



**FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA
ENGENHARIA CIVIL**

SILAS NUNES COSTA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA ESCÓRIA DE ACIARIA PARA
USO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

**PORTO NACIONAL-TO
2019/1**

SILAS NUNES COSTA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA ESCÓRIA DE ACIARIA PARA
USO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil da FAPAC/ITPAC PORTO NACIONAL como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área: Geotecnia e Materiais Rodoviários

Orientador: Flavio Vieira da Silva Junior

**PORTO NACIONAL-TO
2019/1**

SILAS NUNES COSTA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA ESCÓRIA DE ACIARIA PARA
USO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

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

Projeto apresentado e defendido em ____/____/____ pela Banca examinadora constituída pelos professores:

Professor: Me. Flavio Vieira da Silva Junior (Orientador)

Professor: Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos.

Professor: Eng. Civil Alesi Teixeira Mendes

RESUMO

O Brasil é uma potência se tratando da produção de aço, o que acaba gerando uma grande quantidade de sobras metálicas e de minérios. Essas sobras são chamadas de escória, sendo classificada como: Escória de alto-forno obtida no processo de produção de gusa e escória de aciaria gerada no processo de fabricação do aço. Na execução de projetos de pavimentação rodoviária é decorrente o uso de pedras britadas como agregados, sendo este um recurso natural finito. Diante disto os resíduos provenientes do processo de fabricação do aço se torna um material alternativo para suceder a pedra britada em obras rodoviárias. O presente trabalho tem o objetivo de analisar se a escoria de aciaria e a mistura de escoria de aciaria com o solo tem sua resistência mecânica satisfatória perante as normas do DNIT para uso em camadas da pavimentação rodoviária. Para obter os valores de resistência serão executados ensaios laboratoriais com intuito de determinar os resultados de compactação, CBR e expansão do solo, solo-escoria e escoria pura. Após o estudo mecânico será analisado se os parâmetros obtidos satisfazem os valores mínimos normativos. Posteriormente à análise será possível concluir se a escória de aciaria tem resistência suficiente para ser usado como material de estrutura rodoviária.

Palavras Chaves: Escória de aciaria; Pavimentação rodoviária; Caracterização física; Caracterização mecânica; Resistência Mecânica.

ABSTRACT

Brazil is a power when it comes to the production of steel, which ends up generating a large amount of metal scrap and ore. These leftovers are called slag, being classified as: Blast furnace slag obtained in the process of production of pig iron and steel slag generated in the steelmaking process. In the execution of road paving projects, the use of crushed stones as aggregates is a natural finite resource. Faced with this, the waste from the steelmaking process becomes an alternative material to succeed the crushed stone in road works. The present work has the objective of analyzing if the steel slag and the mixture of steel slag with the soil has its satisfactory mechanical resistance before the norms of the Dnit for use in layers of the road paving. In order to obtain the resistance values, laboratory tests will be carried out with the aim of determining the results of compaction, CBR and soil expansion, soil-slag and pure slag. After the mechanical study will be analyzed if the parameters obtained meet the normative minimum values. After the analysis it will be possible to conclude that the steel slag has sufficient strength to be used as a road structure material.

Key Words: Steel slag; Road surfacing; Physical characterization; Mechanical characterization; Mechanical resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Perfil de Solo.....	12
Figura 2– Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	13
Figura 3 - Exemplo de curva granulométrica.....	15
Figura 4 – Limites de Atterberg	16
Figura 5 – Curvas de compactação.....	17
Figura 6 – Pavimento com várias camadas.....	18
Figura 7 – Resultado mecânico do pavimento flexível	19
Figura 8 – Camada constituintes de um pavimento flexível	20
Figura 9 – Resultado mecânico do pavimento rígido	20
Figura 10 – Camadas constituintes de um pavimento rígido.....	21
Figura 11 – Processo simplificado de produção.....	23
Figura 12 – Laboratório de Solos ITPAC Porto Nacional	25
Figura 13 – Bomba de vácuo	27
Figura 14 – Casagrande.....	29
Figura 15 – Placa de Vidro	29
Figura 16 – Soquetes de diferentes energias de compactação.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Granulometria para base granular.....	14
Quadro 2 – Energias de Compactação para cada camada do pavimento	30
Quadro 3 – Cronograma	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. GERAL	11
2.2. ESPECÍFICO	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1. FORMAÇÃO DO SOLO	12
3.2. TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE SOLO	13
3.3. ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA	13
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E MECÂNICA	14
3.4.1. Granulometria conjunta	14
3.4.2. Limites de Consistência.....	15
3.4.3. Compactação	16
3.4.4. Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR)	17
3.5. PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA	17
3.5.1. Camadas da Pavimentação.....	18
3.5.2. Pavimentos Flexíveis.....	19
3.5.3. Pavimentos Rígido.....	20
3.6. ASPECTOS GERAIS DA MINERAÇÃO	21
3.7. INDÚSTRIA SIDERÚRGICA BRASILEIRA.....	21
3.8. AS ESCÓRIAS.....	22
3.8.1. Escórias de aciaria	22
3.9. UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA NA PAVIMENTAÇÃO.....	23
4. METODOLOGIA	25
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	25
4.1.1 Solo	25
4.1.2 Escoria de aciaria	26
4.2 MÉTODOS	26
4.2.1 Coleta e preparo da amostra de solo	26
4.2.2 Caracterização geotécnica.....	27
4.2.2.1 Análise granulométrica	27
4.2.2.2 Determinação da massa específica dos sólidos	27
4.2.2.3 Limites de consistência.....	28
4.2.3 Ensaio de comportamento mecânico	30
4.2.3.1 Ensaio de Compactação.....	30

4.2.3.2 Expansão e índice de suporte Califórnia	31
5. CRONOGRAMA	32
6. RESULTADOS ESPERADOS	33
REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, as questões ambientais vêm sendo destacadas, sendo grande o impulso dado por diversas áreas do conhecimento para realizações de pesquisas que abordam o tema. Na Engenharia Civil, o foco tem se voltado, principalmente em relação ao aprimoramento e tipo de materiais utilizados, assim como no gerenciamento sustentável de resíduos gerados na construção civil. Em consequência disso nota-se os recentes avanços nos aperfeiçoamentos de novos materiais e aproveitamento de resíduos de outros setores geradores (PAGNUSSAT, 2004).

O gerenciamento de resíduos produzidos tem se tornado de grande importância para empresas que visam otimizar seus produtos e processos. A acirrada disputa do mercado não permite que empresas negligenciem os desperdícios dos materiais, sendo consagrado processos de reciclagem como a utilização de Resíduos da construção civil (RCD), Resíduos da fabricação do aço e até mesmo cascas de grãos como soja, arroz.

Do ponto de vista técnico a escória de aciaria possui características mecânicas que habilitam o seu uso em construção civil, e até mesmo em áreas de pavimentação rodoviária desde que seja devidamente tratada e estabilizada para reduzir a expansibilidade da mesma. Do aspecto econômico é vantajoso devido ao baixo custo de aquisição comparado ao da brita desde que não esteja muito distante do centro gerador de escória (PEDROSA, 2010).

Deste modo, o presente trabalho visa realizar estudos de caracterização mecânica para verificar se a escória de aciaria pura, e misturada com solo possui resistências e expansão adequadas para o uso em estrutura de pavimentação rodoviária com intuito de ampliar o uso de materiais alternativos reciclados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a eficiência da escória de aciaria para uso em camadas de pavimentação rodoviária.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar as características geotécnicas do solo natural através de ensaios laboratoriais.
- Avaliar o comportamento mecânico do solo natural, solo-escoria e escoria pura realizando ensaios específicos.
- Correlacionar o comportamento mecânico da escoria com a brita.
- Observar se o valor do CBR e expansão do solo natural, solo-escoria e escoria pura se encaixa nos parâmetros normativos de cada camada rodoviária.

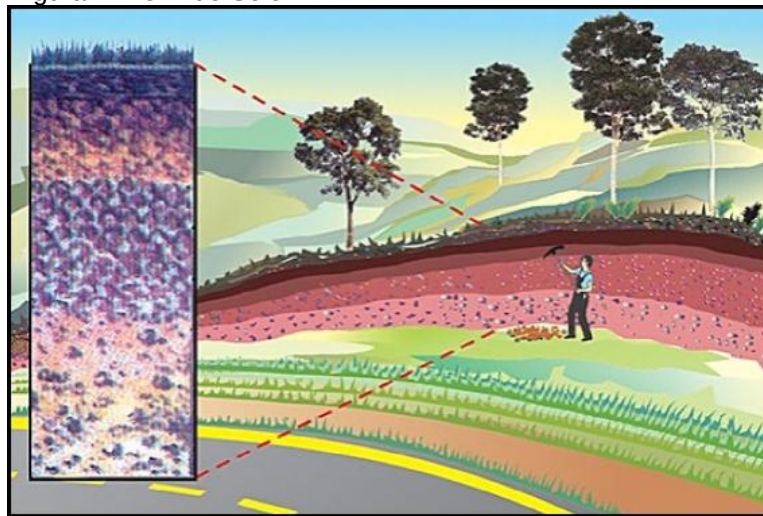
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. FORMAÇÃO DO SOLO

O solo é formado a partir do processo de intemperismo que faz com que até a rocha mais dura se transforme em um material solto, esse processo de decomposição da rocha se chama de saprolito. O solo vai sendo constituído pouco a pouco através de processos físicos e químicos. De uma rocha e saprolito se forma camadas horizontais de solos, que ficam paralelas a superfície terrestre, essas camadas são bem notáveis ao fazer um corte transversal em um terreno, ficando uma sobreposta a outra (LEPSCH,2010).

Segundo o mesmo autor, nessas camadas é possível observar uma variação de cores, isso acontece devido aos diferentes compostos minerais e biológicos presente em cada solo como pode ser demonstrado na Figura 1. As características iniciais da rocha mãe vão se modificando quanto mais distante o solo estiver do seu local de origem, isso devido as atividades de transporte, remoção e adição de outras características que acontecem do decorrer dos anos.

Figura 1- Perfil de Solo



Fonte: Lepsch (2010)

Segundo Pinto (2006), o processo de variação de temperatura faz com que as rochas apresentem fraturas, assim a água fica livre para penetra-las, reagindo quimicamente com a estrutural mineral da rocha. Quando a água que está contida no interior da rocha se congela acaba gerando uma maior tensão ocasionando uma superior fragmentação dos blocos. Nos materiais rochosos também ocorre a decomposição química que acontece devido a presença da fauna e flora pela hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, etc. As ações citadas

anteriormente reagem com maior intensidade em climas quentes e o seu conjunto são responsáveis pela formação dos solos, sendo estes diferenciado pelo tamanho de suas partículas e composições químicas presente em suas rochas originarias.

3.2. TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE SOLO

O solo pode ser diferenciado de enumeras maneiras, mas a primeira característica de diferenciação são as dimensões de suas partículas, isso devido a composição química da rocha mãe que sofreu o processo de intemperismo. Existem solos com partículas tão pequenas que não pode ser visualizada individualmente a olho nu, como as argilas que em contato com água se transforma em lama. Solos como areias e pedregulhos tem suas dimensões bem definidas podendo ser facilmente reconhecida quando manuseadas (PINTO, 2006).

Segundo o mesmo autor na estrutura de um solo existe partículas variadas, sendo grãos de areias envolvidos por grãos de argilas e vice-versa, tornando o reconhecimento tátil-visual muito difícil. Devido à grande diversidade granulométrica

das partículas de solo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) determinou denominações específicas para dimensões dos grãos estando apresentados na Figura 2.

Figura 2– Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2 mm a 4,8 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	inferior a 0,005 mm

Fonte: Pinto (2006)

3.3. ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Um solo é considerado naturalmente estabilizado no momento em que sua granulometria estiver de acordo com a curva dos solos bem graduados, isto é, for um solo bem compactado que faz parte dos grupos GW e SW de Casagrande (WALLAU, 2004).

O entendimento de estabilização granulométrica dos solos, ergue-se da ação de combinação simples de diferentes tipos de solo com o intuito de resistir aos esforços e deformação gerados por tensões de tráfego (CAMPANHA, 2011).

Segundo o mesmo autor, esta técnica de estabilização consiste na aplicação de um material ou mais, que estão englobados dentro de uma determinada especificação, tendo como objetivo melhorar e estabilizar as propriedades geomecânicas dos solos.

Os fatores que influenciam no comportamento granulométrico podem ser classificados como (ARRIVABENI, 2017):

- Natureza da partícula: Ou seja, as partículas devem apresentar uma resistência adequada para a utilização e não sofrerem alterações indesejáveis.
- Arranjo: Um melhor arranjo das partículas leva o solo a possuir uma maior interação entre si, aperfeiçoando a distribuição dos esforços.

Assim, de acordo com DNIT (2006), solos que tem como objetivo ser utilizado como base granular para pavimentação, deve atender faixas granulométricas em proporções específicas. Tendo que está de acordo com uma das seis faixas de distribuição granulométrica do DNIT (Quadro 1).

Quadro 1– Granulometria para base granular

Peneiras		A	B	C	D	E	F
	mm						
2"	50,8	100	100	100	100	100	100
1"	25,4	100	75-90	100	100	100	100
3/8"	9,53	30-65	40-75	50-85	60-100	100	100
Nº 4	4,80	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	2,09	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	0,45	8-20	15-30	15-30	25-45	25-50	30-70
Nº 200	0,075	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-14

Fonte: DNIT (2006)

3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E MECÂNICA

3.4.1. Granulometria conjunta

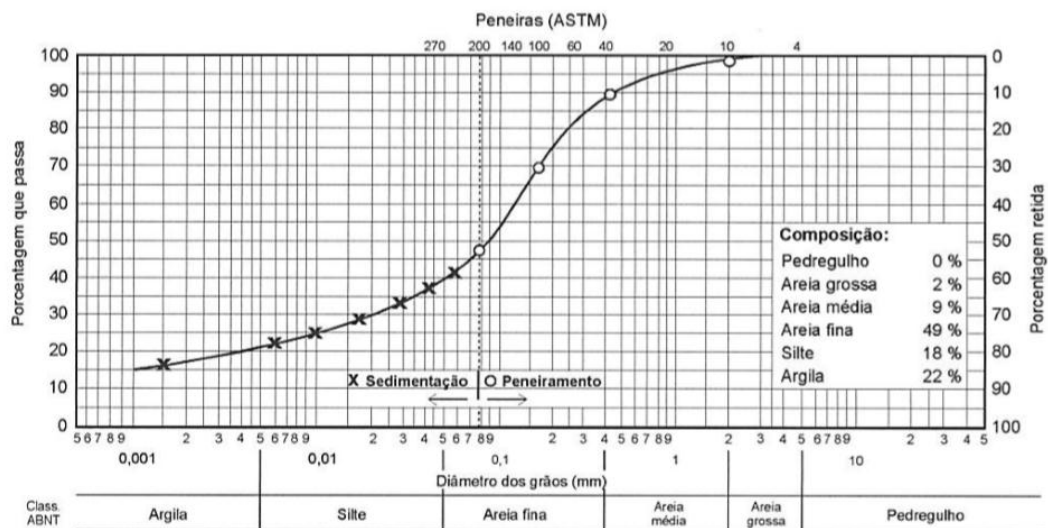
Segundo Fernandes (2014), o ensaio de granulometria consiste no peneiramento de partículas de solo que passa por aberturas normatizadas, sendo

comparada a quantidade de material passante com a sua respectiva abertura. Materiais inferiores ao diâmetro de 0,075mm, são classificados como solos finos, neste é aplicado o ensaio de sedimentação que tem o intuito de remover as partículas finas que ficam agregadas as de areia.

Quando se acrescenta uma quantidade de solo em suspensão em água, suas partículas descerão com velocidades variadas proporcionais ao quadrado de seus diâmetros (PINTO 2006).

Portanto, a partir da granulometria conjunta é determinado a porcentagem de solos finos (argila e silte) e solos grossos (areia fina, areia média, areia grossa pedregulho), resultando a curva de distribuição granulométrica dos solos. Abaixo pode ser notado um exemplo da curva de distribuição (Figura 3).

Figura 3 - Exemplo de curva granulométrica

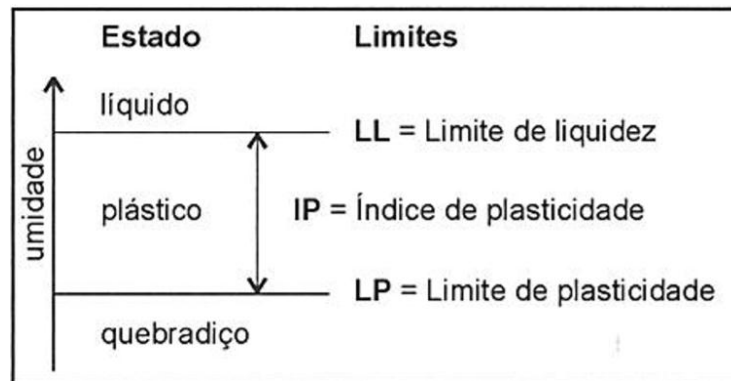


Fonte: Pinto (2006)

3.4.2. Limites de Consistência

Segundo Ortigão (2007), por volta de 1911, um agrônomo sueco chamado Atterberg, separou os valores de umidades que uma argila pode apresentar em limites correspondentes ao estado aparente do material, dividindo-os entre seus estados sólido, plástico e líquido (figura 4).

Figura 4 – Limites de Atterberg



Fonte: Pinto (2006)

Em geral os limites utilizados para classificar um solo são plasticidade e liquidez. No limite de plasticidade o solo possui trabalhabilidade com a quantidade de água contida no mesmo, já no limite de liquidez o solo deixa de ser plástico, e acaba perdendo a atração entre as partículas, deixando o solo mais instável devido o teor de umidade atuante sobre o mesmo (FERNANDES, 2014).

3.4.3. Compactação

A compactação do solo é o processo que visa reduzir o volume de vazios do solo, aumentando sua resistência e o deixando mais estável. Este processo pode ser realizado de forma manual ou mecânica contendo os dois o mesmo objetivo (CAPUTO, 1988).

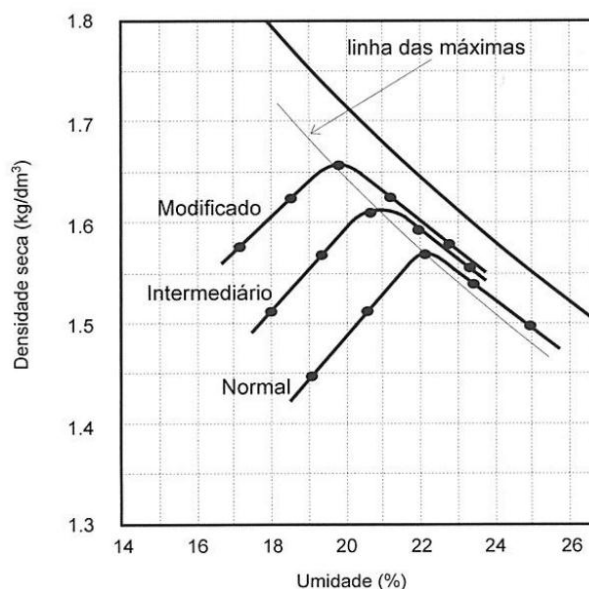
A compactação é utilizada para diversas obras da engenharia como: pavimentação, aterros, barragens de terra e etc. Quando o solo é transportado e empregado na construção de um aterro, o mesmo fica em um estado fofo e heterogêneo ficando sua estrutura pouco resistente e muito deformável. A compactação tem como objetivo resolver os problemas citados acima, aumentando o contato entre os grãos e o tornando mais homogêneo (PINTO, 2006).

Segundo o autor citado acima o início da técnica utilizada na compactação é creditado ao engenheiro Proctor que publicou no ano de 1933, suas observações sobre compactação, tendo seu nome gravado nos ensaios laboratoriais de compactação.

O ensaio de compactação Proctor é utilizado para determinar o peso específico seco máximo de compactação e o teor de umidade ótimo. Podendo ser feito em 3 diferentes energias: Normal, intermediária e modificado (DAS, 2007).

As energias estão apresentadas em forma de curva de compactação na figura 5.

Figura 5 – Curvas de compactação



Fonte: Pinto (2006)

3.4.4. Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR)

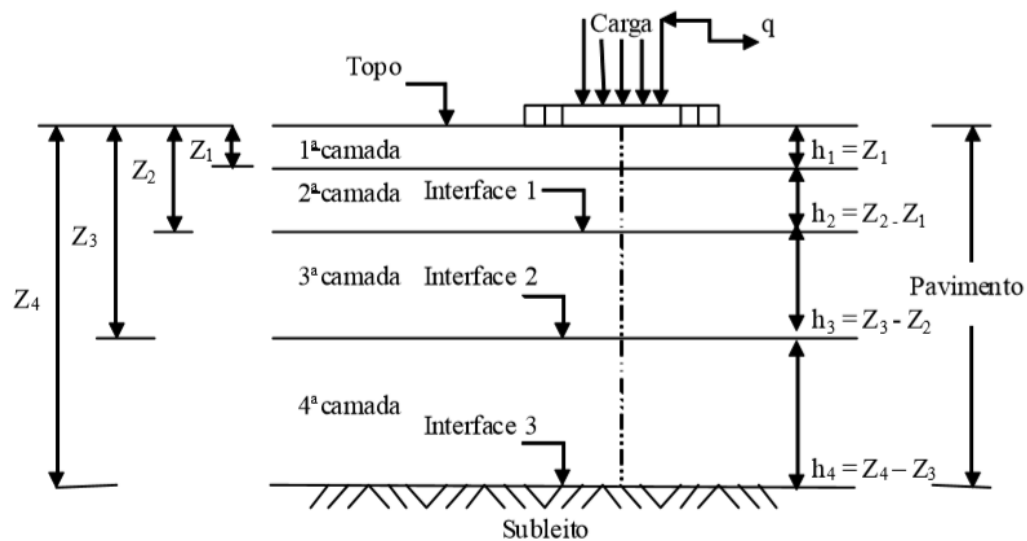
Segundo Campanha (2011), a partir de um solo compactado é possível medir sua resistência de suporte, parâmetro muito importante para o dimensionamento de obras rodoviárias. O ensaio que determina essa resistência é conhecido como CBR, que consiste na determinação da associação entre a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão num corpo de prova de solo, correlacionada com a pressão imposta para penetrar uma mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente.

O processo para determinar o Índice de Suporte Califórnia passa por três fases: Execução do ensaio de compactação, a preparação dos copos de prova para o ensaio de expansão e finalmente o ensaio CBR.

3.5. PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Segundo DNIT (2006), a pavimentação de uma rodovia é uma superestrutura composta de camadas específicas, apoiadas sobre o terreno natural ou terreno de fundação sendo este considerado teoricamente como uma estrutura infinita. As camadas referidas são estruturas compactadas uma sobreposta a outra como apresentado na Figura 6, constituídas e executadas de maneiras distintas.

Figura 6 – Pavimento com várias camadas



Fonte: Senço (2008)

As funções destas superestruturas têm como objetivos principais fornecer a possibilidade de deslocamento de veículos de forma segura e confortável, distribuir os esforços atuantes sobre sua superfície de rolamento e resistir os desgastes proveniente de esforços horizontais, acarretando uma maior vida útil para a via. Assim o dimensionamento desta obra de engenharia deverá ser elaborado de tal maneira que as camadas constituintes atendam essas funções e ainda aos comportamentos decorrentes de variações climáticas (CAMPANHA, 2011).

3.5.1. Camadas da Pavimentação

Uma seção transversal emblemática na pavimentação composta por todas camadas possíveis é formada por: Subleito, Regularização, Reforço do Subleito, Sub-Base, Base e o Revestimento, sendo estas definidas de forma geral como (SENÇO, 2008):

- Subleito: Terreno de fundação do pavimento.
- Regularização: Camada com uma espessura irregular, assente sobre o subleito com objetivo de conformá-lo com o projeto.
- Reforço do Subleito: Camada de espessura constante, executada acima da regularização caso haja necessidade. Devendo esta conter característica técnicas superiores às de regularização e inferiores a Sub-Base.

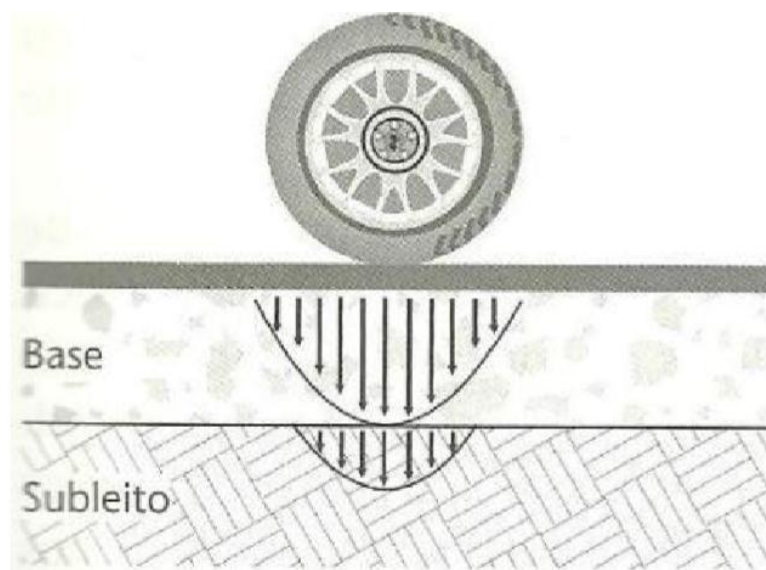
- Sub-Base: É a camada que complementa a base, quando por motivos técnicos e econômicos não ser possível a construção da base diretamente na regularização ou reforço do subleito.
- Base: Tem função de resistir os esforços atuante sobre o pavimento e distribui-los.
- Revestimento: Camada impermeável, que recebe diretamente os esforços oriundos do tráfego, e designada a fornecer melhor condições de conforto e segurança em sua superfície rolante, além de superar os desgastes provenientes dos descolamentos aumentando a durabilidade da estrutura.

Ainda que a composição estrutural do pavimento seja desenvolvida com várias camadas, tradicionalmente este pode ser classificado em três tipos de acordo com Senço (2008): Flexível e Rígido.

3.5.2. Pavimentos Flexíveis

Segundo DNIT (2006), entende-se como pavimento flexível aquele que toda sua estrutura sofre deformação elástica sob o carregamento aplicado, distribuindo-se de maneira semelhante entre suas camadas. Neste tipo de pavimento pode haver deformações até um certo limite controlado, não acarretando uma ruptura do mesmo. A Figura 7 mostra a ação dos esforços sobre um pavimento flexível.

Figura 7 – Resultado mecânico do pavimento flexível



Fonte: Balbo (2007).

De forma geral um pavimento flexível é constituído basicamente de camadas de subleito, Sub-Base e Base. No entanto esta estrutura quando necessário, pode ser acrescida de regularização e reforço do subleito como representado a seguir (Figura 8).

Figura 8 – Camada constituintes de um pavimento flexível

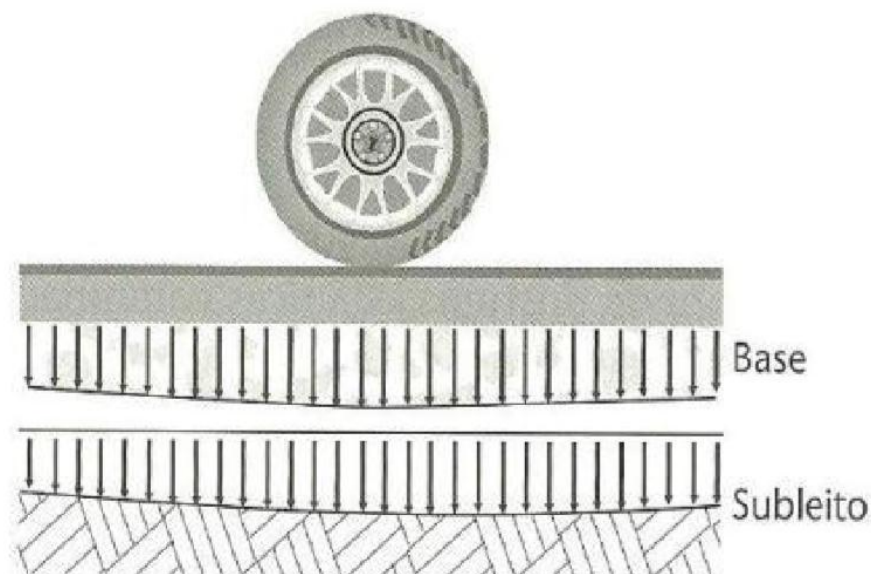


Fonte: Hermes (2013)

3.5.3. Pavimentos Rígido

Pavimentos rígidos, são aqueles que sofrem pouca deformação, tem sua base constituída principalmente de concreto de cimento, e quando ficam sujeitos a deformações sofrem ruptura por tração na flexão (SENÇO 2008). A figura 9 apresenta a resposta mecânica do pavimento rígido.

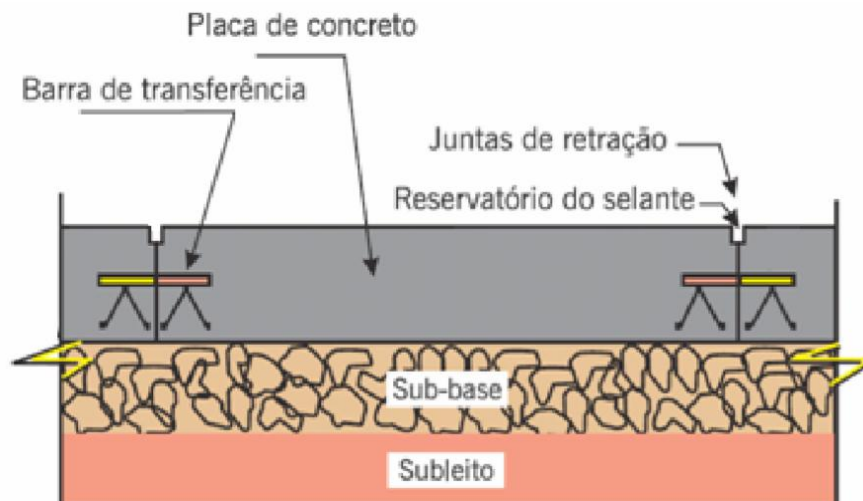
Figura 9 – Resultado mecânico do pavimento rígido



Fonte: Balbo (2007)

Nos pavimentos rígidos as camadas constituintes são: Subleito, Sub-Base e revestimento, demonstrado na Figura 10 desse trabalho.

Figura 10 – Camadas constituintes de um pavimento rígido



Fonte: Bianchi; Brito; Castro (2008)

3.6. ASPECTOS GERAIS DA MINERAÇÃO

Em geral no planeta apresenta alguns locais em que é mais suscetível de encontrar minerais ou minérios, estando estes localizados na crosta terrestre, que foram formados com o passar dos anos, em períodos chamados de épocas metalogenéticas, países que são beneficiados com essa dádiva da natureza manifestam de um grande meio de economia. No Brasil pode-se encontrar elevados teores de minérios em razão do rico subsolo brasileiro, principalmente na região do Pará e Minas Gerais que tem uma abundância em Ferro e Cobre fornecendo ao Brasil uma capacidade de disputar com o resto do mundo no mercado da mineração (SILVA, 2015).

Segundo o autor acima no Brasil a prática de mineração é uma das atividades econômicas mais antigas, estando está se modernizando e evoluindo ao longo dos anos, métodos que anteriormente era rudimentar hoje são grandes ações empresariais que associam os objetivos econômicos e financeiros com a responsabilidade social e preservação ambiental. No Brasil existe mais de 8.800 empresas mineradoras colocando o país entre os maiores exportadores de minério do mundo, tornando um dos segmentos mais importante para economia nacional.

3.7. INDÚSTRIA SIDERURGICA BRASILEIRA

A indústria de aço brasileira é responsável por gerar uma grande economia nacional, levando o país a estar entre os maiores produtores de aço do mundo. O parque siderúrgico brasileiro se consagra sendo o maior do continente Sul

Americano, representando o parque de maior importância da América Latina, decima maior exportação de aço mundial e o quinto maior exportador líquido de aço, vendendo para mais de 100 países (IABR, 2017).

Segundo o mesmo autor os principais setores consumidores de aço são: Construção Civil, Automotivo, Bens de capital, Máquinas, Equipamentos e Utilidades Domésticas e Comerciais. O parque produtor brasileiro está apto a entregar ao mercado qualquer tipo de produto siderúrgico, desde que se justifique economicamente.

3.8. AS ESCÓRIAS

As escórias são sobras de liquefação metálicas ou da redução de minérios, que se resulta através do tratamento industrial. Existe dois tipos de escorias que são produzidas em larga escala, são elas: Escória de alto-forno e escória de aciaria. A Escória de alto-forno é obtida através da fabricação de Ferro Gusa, produzida diretamente no alto forno em proporção de 200 a 300kg de escoria por tonelada de ferro gusa. A escória de aciaria é obtida na fabricação do aço em conversores a oxigênio e fornos elétricos. (SOUSA, 2007).

3.8.1. Escórias de aciaria

Segundo Souza (2007) na indústria siderúrgica existe diferentes tipos de aço assim as características e propriedades das escorias variam de forma muito ampla. Os graus do aço fabricado podem ter variação no seu teor de carbono. Em casos em que aço tenha um alto teor de carbono para que aconteça sua redução, é necessária uma maior quantidade de fundentes para a remoção da impureza do aço líquido, ocasionando a produção de um maior volume de escória.

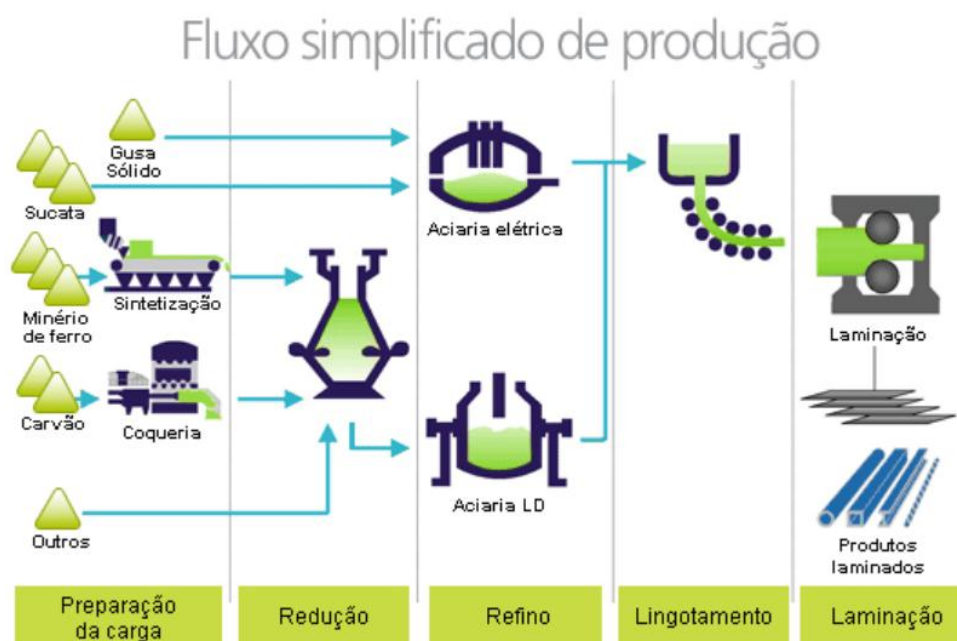
Na produção do aço é produzido inúmeros tipos de escoria. Basicamente existem três processos de refino do aço: O Siemens-Martim (Open Heart – OH), o conversor a oxigênio (Linz e Donawitz – LD ou Blast Oxygen Furnace – BOF) e o forno elétrico a arco (Electric Arc Furnace - EAF). Os processos de refino mais utilizado mundialmente são a fusão e o refino de sucata em fornos elétricos a arco e o refino em conversores a oxigênio. Com a evolução tecnológica as fases do processo siderúrgico estão tendo sendo tempo reduzido, assegurando uma maior velocidade na produção (ROHDE, 2002).

Segundo Geyer (2011) no processo de refino utilizando o conversor a oxigênio (LD) existe a mistura do ferro Gusa, escorificantes e oxigênio, não havendo a necessidade de uma fonte de calor externa.

Já o método do forno elétrico a arco (EAF) segundo Castelo Branco (2004) necessita de uma fonte de calor externa para o refino diferenciando do método citado no parágrafo anterior.

A figura 11 apresenta um esquema com os processos siderúrgicos LED e EAF:

Figura 11 – Processo simplificado de produção



Fonte: IABR (2018)

Quando realizado o processo de refino, existe a separação do aço líquido e a escória. Ao mesmo tempo em que o aço líquido é vazado para uma panela a escória é retida no vaso do convertedor, que posteriormente será vazada para um recipiente de acúmulo de escoria (SOUZA 2007).

3.9. UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA NA PAVIMENTAÇÃO

Na pavimentação a escória compete principalmente com os agregados como areia e brita, sendo considerado um material adequado devido sua dureza, durabilidade e drenagem livre. Outro fator de grande importância técnica e econômica é a sua elevada resistência ao esmagamento permitindo a utilização por longos períodos e manutenção mínima. No Brasil a utilização da escória nas

estruturas de pavimentação já vem de longas datas, havendo trechos executados há mais de 20 anos (ROHDE 2002).

Segundo Freitas e Motta (2008) uma das características da escória que preocupa em estruturas de pavimentação é sua capacidade de expansão, motivado pelo teor de CaO e MgO presente em sua composição.

Segundo Cardoso e Dias (2014) vários países utilizam a escória de aciaria na pavimentação rodoviária, porém há vários relatos de problemas, principalmente as erupções de trincas causados pela expansão volumétrica dessa escória. Devido a estes problemas o uso de escória na estrutura rodoviária é restringido para obras de menores responsabilidade técnica.

4. METODOLOGIA

Aqui será apresentado os materiais selecionados para realização da pesquisa e os métodos investigativos para a execução dos ensaios laboratoriais. Os processos experimentais acontecerão no laboratório de geotecnia e pavimentação do ITPAC PORTO NACIONAL (Figura 12). A pesquisa irá estabelecer características geotécnicas e comportamentos mecânicos em material alternativo, com o objetivo de empregar as escórias de mineração para fins rodoviários.

Figura 12 – Laboratório de Solos ITPAC Porto Nacional



Fonte: Arquivo próprio (2019)

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados na pesquisa serão: Solo, Escória de Aciaria e Água destilada. A água utilizada e os equipamentos necessário para o desempenho das atividades experimentais foram cedidos pelo laboratório do ITPAC-PORTO e os demais materiais estão especificados abaixo.

4.1.1 Solo

O solo utilizado foi coletado no município de Porto Nacional, no setor Jardim Universitário na latitude (10°41'48.50") Sul e longitude (48°23'4.71") Oeste no estado do Tocantins e encaminhado para o laboratório de solos do ITPAC PORTO, sendo posteriormente feito a secagem previa, destorroamento e o armazenamento para em seguida ser estudado.

4.1.2 Escoria de aciaria

As amostras de escoria de minério proveniente do processo de beneficiamento do ferro, serão coletados da empresa SINOBRAZ situada no município de Marabá - PA localizado a 860 km de Porto Nacional.

4.2 MÉTODOS

Os métodos e técnicas executados ao longo do estudo serão baseados e fundamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo elas, ABNT NBR 6457, ABNT NBR 6458, ABNT NBR 7181, ABNT NBR 6459, ABNT NBR 7180, ABNT NBR 7182, ABNT NBR 9895 e DNIT ME 172, 2016.

O solo natural passara por ensaios de granulometria, massa específica e limites de consistência. Já na amostra de escória de aciaria será realizado ensaios de granulometria e massa específica. Enquanto os estudos mecânicos de compactação, CBR e expansão serão realizados no solo natural, solo-escoria e escoria pura.

Para a análise do comportamento destes materiais simulando as condições de campo especificadas para esse estudo e visando a influencia das proporções de materiais nas características mecânicas as amostras deverão ser preparadas da seguinte maneira:

- Solo Natural;
- Escoria Pura;
- Mistura composta de 25% de escoria e 75% de solo;
- Mistura composta de 50% de escoria e 50% de solo;
- Mistura composta de 75% de escoria e 25% de solo;

As amostras para serem utilizadas nas camadas da pavimentação deverá conter os parâmetros especificados abaixo:

- Material para execução de reforço de subleito: $CBR \geq 12\%$, expansão $\leq 1,0\%$
- Material para execução de sub-base: $CBR \geq 20\%$, expansão $\leq 1,0\%$
- Material para execução de base de pavimento: $CBR \geq 80\%$, expansão $\leq 0,5\%$ e para caso de rodovias vicinais $CBR \geq 60\%$, expansão $\leq 0,5\%$.

4.2.1 Coleta e preparo da amostra de solo

A coleta do solo ocorreu de acordo com NBR 9604 retirando-se amostras de solos deformáveis. Após a coleta as amostras foram encaminhadas para o

Laboratório de geotecnia e pavimentação do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos de Porto Nacional.

Procederam-se então, a secagem previa, desmanche dos torrões evitando a quebra dos grãos, e o armazenamento da amostra para um posterior estudo. O preparo da amostra de solo foi fundamentado na NBR 6457 que descreve sobre a preparação para ensaios de compactação e caracterização.

4.2.2 Caracterização geotécnica

Esta etapa consiste na caracterização geotécnica das amostras do solo e escória realizando os ensaios de análise granulométrica, peso específico dos sólidos, limites de liquidez e de plasticidade. O ensaio tomou-se como referencia para o procedimento a ABNT (7181; 6508; 6459; 7180).

4.2.2.1 Análise granulométrica

A análise da granulometria consiste na percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total que foi utilizada no ensaio. A distribuição granulométrica de materiais granulares, areias e pedregulho será obtida por meio do processo de peneiramento da amostra.

Para solos finos como siltes e argilas é utilizado a técnica de sedimentação dos sólidos no meio liquido. Solos que contém em sua composição tanto partículas grossas quanto partículas finas tornam-se necessária a analise granulométrica conjunta (Peneiramento e Sedimentação).

4.2.2.2 Determinação da massa especifica dos sólidos

Neste ensaio determina-se a densidade real do material que consiste na relação entre o peso específico das partículas solidas e o peso específico de igual volume de água pura.

Para retirada do ar e calibração do picnômetro podem ser utilizados duas técnicas: aquecer-se o picnômetro ou utilizar a bomba de vácuo para o mesmo fim. No laboratório de estudo este procedimento será realizado pelo método da bomba de vácuo (Figura 13).

Figura 13 – Bomba de vácuo



Fonte: Arquivo próprio (2019).

4.2.2.3 Limites de consistência

Em função da quantidade de água presente em um solo, podemos ter os seguintes estados de consistência:

- Líquido
- Plástico
- Semissólido
- Sólido

A variação da umidade limite do estado líquido para o estado plástico é chamado de Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP) se refere a mudança do estado plástico para o semissólido.

O Limite de Liquidez (LL) é determinado com o uso do aparelho denominado Casagrande (Figura 14), que por meio excêntrico imprime-se ao aparelho repetidamente, quedas da altura de 1cm e de intensidade constante até encontrar o número de golpes necessários para provocar o fechamento do sulco longitudinal, feito com auxílio do cinzel. O procedimento é repetido variando a umidade presente na amostra onde o teor de umidade correspondente a 25 golpes será o LL.

Figura 14 – Casagrande



Fonte: Arquivo próprio (2019)

No Limite de Plasticidade (LP) a amostra é passada pela peneira de 0,42 mm, a parte passante é rolada com a mão, em um movimento de vaivém, formando uma amostra cilíndrica de 3 mm de diâmetro sobre uma placa de vidro fosco (Figura 15) até que se rompa ou forme trincas. Após o rompimento ou aparecimento de trincas determina-se a umidade correspondente.

A diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade é intitulada de Índice de Plasticidade (IP).

Figura 15 – Placa de Vidro



Fonte: Arquivo próprio (2019)

4.2.3 Ensaios de comportamento mecânico

Os ensaios de compactação, expansão e CBR serão realizados nas amostras de solo natural, solo-escoria e escoria pura. Para a correta execução será seguido as normas NBR 7182/2016 e ME 172/2016.

4.2.3.1 Ensaio de Compactação

Para a execução do ensaio de compactação separa-se a amostra de solo em 5 quantidade iguais. Adiciona-se uma quantidade de água conhecida a cada uma das 5 amostras de forma que a curva de compactação se defina em 5 pontos.

A umidade do primeiro ponto deve estar em aproximadamente 5% abaixo da umidade ótima. Sendo cada um dos outros pontos acrescidos 2% de umidade em relação ao ponto anterior, para que assim acrescido de 2% em 2%, os três últimos pontos decresçam. A partir destes dados é possível plotar a curva parabólica intitulada curva de compactação

Nesse ensaio será trabalhado na energia Proctor Normal, Intermediária e Modificada sendo a energia de cada camada representada no Quadro 2 e os materiais identificados na Figura 16.

Quadro 2 – Energias de Compactação para cada camada do pavimento

Proctor Normal	Subleito
Proctor Intermediário	Sub-Base
Proctor Modificado	Base

Fonte: Arquivo próprio (2019)

Figura 16 – Soquetes de diferentes energias de compactação



Fonte: Arquivo próprio (2019)

4.2.3.2 Expansão e índice de suporte Califórnia

Após a realização das moldagens necessárias para caracterizar a curva de compactação, os corpos de prova serão submetidos à imersão em água, a temperatura ambiente e por um período de 96 horas. As medidas das expansões deverão ser anotadas em um intervalo de 24 em 24 horas.

Terminado o período de embebição, cada molde contendo o corpo de prova deve ser retirado e deixar escoar a água durante 15 minutos. Passando este tempo o corpo de prova estará preparado para a penetração.

No ensaio de penetração será obtido as curvas de Índice de Suporte Califórnia x Umidade para todos os corpos de provas estudados.

5. CRONOGRAMA

Quadro 3 – Cronograma

Período	2019/1				2019/2			
Atividade	MESES				MESES			
	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
ESCOLHA DO TEMA DO PROJETO DE PESQUISA	X							
SELEÇÃO DO PROFESSOR ORIENTADOR	X							
SELEÇÃO DOS ARTIGOS PARA O PROJETO DE PESQUISA	X	X	X					
ELABORAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA	X	X	X	X				
ENTREGA DO PROJETO DE PESQUISA				X				
APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA PARA A BANCA EXAMINADORA				X				
COLETA DE DADOS					X	X		
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS						X	X	
REDAÇÃO DO ARTIGO						X	X	X
REVISÃO E ENTREGA FINAL								X
APRESENTAÇÃO PARA BANCA EXAMINADORA								X

Fonte: Arquivo próprio (2019)

6. RESULTADOS ESPERADOS

Identificar e promover de acordo com as normativas nacionais o adequado uso de insumos alternativos para camadas de pavimentação rodoviária através da caracterização mecânica e física dos materiais, afim de melhor adequar os projetos das rodovias brasileiras no sentido econômico e ambiental.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Felipe Leonardo de. **Redução do Impacto Ambiental Através da Recuperação dos Ultrafinos de Minério de Ferro - Uma Revisão**. 2013. 59 f. **Monografia** (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais). Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ARRIVABENI, Breno Santos. **Alternativas para estabilização granulométrica e química de solo de estradas florestais**. 2017. 81 f. **Dissertação** (Pós-Graduação em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 6459: Solo — Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 7181: Solo — Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 7182: Solo — Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 9895: Solo — Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2017.

BIANCHI, Flavia Regina; BRITO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Verônica Amanda Brombley. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. [s.i.]: Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, 2008. 16 slides.

CAMPANHA, Ângela. **Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro para uso em Pavimentação**. 2011. 106 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica Dos Solos e Suas Aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 234 p.

CARDOSO, A. V. M.; DIAS, F. M. A utilização de escória de aciaria para manufatura de blocos de pavimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E SOARES, Lindolfo. **Barragem de Rejeitos**. In: LUZ, Adão B. da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina A. (Ed.). **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2010. p. 831-896.

CASTELO BRANCO, Verônica Teixeira Fanco. **Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado**. 2004. 156 f. **Tese** (Mestrado em ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21., 2014, Cuiabá, MT. **Anais...** . Cuiabá, MT: Cbecimat, 2014. p. 3673 - 3679.

DAS, Braja M.. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thompson Learning, 2007. 561 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 172/2016 - ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Brasília, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. **IPR - 719: Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

FERNANDES, Wagner Dambros. Verificação da Resistência ao Cisalhamento e Estabilidade de Taludes de um Solo Natural e Melhorado com Cimento, Cal e Cinza da Casca de Arroz. 2014. 117 f. **TCC** (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

FREITAS, Hérika Braga de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. Uso de escória de aciaria em misturas asfálticas de módulo elevado. **Transportes**, São Paulo, v. 16, n. 2, p.5-12, dez. 2008.

GOMES, Ana Cláudia Franca. **Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração**. 2017. 81 f. **Dissertação** (Mestrado em engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

HERMES, Thiago Breunig. **Impacto do Alto Tráfego em Pavimento Dimensionado para Baixo Tráfego – Estudo de Caso: Coronel Barros – RS**. 2013. 81 f. **TCC** (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. Brasília (DF); 2016.

OLIVEIRA, Victor Hugo Souza. **Análise da viabilidade do uso de açobrita em pavimentos rodoviários**. 2016. 53 f. **Dissertação** (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ORTIGÃO, J. A. R.. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Terratek, 2007. 383 p.

PAGNUSSAT, Daniel Tregnago. **Utilização de Escória Granulada de Fundição em Blocos de Concreto Para Pavimentação**. 2004. 148 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia na modalidade Acadêmico). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PEDROSA, Rogério Antônio Alves. **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). Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

ROHDE, Luciana. **Escória de Aciaria Elétrica em Camadas Granulares de Pavimentos - Estudo Laboratorial**. 2002. 118 f. **Dissertação** (Mestrado em engenharia). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. **Estudos de Reaproveitamento dos Resíduos das Barragens de Minério de Ferro Para Uso na Pavimentação de Rodovias e Fabricação de Blocos Intertravados**. 2013. 131 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Materiais). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

SILVA, Alberto Rogério Benedito da. **Mineração na Escola**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015. 138 p.

SOUSA, Gustavo Marças de. **Estudo Experimental de Escória de Aciaria Para Fins de Caracterização Tecnológica Como Material de Lastro Ferroviário em Vias Sinalizadas**. 2007. 142 f. **Dissertação** (Mestrado em Geotecnia). Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

SOUZA, Eduardo Bezerra de Oliveira e. **Escórias de Aciaria e Resíduos de Concretos Refratários em Componentes de Pavimentação**. 2007. 128 f. **Dissertação** (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

THOMÉ, Romeu; PASSINI, Matheus Leonardo. Barragens de rejeitos de mineração: Características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, [s.i.], v. 18, n. 34, p.49-65, mar. 2018.

WALLAU, Juliano Reis. Avaliação da Técnica de Estabilização Granulométrica como Revestimento Primário de Rodovias Não-Pavimentadas. 2004. 68 f. **TCC** (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Tecnologia – Detec. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2004.