



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA ZONA SUL
CURSO ENGENHARIA CIVIL**

ANDREZA RAVENA DA SILVA SOUSA

**ESTUDO DO MATERIAL EMPREGADO NAS ESTRADAS VICINAIS EM
TERESINA/PI: ANÁLISE DA NORMATIVA DNIT 445/2023-ES**

TERESINA

2024

ANDREZA RAVENA DA SILVA SOUSA

ESTUDO DO MATERIAL EMPREGADO NAS ESTRADAS VICINAIS EM
TERESINA/PI: ANÁLISE DA NORMATIVA DNIT 445/2023-ES

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Zona Sul.

Orientador: Prof. Esp. Bruno Camargo de Holanda
Cavalcanti.

TERESINA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Sousa, Andreza Ravena da Silva

S725e Estudo do material empregado nas estradas vicinais em Teresina/PI: análise da normativa DNIT 445/2023-ES / Andreza Ravena da Silva Sousa. - 2024.
65 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Zona Sul, 2024.

Orientador: Prof. Esp. Bruno Camargo de Holanda Cavalcanti

1. Engenharia civil. 2. Estradas vicinais. 3. Revestimento primário.
4. NBR DNIT 445/2023. 5. Metodologia MCT. I. Título.

CDD - 624

Elaborado por Isabel dos Santos Lima CRB 3/1060

ESTUDO DO MATERIAL EMPREGADO NAS ESTRADAS VICINAIS EM
TERESINA/PI: ANÁLISE DA NORMATIVA DNIT 445/2023-ES

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Zona Sul.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Bruno Camargo de Holanda Cavalcanti (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Ailton Soares Freire
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Matias Francisco Gomes de Sales
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Aos pais, amigos e familiares.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus durante toda essa jornada. Agradeço aos meus pais, à minha família e amigos que compreenderam minha ausência enquanto me dedicava a produção deste trabalho, em especial a minha mãe Auseni, cujo apoio incondicional e incentivo constante foram essenciais para meus anos de graduação.

Além disso, gostaria de expressar minha gratidão ao meu amigo, André pela colaboração nos ensaios, no qual foi de grande importância para o desenvolvimento deste estudo. Agradeço igualmente ao laboratorista Ronaldo e a todos os servidores do IFPI- Campus Zona Sul.

Também gostaria de reconhecer o papel do meu orientador, professor Bruno Camargo, pela disponibilidade desde a coleta do material até a elaboração desse trabalho, foram fundamentais. Agradeço também ao professor Matias Sales, que colaborou para facilitar o andamento deste processo e ao professor Ailton Freire, que sempre demonstrou compreensão e se prontificou a ajudar, tornando essa experiência mais enriquecedora.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, seja com apoio, incentivo ou conhecimento.

"Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados."

Mahatma Gandhi

RESUMO

A qualidade na construção de estradas vicinais é primordial para a segurança dos usuários e para a durabilidade da infraestrutura. A norma DNIT 445/2023 - ES recentemente publicada, estabelece diretrizes específicas em vias não pavimentadas. O presente estudo se concentra no item g) da norma, seção 5.1, que trata da especificação de materiais utilizados para revestimento primário. Assim realizou-se a investigação de uma jazida empregada em estradas locais na cidade de Teresina/PI, na qual efetuou-se ensaios de caracterização física e mecânica para classificação do material segundo a HRB/AASTHO, afim de verificar a sua conformidade com a norma DNIT 445/2023-ES e a possível necessidade de classificação pela metodologia MCT. A correta caracterização e classificação dos solos são essenciais para a construção de estradas vicinais que assegurem eficiência e durabilidade, além de favorecer melhores condições de mobilidade e desenvolvimento socioeconômico nas áreas atendidas.

Palavras-chave: estradas vicinais; revestimento primário; NBR DNIT 445/2023; metodologia MCT.

ABSTRACT

The quality in the construction of side roads is paramount for the safety of users and for the durability of the infrastructure. The recently published DNIT 445/2023 – ES standard establishes specific guidelines on unpaved roads. The present study focuses on item g) of the standard, section 5.1, which deals with the specification of materials used for primary coating. Thus, the investigation of a deposit used on local roads in the city of Teresina/PI was carried out, in which physical and mechanical characterization tests were carried out to classify the material according to HRB/AASTHO, in order to verify its compliance with the DNIT 445/2023-ES standard and the possible need for classification by the MCT methodology. The correct characterization and classification of soils are essential for the construction of side roads that ensure efficiency and durability, in addition to favoring better mobility conditions and socioeconomic development in the areas served.

Keywords: side roads; primary coating; NBR DNIT 445/2023; MCT methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura de uma seção transversal do pavimento flexível	18
Figura 2 - Estradas vicinais jurisdição das vias	22
Figura 3 - Distribuição da malha rodoviária brasileira.....	23
Figura 4 - Seção transversal de uma estrada rodoviária com revestimento primário	24
Figura 5 - Distribuição de solos lateríticos em termos mundiais.....	28
Figura 6 - Ocorrência de solos de comportamento laterítico do Brasil	29
Figura 7 - Ábaco da classificação MCT	31
Figura 8 - Anexo B (Tabela B1) - Prioridades segundo a classificação MCT.....	32
Figura 9 - Macrorregião da jazida.....	34
Figura 10 – Visão geral da jazida empregada na extração do material.....	35
Figura 11 - Ponto de coleta da extração do material	35
Figura 12 - Amostras de solo para ensaio do teor umidade	36
Figura 13 - Estufa para realização da secagem do material, modelo 410/3ND.....	37
Figura 14 - Aparelho Casagrande preenchido com amostra do solo.....	38
Figura 15 - Amostras ensaio de liquidez.....	38
Figura 16 - Destorroamento do material.....	39
Figura 17 - Passagem na peneira de 0,42 mm	39
Figura 18 - Modelagem do cilindro	40
Figura 19 - Amostras ensaio de plasticidade.....	40
Figura 20 - Peneiras utilizadas para análise granulométrica	41

Figura 21 - Preparação da amostra para compactação	44
Figura 22 - Moldagem do corpo cilíndrico	45
Figura 23 - Moldagem do corpo cilíndrico	46
Figura 24 - Imersão do corpo cilíndrico	47
Figura 25 - Secagem do corpo cilíndrico	47
Figura 26 - Corpo cilíndrico na prensa	48
Figura 27 - Classificação conforme frações do solo AASHTO	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energias de Compactação	44
Tabela 2 - Classificação HRB-AASHO	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade	17
Quadro 2 - Jazidas utilizadas para estradas locais	34
Quadro 3 - Quantidade de amostra para análise granulométrica.....	41
Quadro 4 - Procedimento após o peneiramento.....	43
Quadro 5 - Quantidade de amostra a ser tomada.	43
Quadro 6 - Dados amostrais ensaio de teor de umidade	48
Quadro 7 - Dados amostrais ensaio de liquidez	49
Quadro 8 - Dados amostrais ensaio de plasticidade	50
Quadro 9 - Dados resumo LL, LP, IP.....	51
Quadro 10 - Categorização das partículas do solo conforme AASHTO	53
Quadro 11 - Resultados ensaio CBR.....	55
Quadro 12 - Especificações do uso dos materiais utilizados em pavimentação	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação de extensões – Não Pavimentada e Pavimentada.....	20
Gráfico 2 - Tipos de vias.....	21
Gráfico 3 - Limite de liquidez	50
Gráfico 4 - Curva granulométrica	52
Gráfico 5 - Curva de compactação	53
Gráfico 6 - CBR do solo.....	55

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 - Estrutura dos ensaios realizados no estudo.....	33
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials Americana - . Associação Americana de Oficiais de Rodovias e Transportes Estaduais Americana
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR/ISC	Califórnia Bering Ratio, ou Índice de Suporte de Califórnia
Cap	Cápsulas
cm	Centímetros
CNT	Conselho Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
HRB	Highway Research Board- Conselho de Pesquisa Rodoviária
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MCT	Miniatura, Compactado, Tropical
mm	milímetros
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadora
Pol	Polegadas
USC	Unified Soil Classification – Classificação Unificada dos Solos

LISTA DE SÍMBOLOS

- % Porcentagem
- © Copyright
- ® Marca registrada
- \$ Dólar
- § Seção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	DEFINIÇÕES E CONSIDERAÇÕES SOBRE PAVIMENTO	16
2.2	ESTRADAS VICINAIS	19
2.3	REVESTIMENTO PRIMÁRIO	23
2.4	SOLOS TROPICAIS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	25
2.5	SOLOS LATERÍTICOS E SUAS PARTICULARIDADES.....	27
2.6	METODOLOGIA MCT.....	29
2.7	REVESTIMENTO PRIMÁRIO – NORMA DNIT 445/2023 – ES.....	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	IDENTIFICAÇÃO DE JAZIDAS.....	33
3.2	COLETA DO MATERIAL	34
3.3	TEOR DE UMIDADE	36
3.4	LIMITES DE ATTERBERG.....	37
3.4.1	LIMITE DE LIQUIDEZ.....	37
3.4.2	LIMITE DE PLASTICIDADE	38
3.5	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	40
3.6	COMPACTAÇÃO	42
3.7	ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA – CBR.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	TEOR DE UMIDADE	48
4.2	LIMITES DE ATTERBERG.....	49
4.2.1	LIMITE DE LIQUIDEZ.....	49
4.2.2	LIMITE DE PLASTICIDADE	50
4.3	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	51
4.4	COMPACTAÇÃO	53
4.5	ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA – CBR.....	54
4.6	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONFORME A HRB/AASHO E CONSIDERAÇÕES DA NORMA DNIT 445/2023-ES	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60

1 INTRODUÇÃO

As rodovias desempenham um papel primordial no progresso econômico e social de uma nação. No contexto brasileiro, o transporte rodoviário é visto como a principal forma de interligação entre as diversas regiões do país, sendo essencial para o escoamento da produção industrial e agrícola (Trindade et al., 2005). Ao analisar a infraestrutura rodoviária, a atenção tende-se a concentrar-se nas vias com alta circulação de veículos. Contudo, as estradas de menor tráfego são igualmente vitais, pois garantem a acessibilidade a comunidades mais remotas, facilitando tanto a sua vida cotidiana quanto suas atividades profissionais de acordo com suas realidades. Dessa forma, essas vias contribuem significativamente para o desenvolvimento econômico e social (Jorge, 2014).

Para garantir sua funcionalidade, muitas dessas vias utilizam revestimentos primários, que, segundo Ken Skorseth (2000), são compostos por uma mistura de solos de diferentes tamanhos: graúdos (predominantemente pedregulhos, que asseguram boa capacidade de suporte), intermediários (como siltes e areias, que proporcionam estabilidade) e finos (argilas, que atuam como aglutinantes, conferindo coesão e reduzindo a permeabilidade).

Além disso, Keller e Sherar (2003) ressaltam que a camada de revestimento deve ser bem graduada e conter uma proporção adequada de finos para evitar desagregação e sulcos, assegurando a durabilidade da via. Em suma, a adoção de revestimentos primários em estradas vicinais é fundamental para garantir seu suporte estrutural, estabilidade e longevidade, contribuindo significativamente para a mobilidade e desenvolvimento das áreas que atendem.

As estradas vicinais priorizam o uso de materiais locais em sua construção, esses materiais influenciam diretamente na resistência e estabilidade. Cozzolino e Nogami (1993) destacam que a identificação e classificação dos solos são tarefas fundamentais em praticamente todos os estudos geotécnicos, especialmente para a construção de barragens, cortes e aterros, bem como para fundações de grandes edificações e obras de infraestrutura viária.

Os sistemas de classificação de solos que predominam na geotécnica são: o Unified Soil Classification (USC) e a classificação HRB (Highway Research Board), essa recomendada pela AASHTO, normalmente aplicada no reconhecimento de

solos para construção de pavimentos rodoviários em todo o mundo. Esses sistemas são baseados nos Limites de Atterberg (LL e LP) e na granulometria dos solos. Vale enfatizar que ambos foram criados em países com clima temperado, o que pode causar problemas na classificação de solos tropicais, particularmente os lateríticos, segundo a análise de Nogami e Vilibor. Considerando a alta ocorrência de solos lateríticos no Brasil, foi desenvolvido um sistema de classificação dedicado a solos tropicais, conhecido como Miniatura, Compactado, Tropical (MCT), a qual foi desenvolvida inicialmente para utilizar solos considerados inadequados pelas classificações tradicionais em pavimentos (Cozzolino e Nogami, 1993).

A qualidade na execução de estradas vicinais é crucial para garantir a segurança dos usuários e a durabilidade da infraestrutura. A execução inadequada, especialmente em relação ao controle de materiais, pode acarretar diversos problemas, como a deterioração prematura das vias, dificuldades no acesso e altos custos de manutenção. Para amenizar essas consequências, é imprescindível a adoção de normas técnicas. Nesse contexto, o DNIT publicou a Norma 445/2023 – ES, que estabelece diretrizes específicas para a execução de camada de revestimento primário em vias não pavimentadas.

Desse modo, este estudo centraliza-se no tópico g) da norma do item 5.1, que remete a especificação dos materiais. De acordo com a norma: "Materiais finos que possuem 95% passante na peneira nº 10 (2 mm) devem ser classificados usando a metodologia MCT (DNIT 259 – CLA), e, com base na classificação obtida, deve-se avaliar a prioridade de escolha do material com referência à Tabela B1 do Anexo B da norma." Com o objetivo de abordar esse parâmetro e verificar a necessidade da classificação dos solos pela metodologia MCT, buscou-se caracterizar o material de uma jazida utilizada na execução de revestimento primário no município de Teresina/PI.

A edição da NORMA 445/2023 é de certo modo recente, datada do ano passado. Logo, há uma preocupação em saber quais os impactos dessa nova especificação de serviço na elaboração de projetos empregando revestimento primário nas vias de baixo tráfego existentes nas áreas rurais da Capital do Estado.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor compreensão, este trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução do tema e o objetivo do estudo. No capítulo dois, tem-se o referencial teórico com os conceitos dos tópicos abordados, no capítulo três, aborda-se a metodologia utilizada de forma detalhada, demonstrando a coleta e ensaios realizados. No capítulo quatro mostra-se os resultados alcançados, de acordo com os dados obtidos. Por fim, no capítulo cinco são apresentadas as conclusões e abordagem sugestiva para trabalhos futuros, finalizando com as referências e os anexos do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÕES E CONSIDERAÇÕES SOBRE PAVIMENTO

O Manual de Pavimentação - DNIT (2006) define pavimento como uma superestrutura constituída por um sistema de camadas e espessuras finitas, assentes sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito - a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designado o subleito.

Na perspectiva de Bernucci *et al* (2010), o pavimento consiste em um sistema formado de camadas com espessuras pré-definidas, construídas sobre um terreno compactado projetado para suportar os esforços resultantes do tráfego de veículos. Também pode-se definir pavimento como uma estrutura constituída por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, com a finalidade de atender estruturalmente e operacionalmente o tráfego, de forma durável e ao mínimo custo possível (Balbo, 2007).

Conforme o Manual de Pavimentação - DNIT (2006), o pavimento é a estrutura construída após a terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente: a resistir aos esforços verticais do tráfego de veículos e distribuí-los; melhorar as condições de rolamento em relação ao conforto e segurança e resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento. Para Branco (2016), o pavimento deve garantir uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um período

calculado em projeto (vida útil do pavimento), sob a ação do tráfego e condições climáticas que possam suceder sobre essa estrutura.

Os pavimentos são estruturas com características apropriadas à circulação de veículos, tais como: elevada resistência, baixa deformabilidade, permeabilidade e aderência são tidas em consideração mediante de vários parâmetros como a intensidade e o tipo de tráfego, a velocidade máxima permitida e o tipo de clima predominante. (Ferreira, 2009)

Para classificação dos pavimentos rodoviários são utilizados dois critérios: o tipo de material e a deformabilidade. De acordo, com esses critérios podem definir-se os pavimentos como flexíveis, rígidos e semirrígidos, conforme o Quadro 1:

Quadro 1 - Tipos de pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade

Tipo de pavimento	Materiais (ligante)	Deformabilidade
Flexível	Hidrocarbonados e granulares	Elevada
Rígido	Hidráulicos e granulares	Muito reduzida
Semirrígido	Hidrocarbonados, hidráulicos e granulares	Reduzida

Fonte: Adaptado de Branco et all, 2006

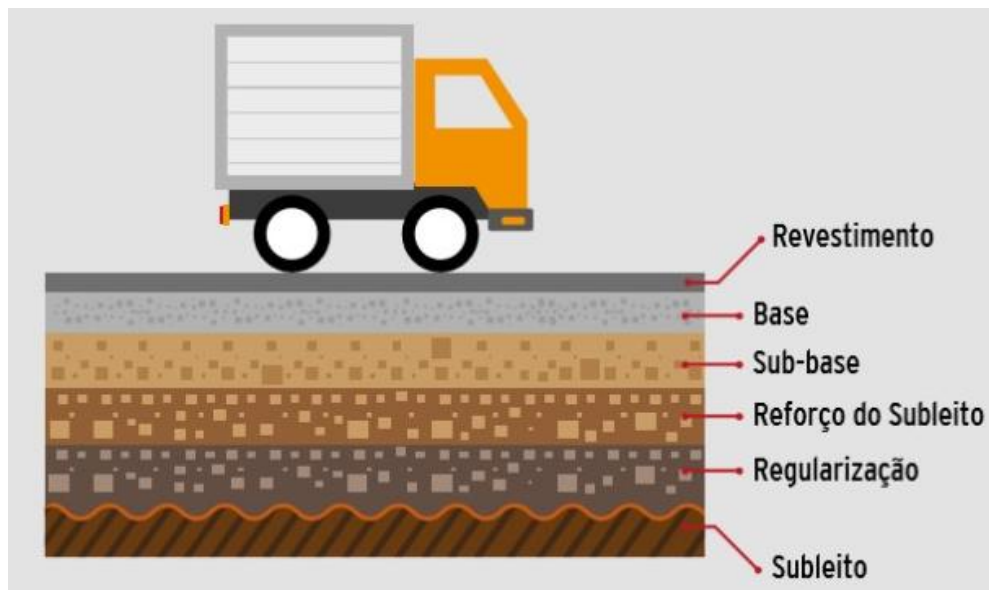
Assim, o Manual de Pavimentação – DNIT (2006) classifica e conceitua de uma forma geral, os pavimentos como:

- Flexível: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica. (DNIT 2006,p.95).
- Semi-Rígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica. (DNIT 2006,p.95).
- Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland. (DNIT 2006,p.95).

No Brasil, o pavimento flexível é o mais utilizado, principalmente por seu custo de implantação, sendo 42% mais barato que a implantação de um pavimento rígido, mesmo esse possuindo melhores características técnicas (FILHO, 2018).

Na Figura 1 é apresentada a seção transversal de um pavimento flexível, esse pode ser composto do seguinte modo: Revestimento, base, sub-base, reforço do subleito, regularização do subleito e subleito; o subleito representa a fundação natural da estrutura.

Figura 1 - Estrutura de uma seção transversal do pavimento flexível



Fonte: CNT, 2017

Subleito - É o terreno natural no qual é apoiado o pavimento, responsável por absorver os esforços verticais oriundos do tráfego, consiste em material natural consolidado e compactado;

Regularização – Tem a função de ajustar a superfície da rodovia conforme o projeto, tanto em termos transversais quanto longitudinais. A regularização visa conferir a superfície. A regularização objetiva conferir à superfície características geométricas, como a inclinação transversal do pavimento acabado.

Reforço do Subleito - É uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas, acima da de regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, porém melhores que o material do subleito, proveniente de áreas de jazidas ou empréstimos, melhorando a capacidade estrutural do pavimento;

Sub-base - É a camada complementar à base, constituída de materiais com características tecnológicas inferiores ao da camada de base, com finalidade de reduzir os custos da execução do pavimento. É executada quando o dimensionamento da camada de base resulta em uma altura muito espessa ($h > 35\text{cm}$);

Base - é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento;

Revestimento - é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a melhorá-la, quanto à comodidade e segurança e a resistir ao desgaste. É importante mencionar que, o revestimento também pode ser referido como “camada de desgaste” ou “capa de rolamento”.

Essa estrutura apresentada não ocorre de maneira geral, pois depende basicamente da capacidade de carga do subleito, que pode requerer reforço ou não. Conforme Balbo (2007), as condições mínimas para denominar uma estrutura de “pavimento” é a existência de uma camada de revestimento e de subleito.

É indispensável à execução do pavimento e garante o cumprimento dos objetivos a um prazo reduzido, tais como proteger os solos de fundação, o nivelamento da plataforma e uma capacidade de suporte suficiente. E a longo prazo ressalta-se homogeneizar e garantir a manutenção da capacidade dos solos de fundação, tendo ou não, existido variações na quantidade de água existente nos solos. (EP, 2009a)

2.2 ESTRADAS VICINAIS

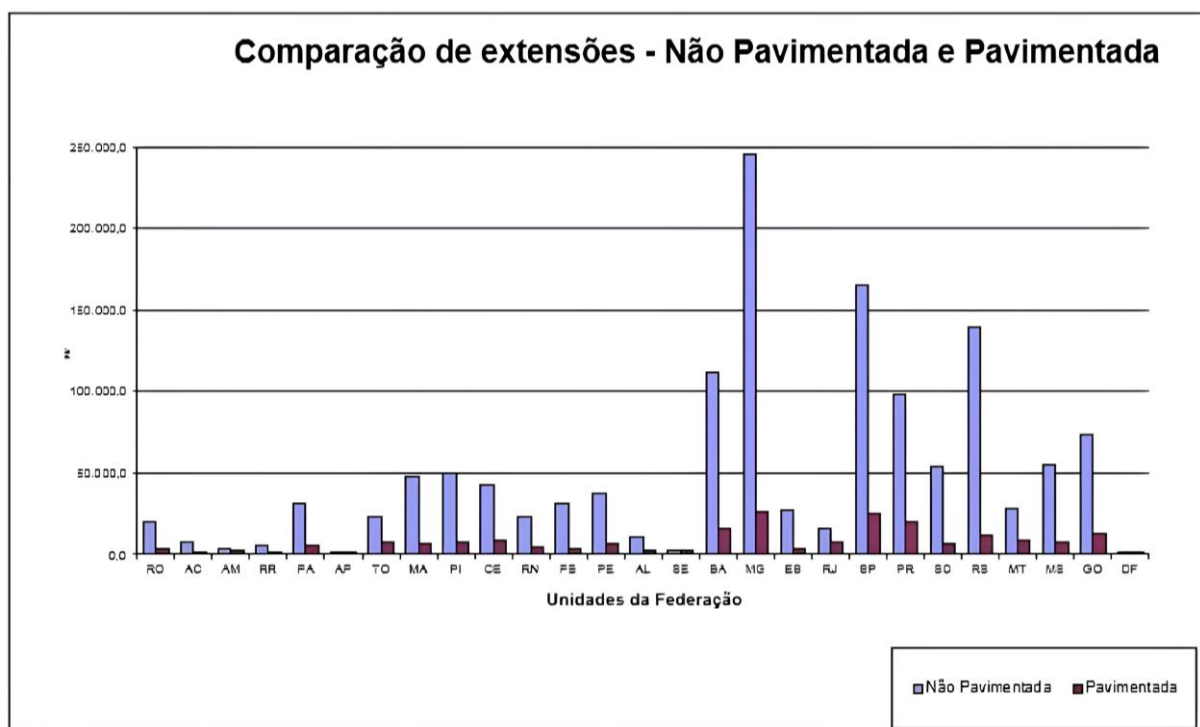
O termo VICINAL vem do latim Vicinalis. O termo significa, segundo o dicionário Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa "algo que forma uma ligação entre dois lugares, cidades ou vilarejos próximos". Vem do significado de vizinho. Na engenharia rodoviária, o termo pode ser adotado em relação a uma estrada que liga dois pontos adjacentes, ou seja, tem a função de ligar um ponto de partida e um destino claro.

Segundo o DER-SP (1987), essas estradas são em sua maioria estradas municipais, pavimentadas ou não, de pista única, locais, de padrão técnico

moderado e compatíveis com o pequeno tráfego que as utilizam. As estradas não pavimentadas, também conhecidas como “estradas de terra”, são comuns no meio rural e são justamente aquelas estradas que não foram cobertas com nenhum tipo de tratamento superficial (asfalto ou cimento Portland) e cuja camada superior geralmente é constituída por solo local, às vezes com a mistura de agregados granulares, segundo Eaton et al. (1987a).

De acordo com o DNIT, em 2015, quase 80% da malha rodoviária brasileira não era pavimentada. Esse percentual enfatiza ainda mais a importância dessas estradas para o país. O Gráfico 1 mostra uma comparação entre os tipos de estradas para cada unidade da federação.

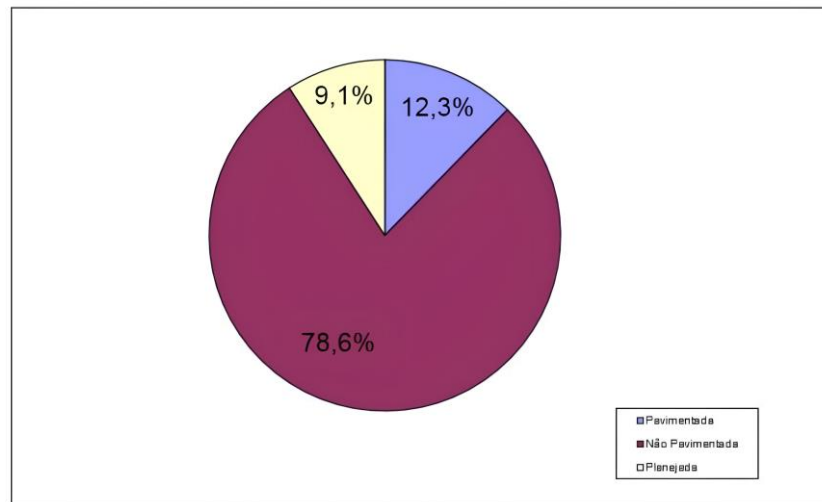
Gráfico 1 - Comparação de extensões – Não Pavimentada e Pavimentada



Fonte: DNIT, 2015

Em seu Sistema de Viação Nacional (SNV) de 2015, o DNIT fornece uma síntese que mostra para a malha rodoviária brasileira, ver Gráfico 2, a proporção de vias implantadas com pavimentação ou em leito natural e de vias a serem implantadas, as quais são identificadas como planejadas.

Gráfico 2 - Tipos de vias



Fonte: DNIT, 2015

Os sistemas de transporte são de grande importância quando se analisam as mais diversas áreas. A análise comparativa mostra que o sistema de tráfego rodoviário do Brasil consiste em estradas principais (geralmente estradas de asfalto) e estradas secundárias (geralmente estradas locais). As estradas principais são responsáveis pelo tráfego, e as estradas secundárias também responsáveis pelo tráfego, porém levando a áreas mais remotas.

As estradas locais geralmente possuem: estradas municipais; são revestidas ou não; são de faixa única; possuem capacidade de acesso local; possuem padrões técnicos moderados; e são compatíveis com o tráfego dos usuários.

Conforme, os dados do Sistema Nacional de Viação do DNIT divulgados em 2015, a grande maioria das estradas locais está sob jurisdição municipal, como mostra a Figura 2:

Figura 2 - Estradas vicinais jurisdição das vias

JURISDIÇÃO	PLANEJADA	NÃO PAVIMENTADA	PAVIMENTADA	TOTAL
MUNICIPAL	50,2%	91,3%	12,6%	77,8%
ESTADUAL	23,5%	7,8%	56,1%	15,2%
FEDERAL	26,3%	0,9%	31,3%	7,0%

Fonte: www.dnit.gov.br



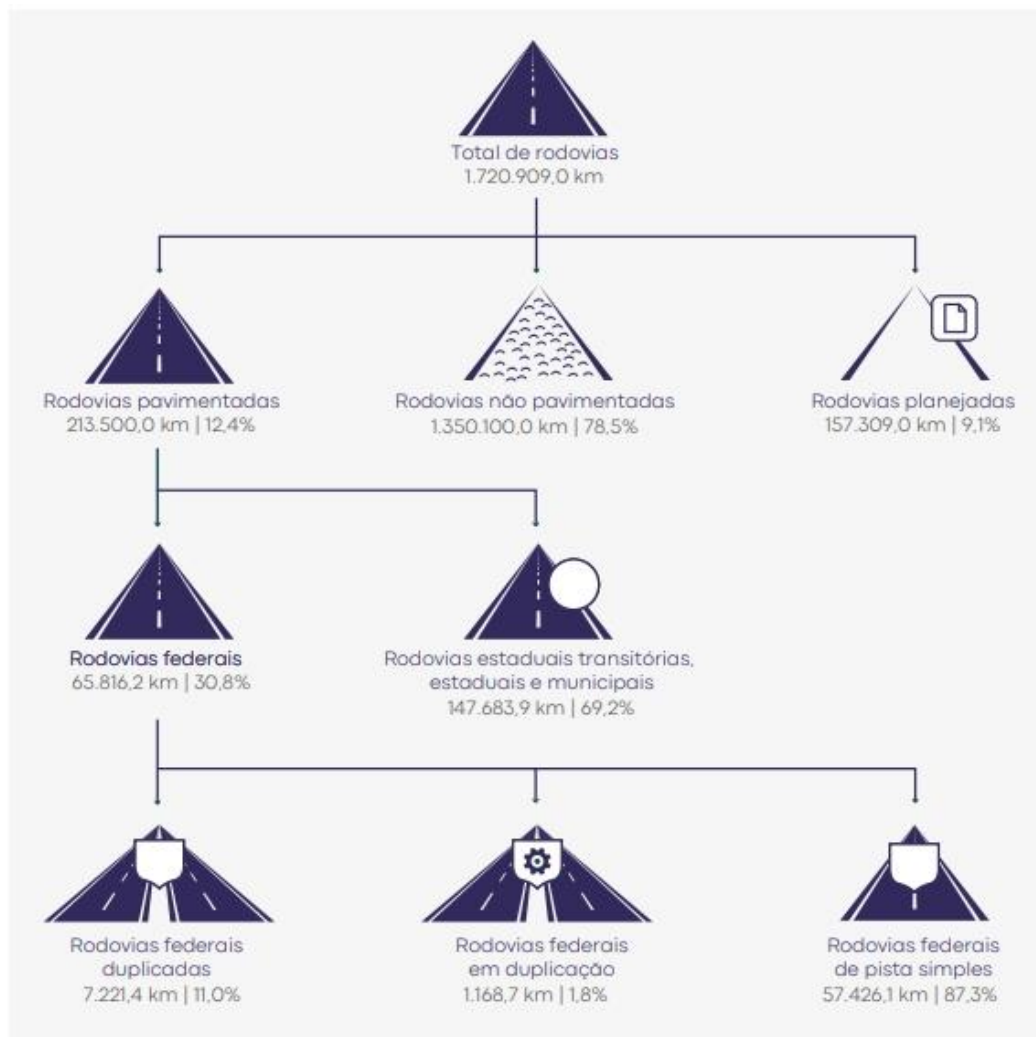
Fonte: DNIT, 2015

Portanto, a manutenção da maioria das estradas não pavimentadas do Brasil é de responsabilidade municipal. Dada a sua importância socioeconômica, especialmente nos países em desenvolvimento, as estradas locais de terra batida exigem que as suas superfícies permaneçam em boas condições de funcionamento, a fim de proporcionar conforto e segurança aos utilizadores.

A Fundação Dom Cabral (FDC, 2017), declara que a malha rodoviária brasileira é utilizada para transportar 75% dos produtos do país. Porém, Braga e Guimarães (2014) mencionaram que o transporte desses produtos pelas estradas locais acaba por trazer prejuízos aos produtores e à economia na totalidade, pois as estradas apresentam muitos problemas estruturais que levam a perdas de produção, atrasos nas entregas e gastos desnecessários com manutenção de veículos de transporte.

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT 2020), o Brasil possui uma malha viária total de 1.720.700,00 km. Destes, 78,50% correspondiam a estradas não pavimentadas, totalizando uma quilometragem de 1.349.939,00 km. Essas rodovias não possuem revestimento, seja asfáltico, concreto ou bloco, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Distribuição da malha rodoviária brasileira



Fonte: CNT, 2020

Com uma rede rodoviária tão extensa, a escolha dos materiais utilizados e as dimensões da espessura da camada do pavimento são fundamentais para o bom desempenho das estradas locais. Por isso, desenvolver projetos adequados para essas estradas pode prolongar sua vida útil, reduzir problemas enfrentados pelos usuários e, assim, minimizar custos de manutenção.

2.3 REVESTIMENTO PRIMÁRIO

Algumas estradas terrestres sem asfalto, concreto ou qualquer revestimento poliédrico são construídas apenas com revestimentos primários constituídos por uma ou mais camadas de solo compactado e materiais granulares selecionados com propriedades adequadas (Nervis, 2018). Rosseau et al. (2016) acrescentaram

que os materiais granulares são depositados na armadura do leito da estrada ou diretamente sobre ele.

A Especificação de Serviço DER/PR ES-T 07/2005 – Terraplenagem: Revestimento Primário do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná define o revestimento primário como uma camada granular, constituída por agregados naturais e/ou agregados artificiais. a composição é aplicada diretamente em leitos compactados e regulares, garantindo boas condições de tráfego mesmo em condições climáticas adversas. A definição da Agência Rodoviária do Estado de São Paulo DER/SP (2006) é muito semelhante à proposta pelo DER/PR.

De acordo com DNIT (2005) o revestimento primário é aplicado em camadas que variam de 10 a 20 cm diretamente sobre a terraplenagem (Figura 4), com objetivo de oferecer uma superfície de rolamento que assegure o tráfego em qualquer época do ano.

Figura 4 - Seção transversal de uma estrada rodoviária com revestimento primário



Fonte: Santos *et al.*, 2019

Para Ken Skorseth (2000), um pavimento utilizado em estradas de revestimento primário é composto de uma mistura de três tamanhos distintos de solo: gráudos, intermediários e finos. A parte gráuda é composta basicamente por pedregulhos, os quais oferecem uma boa capacidade de suporte ao pavimento. Os materiais intermediários preenchem os espaços entre a parte gráuda proporcionando estabilidade para a mistura, exemplos siltes e areias. E os compostos mais finos proporcionam coesão à mistura (funcionam como aglutinantes), e contribuem para que ele tenha menor permeabilidade, exemplos regulares são as argilas.

O revestimento primário deve consistir em um material argiloso pré-misturado

com material granular, em vez de ser apenas espalhado sobre o leito da estrada. A argila atua como ligante e permite a formação de camadas, enquanto o material granular contribui para o atrito no contato roda/pista (SANTOS et al., 2019).

Baesso e Gonçalves (2003), descrevem que o procedimento de execução do revestimento primário deve recair em uma camada assentada sobre o subleito já conformado e compactado, compreendendo as seguintes fases: preparo da plataforma, depósito do material na pista, espalhamento do material na pista, verificação da umidade da mistura (e adequação da mesma, caso necessite) e compactação da mistura.

Grande parte das estradas não pavimentadas, conhecidas como estradas de terra ou estradas secundárias, têm grande proporção em áreas rurais, onde servem de apoio e circulação aos fluxos de produção e contribuem para o desenvolvimento socioeconômico ao proporcionar acessibilidade a determinadas comunidades (Junior et al., 2022). Em vista disso, é importante evidenciar que a camada de revestimento primário de vias não pavimentadas deve cumprir duas funções básicas: ter qualidade e espessura o suficiente para garantir o suporte estrutural da via às ações do tráfego e deve ser bem graduada, contendo finos suficientes para prevenir problemas de desagregação e surgimento de sulcos, como destacam Keller e Sherar (2003).

2.4 SOLOS TROPICAIS: DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Os solos tropicais resultam da ação do intemperismo. No entanto, Barroso (2002) aponta a falta de uma terminologia amplamente aceita para definir o que são esses solos. Para o autor, as características de um solo são moldadas pelo clima, pela topografia, pela fauna e pelo tempo. As principais características das regiões de clima tropical incluem altas temperaturas, elevados índices de precipitação e a ausência de congelamento no subsolo, entre outras.

Contudo, segundo Barroso (2002), essa definição é insuficiente, uma vez que existem solos com diversas características dentro dos trópicos, influenciados pelas variadas condições geológicas e climáticas. Souza (2007) também observa que a classificação climática que considera os solos tropicais como aqueles que se encontram em regiões quentes e úmidas apresenta inconsistências. Isso ocorre porque diferentes tipos de solos podem ser agrupados na mesma categoria, já que

alguns se formam independentemente de serem classificados como tropicais, como é o caso dos solos de dunas, tálus e aluviais.

Para Nogami e Villibor (1995), os solos tropicais são definidos como solos que apresentam propriedades e comportamentos especiais que diferem dos solos não tropicais devido à ação de processos geológicos e/ou edáficos típicos dos trópicos úmidos.

Assim, para definir adequadamente os solos tropicais, é importante adotar uma perspectiva geotécnica, que os retrata como solos com características e comportamentos que os afastam dos solos de áreas não tropicais, resultantes de processos geológicos e/ou pedológicos que ocorrem sob a influência alternada de calor intenso e precipitações abundantes, conforme estabelecido pelo Comitê de Solos Tropicais da Associação Internacional de Mecânica de Solos e Engenharia de Fundações (ISSMGEF, 1985).

Nogami e Villibor (1995) afirmaram que entre os solos tropicais, dois grandes grupos são mais proeminentes, nomeadamente os solos lateríticos e os solos saprólitos. Segundo o autor, os solos lateríticos constituem a camada subsuperficial de áreas bem drenadas e são caracterizados por cores predominantemente vermelhas e amarelas, espessura geralmente superior a 2m e às vezes superior a 10m, e partículas com fortes propriedades mecânicas e químicas. As frações areia e cascalho contêm alta proporção de partículas de óxido e hidróxido de ferro e alumínio, enquanto o mineral argiloso presente na fração argila é geralmente caulinita.

Nesses solos, todos os minerais foram desgastados, pelo que podem conter quartzo, mas não mica. Como tal, também podem ser designados como solos maduros, cujas propriedades têm pouca relação com as das camadas subjacentes. Possuem uma estrutura na qual partículas finas se agregam formando uma massa muito resistente à ação da água e que proporciona baixa gravidade específica aparente e alta permeabilidade. Este tipo de camada de solo pode existir acima da camada de solo residual e da camada de solo de transporte (LEPSCH, Igo F., 2016).

Segundo o referido autor, os saprólitos, ao contrário dos solos lateríticos, são verdadeiros resíduos, e nas suas condições naturais constituem camadas de outros solos, como os solos lateríticos ou outros solos pedógenos, sejam eles resíduos ou sedimentos. Caracterizam-se por espessuras de camada variadas, muitas vezes atingindo dezenas de metros, bem como por uma grande variação de cor, muitas

vezes com grande heterogeneidade, em grande parte herdada da rocha matriz da qual se originaram.

A sua composição mineralógica é caracterizada pela presença frequente de grandes quantidades de minerais, parte dos quais resultantes de processos de intemperismo e parte herdados da rocha matriz. Por reterem aspectos relacionados à estrutura, mineralogia e cor da rocha matriz, esses solos também podem ser designados como solos residuais jovens. São compostos essencialmente por cascalho e areia e podem conter finos. Uma variedade de argilominerais pode estar presente na fração argila, enquanto a fração silte pode ter uma mineralogia muito diversa e única, como caulinita e cristais grossos de mica, que podem exercer comportamentos especiais nesses solos.

2.5 SOLOS LATERÍTICOS E SUAS PARTICULARIDADES

Conforme indicado por Villibor et al. (2009), os solos lateríticos são encontrados em superfícies, predominando nas áreas bem drenadas das regiões tropicais úmidas. Eles originam-se da transformação da parte superior do subsolo através de um processo conhecido como laterização, que ocorre em climas tropicais quentes e úmidos. Esse fenômeno é típico de climas quentes e úmidos, levando à concentração de sesquióxidos de ferro e alumínio, enquanto materiais solúveis como a sílica são lixiviados (Barata, 1981). Entre as diversas características do processo de laterização, destaca-se o enriquecimento em óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio, além da presença quase exclusiva da caulinita como mineral argiloso predominante. Essa variedade mineral confere aos solos lateríticos suas cores distintas: vermelho, amarelo, marrom e alaranjado (Prado, 2018).

Porém, esta não é a única característica dos solos lateríticos, há também uma série de particularidades em suas propriedades e comportamento, destacando-se a alta porosidade natural aparente, a baixa resistência e a baixa capacidade de suporte. Porém, segundo os autores, esse tipo de solo, quando devidamente compactado, apresenta alta resistência e capacidade de suporte além de baixa permeabilidade.

Para Godoy & Bernucci (2000), no contexto da engenharia, os solos lateríticos são identificados por sua capacidade de conservar a resistência ao perder umidade, desde que estejam adequadamente compactados, mesmo sob condições de

em cerca de 80% do território nacional conforme a Figura 6.

Figura 6 - Ocorrência de solos de comportamento laterítico do Brasil



Fonte: Villibor & Nogami, 2009

2.6 METODOLOGIA MCT

Segundo Pinto (2002), o objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder estimar o provável comportamento de solo ou, pelo menos, orientar o programa de investigação geotécnica a ser empregado para permitir a adequada análise do problema. Tradicionalmente, o emprego de dois sistemas tem predominado no meio geotécnico, quais sejam, o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o Sistema de Classificação da AASHTO.

De acordo com Cozzolino e Nogami (1993), o uso das classificações tradicionais para os solos de comportamento tropical leva a resultados não condizentes com o desempenho real deles nas obras de engenharia. Peculiaridades observadas nesses tipos de solos influem na efetividade de tais classificações, com destaque para a ocorrência dos fenômenos relacionados à agregação dos finos nos solos lateríticos, à natureza físico-química da fração argila em solos lateríticos, à influência dos macrocristais das micas e da caulinita dos solos saprolíticos e à natureza porosa e fragmentável dos grãos de silte e areia dos solos saprolíticos.

Vários exemplos de solos de mesmo grupo das classificações da AASHTO e da USCS e apresentam comportamentos geotécnicos de resistência, deformabilidade, variação volumétrica, entre outros, totalmente opostos quando

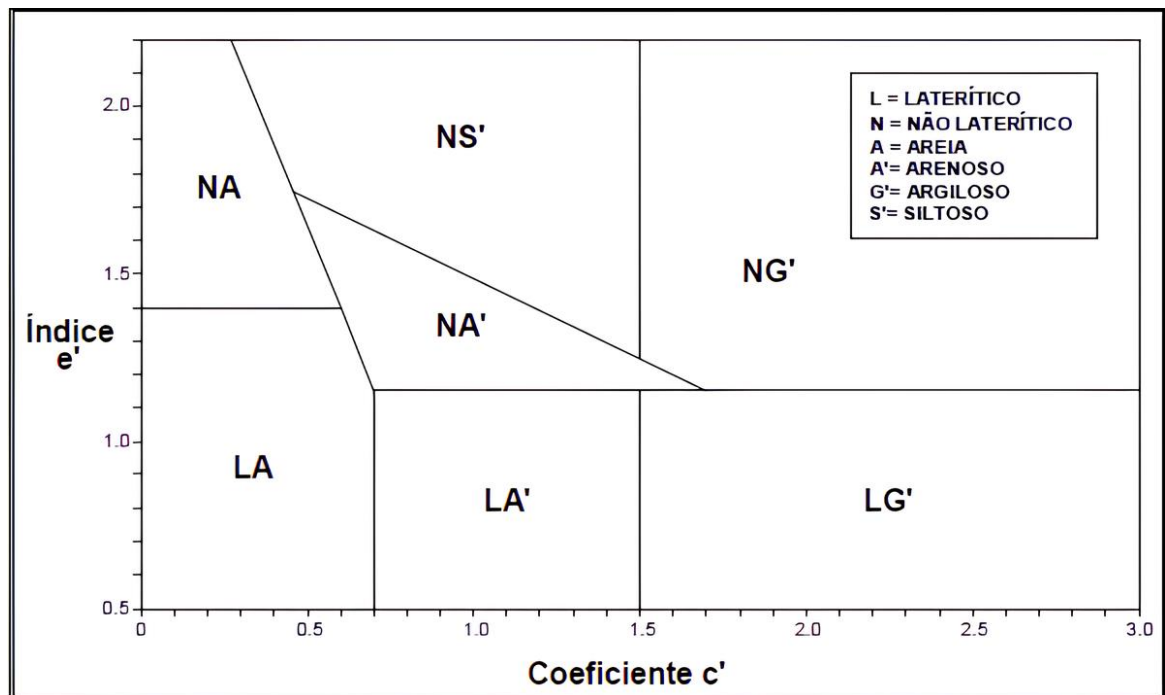
pertencentes aos grupos lateríticos e não-lateríticos são registrados por Nogami e Villibor (1995).

Tais exemplos contribuem de maneira clara para evidenciar que as classificações tradicionais se apresentam ineficazes quando se trata de solos tropicais. Diante das dificuldades e limitações observadas no uso das classificações tradicionais, que foram desenvolvidas para solos de climas frios e temperados, Nogami e Villibor criaram uma metodologia chamada MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), voltada especificamente para solos compactados em ambientes tropicais. Essa classificação pode ser considerada um subproduto oriundo da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), a qual foi desenvolvida inicialmente visando poder utilizar solos considerados inapropriados pelas classificações e especificações tradicionais em bases de pavimento (Cozzolino e Nogami, 1993).

Esta abordagem é fundamentada em uma série de ensaios e procedimentos que refletem as condições reais de camadas compactadas desses solos ao serem aplicadas em pavimentos, considerando as propriedades geotécnicas que representam o comportamento *in situ* dessas camadas. A metodologia considera propriedades mecânicas e hídricas obtidas de corpos de prova compactados de tamanhos reduzidos e não utiliza a granulometria, o limite de liquidez e o índice de plasticidade, ao contrário das classificações geotécnicas tradicionais. Os solos tropicais são, assim, categorizados em duas principais classes: aqueles com comportamento laterítico e os com comportamento não laterítico (Villibor et al., 2009).

Com base no ábaco de classificação apresentado na Figura 8, a distribuição dos solos lateríticos é definida pelos valores do coeficiente c' e do índice e' . Neste contexto, o coeficiente c' , corresponde a argilosidade do solo, está posicionado nas abscissas, e o índice e' , que demonstra a característica laterítica do solo, é localizado nas ordenadas (Santos, 2006).

Figura 7 - Ábaco da classificação MCT



Fonte: Villibor e Nogami, 2009

2.7 REVESTIMENTO PRIMÁRIO – NORMA DNIT 445/2023 – ES

Considerando a recente divulgação pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) da Norma DNIT 445/2023-ES, é possível afirmar que esta norma representa um significativo progresso na promoção da qualidade das obras, assegurando elevados padrões técnicos e contribuindo para uma utilização mais eficiente dos recursos públicos.

No contexto dos diversos aspectos na norma do item 5.1, que trata dos materiais, este trabalho se concentra especialmente no item g), que estabelece:

"Para materiais finos, com 95% passante na peneira nº 10 (2 mm), deve ser realizada a classificação segundo a metodologia MCT (DNIT 259 – CLA) e, para a classificação resultante, avaliar a prioridade de escolha do material, segundo a Tabela B1 do Anexo B".

Para uma melhor compreensão, a análise da granulometria, ou seja, a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas em um material, é fundamental para entender as características e comportamentos de um solo. Por conseguinte, para essa análise a peneira nº 10, que possui uma malha com aberturas de 2 mm, é

utilizada, materiais que venham a apresentar uma proporção passante na referida peneira a partir de 95% precisam ser analisados quanto ao potencial comportamento laterítico.

A classificação e caracterização desses materiais passantes são reguladas pela metodologia MCT, conforme orientações do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Ela leva em consideração uma série de propriedades, incluindo a plasticidade do solo, o conteúdo de água presente e outros parâmetros geotécnicos.

Uma vez que os materiais são classificados segundo a metodologia MCT, é necessária uma avaliação mais aprofundada para determinar quais deles devem ser priorizados. Essa avaliação é guiada por diretrizes e critérios contidos na Tabela B1 do Anexo B da norma, que orienta os profissionais sobre como selecionar o material mais apropriado.

Figura 8 - Anexo B (Tabela B1) - Prioridades segundo a classificação MCT

CLASSIFICAÇÃO MCT DE SOLOS, CARACTERÍSTICAS E PRIORIDADES DE ESCOLHA							
Granulometria típica	Areias argilosas	Argilas (arenosas, siltosas, siltes argilosos)	Areias siltosas	Areias	Areias, siltes (q,s)	Siltes (k,m), siltes arenosos	Argilas (arenosas, siltosas), siltes argilosos
Grupo MCT	LA'	LG'	NA'	LA	NA	NS'	NG'
Prioridade de escolha do material para revestimento primário	1°	2°	3°	4°	5°	n	n
Onde 1°, 2° ... = Prioridade de escolha, n = não recomendado, q = quartzoso, s = sericítico, k = caulinito e m = micáceo.							

Fonte: Norma DNIT 445/2023-ES, Adaptado de Villibor e Nogami, 2009

Em resumo, o item destaca a importância de um processo de avaliação e classificação dos materiais finos, assegurando que sejam usados os materiais mais adequados para as necessidades de um projeto de construção de revestimento primário em vias não pavimentadas, conforme diretrizes técnicas estabelecidas.

3 METODOLOGIA

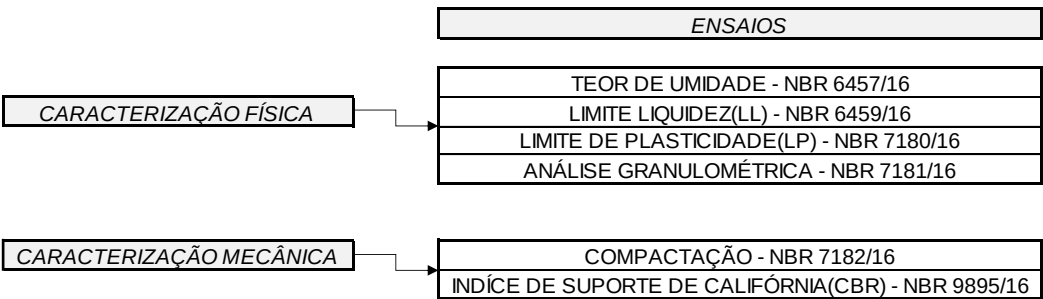
O presente estudo, iniciou-se com a identificação de jazidas utilizadas pelo Poder Público Municipal de Teresina como fonte de material para aplicação em soluções de revestimento primário em estradas locais. Após essa identificação, foi escolhida uma jazida para coletar e analisar o seu solo. Após a coleta, para compreender as propriedades físicas do material em questão e classificá-lo conforme a sistemática HRB/AASHTO, procedeu-se, por meio de ensaios específicos, incluindo o Teor de Umidade, o Limite de Liquidez, o Limite de Plasticidade e Análise Granulométrica.

Em seguida, foi realizada a caracterização mecânica, através de ensaios de Compactação e do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Esses testes permitem avaliar o comportamento do material sob condições de carga, fornecendo dados importantes para a aplicação prática do material.

Também foi realizada a verificação conforme o item g) da norma DNIT 445/2023-ES, com o objetivo de analisar a necessidade de classificação da amostra segundo a metodologia MCT.

As informações obtidas nas caracterizações foram analisadas de forma detalhada no Capítulo 4, que aborda os Resultados e Discussões deste trabalho. A seguir, apresenta-se o fluxograma que ilustra as fases realizadas da estrutura deste estudo.

Fluxograma 1 - Estrutura dos ensaios realizados no estudo



Fonte: Autoral, 2024

3.1 IDENTIFICAÇÃO DE JAZIDAS

A identificação da localização das jazidas utilizadas como fonte de material para revestimento primário nas estradas locais, foi realizada com base informações obtidas da Superintendência de Ações Administrativas Descentralizadas Rural (SAAD), situada em Teresina/PI. Foram fornecidas quatro localizações de jazidas, uma correspondente a cada zona da cidade, conforme demonstrado no Quadro 2:

Quadro 2 - Jazidas utilizadas para estradas locais

RELACÃO DE JAZIDAS UTILIZÁVEIS NA ZONA RURAL DE TERESINA - PI		
JAZIDA	LOCALIDADE	COORDENADAS
A	ASSENTAMENTO SANTO ANTONIO - ZONA NORTE	(4°52' 29,62" / 42° 49' 16,75")
B	ASSENTAMENTO BOM VIVER - ZONA LESTE	(4° 53' 15,20" / 42° 45' 12,45")
C	ASSENTAMENTO VALE DA ESPERANÇA - ZONA SUDESTE	(5° 08' 5,51" / 42° 37' 47,51")
D	LOC. JUNCO - ZONA SUL	(5° 15' 37,61" / 42° 44' 15, 97")

Fonte: SAAD Rural

Assim, optou-se pela jazida D, apresentada na Figura 9. A escolha de uma jazida apenas para estudo ocorreu em razão da facilidade de acesso.:

Figura 9 - Macrorregião da jazida



Fonte: Autoral, capturada pelo aplicativo Google Earth, 2024

3.2 COLETA DO MATERIAL

A coleta do material ocorreu na zona sul da cidade de Teresina, no dia 23 de

março de 2024. Para a realização deste processo, foram utilizados uma pá, uma picareta e sacos adequados para o armazenamento das amostras retiradas. Após a coleta, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Solos do Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Zona Sul. Nesse laboratório, foram realizados os ensaios conforme a metodologia previamente estabelecida.

Figura 10 – Visão geral da jazida empregada na extração do material



Fonte: Autoral, capturada pelo aplicativo Timestamp Camera, 2024

Figura 11 - Ponto de coleta da extração do material



Fonte: Autoral, capturada pelo aplicativo Timestamp Camera, 2024

3.3 TEOR DE UMIDADE

A umidade contida em um solo, tal como ocorre em seu estado natural, é referida como umidade natural. Quando uma quantidade específica de solo é coletada e submetida à secagem ao ar, seu teor de umidade tende a decrescer até alcançar um limite determinado. Assim, mesmo quando a amostra permanece em processo de secagem por um período prolongado, sempre haverá uma umidade residual. Essa umidade, que o solo apresenta quando se encontra seco, é denominada umidade higroscópica (Curvelo, 2016).

Para a determinação da umidade, adotou-se o método tradicional da estufa, conforme as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 6457/16. O procedimento consistiu na preparação de três cápsulas, nas quais o material a ser analisado foi colocado. Essas cápsulas foram, então, levadas à estufa, onde permaneceram por um intervalo de 24 horas para a secagem do material. Após esse período, as cápsulas foram retiradas da estufa e submetidas a uma imediata nova pesagem. A partir das pesagens realizadas, foram obtidas três determinações do teor de umidade da amostra, conforme especifica a norma.

Figura 12 - Amostras de solo para ensaio do teor umidade



Fonte: Autoral, 2024

Figura 13 - Estufa para realização da secagem do material, modelo 410/3ND



Fonte: Autoral, 2024

3.4 LIMITES DE ATTERBERG

3.4.1 LIMITE DE LIQUIDEZ

O limite de liquidez (LL) de um solo é definido como o teor de umidade a partir do qual o solo perde suas características de plasticidade e começa a se comportar como um fluido viscoso. Segundo a definição de Atterberg, o LL é a transição entre o "estado plástico" e o "estado líquido" do solo.

Para determinar o LL no laboratório, utilizou-se o aparelho de Casagrande, que possui forma de concha. O ensaio consistiu em medir o número de golpes necessários para fechar um sulco previamente estabelecido na amostra de solo, que é colocada na concha. Esse processo foi repetido três vezes, variando o teor de umidade da amostra em cada tentativa. O limite de liquidez é considerado aquele teor de umidade no qual o sulco se fecha após 25 golpes.

Para avaliação do LL, a amostra de solo foi preparada conforme as diretrizes da norma NBR 6457/86. O processo envolveu a secagem da amostra, destorroamento do material com cuidado para evitar a quebra dos grãos. Em seguida, uma fração da amostra foi passada por uma peneira com malha de 0,42 mm, resultando em um total de aproximadamente 200 g de material para os ensaios.

Figura 14 - Aparelho Casagrande preenchido com amostra do solo



Fonte: Autoral, 2024

Figura 15 - Amostras ensaio de liquidez



Fonte: Autoral, 2024

O procedimento de determinação do limite de liquidez ocorreu seguindo os parâmetros da norma NBR 6459/16.

3.4.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

O limite de plasticidade (LP) é um parâmetro fundamental na caracterização de solos, representando o teor de umidade a partir do qual um solo começa a exibir comportamento plástico, ou seja, passa da fase “semi-sólida” para a “plástica”, considerando-se o sentido crescente de umidade. Na prática, isso significa que,

quando a umidade está acima do LP, o solo deixa de ter a consistência de um material sólido e torna-se moldável. Para determinar o LP em laboratório, aplica-se um teste onde um cilindro de solo deve começar a se fragmentar ao ser moldado em um diâmetro de 3 mm.

A amostra de solo foi preparada conforme as diretrizes da norma NBR 6457/16. O processo envolveu a secagem da amostra, destorroamento do material com cuidado para evitar a quebra dos grãos. Posteriormente, uma fração da amostra foi passada por uma peneira com malha de 0,42 mm, resultando em um total de aproximadamente 200 g de material para os ensaios.

Figura 16 - Destorroamento do material



Fonte: Autoral, 2024

Figura 17 - Passagem na peneira de 0,42 mm



Fonte: Autoral, 2024

Figura 18 - Modelagem do cilindro



Fonte: Autoral, 2024

Figura 19 - Amostras ensaio de plasticidade



Fonte: Autoral, 2024

A determinação do limite de plasticidade foi realizada conforme a norma NBR 7180/16.

3.5 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio para a granulometria do material foi realizado com base na Norma Brasileira NBR 7181:2016, utilizando o método de peneiramento. A quantidade de amostra utilizada para a análise foi determinada pela observação visual das dimensões dos grãos, conforme detalhado no Quadro 3:

Quadro 3 - Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensão dos grãos maiores contidos na mostra determinada por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar(Kg)
<5	1
5 a 25	4
>25	8

Fonte: NBR 6457/16

Para tal, foi utilizada uma amostra de aproximadamente 4 kg, que foi previamente destorroada e seca em estufa, sendo posteriormente pesada com precisão. As peneiras foram dispostas em pilhas de maneira que a peneira com a maior abertura ficasse posicionada sobre a peneira com a abertura imediatamente menor.

Figura 20 - Peneiras utilizadas para análise granulométrica



Fonte: Autoral, 2024.

Cada peneira foi devidamente identificada pelo seu número de malha. Após a conclusão do peneiramento, as frações de solo retidas em cada peneira foram pesadas individualmente. Utilizando as informações obtidas, foi elaborado um gráfico para a análise da granulometria do material para classificar as frações do solo pela norma da AASHTO (American Association of State Highway and

Transportation Officials Americana -. Associação Americana de Oficiais de Rodovias e Transportes Estaduais Americana).

3.6 COMPACTAÇÃO

A adição de água a um solo seco é uma prática que ajuda na sua compactação, resultando em uma densidade maior do material. Porém, esse efeito positivo é limitado, pois existe um ponto conhecido como umidade ótima, onde a adição de água ainda melhora a compactação, mas se a umidade ultrapassa esse nível, a densidade do solo compactado começa a diminuir. As principais finalidades do ensaio de compactação são, identificar a umidade ótima do solo para uma determinada energia de compactação e determinar o peso específico seco máximo correspondente a essa umidade ótima.

Para a realização do ensaio, foi preparada uma amostra de acordo com as diretrizes da NBR 7182/16. Inicialmente, a amostra foi submetida a um processo de secagem até atingir um nível próximo da umidade higroscópica. Em seguida, foi realizada a desagregação dos torrões, sendo garantido que os grãos permanecessem intactos, e o material foi homogeneizado para assegurar uma composição uniforme.

Desse modo, prosseguiu-se com o peneiramento em uma malha de 19,1 mm, como o material retido foi maior de 10% da quantidade total, procedeu-se conforme as orientações estabelecidas no Quadro 4:

Quadro 4 - Procedimento após o peneiramento.

Peneira (mm)	Material Retido (% em peso)	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Observação
4,8	<7	Grande ou pequeno	Desprezar o material retido
19,1	<10	Grande	Desprezar o material retido
19,1	>10	Grande	Passar o material retido na peneira de 19,1 mm através da peneira de 76,2 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na peneira de 19,1 mm e que passe na peneira de 76,2 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na peneira de 19,1 mm
19,1	>30	-	Recomenda-se não ensaiar de acordo com o método de compactação de solos

Fonte: NBR 6457/86

Assim, foi substituído o material retido na peneira de 19,1 mm e que passou na peneira de 76,2 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passou na peneira de 19,1 mm. No ensaio utilizou-se de um cilindro grande, precisando de uma quantidade de amostra de 7Kg, conforme o Quadro 5:

Quadro 5 - Quantidade de amostra a ser tomada.

Ensaio de compactação	A amostra preparada passa integralmente na peneira (mm)	Cilindro a ser tomado	Quantidade de amostra a ser tomada (kg)
Com reuso de material	4,8	Pequeno Grande	3 7
	19,1	Grande	7
Sem reuso de material	4,8	Pequeno Grande	15 35
	19,1	Grande	35

Fonte: NBR 6457/86

Foram executados dois procedimentos do ensaio de compactação utilizando-se um soquete grande, sendo um com a energia de compactação normal, aplicando-se 12 golpes por camada e outro com a energia de compactação intermediária, efetuando 26 golpes por camada, seguindo a Tabela 1:

Tabela 1 - Energias de Compactação

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		NORMAL	INTERMEDIÁRIA	MODIFICADA
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,65	63,65	63,65

Fonte: Adaptada da ABNT-NBR 7182/16

Ambos os ensaios de compactação foram realizados consoante com a norma NBR 7182/16.

Figura 21 - Preparação da amostra para compactação



Fonte: Autoral, 2024.

Figura 22 - Moldagem do corpo cilíndrico



Fonte: Autoral, 2024.

3.7 ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA – CBR

O ensaio conhecido como Índice de Suporte de Califórnia, ou Califórnia Bering Ratio (CBR) na terminologia inglesa, é o principal método empregado para avaliar a resistência do solo no dimensionamento de pavimentos segundo o DNER (1981). Esse ensaio visa medir a resistência à penetração do solo, utilizando um pistão padronizado de 20 centímetros quadrados de área, em comparação com uma amostra de brita padrão, e examina a expansão da amostra com base na diferença de volume entre suas condições inicial e final.

No contexto do ensaio CBR, a comparação é feita entre a resistência do solo em questão e a resistência de uma amostra de brita padrão. A justificativa para essa comparação é que a brita padrão serve como um material de referência, possuindo características de resistência e comportamento sob carga bem definidas. Dessa forma, ao avaliar a resistência do solo em relação a essa amostra de brita, consegue-se verificar se o solo possui uma capacidade de suporte suficiente para lidar com o tráfego e as cargas esperadas.

Esse ensaio foi realizado conforme a norma NBR 9895/16, onde são descritos o processo de execução, moldagem e interpretação dos resultados.

Uma amostra de 7 kg foi submetida a uma peneira de 19 mm. O material retido na peneira de 19 mm, foi substituído pela mesma quantidade do material que passava na mesma peneira e foi retido na de 4,8 mm. O material foi compactado em um molde específico em cinco camadas iguais, com cada camada recebendo 26 golpes, distribuídos uniformemente. Após a compactação, o material foi nivelado com uma régua biselada, e o peso do material úmido compactado ($P'h$) foi determinado.

Duas amostras representativas foram retiradas para a determinação do teor de umidade, sendo pesadas e colocadas em uma estufa a 105°C ~ 110°C após 24h, realizaram-se as pesagens. O corpo de prova moldado foi utilizado para os ensaios de penetração e expansão, sendo imersos por 96 horas, com a fixação de uma haste de expansão e pesos anelares, contendo um extensômetro fixado na borda superior do cilindro para medir a expansão ocorrida durante o ensaio.

Após a imersão, o corpo de prova foi retirado e deixado secar por 15 minutos antes de serem levados ao prato da prensa. O assentamento do pistão de penetração sobre o solo foi realizado aplicando uma carga aproximada de 45 N, controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico, que foi zerado com o medidor de penetração do pistão.

Figura 23 - Moldagem do corpo cilíndrico



Figura 24 - Imersão do corpo cilíndrico



Fonte: Autoral, 2024

Figura 25 - Secagem do corpo cilíndrico



Fonte: Autoral, 2024

Figura 26 - Corpo cilíndrico na prensa



Fonte: Autoral, 2024

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TEOR DE UMIDADE

Para cada determinação, a umidade do solo foi calculada por meio da razão entre o peso da água (P_w) e o peso do solo seco (P_s), expresso em termos percentuais. Assim, a umidade (%) do solo foi estimada a partir da média dos valores calculados, conforme o Quadro 6:

Quadro 6 - Dados amostrais ensaio de teor de umidade

TEOR DE UMIDADE				
CÁPSULA N°		01	02	03
PESOS	CÁPSULA+SOLO+ÁGUA	39,12	39,20	38,44
	CÁPSULA+SOLO	37,37	37,33	36,66
	CÁPSULA	9,12	8,20	8,53
	ÁGUA (P_w)	1,75	1,87	1,78
	SOLO SECO (P_s)	28,25	29,13	28,13
UMIDADE (%)		6,19	6,42	6,33
UMIDADE MÉDIA (%)		6,31		

Fonte: Autoral, 2024

- O teor de umidade influencia nas características de compactação do solo.

Segundo AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), a presença de umidade ideal é necessária para maximizar a densidade do solo durante o processo de compactação. Um solo com teor de umidade inadequado pode dificultar a compactação, levando a uma menor resistência e a um aumento da deformabilidade.

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

4.2.1 LIMITE DE LIQUIDEZ

As informações obtidas ao longo do ensaio foram compiladas para estudo, de acordo com Quadro 7:

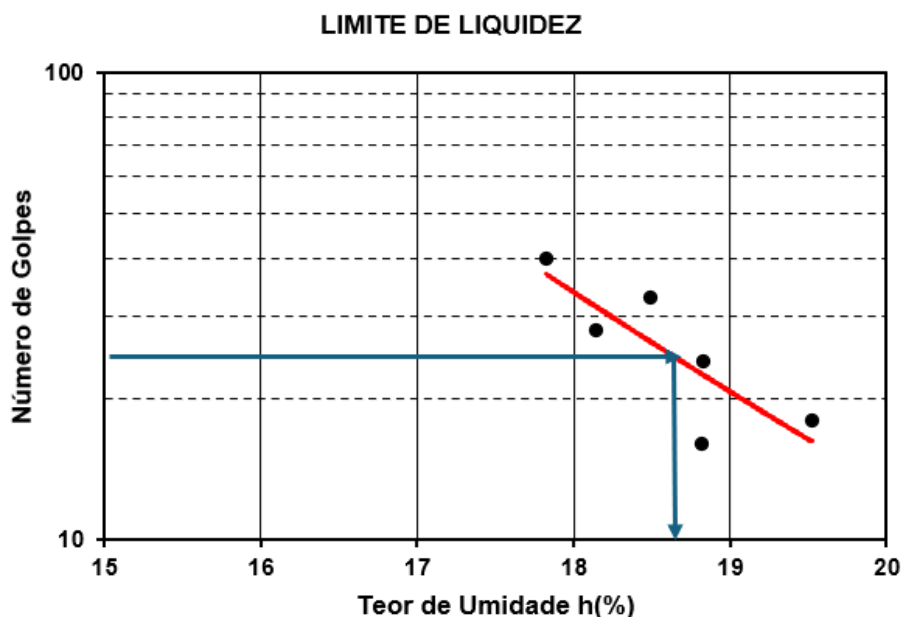
Quadro 7 - Dados amostrais ensaio de liquidez

LIMITE DE LIQUIDEZ							
		Procedimento 1		Procedimento 2		Procedimento 3	
CÁPSULA N°		Cap-1	Cap-2	Cap-3	Cap-4	Cap-5	Cap-6
PESOS	CÁPSULA+SOLO+ÁGUA (g)	15,10	11,89	13,67	11,98	13,24	12,34
	CÁPSULA+SOLO (g)	14,08	10,99	12,83	11,24	12,43	11,47
	CÁPSULA (g)	8,66	6,38	8,37	7,16	8,05	6,59
	ÁGUA (g)	1,02	0,90	0,84	0,74	0,81	0,87
	SOLO SECO (g)	5,42	4,61	4,46	4,08	4,38	4,88
UMIDADE (%)		18,82	19,52	18,83	18,14	18,49	17,83
TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%)		18,61					
GOLPES		16	18	24	28	33	40

Fonte: Autoral, 2024

Posteriormente, para se obter o limite de liquidez um gráfico foi construído, e o LL do solo foi quantificado para a umidade correspondente a 25 golpes, obtido com base na reta ajustada, no caso 18,8%, conforme o Gráfico 3:

Gráfico 3 - Limite de liquidez



Fonte: Autoral, 2024

4.2.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

Os dados obtidos durante o ensaio foram registrados para análise, segundo o Quadro 8:

Quadro 8 - Dados amostrais ensaio de plasticidade

LIMITE DE PLASTICIDADE							
CÁPSULA N°		Cap-1	Cap-2	Cap-3	Cap-4	Cap-5	Cap-6
PESOS	CÁPSULA+SOLO+ÁGUA (g)	10,90	11,97	10,07	9,69	10,61	11,20
	CÁPSULA+SOLO (g)	10,64	11,62	9,73	9,43	10,34	10,88
	CÁPSULA (g)	8,31	9,00	7,06	7,16	7,89	8,39
	ÁGUA (g)	0,26	0,35	0,34	0,26	0,27	0,32
	SOLO SECO (g)	2,33	2,62	2,67	2,27	2,45	2,49
UMIDADE %		11,16	13,36	12,73	11,45	11,02	12,85
TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%)		12,10					

Fonte: Autoral, 2024

O limite de plasticidade foi obtido a partir do arredondamento para o número inteiro mais próximo da média das umidades. Contudo, é importante mencionar que os valores de umidade utilizados não devem diferir de 5% da respectiva média. Assim, verificou-se que cada valor de umidade atende a esse requisito.

É primordial destacar que, à medida que o solo continua a perder umidade, o

solo propende a se desmanchar rapidamente quando submetido a qualquer tipo de manuseio, comprovando seu verdadeiro estado “semi-sólido”. Desse modo, uma importante propriedade dos solos que representa a sua capacidade de apresentar comportamento plástico em resposta a variações de umidade é o Índice de Plasticidade (IP), dado pela diferença entre a diferença entre o LL e o LP.

Quadro 9 - Dados resumo LL, LP, IP

RESUMO DOS RESULTADOS	
LL (%)	18,8
LP (%)	12,00
IP (%)	6,8

Fonte: Autoral, 2024

De acordo com Jenkins (CAPUTO, 2015), os solos podem ser categorizados de acordo com sua plasticidade da seguinte forma:

- Fracamente plásticos, quando $1 < IP \leq 7$
- Mediamente plásticos, quando $7 < IP \leq 15$
- Altamente plásticos, quando $IP > 15$

O IP ajuda na classificação dos solos, permitindo diferenciá-los em relação à sua capacidade de deformação sob carga e seu comportamento em situações de umidade variável, o IP do material analisado conforme Jenkins se qualifica como fracamente plástico.

Sua característica de comportamento ao revelar se o solo é mais plástico ou menos plástico, influência na sua expansão, isto é, solos com alto índice de plasticidade tendem a ser mais expansivos e apresentam maior variação de volume com a mudança de umidade, enquanto solos com baixo índice de plasticidade são menos suscetíveis a essas variações.

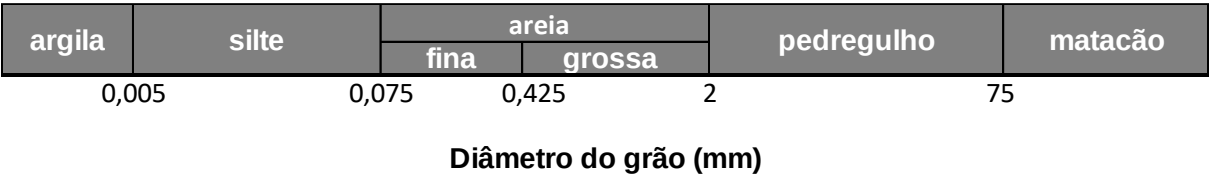
4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Com a finalidade de organizar as partículas em grupos de acordo com suas dimensões (frações do solo) e determinar a proporção de cada um em relação ao peso total da amostra, este procedimento é vital para a classificação dos solos.

A maioria dos sistemas de classificação de solo categoriza as partículas sólidas em diferentes tipos: matacão, pedra, pedregulho, areia, silte e argila. De acordo com parâmetros da AASHTO, adotado neste trabalho, as partículas menores

que 0,075 mm são classificadas como siltes ou argilas, enquanto aquelas maiores que 0,075 mm e menores de 2,0 mm são identificados como areia, partículas maiores que 2 mm e menores que 75 mm são denominadas pedregulhos, e qualquer partícula maior que 75 mm é considerado pedra ou matacão, como mostrado na Figura 27:

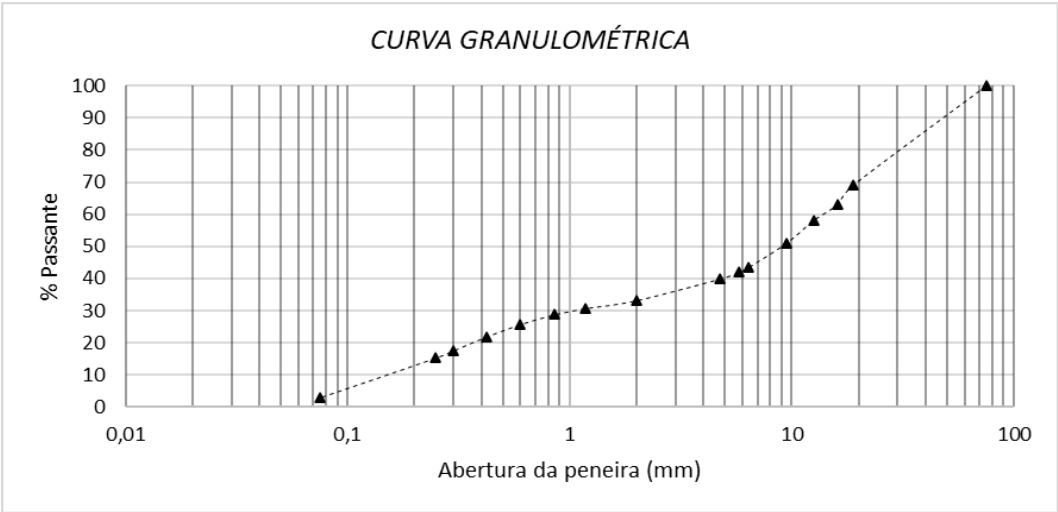
Figura 27 - Classificação conforme frações do solo AASHTO



Fonte: Adaptado de Marinho, 2020.

Com isso, é possível analisar a granulometria do material coletado através da curva gerada no Gráfico 4:

Gráfico 4 - Curva granulométrica



Fonte: Autoral, 2024

Após observar o comportamento das frações de solo desse material, foram extraídos os seguintes indicadores, conforme o Quadro 10:

Quadro 10 - Categorização das partículas do solo conforme AASHTO

CATEGORIZAÇÃO DAS PARTICULAS		
Granulometria (%)	Pedregulho ($\varnothing > 2,00$ mm)	66,7
	Areia ($0,075 < \varnothing < 2,00$ mm)	30,3
	Finos (argilas + siltes) $< 0,075$ mm	3,0

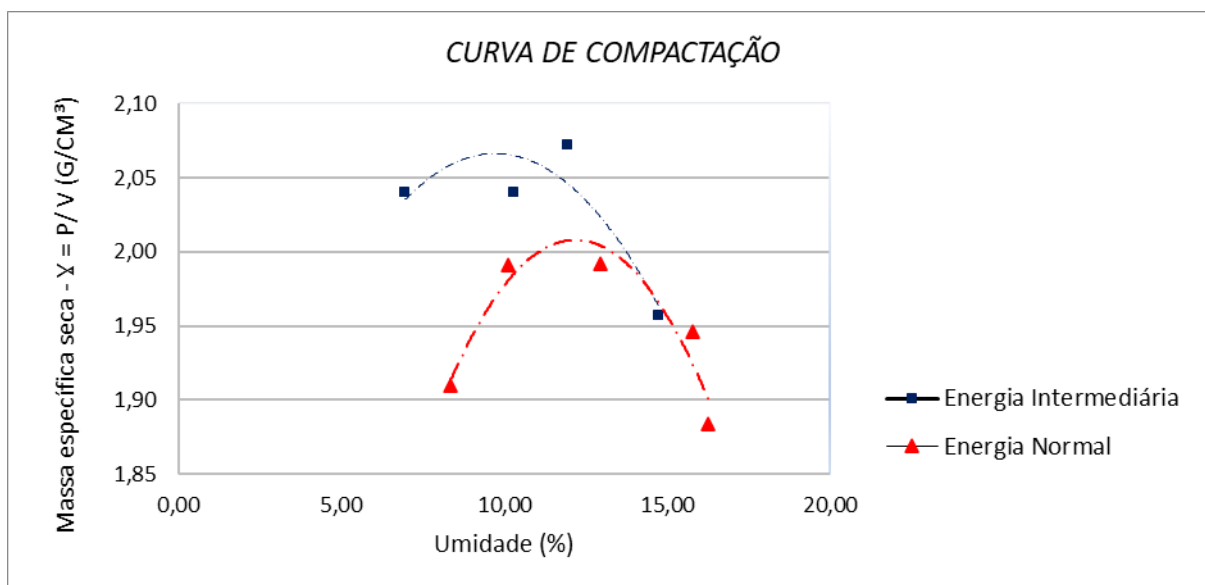
Fonte: Autoral, 2024

4.4 COMPACTAÇÃO

Assim como o conhecimento sobre a consistência do solo e a granulometria, os parâmetros de compactação são vitais para garantir a construção e a qualidade técnica das estradas. Durante esse processo, as partículas do solo se aproximam, elevando a densidade do solo ao reduzir o volume de ar, enquanto o volume de água permanece constante (Road Research Laboratory, 1951; Craig, 1980).

Os resultados obtidos indicam que a curva resultante apresenta um comportamento característico, evidenciado pela presença de um ponto máximo correspondente à umidade ótima. Esse ponto é crucial, pois determina a umidade em que materiais granulares, como solo ou agregados, conseguem atingir a máxima densidade durante o processo de compactação.

Gráfico 5 - Curva de compactação



Fonte: Autoral, 2024.

Ao analisar o gráfico é possível observar, que ao se aplicar o método de Proctor normal (que envolve uma quantidade mínima de energia de compactação, dentre as três energias tradicionalmente aplicadas), o solo atinge sua máxima densidade quando está com 12% de umidade. Nesse nível, o solo é capaz de ser compactado de forma eficiente, garantindo boa resistência e estabilidade.

Já com a aplicação da energia de compactação intermediária a umidade ótima resulta em um valor mais baixa, isto é $w(\%) = 9\%$. Isso alinha-se com o resultado esperado, um aumento no nível de energia aplicada, o solo se comporta de forma diferente, atingindo a máxima densidade com um teor de água menor.

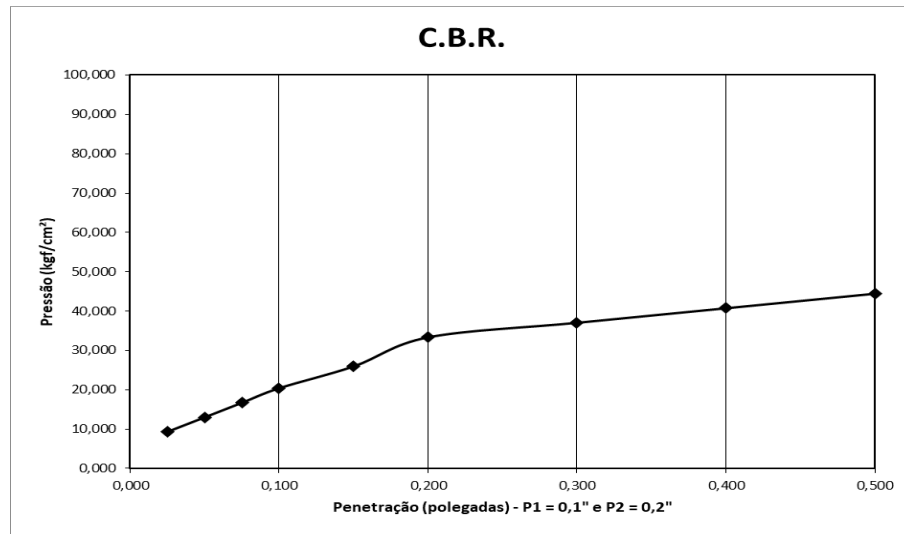
Em resumo, a diferença nas umidades ótimas em relação aos diferentes níveis aplicados de energia mostra como a compactação de um solo pode ser influenciada pelo método e pela intensidade do esforço de compactação.

4.5 ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA – CBR

O ensaio de CBR do solo foi realizado conforme o item 3.7 da metodologia, utilizando como referência a massa específica seca aparente máxima e o teor de umidade ótima do ensaio de compactação com a energia intermediária. O Gráfico 6 apresenta a relação entre a pressão e a penetração obtida.

A opção pela aplicação da energia intermediária reflete a preocupação de se executar camadas de revestimento primário considerando a possibilidade de futuras soluções de pavimentação que venham a incorporar a camada de revestimento com camada de sub-base.

Gráfico 6 - CBR do solo



Fonte: Autoral, 2024.

A determinação do CBR é feita ao analisar a pressão registrada durante a penetração em 0,100 e 0,200 polegadas, sendo que o valor do CBR considerado é o maior, como ilustrado no Quadro 11:

Quadro 11 - Resultados ensaio CBR

Penetração(pol)	Penetração(mm)	CBR (%)	CBR do solo (%)	Expansão (%)
0,100	2,540	17,14	38,10	0,80
0,200	5,080	38,10		

Fonte: Autoral, 2024.

De acordo com as condições específicas de materiais da norma DNIT 445/2023, o CBR deve apresentar as seguintes características, $CBR \geq 20 \%$ e $expansão \leq 1 \%$, na energia intermediária ou naquela especificada em projeto. Logo, o solo analisado cumpre esse requisito, apresentando um CBR de 38% e uma expansão de 0,8%.

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006), através do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, define as características que cada camada possui para servir como material na construção de pavimentos rodoviários. O quadro abaixo, resume as características relacionadas ao CBR e a expansão do solo.

Quadro 12 - Especificações do uso dos materiais utilizados em pavimentação

Camada	CBR (%)	Expansão (%)
Subleito	≥ 2	≤ 2
Reforço do subleito	> que o do subleito	≤ 1
Sub-base	≥ 20	≤ 1
Base	≥ 80 para $N > 5 \times 10^6$ e ≥ 60 para $N \leq 5 \times 10^6$	$\leq 0,5$
(N): número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido		

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Segundo os valores de CBR e expansão alcançados para o material estudado, conclui-se que este solo pode ser utilizado como reforço do subleito ou sub-base.

4.6 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO CONFORME A HRB/AASHO E CONSIDERAÇÕES DA NORMA DNIT 445/2023-ES

A Classificação do HRB (Highway Research Board- Conselho de Pesquisa Rodoviária) pela AASHO é utilizada na análise de solos para fins rodoviários. Os resultados obtidos através dos cálculos que levam à classificação final neste sistema são estimativas arbitrárias, otimizadas para solos em climas temperados. Esses dados refletem a capacidade de suporte do material e estão relacionados ao CBR (Índice de Suporte Califórnia) do solo.

Para classificar os solos conforme essa abordagem, é necessário conduzir ensaios que avaliem Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Análise Granulométrica e Índice de Grupo (IG), que é obtido a partir desses três ensaios. A classificação distingue entre materiais granulares e materiais siltosos e argilosos, onde os granulares têm até 35% que passam na malha nº 200 e os outros têm mais de 35%. Além disso, o sistema HRB divide os solos em 7 grupos, de A-1 a A-7, sendo que os grupos A-1, A-2 e A-7 têm subdivisões específicas. Essa metodologia também descreve os materiais predominantes e o comportamento geral dos solos como subleito, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação HRB-AASHO

Classificação Geral	Materiais Granulares 35% ou menos passando na peneira nº200							Materiais siltosos e argilosos mais de 35% passando na peneira nº200			
Grupo	A1		A-3	A2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub grupo	A1a	A1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Granulometria (% passante):											
nº 10	≤ 50										
nº 40	≤ 30	≤ 50	> 51								
nº 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 36	>36	>36	> 36
Características da fração passante da peneira nº 40:											
LL %				< 40	> 41	< 40	> 41	< 40	> 41	< 40	> 41
IP %	< 6		NP	< 10	< 10	> 11	> 11	< 10	< 10	< 10	> 11
Índice de Grupo (IG)	0		0	0	0	< 4		< 8	< 12	< 16	< 20
Materiais que predominam	Fragmento de pedra, pedregulho fino e areia		Areia fina	Pedregulho e areia siltosos e argilosos				Solos Siltosos		Solos Argilosos	
Comportamento geral do subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: Adaptado de Manual de Técnicas de Pavimentação

Através da verificação da tabela, constata-se que o solo estudado foi classificado como material granular, pois conforme a análise granulométrica realizada, ele apresentou um percentual passante na peneira de número 200, inferior a 35%, significando que majoritariamente o material é composto por grãos maiores.

Além disso, o solo foi classificado no grupo A-2 e no subgrupo A-2-4, uma vez que o LL apresentado é de 18,8%, evidenciando que se encontra abaixo de 40%. E o índice de plasticidade IP, por sua vez, é de 6,8%, sendo este valor menor do que 10%, indicando que o solo não apresenta comportamento plástico significativo, corroborando o argumento de Jenkins (CAPUTO, 2015).

Tais características ainda indicam uma mistura composta de pedregulhos, areias siltosas e argilosas, considerando um comportamento geral do subleito excelente a bom.

Conforme o parâmetro de material especificado no item g) da NORMA DNIT 445/2023 – ES, não há necessidade de realizar a verificação desse solo pela metodologia MCT, pois com a classificação HRB-AASHO, o solo que foi analisado não se enquadra na categoria de solo fino.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender e garantir a qualidade nos materiais utilizados na execução de estradas vicinais é uma questão fundamental para a segurança dos usuários e a durabilidade da infraestrutura viária. O presente estudo abordou a caracterização de um solo obtido de uma jazida no município de Teresina/PI, com foco na verificação da necessidade de classificação segundo a metodologia MCT, conforme estipulado pela norma DNIT 445/2023 – ES.

Os ensaios realizados indicaram que o material em análise, classifica-se como granular conforme a tabela 2, uma vez que a fração passante na peneira número 200 é inferior a 35%. O Limite de Liquidez observado foi de 18,8% e o Índice de Plasticidade de 6,8%, os quais reforçam a baixa plasticidade do solo. Como o material não se enquadra na categoria de solo fino, conforme as diretrizes do item g) da norma, o solo da jazida estudada não necessitaria, uma eventual aplicação como revestimento primário, de ser submetido à classificação pela metodologia MCT, o que simplifica o processo de utilização do material na execução de vias em leitos naturais.

Também é importante mencionar que as estradas revestidas com esse material estão aptas para uma futura pavimentação asfáltica, já que as especificações do material se adequam para camada de sub-base conforme quadro 12, apresentado nos resultados deste trabalho.

Em resumo, os resultados obtidos demonstram que o solo analisado pode ser explorado para a aplicação em revestimentos primários, apresentando condições adequadas que não implicam na necessidade de procedimentos adicionais de caracterização.

A partir dessa explanação recomenda-se para trabalhos futuros:

- Avaliar se a metodologia MCT deve ser aplicada nas demais jazidas utilizáveis para revestimento primário.
- Estudo comparativo sobre a caracterização dos materiais das várias jazidas disponíveis para revestimento primário no município de Teresina/PI.

REFERÊNCIAS

ABNT. *NBR 6457 – Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. 2016.

ABNT. *NBR 7180 – Solo - Determinação do limite de plasticidade*. 2016.

ABNT. *NBR 7181 – Solo - Análise Granulométrica - Método de Ensaio*. 2016.

ABNT. *NBR6459 – Solo - Determinação do limite de liquidez*. 2016.

ALBUQUERQUE, Fernando Silva. **Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. 2007.

ALMEIDA, Ricardo Venescau de Oliveira. **O que são Estradas Vicinais e qual a sua importância?** 2019. Disponível em: <https://www.inbec.com.br/blog/o-que-sao-estradas-vicinais-qual-sua-importancia>. Acessado em: 06 de maio. 2024.

American Association of State Highwaz and Transportation Officials - AASHTO. **Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures**. 17th edition. 2002. 740p.

ARAÚJO, CBC de; DANTAS NETO, S. A. Caracterização de solos lateríticos para utilização em pavimentos de baixo custo na cidade de Canindé/CE. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA**. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7182. Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados – Amostragem. NBR NM 26:2009**. São Paulo: ABNT, nov, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAMIGBOYE, G. O. et al. **Waste materials in highway applications: An overview on generation and utilization implications on sustainability**. Journal of Cleaner Production, v. 283, p. 124581, fev. 2021.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani; BALDUZZI, Franco. **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego**. 1995.

BRASIL. Confederação Nacional de Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2020: relatório gerencial**. Brasília, CNT: SEST: SENAT, 2020.

BRASIL. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Manual de Conservação Rodoviária.** Rio de Janeiro, IPR 710, 2005.

BRINA, Hélycio Lapertosa. **Estrada de Ferro.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1988.

BUSATO, Fernanda Costa de Lima, MENEGUELLI, Marcelo Ricardo Soares, SARTÓRIO, Elvio Antônio. **Estudos sobre o uso de coproduto de lastro ferroviário para camada de revestimento primário em estradas não pavimentadas. 2023. 25p.** Projeto Multidisciplinar - Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Infraestrutura Urbana - Instituto Federal do Espírito Santo. Vitória, 2023.

CARVALHO, Renato Bruno de Oliveira. **Estudo de viabilidade técnica para utilização do rejeito de lastro ferroviário para camada de revestimento primário.** Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Engenharia de Infraestrutura Urbana, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020. CNT – Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa CNT de rodovias 2023. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2023.

COSTA, R. C. et al. **Avaliação da contaminação de lastro ferroviário.** In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 28, 2014. Anais [...]. Rio de Janeiro: ANPET, 2014. p. 1-12.

COZZOLINO, V. M. N.; NOGAMI, J. S. Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais. **Solos e Rochas**, São Paulo, n. 16, p.77-91, 1993

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DA BAHIA – DER/BA. **Especificação Técnica ES-T-08/01 – Revestimento Primário.** Bahia, 2001.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO - DER. **DER/SP-ET-DE-P00/014.** Sub-base ou base estabilizada granulometricamente. São Paulo, 2006. 23p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER/SP. **Especificação Técnica ET-DE-P00/013 – Revestimento Primário.** São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ – DER/PR. **Terraplenagem: Revestimento Primário – DER/PR ES-T 07/18.** Paraná, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 122/94:** Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 041/94:** Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 054/97**: Equivalente de areia. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 080/94**: Solos – análise granulométrica por peneiramento. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 081/98**: Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 082/94**: Solos – determinação do limite de plasticidade. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-PRO 003/94**: Coletas de amostras deformadas de solos. Norma Rodoviária. Ministério dos Transportes, 1994a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação-Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Conservação Rodoviária**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 564p. (IPR. Publ. 710)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT-ES. 164-ME**: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 7p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT-ES. 172-ME**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016, 17p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual para atividades ambientais rodoviárias**. 1 ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de conservação rodoviária**. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Publicação IPR – 710, 2. ed., Rio de Janeiro, 2005. 568p.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT-ME 445**: Terraplenagem – Revestimento primário – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

(DNIT). **DNIT-ES 141:** Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

FATTORI, Bernardo José. **Manual para manutenção de estradas com revestimento primário.** 2007.

FERNANDES, Ana Carolina Medinas. **Pavimentos para estradas de baixo tráfego.** 2016. Tese de Doutorado.

KELLER, G.; SHERAR, J. **Low-Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide.** Washington: US Agency For International Development (USAID), 2003.

KORMANN, A. C. M. **Ensaio de compactação e caracterização. Apostila de Laboratório de Mecânica dos Solos.** Curitiba: UFPR, 1997.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos.** Oficina de textos, 2016.

Luiz Carlos Galvani Júnior et al. **CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DE POSSÍVEIS JAZIDAS DE SOLO PARA USO EM RODOVIAS NÃO PAVIMENTADAS EM RIO PARANAÍBA -MG.** In: ANAIS DO XX MASSAD, F. OBRAS DE TERRA: CURSO BÁSICO DE GEOTECNIA. 2ª edição. Oficina de Texto. 203 p., 2010.

MONTEIRO, D. T. **Influência da rigidez vertical no comportamento mecânico e dimensionamento da via permanente ferroviária.** 2015. 124p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

NERVIS, L. O. N.; BITTENCOURT, B. K. **Influência do Abaulamento de Pista na Ocorrência de Patologias em Vias Não Pavimentadas.** Artigo científico, 2012. In: VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2012, Recife.

NERVIS, L. O. **Proposta de metodologia simplificada para o dimensionamento de pavimentos com revestimento primário.** TRANSPORTES, [S. l.], v. 26, n. 1, p. 108– 129, 2018.

NERVIS, Leandro Olivio. **Estudo de revestimento primário para utilização em estradas vicinais da região de Santana do Livramento-RS.** 2010.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos.** São Paulo: Villibor, 1995.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Fadul. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** 1995.

PENA, Ana Lucia C. Cordeiro. **Notas de aula da Disciplina de Mecânica dos Solos I.** Belo Horizonte: PUC-MG.

PERAÇA, Vinicius. **Qualificando Solos para Revestimentos Primários de Rodovias: uma abordagem baseada nas mecânicas dos solos e dos**

pavimentos. 2007. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil na Modalidade Acadêmico, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

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

SANTOS E. F. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, Alvaro Rodrigues *et al.* **Estradas Vicinais de Terra:** Manual técnico para conservação e recuperação. 3. ed. São Paulo: IPT, 2019.

SGAVIOLI, F., BERNUCCI, F., MOTTA, R. MOURA, E., COSTA, R. C. **Análise do custo do ciclo de vida do lastro ferroviário na estrada de ferro Vitória Minas.** Revista Transportes. 2015, v.23, nº 4, p. 5-12.

SILVA, B. E. P. **Utilização do lastro ferroviário degradado como material de pavimentação.** 2015. 126p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2015.

TCE – PI. **TCE-PI adotará normativo do DNIT sobre estradas vicinais como critério de auditoria.** 2024. Disponível em: <https://www.tcepi.tc.br/tce-pi-adotara-normativo-do-dnit-sobre-estradas-vicinais-como-criterio-de-auditoria/#:~:text=A%20Norma%20DNIT%20445%2F2023,na%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20recursos%20p%C3%ABlicos>. Acessado em: 06 de maio. 2024.