



**FACULDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS – FAPAC
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS PORTO LTDA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO LUIZ GOMES JÁCOME

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM PAVIMENTO ASFÁLTICO
DO TIPO CBUQ COM ESCÓRIA DE ACIARIA**

**PORTO NACIONAL – TO
2018**



**FACULDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS – FAPAC
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS PORTO LTDA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO LUIZ GOMES JÁCOME

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM PAVIMENTO ASFÁLTICO
DO TIPO CBUQ COM ESCÓRIA DE ACIARIA**

Projeto de Pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil da FAPAC / ITPAC DE PORTO NACIONAL, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área: Pavimentação Asfáltica

Orientador: Prof. Me. Flávio Vieira da Silva Filho

**PORTO NACIONAL – TO
2018**

ADRIANO LUIZ GOMES JÁCOME

Projeto de Pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e defendido em ____/____/____ () Aprovado () Reprovado

Banca examinadora constituída pelos Engenheiros Civis:

Orientador: Professor Me. Flávio Vieira da Silva Filho

Professora Dra. Talita Caroline Miranda

Engenheiro Civil Esp. Wagner Lopes Bastos

RESUMO

O estudo de técnicas mais econômicas para pavimentação se tornou uma necessidade, devido a baixa qualidade da malha rodoviária no Brasil e a escassez de recursos financeiros no setor. A utilização de escória de aciaria mostra-se uma alternativa viável no aspecto econômico, técnico e ambiental, tendo em vista ser um agregado barato e de alta qualidade, bem como sua utilização ajuda a reduzir os estoques desse agregado artificial nos pátios das siderúrgicas e consequentemente proteção das reservas de agregados minerais. A escória de aciaria possui como ponto negativo o alto poder de expansão, no entanto, com os devidos cuidados com sua cura e estabilização volumétrica, torna-se um agregado artificial com grande potencial a ser utilizado na pavimentação. Esse trabalho irá realizar o estudo do desempenho mecânico da escória de aciaria como agregado em Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Será utilizado como ligante o CAP 50/70. Foi escolhido o Método de Dosagem Marshall, e os resultados serão comparados com uma mistura convencional composta de agregados britados. De acordo com a bibliografia consultada é esperado que a escória de aciaria atenda aos quesitos exigidos por norma e que sua mistura tenha melhor estabilidade e fluência Marshall comparada a mistura com agregado britado.

Palavras Chaves: Escória de Aciaria. Expansão. Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Método Marshall.

ABSTRACT

The study of more economical techniques for paving has become a necessity due to the poor quality of the road network in Brazil and the scarcity of financial resources in the sector. The use of steel slag is a viable alternative in the economic, technical and environmental aspects, in order to be an inexpensive and high quality aggregate, and its use helps to reduce the inventories of this artificial aggregate in the yards of the steel mills and consequently protection of reserves of mineral aggregates. The slag of steelworks has as negative point the high power of expansion, however, with due care with its cure and volumetric stabilization, it becomes an artificial aggregate with great potential to be used in the paving. This work will perform the study of the mechanical performance of steel slag as an aggregate in Hot-Rolled Bituminous Concrete. The CAP 50/70 will be used as a binder. The Marshall Dosing Method was chosen, and the results will be compared to a conventional mixture composed of crushed aggregates. According to the literature consulted it is expected that steel slag will meet the requirements required by norm and that its mixture has better stability and Marshall fluency compared to the mixture with aggregate crushed.

Key Words: Steel Slag. Expansion. Hot-Machined Bituminous Concrete. Marshall Dosing Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Densidade da Malha Rodoviária por País em Km/1000Km ²	12
Figura 02 –Condições de Qualidade das Rodovias Brasileiras.....	13
Figura 03 – Pavimento Flexível	14
Figura 04 – Resposta Mecânica de Pavimento Flexível.....	15
Figura 05 – Seção Transversal de Pavimento Flexível	15
Figura 06 – Processo de Produção do Aço.....	22
Figura 07 – Geração de Coprodutos e Resíduos por Tipo.....	23
Figura 08 – Destinação dos agregados siderúrgicos e outros resíduos.....	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Cronograma do Projeto	33
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BOF – Blast Oxygen Furnace

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CNT – Conselho Nacional de Trânsito

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

EAF – Elétric Arc Furnace

LD – Linz Donawits

OH – Open Hearth

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. OBJETIVOS	10
2.1. OBJETIVO GERAL	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1. PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS	11
3.1.1. Condição Atual dos Pavimentos no Brasil	11
3.1.2. Classificação dos Pavimentos	14
3.1.3. Camadas dos Pavimentos Flexíveis	14
3.2. REVESTIMENTOS	18
3.2.1. Tipos de Revestimentos	18
3.2.2. Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ	20
3.3. PRODUÇÃO DE AÇO NO BRASIL	21
3.4. PROCESSO DE GERAÇÃO DA ESCÓRIA	24
3.5. EXPANSÃO DA ESCÓRIA	25
3.6. LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO DA ESCÓRIA	26
3.7. USO DE ESCÓRIA EM PAVIMENTAÇÃO	27
3.8. USO DE ESCÓRIA EM REVESTIMENTO ASFÁLTICO	28
4. METODOLOGIA	31
4.1. MATERIAIS	31
4.2. MÉTODOS	31
5. CRONOGRAMA	33
6. RESULTADOS ESPERADOS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, além da baixa densidade de nossa malha rodoviária, apenas uma pequena porcentagem das rodovias são pavimentadas. Somado a falta de manutenção, devido à escassez de recursos públicos, existe a falta de fiscalização com o excesso de carga dos caminhões, o que diminui ainda mais o tempo de vida dos pavimentos (CNT, 2017; PEDROSA, 2010).

Diante desta situação, é de extrema necessidade que se realize o estudo de materiais alternativos que sejam mais baratos, e consequentemente diminuam o custo tanto da manutenção como da construção de novas rodovias (LOURES, 2017; PEDROSA, 2010).

A utilização de agregado siderúrgico vem sendo considerado uma alternativa ambientalmente correta, devido à redução dos passivos ambientais gerados pelas indústrias siderúrgicas (CASTELO BRANCO, 2004; LOURES, 2017; PACHECO, 2017).

Outro fator positivo a ser considerado é que, a utilização desse agregado artificial resultará em uma diminuição da exploração das reservas naturais de agregados minerais que a cada dia estão mais escassas (CASTELO BRANCO, 2004; LOURES, 2017; PACHECO, 2017).

A escória de aciaria é um agregado artificial que possui um problema por ser muito expansiva, porém se forem tomados os devidos cuidados em relação a sua cura e estabilização volumétrica, esse agregado poderá ser utilizado em camadas do pavimento (BARBOSA, 2013; CASTELO BRANCO, 2004; LOURES, 2017; PACHECO, 2017; PEDROSA, 2010; RESENDE, 2010; ROCHA, 2011; TOFFOLO, 2015).

Este trabalho irá verificar o desempenho de misturas compostas por escória de aciaria como agregado em camada de revestimento do tipo CBUQ, comparando os resultados com misturas feitas com agregado natural do tipo brita, utilizando o Método de Dosagem Marshall e Ensaio de Tração por Compressão Diametral, além de diversos ensaios de caracterização física.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar estudo de desempenho mecânico em mistura asfáltica do tipo CBUQ, com utilização de escória de aciaria como agregado em substituição ao agregado natural.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São Objetivos Específicos desse estudo:

- Realização de ensaios de caracterização física do agregado siderúrgico e do agregado natural do tipo brita.
- Ensaio de caracterização mecânica das misturas asfálticas compostas tanto com agregados naturais quanto com escória de aciaria.
- Realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, comparando os resultados dos corpos de prova confeccionados tanto com escoria de aciaria quanto com brita.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) designa pavimento de rodovia como uma superestrutura formada por diversas camadas assente sobre o subleito, onde BERNUCCI, et. al. (2006), explica que subleito é o plano do terreno após a conclusão do processo de terraplanagem.

Dentre as diversas funções do pavimento, BALBO (2007) enfatiza sobre o conforto, pois ocorre uma regularização da via, e também em relação à segurança, haja vista que a pista pavimentada traz maior aderência e diminuição dos ruídos gerados pelo contato pneu-pavimento, e também sobre a função de impermeabilização, para que não haja carreamento dos finos das camadas granulares. Conforme SENÇO (2007), o pavimento deve ser capaz de resistir e distribuir entre as camadas os esforços verticais oriundos do tráfego, além de suportar aos esforços horizontais, combatendo assim ao desgaste, onde BALBO (2007) também cita os fatores climáticos como deletérios a vida útil do pavimento.

Além dos aspectos técnicos acima descritos, BALBO (2007) ensina sobre a importância do quesito econômico, principalmente em relação ao transporte de materiais para a confecção da estrada, e conforme a onerosidade pode até limitar a construção de uma via, e aconselha que deve ser realizado um estudo minucioso sobre a disponibilidade e alternativas de materiais de construção a serem utilizados.

Um ponto bastante frisado no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), é sobre o processo de compactação, que visa evitar ou reduzir os recalques gerados pela ação do tráfego, tal que as camadas do pavimento devem possuir espessura e resistência suficiente para que não ocorra uma deformação plástica do subleito.

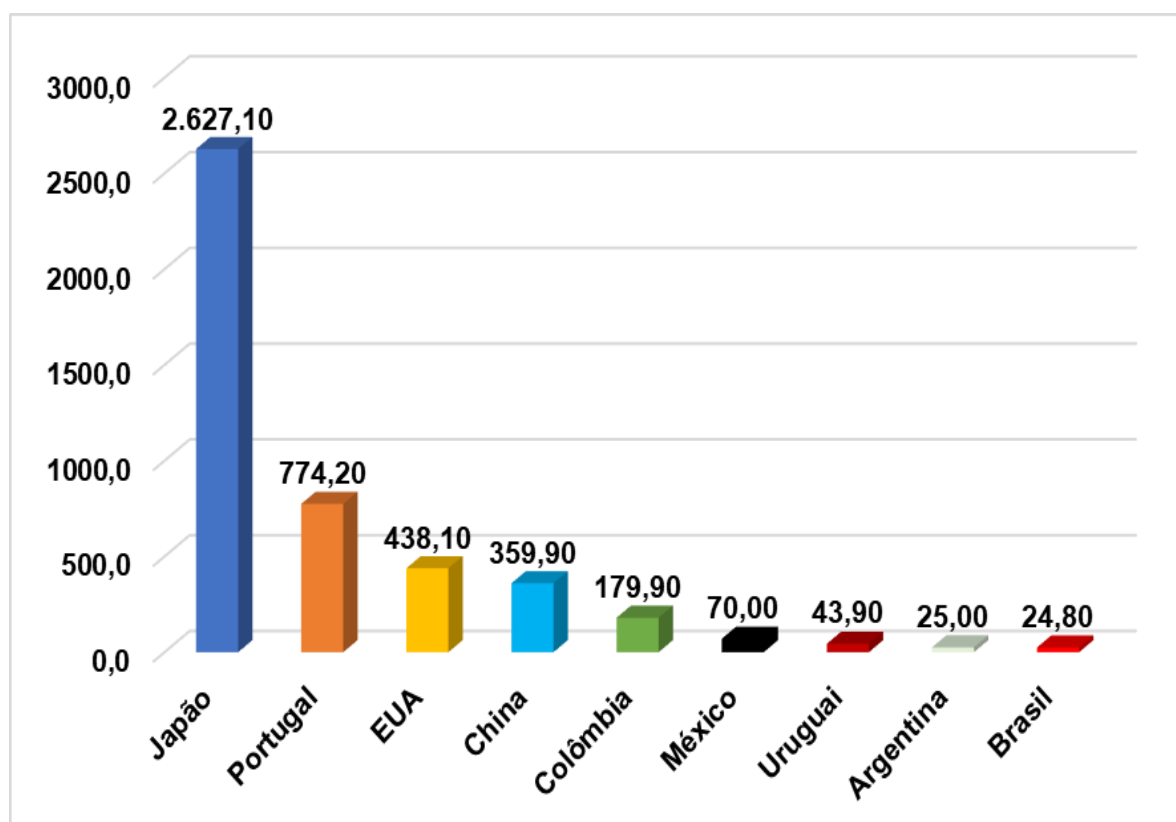
3.1.1. Condição Atual dos Pavimentos no Brasil

A extensão de todas as rodovias brasileiras (municipais, estaduais e federais) é de 1.720.756 Km, sendo que (CNT, 2017):

- 211.468 Km (12,3 %) são pavimentadas
- 1.351.979 Km (78,6 %) não são pavimentadas
- 157.309 Km (9,1%) são planejadas

A Figura 01 representa a densidade da malha rodoviária pavimentada por país, que corresponde a quantidade de quilômetros pavimentados para cada 1000 km² de área do território do país, a qual foi elaborado pela CNT com base em dados do SNV de 2016, para o Brasil, e da Central Intelligence Agency-CIA, para os demais países (CNT, 2017).

Figura 01 – Densidade da Malha Rodoviária por país em Km/1000Km².

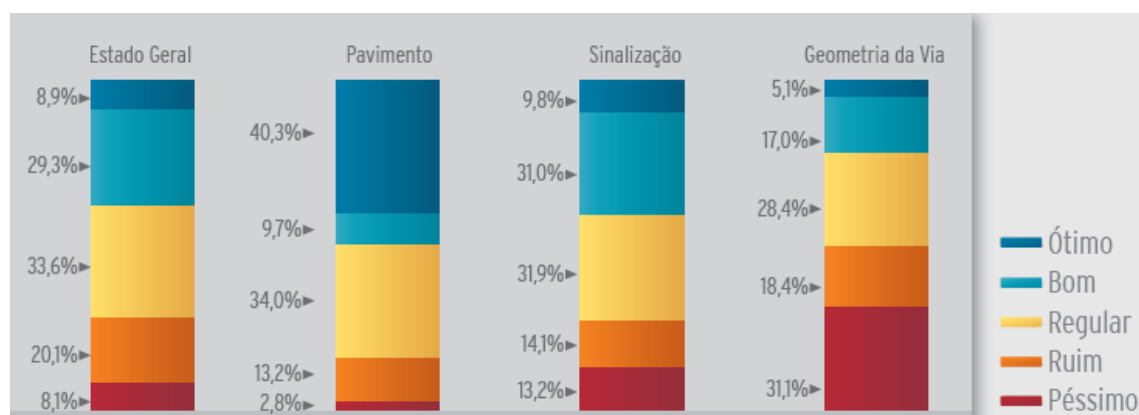


Fonte: CNT, 2017 (Adaptada pelo Autor).

Observa-se que a densidade da malha rodoviária pavimentada do Brasil é baixa se comparado a países de extensão territorial semelhante como EUA e China, e até mesmo em comparação a outros países como Colômbia, México e Uruguai, considerados menos desenvolvidos que aqueles.

A Figura 02 mostra as condições de qualidade das rodovias brasileiras em relação aos quesitos: estado geral, pavimento, sinalização e geometria da via, classificando como ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo.

Figura 02 – Condições de qualidade das rodovias brasileiras.



Fonte: CNT (2017).

Podemos observar na Figura 02 que 50,0% dos pavimentos avaliados apresentam algum tipo de patologia mais acentuada, pois 34,0% classificados como Regular, 13,2% como Ruim e 2,8% como Péssimo, em contrapartida, 40,3% apresenta estado Ótimo e 9,7% está em Bom estado (CNT,2017).

No ano de 2011, os investimentos em infraestrutura rodoviária federal foram de R\$ 11,21 bilhões, sendo que em 2016 ocorreu uma queda elevada, onde o governo federal investiu somente R\$ 8,61 bilhões neste setor (CNT, 2018).

De acordo com Plano CNT de Transporte e Logística (2018), deveriam ser investidos aproximadamente R\$ 293,8 bilhões, para que o Brasil possuísse uma infraestrutura rodoviária de qualidade.

Seriam necessários R\$ 51,5 bilhões para se manter, restaurar e reconstruir os trechos pavimentados considerados problemáticos e críticos, que se encontram com patologias, como trechos desgastados, trincas em malha, remendos, afundamentos, ondulações, buracos ou pavimentos totalmente destruídos, de acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias (2017).

Conforme PEDROSA (2010), devido a escassez financeira e a crise econômica que o país vem enfrentando nos últimos anos, e a constante elevação dos custos dos materiais para pavimentação, é de suma importância buscar tecnologias que diminuam o custo, como a utilização de materiais alternativos na construção de rodovias, e de tecnologias que tornem os pavimentos mais resistentes. Isso reflete ambientalmente de forma positiva com a consequente diminuição das explorações das reservas naturais, sendo altamente recomendáveis

alternativas que visam o aproveitamento de resíduos oriundos de indústrias e de extração mineral.

3.1.2. Classificação dos Pavimentos

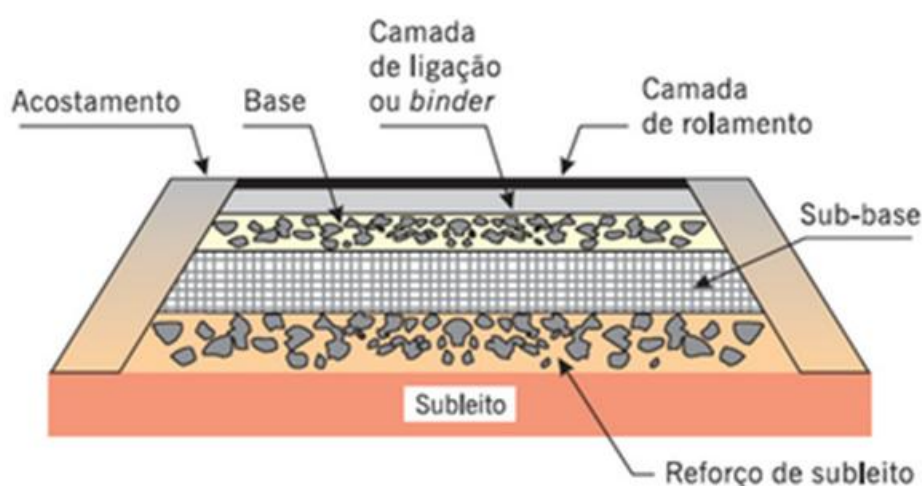
Os pavimentos são classificados em flexível, semirrígido e rígido. Nos pavimentos flexíveis todas as camadas do pavimento absorvem de forma equivalente as solicitações impostas pelo tráfego, diferente do pavimento rígido que a camada de rolamento absorve a maior parte do carregamento aplicado. Já o pavimento semi-rígido pode ser dado como exemplo uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006).

BALBO (2007) define pavimento semirrígido como aquele que possui pelo menos uma camada estabilizada ou tratada com ligante hidráulico e revestida com material betuminoso.

3.1.3. Camadas dos Pavimentos Flexíveis

A Figura 03 é um exemplo de uma seção transversal típica de pavimento flexível com todas as camadas possíveis.

Figura 03 – Camadas do Pavimento Flexível.



Fonte: BERNUCCI, et. al (2006).

A distribuição de tensões em um pavimento flexível ocorre de forma mais pontual, com maior concentração no local de aplicação da carga, BALBO (2007), conforme podemos observar na Figura 04.

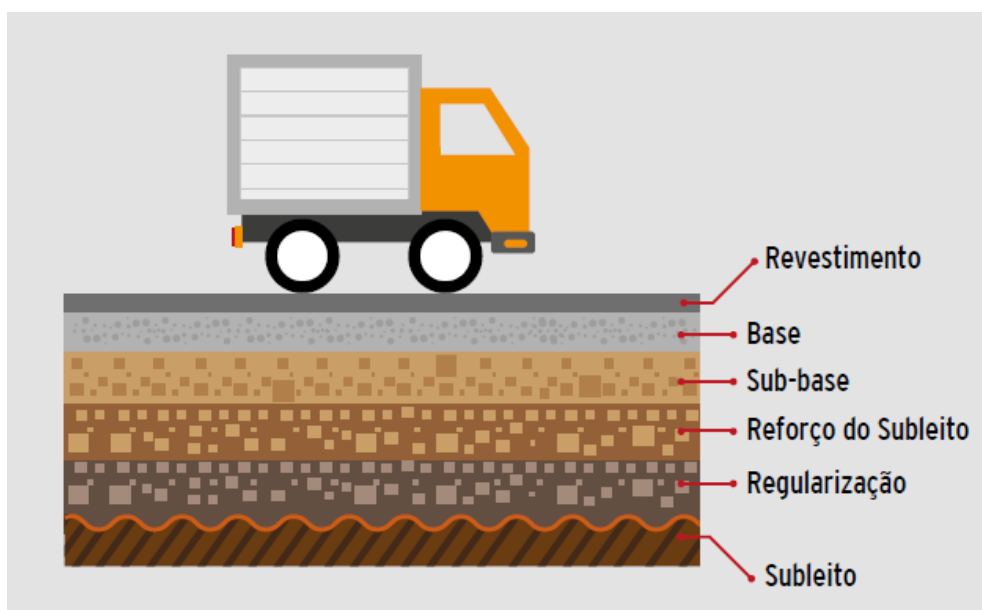
Figura 04 – Resposta Mecânica de Pavimento Flexível.



Fonte: Balbo (2007).

A espessura de cada camada pode ser determinada através de diversos métodos de dimensionamento de pavimento (BALBO, 2007).

Figura 05 – Seção Transversal de Pavimentos Flexíveis.



Fonte: CNT (2017).

A Figura 05 representa uma seção transversal típica de pavimento flexível, com todas as camadas possíveis:

a) Subleito

O terreno de fundação em que o pavimento fica apoiado é denominado subleito (SENÇO, 2007), em que sua constituição é feita por materiais consolidados e compactados (CNT, 2017).

Conforme SENÇO (2007), o subleito possui característica de absorver definitivamente os esforços verticais oriundos do tráfego.

A resistência do subleito é critério de cálculo para dimensionamento das camadas do pavimento, variando de acordo com o método aplicado (SENÇO, 2007), onde o método CBR é o mais difundido no Brasil e utilizado pelo DNIT.

b) Regularização

É a camada que tem como função nivelar o subleito de forma longitudinal e transversal, possuindo assim irregularidade em sua espessura (SENÇO, 2007).

Conforme (CNT, 2017), a camada de regularização não é considerada uma camada do pavimento propriamente dito, e explica que o material constituinte deve ser do próprio subleito ou trazido de uma jazida, tal que atenda as especificações técnicas de suporte e expansão de acordo com as normas do DNIT.

c) Reforço do Subleito

SENÇO (2007) ensina que o reforço do subleito é uma camada propriamente dita do pavimento, possuindo espessura constante e construída acima da regularização. É considerada camada suplementar do subleito por características dos materiais superiores e é considerada camada complementar da sub base por possuir características inferiores de seus materiais. O reforço do subleito tem capacidade de resistir e distribuir os esforços verticais.

Normalmente se utiliza o reforço do subleito quando o terreno de fundação possui baixa capacidade portante, ou quando a via será destinada ao tráfego de cargas muito pesadas, bem como pela combinação de ambas (CNT, 2017). Quando aplicada, esta camada visa a economia da obra, tendo em vista que a não utilização em caso de subleito pouco resistente resultaria em uma maior espessura das camadas de base e sub base, as quais possuem custo superior, por exigirem utilização de materiais mais nobres e conseqüentemente mais dispendiosos (BALBO, 2007).

d) Sub base

Quando no dimensionamento de projeto resultar em uma camada de base muito espessa, visando a economia e razões técnicas, procura-se dividi-la em duas camadas, criando uma camada complementar a base denominada de sub base, a

qual se encontra imediatamente abaixo da camada de base, e seus materiais possuem características tecnológicas inferiores aos da camada de base (SENÇO, 2007; CNT, 2017; BALBO, 2007).

e) Base

Está situada logo abaixo do revestimento e tem como função resistir às solicitações impostas pelo tráfego e distribuí-las as camadas inferiores de forma acentuada (SENÇO, 2007). As bases e sub bases também possuem a função de drenagem subsuperficial dos pavimentos (BALBO, 2007).

f) Revestimento

É a camada que resiste diretamente aos carregamentos advindos do tráfego e está situada na parte superior do pavimento. Tem como função abrandar as solicitações impostas para as camadas inferiores, garantir condições de segurança, conforto, impermeabilização do pavimento, além de resistir às intempéries climáticas. Por ser a camada mais nobre do pavimento, e portanto a de maior custo financeiro, normalmente os revestimentos asfálticos são subdivididos em duas ou mais camadas (BERNUCCI, et al., 2006; BALBO, 2007; CNT, 2017; SENÇO, 2007).

Alguns termos podem ser aplicáveis aos revestimentos asfálticos (BALBO, 2007):

- Camada de Rolamento: é a camada que está em contato direto com as solicitações do tráfego e intemperismos climáticos. Também pode ser chamada de camada de desgaste, capa de rolamento e revestimento.
- Camada de Ligação: utilizada em mistura asfáltica, está situada entre a camada de base e a camada de rolamento. É conhecida como camada de binder ou apenas binder.
- Camada de Nivelamento: é a camada superficial utilizada em recapeamento, que tem como função nivelar a pista para que seja executada em seguida a camada de rolamento. É comum o emprego do termo camada de reperfilagem ou apenas reperfilagem.
- Camada de Reforço: quando a camada de rolamento perde a capacidade estrutural ou funcional, realiza-se uma nova camada de rolamento assim denominada. Termos como recape, recapeamento e pano asfáltico são bastante utilizados para designar esta camada.

3.2. REVESTIMENTOS

3.2.1. Tipos de Revestimentos

Os revestimentos podem ser classificados conforme os seguintes itens (BERNUCCI, et. al., 2006):

a) Local de fabricação:

- Usina Específica: são as Misturas Usinadas (fixas ou móveis)
- Preparadas na própria pista: Tratamentos Superficiais

b) Temperatura da mistura e tipo de ligante:

- CAP – Misturado a Quente: Concreto Asfáltico(CA) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)
- EAP – Misturado a Frio: Pré Misturado a Frio (PMF)

c) Composição Granulométrica:

- Densas: CBUQ e PMF;
- Abertas: Camada Porosa de Atrito (CPA);
- Descontínuas: Stone Matrix Asphalt (SMA)

d) Recomposição da Capacidade Estrutural e Funcional:

- Lama Asfáltica
- Microrevestimento
- Recicladas: uso de Fresadoras-Recicladoras

Os revestimentos asfálticos comumente utilizados no Brasil são (BERNUCCI, et. al., 2006):

- a) CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente: composto de agregados de granulometria variada e CAP, os quais são previamente aquecidos conforme as características de cada ligante e posteriormente misturados. De acordo com ARAÚJO (2007), essa mistura deve ocorrer até que o ligante envolva totalmente o agregado, e em seguida o material deve se manter aquecido durante o trajeto da usina até a pista, onde será espalhado com a vibroacabadora e devidamente compactado com rolo compressor, tal que todo o processo deve ocorrer antes que o material esfrie.

- b) CPA – Camada Porosa de Atrito ou Revestimento Asfalto Drenante: tem a função de garantir a aderência do pneu ao pavimento em dias chuvosos, de forma que a água percole pelos poros até a sarjeta, melhorando a visibilidade por causa da diminuição do spray de água oriundo dos pneus, além de reduzir o ruído ocasionado pelo rolamento dos pneus no pavimento. Devem ser aplicados sobre uma camada impermeável.
- c) SMA - Stone Matrix Asphalt: é constituído por areia, fíler, ligante e fibras, mistura esta denominada masticque, tal que possui em sua composição uma grande porcentagem de agregados graúdos. É um revestimento usinado a quente com alta concentração de CAP. Assim como o CPA, possui função drenante e melhora da capacidade de aderência em dias de chuva. É considerado um revestimento de alto desempenho funcional e estrutural em relação aos outros.
- d) AAUQ - Areia Asfalto Usinada a Quente: é uma mistura de agregado miúdo, geralmente utiliza-se areia com a presença ou não de material de enchimento e CAP, que deve ser espalhado e compactado a quente. Apresenta menor resistência a deformação permanente.
- e) PMF - Pré Misturado a Frio: formado por agregados de diferentes granulometrias envolvidos por Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP), que devem ser espalhados e compactados a temperatura ambiente.
- f) Tratamento Superficial: é uma modalidade de revestimento asfáltico em que a mistura é realizada na pista, sendo espalhado o ligante asfáltico e em seguida o agregado, e posteriormente compactado. Pode se aplicado com uma, duas ou três camadas sucessivas de ligante e agregado, sendo denominadas respectivamente: Tratamento Superficial Simples(TSS), Tratamento Superficial Duplo(TSD) e Tratamento Superficial Triplo(TST);
- g) Lama Asfáltica: é um tipo de revestimento asfáltico de consistência mais fluida, formado pela combinação de emulsão asfáltica, água, agregados minerais e material de enchimento ou fíler, os quais são misturados e espalhados de maneira uniforme in situ. São utilizadas principalmente para tratamento de pavimentos com desgaste mais a

superfície e pouco grau de trincamento, sendo que não é realizada compactação.

- h) Micro Revestimento: uma espécie de Lama Asfáltica mais evoluída, tendo em vista que é acrescentada em sua composição emulsões modificadas por polímeros com a possibilidade de adição fibras a mistura. Permite a liberação da pista para tráfego em até duas horas, pois esse tipo especial de emulsão possui ruptura controlada.
- i) Recicladas: em pavimentos com estrutura deteriorada, realiza-se a fresagem total ou parcial do revestimento para a execução de uma nova camada, tal que o material que foi cortado e arrancado pela máquina fresadora é reciclado, utilizando agentes rejuvenecedores e ligantes novos, além de aglomerantes hidráulicos quando for preciso. Pode ser utilizado agente rejuvenecedores a quente (AR – Agente Rejuvenecedor) ou a frio (ARE – Agente Rejuvenecedor Emulsionado).

3.2.2. Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ

Conforme a Norma DNIT 031/2006-ES, o Concreto Betuminoso Usinado a Quente possui em sua composição os seguintes materiais:

- a) Agregado Miúdo: pode ser areia, pó de pedra ou mistura de ambos, ou outro material constante nas Especificações Complementares. Na prática é o material passante na peneira 4 e retido na peneira 200, esta apresentando abertura de 0,074 mm. Deve apresentar equivalente de areia superior a 55%.
- b) Agregado Graúdo: pode ser pedra britada, escória, seixo rolado, ou outro material constante nas Especificações Complementares. Material retido na peneira 4, com abertura de 4,8 mm. Deve atender também aos seguintes quesitos:
 - Desgaste Los Angeles Inferior a 50%.
 - Índice de Forma superior a 0,5.
 - Durabilidade com perda inferior a 12 %.
- c) Material de Enchimento Fíler, passante na peneira 200 mm, tal que no momento da aplicação deve estar seco e sem grumos, constituído pelos seguintes materiais:

- Cimento Portland
- Cal Extinta
- Pós Calcários
- Cinza Volante, etc.

d) Ligante Asfáltico com a possibilidade de emprego dos seguintes tipos de CAP:

- CAP 30/45
- CAP 50/70
- CAP 85/100

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), ou apenas Concreto Asfáltico (CA), é o tipo mais comum utilizado em estradas com elevado volume de tráfego, devendo atender ao rigoroso controle de materiais, produção, armazenagem, execução, sendo regido pela Norma DNIT 031/2006-ES, e é avaliado como um revestimento nobre. O CBUQ é uma mistura composta por poucos vazios e alta resistência, tendo em vista possuir distribuição granulométrica bem graduada e contínua, de graduação densa, de forma que os agregados menores e o ligante preenche os vazios dos agregados maiores (MARINHO, 2011).

3.3. PRODUÇÃO DE AÇO NO BRASIL

O Brasil ocupa a 9ª posição em produção de aço no mundo, e no ano de 2017 produziu um equivalente a 34,4 milhões de toneladas de aço bruto, onde desse montante 89% da produção se deram na região Sudeste. A China é o maior produtor mundial de aço, chegando em 2017 ao equivalente de 831,7 milhões de toneladas do produto, quase 50% de toda produção mundial.

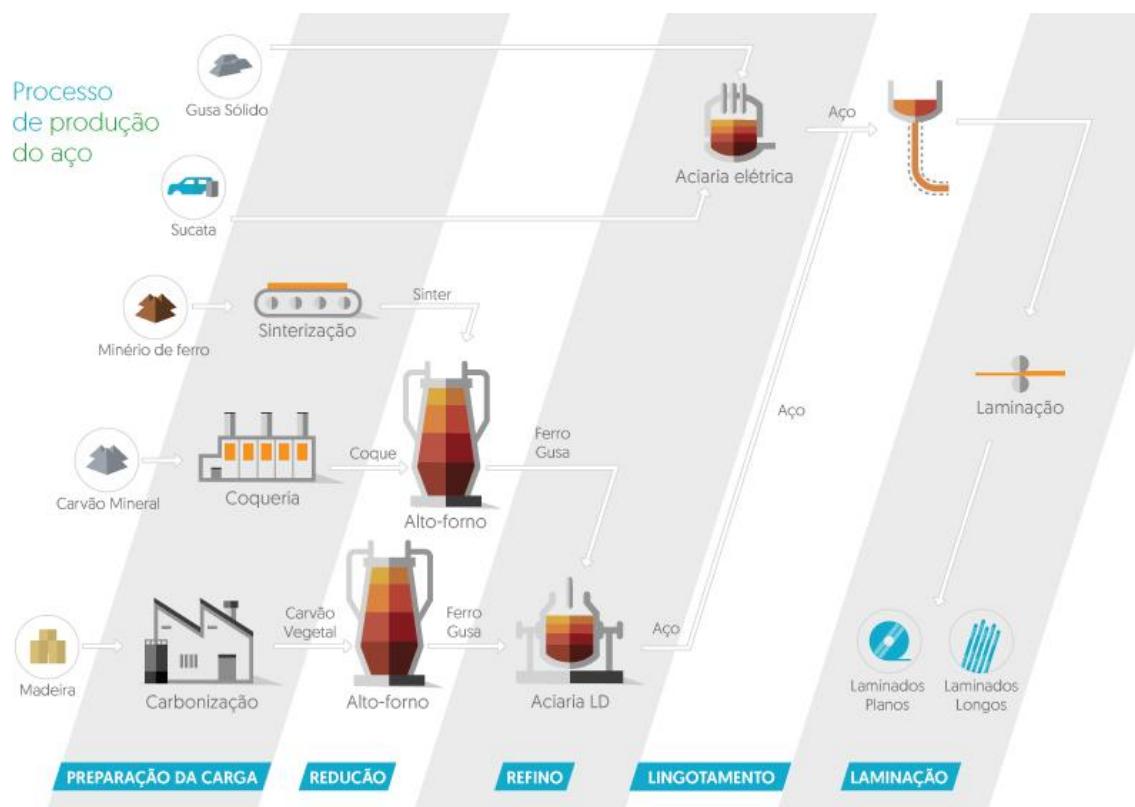
No ano de 2016, a construção civil consumiu cerca de 38,1% de todo o aço produzido no Brasil (Aço Brasil, 2018).

O Brasil é um grande produtor de aço, isto posto, se torna um gerador de enormes quantidades de escórias siderúrgicas. Um dos objetivos a serem cumpridos pelo Estado é aumentar no território nacional a densidade de nossa malha rodoviária pavimentada, sendo assim, o processo de pavimentação do país pode ser acelerado com o emprego de políticas públicas que visem reduzir dos custos, garantindo alta

qualidade técnica, utilizando esse coproduto, que é a escória siderúrgica para a construção e manutenção dos pavimentos (RESENDE, 2010).

A Figura 06 mostra o processo de produção do aço de forma simplificada e didática, desde a matéria prima e fundentes até chegar no processo de laminação do aço (Aço Brasil, 2018).

Figura 06 – Processo de Produção do Aço.



Fonte: Aço Brasil (2018).

Os processos para obtenção do aço estão descritas abaixo (Aço Brasil, 2018):

- **Preparação da carga:** nessa fase o minério de ferro é preparado para alimentar o alto forno, denominada sinterização, tal que pode ser utilizado como fundente o carvão mineral, denominado coque ou o carvão vegetal.
- **Redução:** o minério de ferro é transformado em ferro gusa, porém com elevado teor de carbono, onde o ferro gusa e a escória gerada vazam por canais separados. Aqui ocorre a geração da escória de alto forno.
- **Refino:** o ferro gusa é levado para as aciarias para o ajuste do teor de carbono e remoção das impurezas, e conseqüente obtenção do aço.

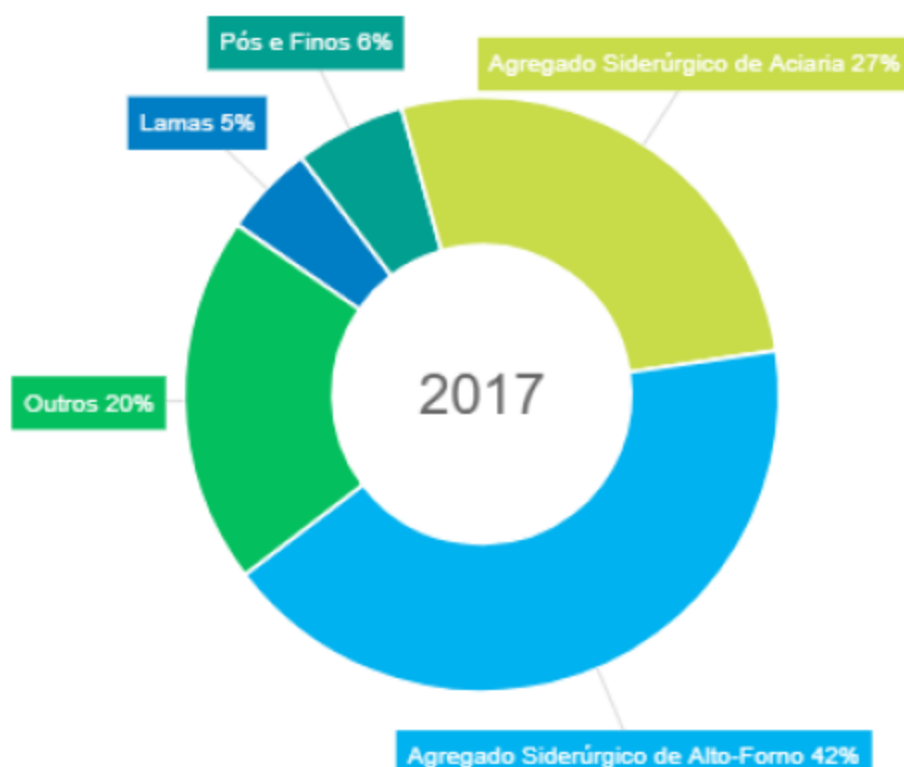
Nesta fase ocorre a geração da escória de aciaria, a qual será utilizada como agregado no presente trabalho.

- Lingotamento: o aço oriundo das aciarias é derramado em lingoteiras, que ao se solidificar forma os lingotes, o qual será moldado formando produtos semiacabados.
- Laminação: Ocorre a diminuição da espessura dos lingotes que ocorre de forma mecânica, transformando-os em produtos utilizados pela indústria de transformação (chapas, barras, bobinas, vergalhões, tubos dentre outros).

A cada tonelada de aço produzido, são gerados aproximadamente 600 Kg de escória, de forma que 27% corresponde a escória de aciaria, o equivalente a 162 Kg por tonelada de aço produzido (Aço Brasil, 2018).

Os dois coprodutos siderúrgicos gerados em maior escala são a Escória de Aciaria e a Escória de Alto Forno, correspondendo a aproximadamente 60% de toda escória gerada durante a produção do aço (Aço Brasil, 2018), conforme podemos visualizar na Figura 07.

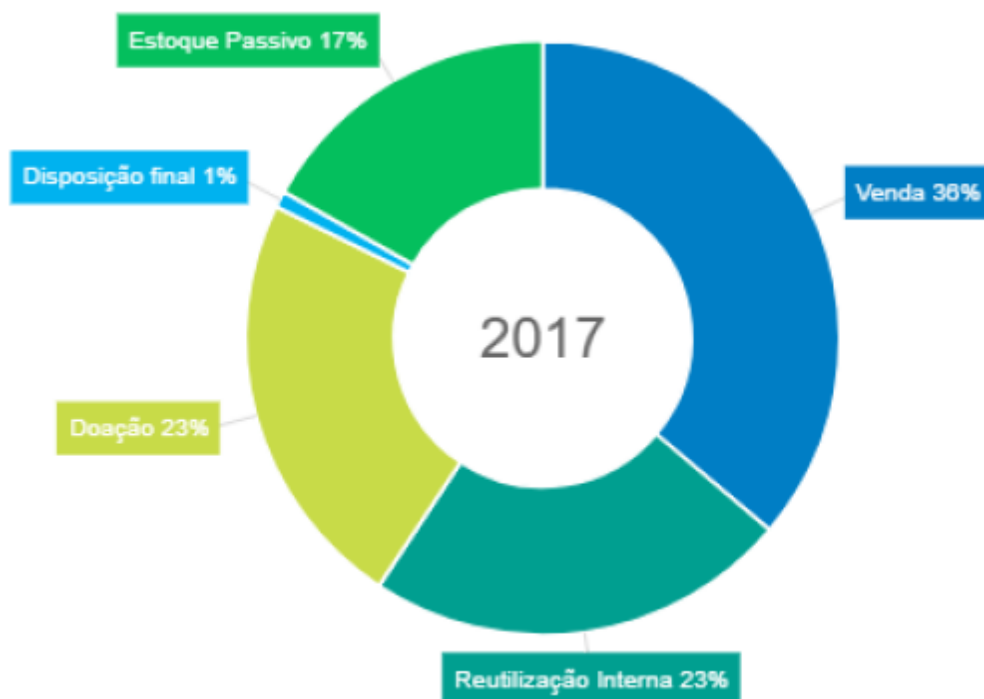
Figura 07 – Geração de Coprodutos e Resíduos por Tipo.



Fonte: Aço Brasil (2018).

Na Figura 08 vemos a destinação dos agregados siderúrgicos, onde podemos verificar que ainda existe um estoque passivo de 17% da escória gerada, a qual fica armazenada nos pátios das siderúrgicas do Brasil, sem uma destinação adequada (Aço Brasil, 2018).

Figura 08 – Destinação dos agregados siderúrgicos e outros resíduos.



Fonte: Aço Brasil (2018).

3.4. PROCESSO DE GERAÇÃO DA ESCÓRIA

Conforme RESENDE (2010), a escória de aciaria é gerada durante a produção do aço em reatores metalúrgicos em que são utilizados fornos elétricos e conversores a oxigênio. De uma forma geral, as escórias de aciarias podem ser divididas em três categorias de acordo com o tipo de forno:

- 1) LD (Linz Donawits) ou BOF (Blast Oxygen Furnace).
- 2) EAF (Elétric Arc Furnace).
- 3) OH (Open Hearth)

TOFFOLO (2015), explica que as duas principais rotas tecnológicas para a produção de aço no Brasil são as usinas integradas, que produzem aço em aciarias com convertedores LD (Linz Donawitz) a partir do ferro gusa líquido oriundo

do alto forno, gerando as escórias de aciaria LD, e a outra rota são as usinas semi integradas que geram o aço através da fusão de sucatas ferrosas em aciarias elétricas, utilizando os fornos EAF (Elétric Arc Furnace), dos quais gera a escória de aciaria elétrica.

RESENDE (2010), informa que nas siderúrgicas brasileiras predomina o uso dos fornos a oxigênio do tipo LD ou BOF, e em menor quantidade de empresas que utilizam o forno do tipo EAF, sendo que o forno OH é utilizado por apenas por uma indústria siderúrgica.

Conforme ROCHA (2011), na aciaria utilizando o conversor LD, ocorre a mistura do ferro gusa líquido, sucata de aço, cal e elementos para corrigir a liga, onde a uma alta velocidade é injetado o oxigênio utilizando uma lança especial.

De acordo com MACHADO (2000) apud RESENDE (2010), as escórias geradas pela inserção de oxigênio no aço fundido com o intuito de oxidar o carbono, silício e enxofre são consideradas escórias oxidantes. Já as escórias obtidas após o derramamento da escória oxidada, com a adição de CaO (óxido de cálcio) e CaF₂ (Fluorita) que tem a finalidade de dessulfurar o aço em estado líquido e adicionar elementos de liga, são denominadas escórias redutoras. Diversos elementos que não interessam estarem presentes na composição do aço compõem a escória, a qual é formada por alguns óxidos com características expansivas.

ROCHA (2011), relata os diversos resíduos gerados durante a produção do aço: escória de alto forno, pó de alto forno, lama de alto forno, escória de dessulfuração, escória de aciaria LD, lama grossa de aciaria, lama fina de aciaria e carepa.

Conforme GEYER (2001) apud ROCHA (2011), a velocidade de resfriamento das escórias influencia diretamente em sua natureza: inerte (resfriamento lento), expandida e leve (resfriamento rápido), vítreas, porosa e áspera (resfriamento brusco).

3.5. EXPANSÃO DA ESCORIA

MARTINI (2015), realizou um estudo sobre a expansibilidade da escória de aciaria correlacionando a concentração de determinados compostos presentes na escória causadores dessa expansão, como o MgO, CaO e Ferros Metálicos, os quais foram quantificados através dos ensaios de Difractometria de Raios X em pós e

através do Método Rietveld que possuem um tempo de análise de apenas 7 horas. O referido trabalho foi motivado pelo fato de que no Brasil é utilizado o método PTM-130/78 para a avaliação da expansão da escória, no entanto esse método leva 14 dias para ser concluído, além de fornecer poucas informações sobre o comportamento da escória. Através do método Rietveld foi possível prever o comportamento volumétrico das escórias sem a necessidade de realizar ensaios de expansão, utilizando modelos matemáticos, com análise de regressão linear múltipla e análises de variância, tal que os resultados foram ajustados adequadamente ao comportamento real da expansão medida pelo método PTM-130/78.

De acordo com TAVARES (2012) apud LOURES (2017), a expansão da escória de aciaria é provocada pela hidratação do óxido de cálcio livre (CaO), o qual é responsável pela expansão inicial, mais rápida e do óxido de magnésio não reagido (MgO), responsável pela expansão ao longo do tempo, de forma mais lenta e progressiva, e também pelo processo de corrosão e oxidação do ferro metálico (FeO) e ao polimorfismo do silicato dicalcico (C2S).

Existem diversos tratamentos para a estabilização das reações expansivas da escória de aciaria (LOURES, 2017):

- Diminuição da granulação, o que aumenta a superfície específica e potencializa o processo de expansão;
- A cura a vapor ou tratamento em autoclave, também denominada hidratação forçada ou cura acelerada;
- Tratamento ao tempo, deixando a escória ao tempo para que ocorra naturalmente sua expansão;
- Tratamento ao tempo com molhagem e aeração diária;
- Inserção de novos agentes escorificantes, com a finalidade de reduzir os compostos expansivos;
- Adições na escória líquida, para estabilizar os compostos expansivos;

3.6. LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO DA ESCÓRIA

No ensaio de Lixiviação (NBR 10005/04) é determinado o quanto substâncias orgânicas ou inorgânicas presentes em um determinado resíduo podem ser transferidas, por meio de dissolução no meio extrator. Quando um ou mais

parâmetros do Lixiviado apresentarem valores acima dos permitidos pela norma, o resíduo é classificado como Classe I – Perigoso. No ensaio de Solubilização (NBR 10006/04), ocorre a dissolução de um determinado material ou produto em um líquido. Quando todos os parâmetros obtidos no ensaio de Solubilização estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pela norma o resíduo é classificado como Classe II-B – Não Perigoso e Inerte, e caso um ou mais parâmetros encontrados estiverem acima do limite máximo estabelecido, o resíduo é classificado como Classe II-A (ABNT NBR:10004/04).

BARBOSA (2013), realizou a caracterização geoambiental das escórias siderúrgicas em cinco estados brasileiros, através dos ensaios de Lixiviação (NBR 10005/04) e Solubilização (NBR 10006/04). Verificou-se que as escórias analisadas de três das cinco siderúrgicas foram classificadas como resíduo Classe II-A: não perigoso e não inerte, por terem apresentado teores de Alumínio e Cromo na amostra acima do limite máximo permitido, conforme Anexo G da NBR 10004/04. Foi constatado que as amostras de escórias analisadas das outras duas siderúrgicas foram classificadas como resíduo Classe II-B, ou seja, não perigoso e inerte, pelo fato de terem apresentado todos os teores analisados nos referidos ensaios abaixo do limite máximo permitido. Concluiu-se também que os elementos que excederam teores permitidos são em sua maioria encontrados nos solos comuns do território nacional, não gerando impactos significativos ao meio ambiente.

ROCHA (2011), relata em seu trabalho que diversos autores classificaram a escória de aciaria como Classe II-A (não perigoso e não inerte), comprovando através dos ensaios de Lixiviação e Solubilização de acordo como a NBR 10004/04. O autor informa que o IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias) concluiu em estudos de campo e laboratoriais que não houve nenhum problema ambiental em relação ao escoamento das águas pluviais em contato com a escória de aciaria.

3.7. USO DE ESCÓRIA EM PAVIMENTAÇÃO

LOURES (2017), explica que existem diversas utilizações da escoria de aciaria em obras de engenharia civil: revestimento asfáltico, base e sub base de pavimentos, pavimentos de estradas vicinais, lastros ferroviários, proteção de taludes, construção de estacionamentos, aterros, pátios industriais e até como fertilizantes agrícolas e reguladores do PH do solo, porém o principal fator negativo

quanto a utilização da escória de aciaria como agregado em camadas dos pavimentos é em relação as reações expansivas, que se não for devidamente tratadas, as escórias se tornam inutilizáveis nesse tipo de obra.

Conforme ROCHA (2011), a escória de aciaria vem sendo utilizada na infra e superestrutura rodoviária, em lastros ferroviários, contenções de encostas (rip-rap), gabiões, drenagens, corretivos de solo, agregado para concreto, produção de cimento, produção de fertilizantes e na indústria do vidro.

TOFFOLO (2015), realizou um estudo para confecção de pavimentos sustentáveis com o uso de Concreto Compactado com Rolo (CCR) como camada de revestimento em pavimentos rígidos, utilizando como agregados a escória de aciaria LD e escória de aciaria elétrica, tendo caracterizado os agregados física, química e ambientalmente, concluindo que é possível produzir pavimentos com utilização de agregados siderúrgicos de forma eficiente, econômica e ambientalmente correta.

BARBOSA (2013), comprovou em seu estudo a viabilidade de utilização da escoria de aciaria, as quais demonstraram desempenho satisfatório para aplicação de base e sub base de pavimentos, tendo frisado no trabalho sobre os devidos cuidados que devem ser tomados ainda na indústria siderúrgica em relação a cura, estabilização, peneiramento e separação metálica, o que garante qualidade e confiabilidade ao agregado siderúrgico. O autor cita diversas vantagens de sua utilização em relação aos agregados naturais:

- Formato cúbico - aumento da resistência a deformação.
- Basicidade elevada – aumento da adesividade ao ligante.
- Resistência ao polimento – maior atrito e segurança para o tráfego;
- Resistência à abrasão – aumento da durabilidade.

De acordo com SILVA (2010), a utilização de escoria siderúrgica em pavimentos rodoviários se mostra técnica e economicamente viável, pois apresenta uma melhor resistência a abrasão, capacidade de drenagem, maior rigidez e peso específico tendo um custo inferior aos agregados naturais, contribuindo assim com a preservação das jazidas desses materiais naturais, ajudando na diminuição do passivo ambiental que são os estoques de escória nos pátios das indústrias siderúrgicas.

3.8. USO DE ESCÓRIA EM REVESTIMENTO ASFÁLTICO

Os agregados utilizados em revestimentos devem preencher alguns quesitos, dentre elas a boa adesividade, para que não ocorra arrancamento de material betuminoso pela atuação da água (Manual de Pavimentação – DNIT, 2006).

LOURES (2017), estudou sobre misturas asfálticas do tipo Pré Misturado a Frio (PMF), utilizando escória de aciaria como agregado em substituição ao agregado natural, tendo como resultado a melhora técnica do comportamento mecânico em relação a mistura com agregado natural, de forma que a mistura ficou apta a ser utilizada em vias de tráfego médio, ressaltando que a escória de aciaria possui um custo inferior de mercado em comparação ao agregado natural. Foi utilizado neste estudo o Método Marshall, tal que os resultados de estabilidade e fluência dos corpos de prova moldados com escoria de aciaria se mostraram superiores tecnicamente em relação aos corpos de prova moldados com agregado natural. Também foi realizado testes com adição de polímeros, onde segundo a autora, aumenta a vida útil do pavimento, retardando os efeitos causados pela ação deletéria dos raios ultravioletas, como ressecamento do ligante.

CASTELO BRANCO (2004), caracterizou misturas asfálticas do tipo CBUQ utilizando escória de aciaria elétrica como agregado, e como ligante o CAP 50/60 e uso do aditivo DOPE para melhoramento da adesividade da mistura, sendo que comparou com uma mistura semelhante composta de agregados naturais, onde foi utilizado o Método Marshall. Segundo o autor, existe a possibilidade de utilização da escória de aciaria elétrica em revestimentos asfálticos, e concluiu que o uso do DOPE não reportou qualquer tipo de melhoria relevante.

ROCHA (2011), realizou estudos laboratoriais e aplicação em campo utilizando escoria de aciaria como agregado em revestimento asfáltico do tipo tratamento superficial duplo (TSD), como substituto aos agregados naturais. O autor concluiu em sua pesquisa que o agregado siderúrgico possui características que o qualificam para ser utilizado nesse tipo de revestimento gerando economia para a confecção do pavimento na região de produção da escória, e que apesar de o agregado apresentar maior taxa de absorção em laboratório, consumiu quantidade equivalente de emulsão asfáltica comparado com o agregado natural.

NOURELDIN e McDANIEL (1989) apud CASTELO BRANCO (2004), estudaram misturas asfálticas utilizando como agregado a escória de aciaria em porcentagens que variam de 40% a 87%, para serem confeccionadas em vias com alto volume de tráfego, em que foi obtido no ensaio de estabilidade Marshall até

1.273 Kgf, e no ensaio de tração até 1,1 MPa. Na aplicação do revestimento em campo, constatou-se boa resistência a derrapagem. Os autores sugerem a utilização de um teor de ligante maior, apesar de refletir na diminuição da estabilidade Marshall, e a utilização de um CAP menos viscoso, o qual melhora a trabalhabilidade, e misturas asfálticas mais abertas, além da realização de ensaios com a substituição de finos da escória por finos de agregados naturais, com o intuito de diminuir o peso específico da mistura

De acordo com PEDROSA (2010), a utilização de escoria de aciaria em revestimentos betuminosos se justifica por ser um produto de boa qualidade técnica, baixo custo, elevada resistência mecânica, além de reduzir os estoques das siderurgias, contribuindo assim de forma sustentável para a preservação das reservas naturais. Sua utilização também pode beneficiar localidades carentes pelo fato das obras viárias demandarem consequentemente um menor custo final.

4. METODOLOGIA

4.1. MATERIAIS

Para realização dos ensaios laboratoriais, o Concreto Betuminoso Usinado a Quente possuirá as seguintes composições:

- Agregado tipo brita + CAP 50/70.
- Escória de Aciaria LD + CAP 50/70.

A brita utilizada será fornecida pela Britadeira do Ailton, situada na TO-255 (Porto/Fátima), em amostras de britas de numeração: 0, 1 e pó de brita.

A amostra de Escória de Aciaria LD será fornecida pela Usina Siderúrgica AcelorMittal Tubarão junto a empresa AcelorMittal - Ferro Para Construção Civil, situada no Plano Diretor Sul de Palmas-TO, a qual é representante comercial da AcelorMittal no Tocantins. A empresa AcelorMittal Tubarão está situada na Grande Vitória, estado do Espírito Santo, na região sudoeste brasileira.

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50/70) foi adquirido pela Faculdade Itpac de Porto Nacional-TO.

Para a determinação da estabilidade e fluência das misturas acima descritas, será utilizado o Método de Dosagem Marshall, o qual é preconizado pela norma DNER-ME 043/95 (Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall).

4.2. MÉTODOS

a) Escória de Aciaria

Serão realizados os seguintes ensaios de laboratório para a caracterização das amostras de Escória de Aciaria conforme as respectivas normas:

- Granulometria: DNER-ME 083/98
- Peso Específico Real: DNER-ME 084/95
- Peso Específico Aparente: DNER-ME 152/95
- Abrasão Los Angeles: DNER-ME 035/98
- Índice de Forma: DNER-ME 086/94
- Adesividade ao Ligante Betuminoso: DNER-ME 078/94
- Absorção e densidade de agregado graúdo: DNER-ME 195/97

b) Agregado tipo Brita

Os ensaios de caracterização do agregado tipo brita serão os seguintes conforme as normas descritas para cada ensaio:

- Granulometria: DNER-ME 083/98
- Peso Específico Real: DNER-ME 084/95
- Peso Específico Aparente: DNER-ME 152/95
- Abrasão Los Angeles: DNER-ME 035/98
- Índice de Forma: DNER-ME 086/94
- Adesividade ao Ligante Betuminoso: DNER-ME 078/94
- Absorção e densidade de agregado graúdo: DNER-ME 195/97

c) Concreto Betuminoso Usinado a Quente:

Serão realizados os seguinte ensaios com o Concreto Betuminoso Usinado a Quente, de acordo com as respectivas normas:

- Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall: DNER-ME 043/95.
- Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral: DNER-ME 138/94.

5. CRONOGRAMA

O Quadro 01 mostra o Cronograma referente a elaboração de projeto acadêmico nas disciplinas de TCC 1 e TCC 2:

Quadro 01 – Cronograma do projeto.

Etapas	2018				2019				
	Ago	Set	Out	Nov	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Definição do Orientador									
Definição do Tema									
Definição dos Objetivos: Geral e Específicos									
Definição de Sumário Preliminar									
Leitura do Material de Estudo									
Elaboração da Revisão Bibliográfica									
Definição de Sumário Definitivo									
Entrega do Projeto à Banca Examinadora									
Apresentação do Projeto à Banca Examinadora									
Aquisição dos Materiais: CAP, Escória e Brita									
Ensaaios em Laboratório									
Interpretação dos Resultados									
Produção do Artigo Científico									
Entrega do Artigo a Banca Examinadora									
Apresentação do Artigo a Banca Examinadora									

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2018).



Já foi Cumprido

Ainda por Cumprir

6. RESULTADOS ESPERADOS

De acordo com a bibliografia consultada é esperado que a escória de aciaria apresente os seguintes resultados no estudo de caracterização física dos agregados quando comparado a brita:

- Maior índice decubicidade
- Melhor adesividade ao ligante.
- Melhor resistência à abrasão.
- Maior peso específico.
- Maior consumo de ligante em seu teor de projeto.

Espera-se que nos ensaios de caracterização mecânica, os corpos de prova moldados com escória de aciaria apresentem maior estabilidade e fluência Marshall em comparação aos corpos de prova confeccionados com brita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004/04: **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005/04: **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004. 20 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006/04: **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.

AÇO BRASIL. **Anuário Estatístico 2018**. Rio de Janeiro, 2018.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. ISBN: 978-85-86238-56-7

BARBOSA, Marina Renó. **Caracterização geo ambiental das escórias de aciaria de cinco estados brasileiros**. 2013. 139f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia de Pavimentos). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504p.

CASTELO BRANCO, Verônica Teixeira Franco. **Caracterização de Misturas Asfálticas Com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado**. 2004. 135 f. Tese (Mestre em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES; SEST – SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE; SENAT – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2017: Relatório Gerencial** – Brasília: 2017.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Plano CNT de transporte e logística 2018** – Brasília: 2018.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** – Brasília: 2017.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 035/98: **Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro, 1998. 7 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 043/95: **Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, 1995. 11 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 078/94: **Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso**. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 083/98: **Agregados – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998. 5 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 084/95: **Agregado miúdo – determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1995. 3 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 086/94: **Agregado - determinação do índice de forma**. Rio de Janeiro, 1994. 5 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 138/94: **Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 152/95: **Agregado em estado solto – determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1995. 3 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 195/97: **Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1997. 6 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. EM 262/94: **Escória de aciaria para pavimentos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. PRO 263/94: **Emprego de escórias de aciaria em pavimentos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. ES 031/2006: **Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2006. 14 p.

DNIT –DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR-719, 2006. 274 p.

LOURES, Rita de Cássia Barreto de Araújo. **Estudo de pré misturado a frio contendo escória de aciaria**. 2017. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2015.

MARTINI, Matheus. **Avaliação do potencial de expansão de agregados siderúrgicos através da Difratometria de Raios X e Método de Rietveld**. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Lorena, 2015.

PACHECO, Jacson Samuel. **Estudo sobre o uso de escória de aciaria de forno elétrico como agregado em misturas asfálticas**. 2017. 107f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2017.

PEDROSA, Rogério Antônio Alves. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do uso de agregados de escória de aciaria em concreto betuminoso usinado a quente**. 2010. 113f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

RESENDE, Antonio Donizetti de. **Utilização da escória de aciaria pura e com adição de argila como camada de base em pavimentação rodoviária**. 2010. 210f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia de Pavimentos). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

ROCHA, Fabiano Lucindo Lima da. **Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em revestimento asfáltico tipo tratamento superficial**. 2011. 115f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia de Pavimentos). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação: Volume 1**. 2. ed. ampl. São Paulo: Pini, 2007. ISBN: 978-85-7266-199-7

SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da. **Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de ferro**. 2010. 132f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

TOFFOLO, Rodrigo Vicente Machado. **Pavimentos sustentáveis**. 2015. 107f. Dissertação (Mestrado em Estrutura Metálica). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.