltica que será utilizada nessa camada é classificada como concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ).

## **2. OBJETIVO**

O presente estudo tem como objetivo analisar o desempenho da utilização de uma mistura composta de 75 % de escória de aciaria e 25% de brita graduada, como agregados, e CAP 50/70, na construção da camada de revestimento de uma superestrutura de um pavimento rodoviário executado em concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ).

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1. O pavimento do ponto de vista estrutural e funcional**

Segundo Silva (2008), o pavimento é caracterizado como a superestrutura construída sobre um terreno base (subleito) que deverá suportar aos carregamentos advindos do tráfego de veículos que por ele passa e aos esforços originados de mudanças climáticas.

Para Balbo (2007), podemos destacar que a cada uma das camadas observadas na estrutura de um pavimento tem suas específicas funções, que visam, em suma, permitir que os veículos possam se deslocar adequadamente sobre uma superestrutura que apresente boas condições de suporte e rolamento. Dessa forma, quando um carregamento é aplicado sobre a superfície de um pavimento, esforços são gerados e transmitidos a camadas subsequentes à essa camada de rolamento, de forma que as camadas inferiores serão responsáveis por auxiliar na absorção e dissipação dessas tensões, a depender da forma de atuação de cada camada.

No que tange os pavimentos flexíveis, podemos citar diversas dessas camadas responsáveis por aliviar as cargas atuantes. Dentre as que são comumente executadas na construção de pavimentos rodoviários, podemos citar em ordem ascendente: o subleito - terreno de fundação, o reforço do subleito, a sub-base, a base e a camada de revestimento. De modo que

a camada superior, de rolamento, tem como principal função, impermeabilizar e proteger a estrutura como um todo, melhorar o desempenho aos esforços cisalhantes e proporcionar ao motorista um maior nível de conforto durante a condução (SILVA, 2008).

### **3.2. O concreto asfáltico usinado a quente**

Dentre os vários tipos de misturas a quente, que se distinguem entre si de acordo com sua granulometria e capacidade suporte específicas, uma das mais aplicadas e utilizadas no Brasil, no que se diz respeito aos revestimentos asfálticos, se dá pelo concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ). O mesmo é denominado como uma mistura composta de agregados de vários tamanhos e de cimento asfáltico, aquecidos a uma temperatura pré-determinada a depender do tipo de ligante. Dessa forma, tais misturas são divididas em subgrupos de acordo com a granulometria dos agregados componentes, dos quais, se destacam a de graduação densa, a de graduação aberta e a de graduação descontínua (BERNUCCI et al., 2008).

### **3.3. Agregados**

No âmbito da construção de vias de transportes, os agregados se apresentam como peças fundamentais, visto que são aplicados na fabricação de diversas camadas componentes da superestrutura como um todo e em lastros de ferrovias. Como definição, eles podem ser entendidos como um conjunto de partículas com determinadas dimensões, naturais ou artificiais, podendo ou não ser britados e que são utilizados na construção civil. Os agregados naturais são os que se encontram disponíveis na crosta terrestre, podendo se apresentar em sua forma final, onde estão prontos para utilização, ou em sua forma natural, cujo algumas técnicas deverão ser aplicadas para se tornarem próprios para uso e consumo. Já os artificiais, têm como características serem subprodutos de processos industriais (BALBO, 2007).

### **3.4. A produção da escória de aciaria e seu uso em pavimentação**

Segundo Sousa (2007), “as escórias são resíduos da fusão de metais ou da redução de minérios, resultantes após a combustão ou tratamento industrial de uma substância”. Dessa forma, podemos classificar a escória como um resíduo gerado na indústria siderúrgica, considerado como um coproduto.

Castelo Branco (2004 apud SILVA; MENDONÇA, 2001) realizou um estudo geral a respeito da utilização da escória de aciaria como agregado na construção de pavimentos e salientou que desde 1979 esse material é empregado em obras de infraestrutura em países como Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Canadá. Já no Brasil, essa utilização se iniciou em 1986 com a construção de um trecho de cerca de 100 km em uma estrada do estado do Espírito Santo, cuja utilização se deu nas camadas de base e sub-base. Com isso, apesar de existirem vários estudos de sua utilização em misturas asfálticas, podemos observar que o emprego desses materiais é mais comum nas camadas estruturais de base e sub-base de pavimentos.

Uma particularidade da escória de aciaria se dá com relação à sua alta expansibilidade, fato que ocorre principalmente devido à hidratação dos óxidos de cálcio e magnésio livres presentes no material. Dessa forma, uma das consequências associadas ao uso de um material que não é estabilizado corretamente é o aparecimento de trincas no pavimento, causadas pela geração de tensões internas no material (RODRIGUES, 2007).

### **3.5. Dosagem Marshall**

Dentre os métodos de dosagem de misturas asfálticas, um dos mais comuns, principalmente no Brasil, é o método desenvolvido por Bruce G. Marshall, na década de 1930, cujo principal objetivo é de determinar a quantidade ótima do material ligante que será utilizada numa mistura asfáltica. O alto uso dessa metodologia se dá por conta de sua simplicidade, praticidade e eficiência (BERNUCCI et al. 2008).

Para determinar o teor de ligante de projeto, a metodologia Marshall leva em consideração parâmetros como o volume de vazios, a porcentagem em massa dos agregados, os vazios do agregado e a relação de betume/vazios, levando em consideração, também, os resultados obtidos para o volume dos corpos de prova, a massa específica aparente da mistura e os resultados observados após os ensaios de estabilidade e fluência (BERNUCCI et al. 2008).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Materiais**

#### **4.1.1. Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)**

O cimento asfáltico de petróleo utilizado nas misturas de CAUQ foi o CAP 50/70, disponibilizado pelo laboratório de pavimentação da Universidade Federal de São João Del Rei.

#### **4.1.2. Escória de Aciaria**

A escória de aciaria utilizada nos ensaios foi obtida através de doação de uma das várias siderúrgicas presentes na região do Alto Paraopeba, em Minas Gerais, onde era armazenada em pilhas de rejeito expostas ao ar livre, separadas por granulometria. Nessa estocagem, fez-se a estabilização da escória pelo método da secagem ao tempo associada ao aumento do teor de umidade da pilha de estocagem, fazendo com que as reações de hidratação ocorressem com maior velocidade. A mesma foi, então, devidamente transportada e armazenada em tambores de 200 litros, separados, também, por sua granulometria. O material foi, então, lavado e seco em estufa para que se desse início ao processo de peneiramento a fim de se obter a mistura granulométrica correspondente à faixa C do DNIT.

#### **4.1.3. Brita Graduada**

A brita natural utilizada na mistura foi obtida por meio de uma doação proveniente de uma usina de concreto próxima à cidade de Ouro Branco, em Minas Gerais. Foi constatado que a mesma é derivada de rochas gnaisse e encontrava-se armazenada em baias, separadas em pó de pedra, brita 0 e brita 1. Os materiais foram, então, lavados, secos e peneirados de modo a obter a granulometria especificada na faixa C do DNIT.

### **4.2. Métodos**

A seguir, serão apresentados os métodos necessários para caracterização da escória de aciaria bem como do agregado natural. Descobertas as características de tais materiais e utilizando a metodologia Marshall, descrita na norma DNER ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall, pode-se obter o teor ótimo de projeto.

#### **4.2.1. Separação das Amostras**

Após a caracterização dos agregados, foi escolhida a faixa de trabalho contida na

especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006), a saber, a faixa C, utilizada como camada de revestimento. As porcentagens de agregados utilizados na mistura asfáltica são respectivamente 75% de escória de aciaria e 25% de brita natural, estando estas porcentagens compreendidas nos limites estipulados pela especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006).

A separação das amostras é muito importante na realização de ensaios, por isso foram tomadas todas as precauções para que fossem obtidas amostras representativas quanto às características e natureza dos agregados. Para isso, as amostras foram homogeneizadas e separadas em sacos identificado pelo tipo de agregado, posteriormente as mesmas foram reduzidas através de separadores mecânicos para agregado graúdo e miúdo, onde foram distribuídas uniformemente ao longo do processo, numa velocidade tal que os agregados pudessem passar livremente através das calhas. Este procedimento foi executado até que fosse obtida a quantidade necessária de material para os ensaios.

Ressalta-se que o procedimento citado acima seguiu a metodologia presente na norma NBR NM 27 - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.

#### 4.2.2. Ensaio de Abrasão Los Angeles

Para determinar-se a resistência do agregado à abrasão por impacto, foram seguidos os procedimentos especificados na norma DNER ME 035/98 – Agregados – Determinação da abrasão Los Angeles. Ao final do ensaio, a amostra foi retirada do cilindro e passada na peneira de 1,7 mm, o material retido na mesma foi lavado e seco em estufa entre 100°C e 105°C e em seguida pesado, sendo o resultado avaliado pela redução de massa do agregado retido na peneira em relação à massa inicial da amostra.

#### 4.2.3. Ensaio Marshall

Através do ensaio Marshall é possível determinar-se a quantidade ótima de ligante asfáltico, além de obter-se a estabilidade e a fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico, para uso em pavimentação.

Os corpos de prova foram constituídos de 1200 g de agregados e para cada teor de dosagem foram confeccionados três corpos de prova a fim de aproximar o resultado do ensaio à realidade de campo. Mantendo-se a matriz granulométrica constituída de 75% em massa de escória e 25% em massa de brita natural, foram estudados cinco traços com variação do ligante asfáltico em 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5% e 6%, prevendo que nos intervalos desses traços situa-se o teor de projeto para a mistura.

Depois de calculada a quantidade de material necessária para a confecção dos corpos de prova, ambos agregados foram separados por peneiras e postos em bandejas conforme a Figura 1.



**Figura 1:** Granulometria: Separação dos agregados por peneira

Com o auxílio de uma balança, os agregados foram pesados e a mistura foi colocada em sacos plásticos previamente identificados, facilitando assim o preparo dos CPs, como mostra a Figura 2.



**Figura 2:** Agregados separados em sacos plásticos

Inicialmente, o ligante e os agregados foram colocados em estufa até atingirem as temperaturas de 160 °C e 175 °C, respectivamente. Após a retirada dos agregados da estufa, foi acrescentada a quantidade prevista de ligante, efetuada a mistura e por fim, a moldagem dos corpos de prova conforme é indicado pelo DNER ME 043/95.

Após a compactação, os CP's foram retirados do anel inferior e deixados em repouso sobre uma superfície lisa por 24h, à temperatura ambiente. A altura dos mesmos foi medida em quatro posições diametralmente opostas através de um paquímetro eletrônico conforme Figura 3. Em seguida, os corpos de prova que seriam submetidos ao ensaio de estabilidade e fluência Marshall foram pesados e colocados em estufa a 60 °C por 2 horas.



**Figura 3:** Medição dos corpos de prova com a utilização de um paquímetro eletrônico

Foi possível, então, determinar a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ), a densidade máxima teórica (DMT), o volume de vazios ( $V_v$ ), o volume de agregado mineral (VAM) e a relação betume/vazios (RBV). Com os resultados dos parâmetros e dos ensaios de fluência e estabilidade Marshall, encontrou-se o teor de ligante de projeto da mistura asfáltica. Assim, foram repetidos todos os passos descritos para a moldagem para novos corpos de prova no teor de projeto, sendo parte desses corpos de prova submetidos ao ensaio de estabilidade e fluência, como mostra a Figura 4.



**Figura 4:** CP's submetidos ao ensaio de estabilidade e fluência Marshall

Outro grupo de corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT). Para executar o ensaio de RT, os corpos de prova foram mantidos a uma temperatura de 25°C, conforme Figura 5, sendo realizada a ruptura dos corpos de prova, com uma carga progressiva e velocidade constante, como apresentado na Figura 6.



**Figura 5:** CP's antes do ensaio de RT por compressão diametral



**Figura 6:** Ruptura do CP durante os ensaios de RT por compressão diametral

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Abrasão Los Angeles

A Tabela 1 apresenta o resultado obtido do ensaio.

**Tabela 1:** Resultado do ensaio de abrasão escória

Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda por abrasão (%)
5.002,16	3.421,73	31,60

O resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles da amostra de escória de aciaria estudada

apresentou perda por abrasão de aproximadamente 31,60 %, verificando-se que o mesmo apresenta resistência a abrasão dentro do limite recomendado pela norma DNIT 031/2006 – ES – Concreto asfáltico, que especifica que o agregado graúdo deve apresentar desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50%.

## 5.2. Ensaio de dosagem Marshall

A Tabela 2 apresentada abaixo resume os resultados médios encontrados para as misturas com diferentes porcentagens de ligante, através da metodologia Marshall. Nela, além do teor de betume, estão dispostos os valores para densidade aparente (DA), volume de vazios (Vv), densidade máxima teórica (DMT), estabilidade (Est), vazios no agregado mineral (VAM) e relação betume/vazio (RBV).

**Tabela 2:** Valores médios característicos dos 15 CP's

CAP (%)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	Vv (%)	DMT (g/cm <sup>3</sup> )	Est (Kgf)	VAM (%)	RBV (%)
4,0	2,769	4,3	2,894	2249	15	72
4,5	2,795	3,7	2,866	2556	17	85
5,0	2,812	3,1	2,839	2008	18	95
5,5	2,816	2,5	2,812	1728	20	101
6,0	2,830	1,7	2,786	1242	21	108

Para a escolha do teor de ligante de projeto, recomenda-se seguir os valores característicos apresentados abaixo, estabelecidos na norma DNIT 031/2006-ES.

**Tabela 3:** Valores limites característicos da mistura segundo a DNIT 031/2006-ES

Característica	Método de Ensaio	Camada de Rolamento
VV (%)	DNER-ME 043	3 a 5
RBV (%)	DNER-ME 043	75 - 82
Estabilidade mínima (Kgf)	DNER-ME 043	500

Respeitando tais recomendações, chega-se aos seguintes valores de teor de projeto para cada relação observada nos gráficos:

**Tabela 4:** Valores médios característicos dos 15 CP's

Característica	Teor de ligante encontrado no gráfico (%)
Vazios	4,20
Estabilidade	4,50
Vazios no Agregado Mineral	4,20
Relação Betume/Vazio	4,30

Com isso, o teor de projeto encontrado para o ligante asfáltico, calculado como a média aritmética dos valores apresentados, foi de 4,30%.

Com o teor de projeto definido, foi executada uma bateria de corpos de provas para a mistura asfáltica estudada, respeitando a mesma granulometria da faixa C do DNIT, conforme os valores apresentados na Tabela 5, realizando-se então o ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral e o ensaio de Estabilidade Marshall. Os valores médios encontrados com a realização de tais ensaios estão dispostos na Tabela 6.

**Tabela 5:** Composição das misturas (75% de escória e 25% de brita) com o teor ótimo de projeto para a faixa C do DNIT

Peneiras	Massa Retida (g)	Escória (g)	Brita (g)
3/4"	35,09	26,32	8,77
1/2"	147,9	110,92	36,97
3/8"	74,73	56,05	18,68
n° 4	255,26	191,45	63,82
n° 10	242,3	181,72	60,57
n° 40	227,29	170,47	56,82
n° 80	71,84	53,88	17,96
n° 200	78,06	58,55	19,52
Fundo	73,35	55,01	18,34
Massa de ligante a 4,30% (g)			54,18

**Tabela 6:** Comparação dos parâmetros de norma e resultados encontrados

Característica	Método de Ensaio	Camada de Rolamento	Resultados obtidos
VV (%)	ME 043	3 a 5	3,51
RBV (%)	ME 043	75 - 82	77,69
Estabilidade mínima (Kgf)	ME 043	500	1881
Resistência à tração por compressão diametral mínima (MPa)	ME 138	0,65	1,43

Portanto, analisando esses resultados, pode-se observar que todos os parâmetros satisfizeram os limites estabelecidos na norma DNIT 031/2006-ES, indicando a viabilidade de utilização da escória de aciaria no processo de execução de uma mistura asfáltica a quente para utilização em camada de revestimento em rodovias brasileiras. Freitas e Motta (2008) também chegaram a resultados positivos quando substituíram os agregados convencionais por escória de aciaria, em seu trabalho utilizando como ligante asfáltico o CAP 30/45 o ganho de desempenho no ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi da ordem de 15%.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho observou-se que o material analisado atende ao padrão estabelecido pelo DNIT-ES 031/2006. Concluindo que a utilização dessa composição de agregados, de 75% de escória de aciaria e 25% de agregados convencionais, torna a mistura asfáltica viável, quanto a seu desempenho mecânico, para um teor de ligante igual a 4,30%. Esta composição também é uma boa alternativa para a utilização desse coproduto da indústria siderúrgica, apontando ainda para a viabilidade de contribuição para o controle ambiental de descartes de resíduo das

indústrias siderúrgicas.

Desta forma, visando uma possível continuidade e aplicação das pesquisas da temática anteriormente citada, é recomendada para trabalhos futuros a realização de outros ensaios de desempenho para que sejam confirmados os resultados positivos, tais como o Ensaio de Módulo de Resiliência, o Ensaio de Fadiga e o Ensaio de Deformação Permanente.

#### **Agradecimentos**

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração de diversas pessoas. Em especial o Prof. Me. Paulo Roberto Borges, responsável pela orientação deste trabalho; à Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ pela possibilidade de desenvolvimento e formação profissional; ao Prof. Dr. Geraldo Luciano de Oliveira Marques por disponibilizar o laboratório de pavimentação da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF para realização dos ensaios, ao técnico de laboratório Vitor Cardoso da UFJF pelo suporte na realização dos ensaios realizados durante essa pesquisa e as empresas pelo fornecimento do material para a realização do estudo.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BALBO, J. T. (2007). *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos. 560p.
- BALTAZAR, R. P. (2001). *Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 93p.
- BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2006). *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda, RJ. 504p.
- CASTELO BRANCO, V. T. F. (2004). *Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 135p.
- CONGRESSO BRASILEIRO DO AÇO, 24., 2013, Rio de Janeiro. Indústria reaproveita 85% dos resíduos das usinas. Disponível em: [www.acobrasil.org.br](http://www.acobrasil.org.br). Acesso em: 05/05/2018, Brasil.
- DNER-ME 035/98 - Agregados - determinação da abrasão Los Angeles. DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER-ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNIT-ES 031/2006 – Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico – especificações de serviço. DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- FREITAS, H. B., MOTTA, L. M. G. (2008). Transportes, v. XVI, n. 2, p. 5-12. Rio de Janeiro, RJ.
- INSTITUTO AÇO BRASIL – IABr (2017). Anuário Estatístico. 95p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERÚRGIA – IBS (1999). Arthur Dr. Little Ltda & Setepla Tecnometal Engenharia Ltda. *Estudo sobre aplicações de escórias siderúrgicas no Brasil e em outros oito Países*. Sumário Executivo. 29p.
- PEDROSA, R. A. A. (2010). *Estudo da viabilidade técnica e econômica do uso de agregados de escória de aciaria em concreto betuminoso usinado a quente*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 136p.
- RODRIGUES, G. L. C. (2007). *Caracterização e Avaliação da Expansibilidade de Escória de Aciaria LD Não Tratadas e Tratadas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.
- SILVA, E.A. e R.L. MENDONÇA, 2001. *Brésil: laitier d'aciérie à tous les étages, laitiers sidérurgiques*, n. 81, p.11-24;
- SILVA, P. F. (2008). *Manual de patologia e manutenção de pavimentos*. São Paulo: Pini. 128p.
- SOUSA, G. M. (2007). *Estudo Experimental de Escórias de Aciaria para Fins de Caracterização Tecnológica como Material de Lastro Ferroviário em Vias Sinalizadas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 142p.