UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DO SOLO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB

RYAN DE MOURA TEIXEIRA

POMBAL – PB
2024

RYAN DE MOURA TEIXEIRA

ESTUDO DO SOLO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof.(a) Dra. Suelen Silva Figueiredo Andrade

POMBAL – PB

2024

T266e Teixeira, Ryan de Moura.
Estudo do solo para uso em pavimentação no município de Pombal-PB / Ryan de Moura Teixeira. – Pombal, 2024.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2024.
"Orientação: Profa. Dra. Suelen Silva Figueiredo Andrade."
Referências.

1. Pavimentação. 2. Caracterização do solo. 3. Ensaios geotécnicos. 4. Índice de Suporte Califórnia (ISC) I. Andrade, Suelen Silva Figueiredo. II. Título.

CDU 635.8(043)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Auxiliadora Costa (CRB 15/716)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

RYAN DE MOURA TEIXEIRA

ESTUDO DO SOLO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB

Trabalho de Conclusão de Curso do discente RYAN DE MOURA TEIXEIRA **APROVADO** em 01 de Novembro de 2024 ano pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.

gov.br Documento assinado digitalmente
SUELEN SILVA FIGUEIREDO ANDRADE
Data: 05/11/2024 16:53:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Drª. Suelen Silva Figueiredo Andrade
(Orientador – UFCG)

gov.br Documento assinado digitalmente
JOSE ROBERTO BEZERRA DA SILVA
Data: 05/11/2024 19:12:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. José Roberto Bezerra da Silva
(Membro Interno – UFCG)

gov.br Documento assinado digitalmente
RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO
Data: 05/11/2024 16:55:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ms. Raquel Ferreira do Nascimento
(Membro Externo – Engenheira Civil)

Dedico este trabalho à minha tia Zoneide Macêdo, que desde a minha infância tem sido minha maior referência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui, concluindo esta etapa tão importante da minha vida. Aos meus pais, Ray e José Filho, pela dedicação e apoio incondicional desde o início, e aos meus irmãos, Rayane e Raylan, por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

À minha tia Zoneide, que não apenas me inspirou, mas também me deu todo o suporte necessário ao longo dessa jornada, sempre me incentivando a seguir pelo caminho dos estudos e a acreditar no meu potencial.

À minha orientadora, Prof. Dra. Suelen Figueiredo, que aceitou o desafio de me orientar, e com paciência e sabedoria, me guiou durante todo o processo, contribuindo imensamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. José Roberto, cujo apoio foi fundamental aolongo desta jornada, e merece minha profunda admiração.

À minha amiga Rhadja Nóbrega, que esteve presente desde o início da graduação, acreditando em mim e me apoiando em cada desafio, sendo uma presença constante e essencial ao longo dessa trajetória.

Agradeço também aos amigos que caminharam comigo desde o começo da graduação, Ana Carolline, João Pedro, Bruno Brito, Ellen, João Lucas, e tantos outros que contribuíram para que eu chegasse até aqui. Cada um de vocês fez parte dessa jornada, e sou grato por todas as experiências compartilhadas.

À minha prima Lanna, por estar sempre presente, me acalmando nos momentos mais difíceis e me ajudando a seguir em frente.

Por fim, agradeço à Alecia, que foi essencial para mim durante esse processo, oferecendo apoio nos momentos em que mais precisei.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui, meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

Este estudo avalia a viabilidade do solo como material para camadas de pavimento no município de Pombal-PB, com o foco em analisar suas propriedades físicas e mecânicas para aplicação em subleito, sub-base e base. A pesquisa se justifica pela importância das rodovias para o desenvolvimento econômico e pela necessidade de materiais que atendam às exigências técnicas e durabilidade, especialmente em locais com tráfego intenso. O trabalho de pesquisa teve como objetivo caracterizar quatro amostras de solo de regiões distintas da cidade de Pombal - PB, visando avaliar seu potencial para aplicação nas camadas de pavimentação. Para isso, foram realizados ensaios de caracterização como granulometria, compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC), as amostras de solo foram coletadas em pontos estratégicos da cidade. A análise granulométrica revelou que, em geral, as amostras apresentaram uma predominância de pedregulho e areia. As amostras não apresentaram limites de liquidez e de plasticidade, sugerindo maior estabilidade do solo sob variações de umidade. A classificação AASHTO revelou que as amostras de solo foram predominantemente identificadas como duas do tipo A-1-a, uma do tipo A-1-b e uma do tipo A-2-4, indicando boas propriedades para uso em bases e sub-bases de pavimentos. Os resultados dos ensaios de compactação mostraram umidade ótima variando de 10% a 12,6% e densidades específicas entre 2,005 g/cm³ e 2,236 g/cm³. Todos os solos analisados atenderam ao Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as camadas de subleito e sub-base, mas nenhum ISC adequado para a camada de base, evidenciando a necessidade de estabilização para utilização como camada de base. Conclui-se que o trabalho de pesquisa contribui para a compreensão das propriedades do solo de Pombal-PB. Os resultados ressaltam a importância de uma análise específica dos parâmetros geotécnicos e do planejamento na execução de projetos de pavimentação, oferecendo referência para futuros projetos e pesquisas na área.

Palavras-chave: Caracterização do solo. Ensaios Geotécnicos. Índice de Suporte Califórnia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimento Rígido 22
Figura 2 – Pavimento Flexível 22
Figura 3 – Pavimento Semirrígido 23
Figura 4 - Localização dos pontos de coleta do solo 31
Figura 5 – Fluxograma dos ensaios realizados 32
Figura 6 - Separação de amostras e secagem na estufa. 33
Figura 7 - Sequências de peneiras 34
Figura 8 - Pesagem da quantidade de solo retida em cada peneira 35
Figura 9 - Materiais utilizados e amostras de solo separadas 36
Figura 10 - Homogeneização da amostra 36
Figura 11 - Amostra no aparelho de Casagrande 37
Figura 12 - Moldagem do cilindro 38
Figura 13 - Preenchimento do material no cilindro 39
Figura 14 - Pesagem do conjunto cilindro-amostra úmida 39
Figura 15 - Extração de solo do cilindro 40
Figura 16 - Homogeneização da amostra de solo 42
Figura 17 - Compactação das camadas 43
Figura 18 - Corpo de prova submerso 44
Figura 19 - Rompimento do corpo de prova 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação AASHTO 26
Tabela 2 - Índice de Suporte Califórnia 51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica AM - 01 46
Gráfico 2 - Curva granulométrica AM - 02 46
Gráfico 3 - Curva granulométrica AM - 03 47
Gráfico 4 - Curva granulométrica AM - 04 47
Gráfico 5 – Curva de compactação AM-01 49
Gráfico 6 - Curva de compactação AM-02 49
Gráfico 7 - Curva de compactação AM-03 50
Gráfico 8 - Curva de compactação AM-04 50

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- AASHTO American Association State Highway and Transportation Officials
- AM-01 Amostra Um
- AM-02 Amostra Dois
- AM-03 Amostra Três
- AM-04 Amostra Quatro
- CBR California Bearing Ratio
- DNER Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DNIT Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transporte
- IG Índice de Grupo
- IP Índice de Plasticidade
- ISC Índice de Suporte Califórnia
- LL Limite de Liquidez
- LP Limite de Plasticidade
- W_{ot} Umidade ótima
- γg Massa específica dos grãos
- γs Massa específica aparente seca
- $\gamma_{s.max}$ Massa específica aparente seca máxima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **14**
1.1. Justificativa **15**
1.2. Objetivos **15**
1.2.1. Objetivo Geral ***15***
1.2.2. Objetivos Específicos ***15***
1.3. Escopo do Trabalho **16**
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **17**
2.1. Breve histórico da pavimentação **17**
2.1.1 Contexto histórico mundial ***17***
2.1.2 A pavimentação no Brasil ***19***
2.2 Classificação dos pavimentos **20**
2.2.1 Tipos de pavimentos ***20***
2.2.2 Classificação das camadas dos pavimentos ***23***
2.3 Classificação AASTHO **25**
2.4 Critérios para utilização de solos como base e sub-base de pavimentos **27**
2.4.1 Parâmetros para um solo naturalmente estabilizado ***27***
2.4.1.1 Granulometria 28
2.4.1.2 Limites de atteberg 28
2.4.1.3 Índice de Grupo (IG) 28
2.4.1.4 Compactação 29
2.4.1.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC) 29
3. MATERIAIS E MÉTODOS **31**
3.1 Materiais utilizados **31**
3.1.1 Área de estudo ***31***
3.2 Ensaios realizados **32**
3.2.1 Ensaio de granulometria por peneiramento ***33***
3.2.2 Ensaios para determinação dos limites de Atteberg ***35***
3.2.3 Ensaio de compactação ***38***
3.2.3 Índice de suporte califórnia (ISC) ***41***
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES **46**
4.1 Granulometria **46**
4.2 Classificação AASTHO **48**

4.3 Limites de atteberg 48
4.4 Compactação 48
4.5 Índice de suporte carlifórnia (ISC) 51
5. CONCLUSÕES 54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55

1. INTRODUÇÃO

Braga (2023) afirma que as rodovias são essenciais para o crescimento econômico e social porque permitem a circulação de pessoas, mercadorias e carros, fornecendo acesso a serviços em locais remotos. Portanto, investir em infraestrutura viária é investir no futuro do país, ao mesmo tempo em que promove a integração regional e melhora a qualidade de vida das pessoas.

Segundo Fontenelle (2014), uma das problemáticas dos pavimentos flexíveis no país é o não atendimento às exigências técnicas quanto a capacidade de suporte das camadas do pavimento e a qualidade dos materiais empregados. Além disso, a ausência de manutenção periódica é comum, o que resulta no surgimento de patologias que comprometem a malha rodoviária. Logo, avaliar as propriedades físicas e mecânicas do material é crucial para garantir a durabilidade dos pavimentos, especialmente em rodovias sujeitas a tráfego intenso.

O solo como componente estrutural de pavimentação na engenharia rodoviária é definido como qualquer material orgânico ou inorgânico, inconsolidado ou parcialmente cimentado, presente na superfície terrestre e que pode ser escavado com ferramentas como pá, picareta ou escavadeiras sem a necessidade de explosivos (DNIT, 2006). Destaca-se, dessa forma, que a seleção do solo deve ser feita avaliando suas propriedades físicas e mecânicas para garantir um desempenho adequado das vias. Isso ocorre porque o solo é um dos principais materiais construtivos e é usado como elemento estrutural para receber as cargas dos veículos.

De acordo com o DNIT (2006), os ensaios geotécnicos necessários para uma avaliação adequada das propriedades físicas e mecânicas do solo para uso em pavimentos incluem granulometria, compactação, limites de Atterberg e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Como resultado, esses ensaios são considerados padrões. Logo, é evidente que a realização de ensaios geotécnicos é essencial para garantir que o material escolhido não só cumpra com os requisitos técnicos, mas também apresente requisitos como a durabilidade e a segurança das vias pavimentadas.

Mediante a situação identificada, esse estudo visa realizar ensaios geotécnicos essenciais para o controle tecnológico do solo para uso em pavimentação. Assim, o objetivo desse trabalho de pesquisa é avaliar o solo para uso em pavimentação no município de Pombal - PB. Além disso, o estudo se concentrará nas características e no comportamento do

solo quando aplicado em várias camadas do pavimento, como base, sub-leito e sub-base. Esses ensaios, portanto, permitirão avaliar a adequação dos solos para essas aplicações.

1.1. Justificativa

Na cidade de Pombal - PB, a crescente demanda por infraestrutura viária de qualidade, motivada pelo aumento do fluxo de veículos e pelo desenvolvimento urbano e rural, exige uma análise aprofundada dos materiais locais que possam ser utilizados nas camadas de pavimento, tais como subleito, sub-base e base. A utilização de materiais locais, quando tecnicamente viáveis, oferece vantagens econômicas, pois reduz os custos com transporte de materiais de outras regiões e promove a valorização dos recursos naturais locais.

Este trabalho de pesquisa se justifica pela necessidade de identificar e caracterizar tecnicamente os solos da região, buscando determinar sua viabilidade como material de pavimentação. Dessa forma, ao realizar uma análise geotécnica do solo local, é possível avaliar sua adequação às normas e especificações técnicas exigidas para obras de pavimentação, garantindo que o material utilizado ofereça resistência e durabilidade ao pavimento, além de contribuir para a redução de custos na construção e manutenção de estradas. Assim, os resultados deste estudo poderão fornecer subsídios importantes para futuras obras de infraestrutura viária em Pombal e em regiões adjacentes, beneficiando o planejamento urbano em caráter social e econômico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Caracterizar o solo na cidade de Pombal -PB, visando avaliar seu potencial para aplicação nas camadas de pavimentação, com foco na viabilidade técnica e no atendimento às exigências de projetos de engenharia de pavimentos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar ensaios geotécnicos para caracterização do solo;

- Comparar as propriedades do solo local com os critérios técnicos estabelecidos para projetos de pavimentação, a fim de avaliar sua adequação para uso em camadas estruturais de pavimento;
- Identificar o potencial do solo analisado para utilização em diferentes camadas de pavimentação, considerando suas propriedades físicas e mecânicas;

1.3. Escopo do Trabalho

A estrutura do trabalho consiste em uma análise geotécnica do solo de Pombal - PB, com o objetivo de verificar sua adequação para uso nas camadas de pavimentação. O trabalho inclui uma revisão teórica sobre a pavimentação, classificação do solo pela Highway Research Bord (HRB/AASHTO) e critérios para uso de solos em camdadas de base e sub-base de pavimentos. Na parte experimental, foram realizados ensaios de granulometria, limites de Atteberg, compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC), cujos resultados foram analisados para determinar a viabilidade do solo em aplicações de pavimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Breve histórico da pavimentação

2.1.1 Contexto histórico mundial

A história da pavimentação no âmbito mundial remonta desde os povos da antiguidade, para Moura (2017, p.5) "Percorrer a história da pavimentação nos remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento". Nesse sentido o autor traz que a pavimentação perpassa todas as conquistas humanas, buscando sempre o desenvolvimento da sociedade. Tal como os pavimentos, a história é construída em camadas e as estradas muitas vezes tornam-se caminhos para o passado, pelo que são uma das primeiras atividades dos arqueólogos que exploram civilizações antigas.

O asfalto é um material versátil de grande importância para a sociedade, sendo utilizado desde o ano 3000 a.C. em diversas aplicações, como conter vazamentos em barragens, impermeabilizar estruturas e pavimentar estradas (Aguiar, 2012). Logo, é possível perceber que, desde os tempos primitivos, já se reconhecia a necessidade de aplicar técnicas para aprimorar as estradas, tornando-as mais transitáveis e facilitando o deslocamento de pessoas e o transporte de bens.

No Antigo Egito (2600-2400 a.C.) foi construída uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas, a qual não se destinou a veículos com rodas, destinados ao transporte de cargas mais pesadas. Nas construções das pirâmides, eram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. O atrito era amenizado com umedecimento constante com água, azeite ou musgo molhado. (Saunier, 1936).

De acordo com Bernucci. *Et al* (2006), na região do Oriente Médio, nos anos 600 a.C., foi construída a Estrada de Semíramis, a qual cruzava o rio Tigre e margeava o Eufrates, localizava – se entre as cidades da Babilônia e Ecbatana. No continente asiático (chamado de Ásia Menor), entre Iônia (Éfeso) do Império Grego e ao centro do Império Persa, Susa (no Irã de hoje), há registro da chamada Estrada Real (anos 500 a.C.), que era servida de postos de correio, pousadas e até pedágio, tendo mais de 2.000 km de extensão. À época de Alexandre, o Grande (anos 300 a.C.), havia a estrada de Susa até Persépolis (aproximadamente a 600 km

ao sul do que é hoje Teerã, capital do Irã), passando por um posto de pedágio, as Portas Persas, possibilitando o tráfego de veículos com rodas desde o nível do mar até 1.800 m de altitude.

Bittencourt (1958) registra algumas referências históricas a antigas estradas que serviam à Assíria (um reino na Mesopotâmia) e à Babilônia, bem como a antigas estradas na Índia e na China, mesmo aquelas consideradas meras rotas, e através da arqueologia, história, agricultura e linguagem. Dentre esses caminhos, a chamada Rota da Seda é uma das rotas comerciais mais antigas e populares e merece destaque. Tem um significado histórico importante devido à sua enorme influência nas culturas chinesa, indiana, asiática e ocidental. Está localizada na região que separa a China da Europa e da Ásia, perto do deserto de Taklimakan, um dos ambientes mais severos do planeta, rodeado pelo deserto de Gobi ao norte e pela maior cordilheira da China nos outros três extremos. Mundo, Himalaia, Karakoram, Montanhas Kunlun.

Os romanos, começando com Otaviano Augusto em 27 a.C., deslocaram os seus exércitos de centros estratégicos para os locais mais remotos. O seu objetivo militar era manter a ordem no vasto território do império, conseguindo assim um sistema forte com um elevado nível de tecnologia. Construção padrão. O sistema rodoviário romano existia antes da fundação do Império, embora tenha sofrido um desenvolvimento considerável desde então. Portanto, os romanos já conduziam de uma boa rede rodoviária, incluindo sistemas de planeamento e manutenção, datadas há mais de 2.000 anos. Após a queda do Império Romano (476 d.C.), e nos séculos que se seguiram, os novos estados europeus não conseguiram prestar mais atenção à construção e manutenção de estradas. (JONES, 1974; ASIMOV, 1967).

No Reino Unido, Mascarenhas Neto (1790) produziu um Tratado sobre Construção de Estradas baseado na sua experiência em Inglaterra, Escócia e França, bem como na sua própria experiência nas províncias portuguesas, que constituiu uma referência valiosa para o setor rodoviário. O autor sublinha a facilidade com que se encontravam cascalhos, tufos, calcários e areias à superfície ou nas minas de todas as províncias do reino naquela época, permitindo construir estradas em Portugal com custos inferiores aos de Inglaterra e França (NETO, 1790).

Na América Latina, é importante ressaltar que as estradas foram construídas pelos Incas, os quais habitaram o que hoje é conhecido como: Equador, Peru, norte do Chile, oeste da Bolívia e noroeste da Argentina. O alemão Alexander Von Humboldt, cientista e viajante que contribuiu com expedições científicas pela América do Sul em 1799 e 1804, descreveu as

estradas incas como “as mais úteis que a humanidade já fez e a maior obra de todos os tempos” (HUMBOLDT, 1814).

Os avanços mais significativos vieram com engenheiros europeus, como Pier-Maria Trésaguet e John Loudon Mac-Adam, que inovaram os critérios de pavimentação na França e na Escócia, respectivamente. Enquanto Trésaguet defendia a cravação de pedras na fundação para garantir estabilidade, Mac-Adam propôs a eliminação dessa prática, focando em camadas sobrepostas de pedras trituradas, criando o que hoje conhecemos como "macadame hidráulico". (BALBO, 2007)

2.1.2 A pavimentação no Brasil

A história da pavimentação no Brasil reflete as particularidades econômicas, sociais e geográficas do país. Segundo Sampaio (2016), o primeiro tipo de pavimentação que encontramos é conhecido como pavimento de paralelepípedos, também chamados de paralelas ou pé de moleque. Este tipo de pavimento é muito utilizado nos dias de hoje nas cidades do interior do país. O seu assentamento é dado sobre uma espessa camada de areia, com juntas entre as peças de 2 cm. Esse tipo de pavimentação começou a ser utilizado pelos portugueses a partir de 1600, afim de facilitar o transporte de ouro, e a locomoção no interior do país.

Durante o Império no Brasil (1822-1889), houve poucos avanços no setor de transportes, com destaque para o transporte rodoviário. No começo do século XX, o país possuía 500km de estradas feitas com macadame hidráulico ou variações, onde somente veículos puxados por animais podiam circular. O primeiro veículo de carga chegou ao Brasil, vindo da Europa, em 1896. Os primeiros carros particulares foram autorizados em 1903 e o Ministério da Viação e Obras foi previsto em 1906 (Prego, 2001).

A Rodovia Rio-São Paulo, com 506 km de comprimento, foi aberta em 1928 pelo presidente Washington Luiz, marcando uma nova era na política rodoviária federal. Em 1949, com a conclusão da construção de mais uma parte da BR-2, a estrada foi renomeada como Presidente Dutra. A Rio-Petrópolis também foi inaugurada em 1928 pelo presidente (Sampaio, 2016).

Foi nos anos de 1940 e 1950, que as rodovias brasileiras avançaram, através da criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN), sendo investido por impostos sobre combustíveis líquidos, nessa mesma época houve a criação da Petrobrás. Segundo Prego (2001), o ano de 1950 marca o início da implementação de pavimentos em larga escala e da formação de

grandes empresas de construção. No passado, apesar da presença do Laboratório Central do DNER, ainda não havia disposições para a utilização de tecnologias rodoviárias. Isso é tão verdadeiro que a pavimentação de Presidente Dutra, em 1950, foi realizada sem estudo geotécnico, com 35 cm de espessura constante, sendo 20 cm de base de macadame hidráulico e 15 cm de macadame betuminoso por profundidade dosada pela regra "a quantidade de ligante é a que o agregado pede" por Bernucci, Motta, Ceratti e Soares. Em certas partes, optou-se por utilizar pavimento de concreto feito de cimento Portland. No entanto, já se pode observar nesta obra a dedicação de alguns engenheiros na implementação de técnicas de design e supervisão.

De acordo com Sampaio (2016), nos anos 50, um plano de melhorias nas estradas vicinais foi criado, visando a abertura e aprimoramento de estradas no Nordeste, melhorando assim a difícil situação da região afetada por secas frequentes. A fábrica de produção de asfalto da Petrobras começou a operar em 1955 na Refinaria Presidente Bernardes, com capacidade para produzir 116.000 toneladas por ano. No ano de 1956, a fabricação de veículos começou a ser estabelecida no país. Mas foi durante o governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961), que o rodoviarismo foi fortemente incentivado, resultando na ampliação de estradas com pavimentações asfálticas no Brasil. Entre os 1958 e 1959, foi criado o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), vinculado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em parceria com o DNER, e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv).

A iniciativa de concessões no país teve início em 1996 e as estradas monetárias mostraram padrões superiores de qualidade em comparação com as estradas não financeiras, o que evidencia a capacidade tecnológica do país na construção de vias desenvolvidas e modernas para os motoristas. Em 2007, aproximadamente 9.500 km de estradas foram autorizados nas esferas federal, estadual e municipal. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte em 2018, a extensão da malha rodoviária concedida no país era de 22.079 km. (CNT, 2019).

2.2 Classificação dos pavimentos

2.2.1 Tipos de pavimentos

A palavra "pavimento" refere-se aos elementos estruturais nas vias públicas criadas para a circulação de veículos, pedestres, ciclistas e outros meios de transporte. Dentro desta situação, podemos descrever o pavimento como uma estrutura complexa feita de múltiplas camadas de espessura controlada, construída em cima de uma base de terraplenagem final. Esta construção é projetada com finalidade econômica e técnica de suportar de forma resistente as cargas causadas pelos veículos que circulam nela, não importando as condições climáticas. O piso desempenha uma função essencial ao oferecer melhorias significativas nas condições de transporte para os usuários das vias, ao mesmo tempo em que garante economia, conforto e segurança. Ele é desenvolvido para resistir às proteções do tráfego, preservando sua integridade diante de diferentes cargas, enquanto fornece uma superfície de rolamento que aumenta a eficiência e a segurança do tráfego. Assim, o pavimento vai além de ser apenas uma camada de asfalto; é uma infraestrutura complexa e estratégica essencial para o progresso das áreas urbanas e rurais (Silva e Carmo, 2023).

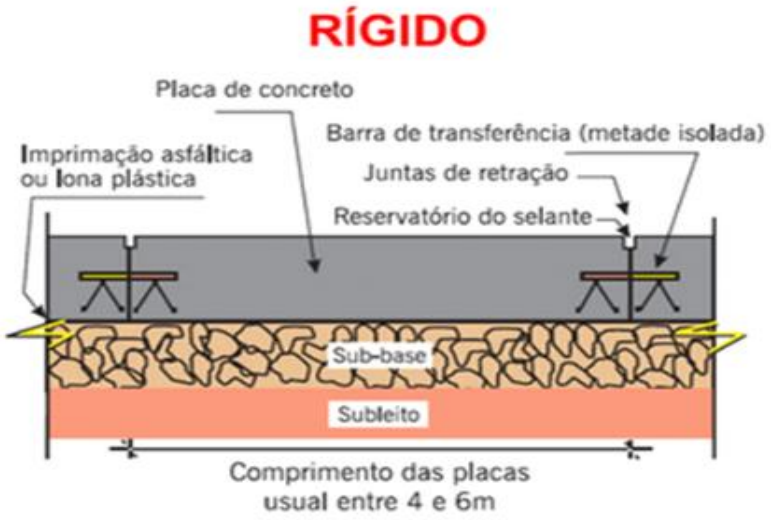
A partir do exposto acima, para Bernucci *et al.* (2006), pavimento é:

> [...] uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finas, construída sobre a superfície final da terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundo do tráfego dos veículos e do clima, e a propiciar ao usuário melhorias nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Segundo Miranda (2017), a classificação dos pavimentos geralmente é dividida em dois grupos: rígidos e flexíveis. No entanto, alguns autores optam por uma classificação mais detalhada, incluindo um terceiro grupo conhecido como pavimentos semirrígidos.

A pavimentação rígida caracteriza-se por sua elevada rigidez em comparação com as camadas inferiores, sendo capaz de absorver todas as tensões resultantes das cargas aplicadas sobre ela (DNIT, 2006). Devido à sua alta resistência, o revestimento é composto por concreto de cimento Portland, podendo ou não haver uma camada de sub-base entre o revestimento e o subleito, dependendo da qualidade do material no subleito. Conforme Balbo (2007), nesse tipo de pavimento, uma única camada absorve a maior parte dos esforços horizontais (figura 1), resultando em pressões verticais reduzidas e bem distribuídas sobre as camadas inferiores.

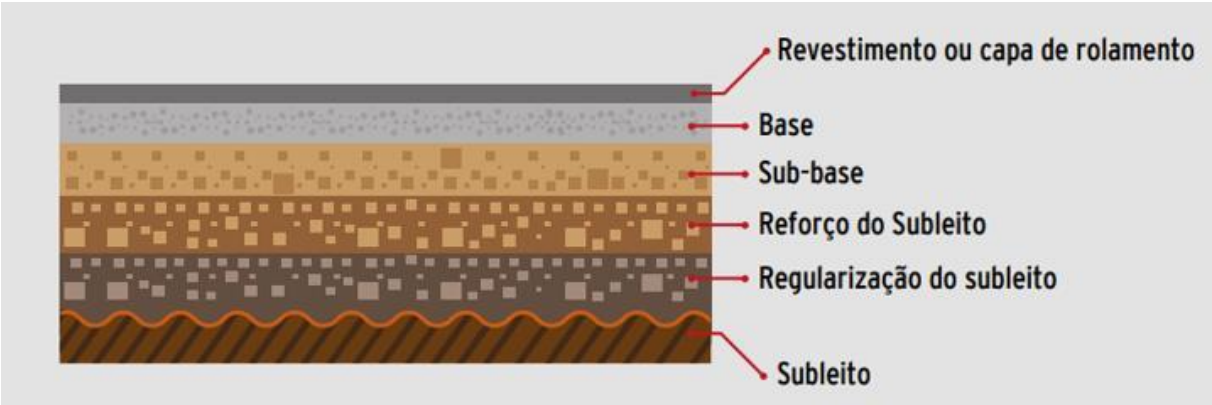
Figura 1 – Pavimento Rígido



Fonte: Bernucci (2006).

Já a pavimentação flexível é caracterizada quando as camadas de um pavimento sofrem deformações ao serem submetidas a cargas, nesse tipo de pavimento, a carga é distribuída de maneira parcialmente equilibrada entre as diferentes camadas (DNIT, 2006). Além disso, Salomão e Froés (2020) afirma que os materiais usados nesse tipo de pavimentação incluem agregados graúdos, como seixos rolados ou pedras, material asfáltico, que atua como aglutinante, e agregados miúdos, como pó de pedra ou areia. De acordo com Balbo (2007), esse tipo de pavimento absorve os esforços de maneira distribuída entre as diversas camadas (Figura 2), concentrando as tensões verticais nas camadas inferiores, próximas à área de aplicação da carga.

Figura 2 – Pavimento Flexível



Fonte: CNT (2017).

O pavimento semirrígido, conforme o DNIT (2006), é definido por possuir uma base consolidada com o uso de um aglomerante de propriedades cimentícias, resultante de um processo de estabilização química. Um exemplo comum é uma camada de solo-cimento que recebe revestimento asfáltico (Figura 3).

Figura 3 – Pavimento Semirrígido

Fonte: Balbo (2007).

Dessa forma, a pavimentação vai muito além de ser apenas o local onde são conduzidos os veículos, é uma infraestrutura altamente especializada e estratégica, que requer conhecimento técnico para atender às demandas de uma sociedade cada vez mais móvel e dependente das vias.

2.2.2 Classificação das camadas dos pavimentos

Falhas no dimensionamento estrutural são frequentemente a causa de erros no projeto do pavimento, especialmente no que diz respeito à incompatibilidade entre as camadas do pavimento, como subleito, sub-base, base e revestimento. É possível que esse desequilibrio estrutural resulte em fadiga precoce do revestimento. Portanto, a disponibilidade limitada de materiais na região pode dificultar a execução do projeto (ROSA *et al.* 2016). Logo, entender bem o comportamento dessas camadas e conhecer as propriedades do material local é fundamental para se ter êxito no dimensionamento.

Um pavimento é composto por diferentes camadas, cada uma com uma função específica para garantir a distribuição adequada das cargas, drenagem da água e durabilidade

da estrutura. As principais camadas são o revestimento, a base, a sub-base e a fundação (sub-leito).

> "Um pavimento rodoviário é uma estrutura complexa composta por várias camadas cuidadosamente projetadas para desempenhar funções específicas. Essas camadas são organizadas de maneira hierárquica, com cada uma delas contribuindo para a integridade e a durabilidade geral do pavimento". (Silva e Carmo, 2023, p.7).

De acordo com Medina e Motta (2005), a função da camada de revestimento é suportar o tráfego e distribuir as cargas de maneira uniforme para as camadas subjacentes. As camadas de subleito, reforço do subleito, sub-base e base desempenham um papel crucial na resistência a essas forças, sendo responsáveis por limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento. A dissipação dessas tensões depende da combinação adequada dos materiais utilizados e da espessura das camadas.

A próxima camada, chamada Base, está localizada logo abaixo do revestimento e tem como principal função suportar as cargas, distribuindo-as de maneira uniforme sobre a sub-base ou diretamente sobre o solo. De acordo com Senso (1997), essa camada é responsável por suportar os esforços verticais causados pelo tráfego e distribuir essas cargas. O pavimento, em essência, é composto por base e revestimento, podendo ou não incluir uma sub-base ou reforço do subleito, dependendo das necessidades do projeto. Sales *et al* (2023, p.5) afirma que:

> A base (camada abaixo do revestimento) tem a finalidade de resistir a maior parcela desses esforços e aliviar as cargas nas camadas inferiores. Logo, é indiscutível que a base deve ser constituída de um material com boas propriedades mecânicas, mesmo se tratando de uma via de tráfego leve. (Sales *et al*, 2023, p.5)

A sub-base, considerada uma camada opcional, é especialmente utilizada em pavimentos que suportam tráfego pesado. Sua principal função é distribuir de forma mais eficiente as cargas provenientes da base, além de melhorar a drenagem do pavimento. De acordo com Silva e Carmo (2023, p. 7), a sub-base é definida como:

> A camada abaixo da base, temos a sub-base. Sua principal função é proporcionar suporte adicional à base e, portanto, ao revestimento. Ela atua como uma camada de transição que ajuda a distribuir as cargas de maneira ainda mais uniforme e a estabilizar o solo subjacente.

Em situações onde o solo nativo não apresenta as condições ideais para a construção do pavimento, a sub-base pode ser uma solução eficaz para melhorar a resistência e a durabilidade da estrutura (DNIT, 2006).

Por fim, fundação ou sub-leito, conforme Senço (1997), é descrito como a camada de fundação do pavimento, com características geométricas específicas, sendo considerada a camada mais próxima da superfície. Além disso, a NBR 11170 (ABNT, 1990) define o subleito como uma base composta por terra firme e contínua, funcionando teoricamente como uma fundação infinita para o pavimento. A preparação adequada do subleito é, portanto, fundamental para o sucesso do projeto de pavimentação e deve ser realizada com cuidado e precisão para evitar problemas futuros.

2.3 Classificação AASTHO

A classificação AASHTO divide os solos em sete grupos principais e oito subgrupos, de acordo com suas características físicas e comportamentais. Segundo o DNIT (2006):

- O Grupo A-1 é formado por materiais bem formados, como pedra, pedregulho e areia, sendo subdividido em dois subgrupos. O *A-1-a* inclui materiais predominantemente compostos por fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino, que atua como aglutinante. Já o *A-1-b* se refere a solos com maior presença de areia grossa, também com a possibilidade de conter material fino como aglutinante.
- O Grupo A-2 abrange uma ampla variedade de solos, situados entre os grupos A-1 e A-3, com até 35% de finos. Esse grupo é subdividido em *A-2-4* e *A-2-5*, que são solos compostos por pedregulho e areia grossa, mas com um teor de silte e um índice de plasticidade que excedem os limites do Grupo A-1. Além disso, os subgrupos *A-2-6* e *A-2-7* incluem materiais com características semelhantes, mas com argila plástica presente, o que altera seu comportamento de compactação e resistência.
- O Grupo A-3 é caracterizado por solos de areia fina, típicos de áreas como praias ou desertos, sem presença de silte ou argila, e misturas mal graduadas de areia fina e pedregulho. Esses materiais possuem baixa plasticidade, o que os torna menos suscetíveis a variações de volume. Já o Grupo A-4 é composto por solos siltosos, com pelo menos 5% de material passando na peneira nº 200, sendo moderadamente plásticos. Os solos do Grupo A-5 são semelhantes aos do A-4, porém apresentam um elevado limite de liquidez, tendo uma desvantagem maior e uma capacidade de deformação significativa.

- Os solos do Grupo A-6 são predominantemente argilosos e plásticos, com 75% ou mais de material fino, geralmente apresentando mudanças de volume significativas entre estados secos e úmidos, o que pode comprometer sua estabilidade em pavimentos. Por fim, o Grupo A-7 inclui solos com alta plasticidade e limite de liquidez elevado, também sujeito a grandes variações de volume. Esse grupo é subdividido em *A-7-5*, com índice de plasticidade moderado, e *A-7-6* , que apresenta índices de plasticidade mais elevados e maior suscetibilidade a deformações.

Nessa classificação, também se utiliza o índice de grupo (IG) como parâmetro para estimar a capacidade de suporte do material. (NASCIMENTO, SOUZA, ROMÃO, 2008). De acordo com Braga (2023), a classificação da AASHTO categoriza o solo em uma escala que vai de excelente a bom e de fraco a pobre. Logo, essa classificação é fundamental para identificar a adequação de solos para a construção de pavimentos, ajudando a prever seu comportamento em diferentes condições de uso e exposição ambiental. A seguir, apresentamos a tabela 1 de classificação AASHTO com os grupos de solo e suas respectivas características.

Tabela 1 - Classificação AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	*a* varia de 0 a 40 e *0,2* . *a* varia de 0 a 8.
$b = p - 15$	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	*b* varia de 0 a 40 e *0,01* . *b* . *d* varia de 0 a 8.
$c = LL - 40$	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	*c* varia de 0 a 20 e *0,005* . *a* . *c* varia de 0 a 4.
$d = IP - 10$	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	*d* varia de 0 a 20 e *0,01* . *b* . *d* varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

Fonte: DNIT (2006).

2.4 Critérios para utilização de solos como base e sub-base de pavimentos

A estabilidade da base e sub-base de pavimentos é um dos fatores mais importantes na construção de rodovias, sendo diretamente relacionada à durabilidade e eficiência da infraestrutura viária. A estabilização do solo, conforme definido por Vizcarra (2010), envolve uma modificação nas suas propriedades, resultando em um aprimoramento das condições técnicas. Trata-se de um tratamento artificial que prepara o solo para suportar tantas cargas externas quanto as variações climáticas e características naturais.

Segundo Melo (2011), a estabilização de um solo envolve: as propriedades de resistência mecânica do mesmo e da suplementação necessária desta resistência para um determinado uso, em termos físicos, químicos, e mecânicos; a escolha de um método em bases econômicas e práticas, para o estudo dos materiais necessários à suplementação desejada; a execução, que consiste normalmente em pulverização, na mistura dos materiais, na compactação e nas considerações de ordem econômica com relação ao custo de cada material. Ainda segundo Melo (2011), solo em sua forma natural pode atender aos pré-requisitos estabelecidos em normas, desta forma sendo desnecessária a adição de qualquer outro material, neste caso diz-se que o solo é estável granulometricamente de forma natural.

Segundo Senço (2008), para que uma base ou sub-base de pavimentos seja considerada estabilizada, é necessário que atenda a certas especificações, como granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade. O autor destaca que, quando o solo apresenta propriedades adequadas, ele é considerado estabilizado. No entanto, nos casos em que o solo não possui as condições necessárias, pode ser estabilizado por meio da adição de outros solos, agregados, aditivos químicos, entre outras soluções.

2.4.1 Parâmetros para um solo naturalmente estabilizado

Os solos que compõem as camadas de base e sub-base devem ser selecionados e tratados de forma a garantir sua estabilidade. Os principais parâmetros a serem analisados em um solo naturalmente estabilizado incluem a granulometria, os limites de consistência, o índice de grupo (IG), a compactação e o Índice de Suporte Califórnia (ISC). A estabilidade do solo depende de uma combinação de propriedades físicas e mecânicas que, quando otimizadas, permitem a construção de pavimentos mais resistentes e duráveis. Um solo naturalmente

estabilizado deve ser capaz de suportar o tráfego e as intempéries sem a necessidade de grandes intervenções.

2.4.1.1 Granulometria

A granulometria é um parâmetro crucial para determinar a capacidade de suporte do solo. De acordo com DNIT (2006, p.31):

> A análise granulométrica consiste na determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo. Para as partículas de solo maiores do que 0,075 mm (peneira nº 200 da ASTM) o ensaio é feito passando uma amostra do solo por uma série de peneiras de malhas quadradas de dimensões padronizadas. Pesam-se as quantidades retiradas em cada peneira e calculam-se as porcentagens que passam em cada peneira

2.4.1.2 Limites de atteberg

Os limites de Atteberg estão relacionados ao teor de umidade do solo e a influência da água no comportamento das partículas. Os limites de liquidez e plasticidade indicam a transição do solo entre os estados sólido, plástico e líquido. Segundo Senço (1997), a análise granulométrica por si só não é suficiente para determinar plenamente a influência dos solos finos, não fornecendo uma visão precisa do comportamento das partículas. Atterberg, ao estudar os diferentes estados do solo em presença de água, definiu os limites de consistência, que são classificados, em ordem decrescente, como: estado líquido, estado plástico, estado semi-sólido e estado sólido.

A avaliação dos limites de Atteberg é fundamental para prever o comportamento do solo fino em diferentes condições de umidade, especialmente em regiões com alta pluviosidade. Após a determinação dos limites de consistência de um solo, podemos definir o Índice de Plasticidade (IP), que representa a faixa de umidade na qual o solo exibe comportamento plástico. O IP é obtido pela diferença numérica entre os valores do limite de liquidez e do limite de plasticidade. A partir desse índice, é possível avaliar a plasticidade do solo e classificá-lo de acordo com seu grau de plasticidade (Machado, 2022).

2.4.1.3 Índice de Grupo (IG)

O Índice de Grupo (IG) é utilizado para classificar solos em relação à sua adequação para uso em bases e sub-bases de pavimentos. Esse índice é calculado com base nos

resultados dos ensaios de granulometria e limites de consistência, sendo que quanto menor o IG, melhor o solo é para pavimentação. De acordo com DNIT (2006, p.33):

> Chama-se Índice de Grupo a um valor numérico, variando de 0 a 20, que retrata o duplo aspecto de plasticidade e graduação das partículas do solo. O IG é calculado pela fórmula: IG = 0,2 a + 0,005 ac + 0,01 bd em que: a = % de material que passa na peneira nº 200, menos 35. Se a % obtida nesta diferença for maior que 75, adota-se 75; se for menor que 35, adota-se 35. (a varia de 0 a 40). b = % de material que passa na peneira nº 200, menos 15. Se a % obtida nesta diferença for maior que 55, adota-se 55; se for menor que 15, adota-se 15. (b varia de 0 a 40). c = Valor do Limite de Liquidez menos 40. Se o Limite de Liquidez for maior que 60, adotase 60; se for menor que 40, adota-se 40 (c varia de 0 a 20). d = Valor de Índice de Plasticidade menos 10. Se o índice de Plasticidade for maior que 30, adota-se 30; se for menor que 10, adota-se 10 (d varia de 0 a 20).

De acordo com Santos (2006), o IG auxilia no dimensionamento das camadas de pavimentos uma vez que estabelece a ordenação dos solos dentro de um grupo, conforme suas aptidões, considerado o pior o solo que apresentar o maior IG, como por exemplo, o solo A-4 (IG igual a 7) é considerado melhor que o solo A-4 (IG igual a8).

2.4.1.4 Compactação

A compactação é um processo mecânico fundamental para garantir a densidade adequada do solo nas camadas de base e sub-base, melhorando sua capacidade de carga e reduzindo sua compressibilidade. De acordo com Machado C.C. *et al.* (2005), a técnica de compactação empregada na construção de estradas baseia-se na identificação do teor de umidade adequado para alcançar a maior compacidade possível, considerando uma energia de compactação específica. Durante o processo, a compacidade do solo varia conforme o teor de umidade, até atingir um valor máximo, que depois diminui. Os valores correspondentes a esse ponto máximo são denominados "peso específico seco máximo" (Ydmax) e "teor de umidade ótima" (ho).

2.4.1.5 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O Índice de Suporte Califórnia (ISC) é um dos ensaios mais utilizados para avaliar a capacidade de suporte de solos em projetos de pavimentação. O ISC mede a resistência a penetração sob condições controladas, simulando as cargas que serão aplicadas sobre ele. Segundo Senço (1997), a definição de ISC é a relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão de forma controlada em um corpo de prova preparado e a pressão necessária para penetrá-lo de volta, na mesma profundidade, em uma amostra padrão de pedra britada, ou

material similar, com 1.000 psi resultando em 0,1” de abertura ou 1.500 psi para uma descoberta de dois.

O ISC é particularmente útil para determinar a espessura necessária das camadas de base e sub-base, já que solos com baixo ISC requerem espessuras maiores para garantir a estabilidade do pavimento.

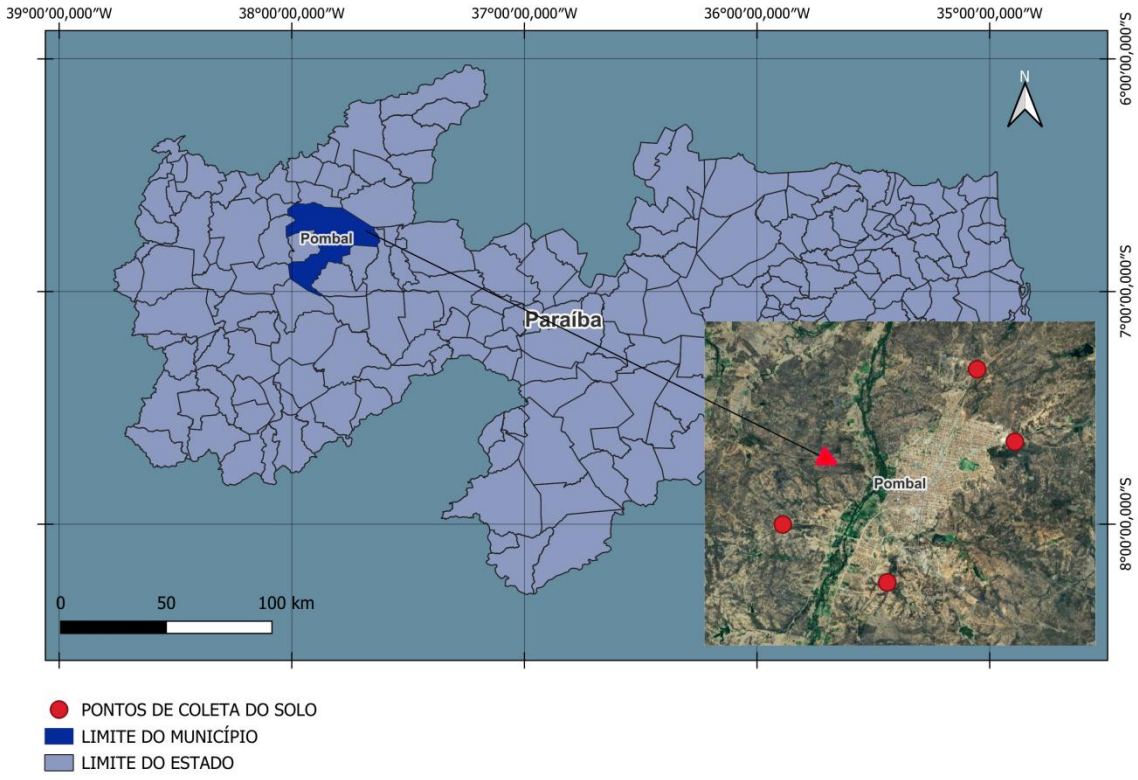
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 Área de estudo

O solo analisado no estudo foi coletado na cidade de Pombal, localizada no semiárido da Paraíba. De acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022, Pombal tem uma população estimada de 32.499 habitantes, uma área de 894,099 km² e uma densidade demográfica de 36,13 hab./km². A coleta do solo foi realizada em quatro pontos nas extremidades da cidade, a uma profundidade entre 65 cm e 1 m abaixo da superfície. Em seguida, o solo foi devidamente armazenado em sacos de náilon com capacidade para 60 kg, identificado e transportado para o laboratório de geotecnia da Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, para a realização dos ensaios. A Figura 4 apresenta a localização das coletas.

Figura 4 - Localização dos pontos de coleta do solo

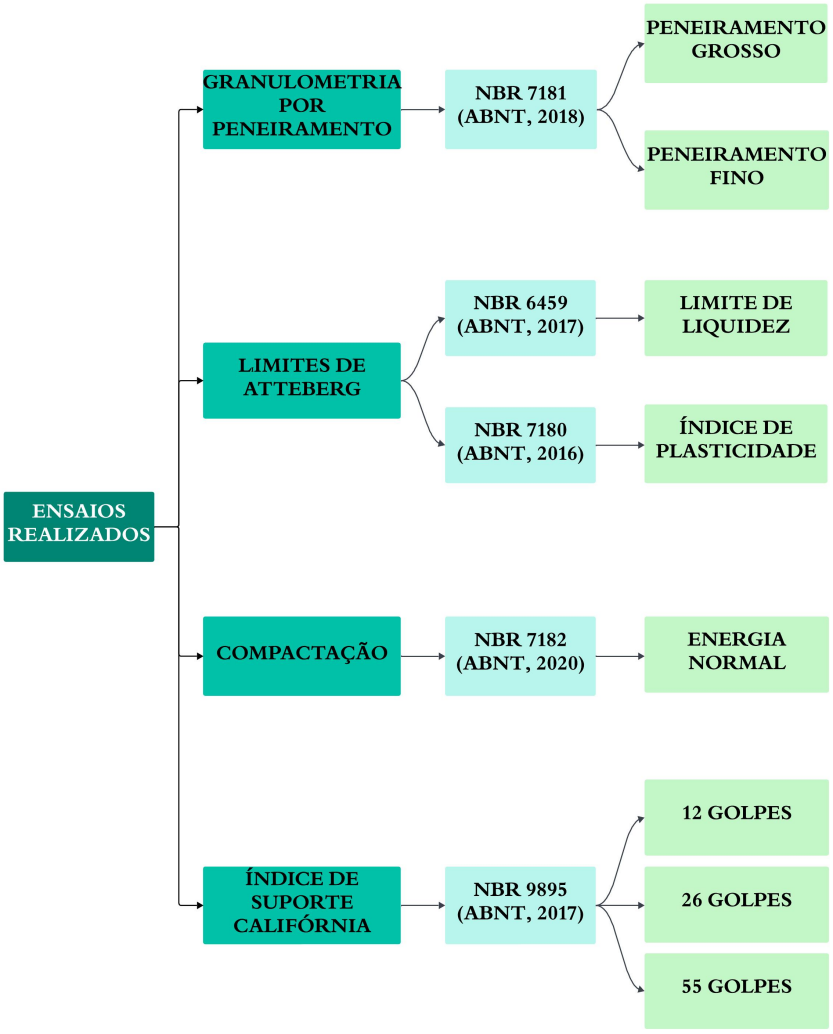


Fonte: Autoria (2024).

3.2 Ensaios realizados

Os ensaios geotécnicos realizados para a caracterização do solo de Pombal - PB seguiram normas técnicas específicas, permitindo a obtenção de uma série de parâmetros essenciais para avaliar sua adequação, conforme os objetivos definidos. A Figura 5 apresenta o fluxograma de ensaios realizados e as respectivas normas utilizadas em cada um deles.

Figura 5 – Fluxograma dos ensaios realizados



Fonte: Autoria (2024).

Conforme apresentado na Figura 5, o ensaio de granulometria foi baseado na NBR 7181 (ABNT, 2018), separando as partículas de solo em peneiramento grosso e fino. Para a determinação dos limites de Atterberg, foram utilizadas a NBR 6459 (ABNT, 2017) para o limite de liquidez e a NBR 7180 (ABNT, 2016) para o índice de plasticidade. A compactação

do solo foi determinada com energia normal conforme a NBR 7182 (ABNT, 2020), enquanto o Índice de Suporte Califórnia teve a NBR 9895 (2017) como referência. Para o último caso, as análises foram feitas para 12, 26 e 55 golpes, cujas especificações de compactação possibilitam avaliar o solo para as camadas de sub-leito, sub-base e base, respectivamente. Logo, esses ensaios garantem que os parâmetros técnicos sejam medidos com precisão para a aplicação correta do solo em projetos de pavimentação.

3.2.1 Ensaio de granulometria por peneiramento

Inicialmente, a amostra de solo foi seca ao ar naturalmente, sendo de aproximadamente 2 kg. Em seguida, foi submetida ao processo de quarteamento para garantir a homogeneização e a retirada do material para a realização dos ensaios e, desse material, foram retiradas duas amostras para determinar a umidade higroscópica. Após essa etapa inicial, o solo passou pelo destorroamento e foi realizado a lavagem do material nas peneiras de 2 mm e 0,075 mm para remover todos os finos. O material lavado foi então colocado em uma estufa a 100°C/110°C por 24 horas para eliminar toda a umidade, obtendo assim a amostra seca necessária para os ensaios. Estes ensaios foram conduzidos de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 2018). A Figura 6 representa o processo de secagem das amostras na estufa.

Figura 6 - Separação de amostras e secagem na estufa.

Fonte: Autoria (2024).

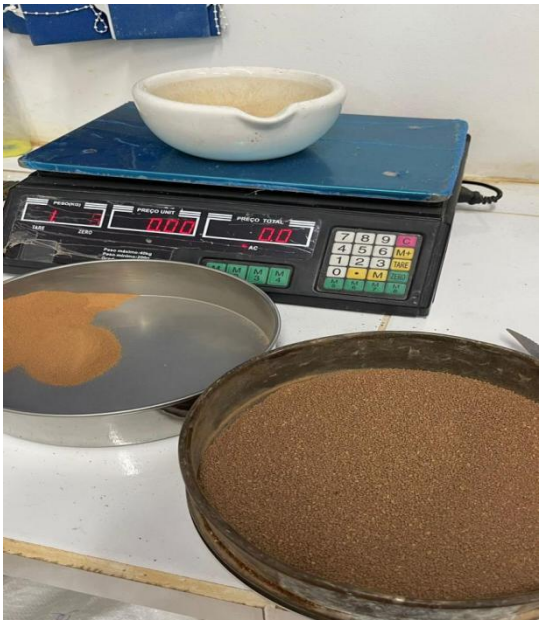
Após a retirada do material da estufa, as peneiras foram organizadas em ordem decrescente com abertura de malha com 38mm, 25mm, 19mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,420mm, 0,150mm e 0,075mm, respectivamente. Em seguida, colocou-se o material, sendo agitado manualmente, permitindo que os grãos fossem separados e retidos de acordo com seu tamanho. A Figura 7 apresenta a sequência de peneiras utilizadas para o ensaio.

Figura 7 - Sequências de peneiras

Fonte: Autoria (2024).

Após o peneiramento, o material retido em cada peneira foi pesado individualmente. Esses valores foram então convertidos em porcentagens, permitindo determinar tanto a porcentagem de material retido quanto a porcentagem de material passante em cada peneira. A Figura 8 representa o processo de pesagem de quantidade de solo retida em cada peneira.

Figura 8 - Pesagem da quantidade de solo retida em cada peneira



Fonte: Autoria (2024).

Para determinar a umidade higroscópica, foi usado cerca de 100 g do material natural que passou pela peneira de 2 mm e foi colocado na estufa por 24 horas. Após esse período, foi possível verificar a quantidade de umidade presente no solo natural. Essa verificação é realizada utilizando a seguinte equação (1):

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} x100 \qquad (1)$$

Sendo,

h = teor de umidade (%);

Ph = Peso do material úmido;

Ps = o peso do material seco;

3.2.2 Ensaios para determinação dos limites de Atteberg

Para a realização do limite de liquidez (LL), foram necessários 200g de solo passante na peneira de 0,42mm, conforme descrito na norma NBR 6459 (ABNT, 2017). Em seguida, utilizou-se o aparelho Casagrande para determinar o LL. Após a separação e manutenção do aparelho, pequenas quantidades de água foram adicionadas ao material para obter a melhor

trabalhabilidade. As Figuras 9 e 10 apresentam os materiais utilizados junto às amostras de solo separadas, e a homogeneização dessas amostras.

Figura 9 - Materiais utilizados e amostras de solo separadas

Fonte: Autoria (2024).

Figura 10 - Homogeneização da amostra

Fonte: Autoria (2024).

Em seguida, o solo foi transferido para o aparelho, e moldado de forma a obter uma espessura central de aproximadamente 1cm. Utilizando um cinzel, uma ranhura foi feita, dividindo o material em duas partes. A manivela do aparelho foi girada a uma velocidade de duas voltas por segundo, contando o número de golpes até a ranhura se fechar. Quando as

duas partes do solo se uniram, uma pequena quantidade foi retirada do meio da amostra para a obtenção do teor de umidade. A Figura 11 apresenta a amostra no aparelho de Casagrande.

Figura 11 - Amostra no aparelho de Casagrande

Fonte: Autoria (2024).

Após a determinação do limite de liquidez, o ensaio para a obtenção do limite de plasticidade foi realizado conforme as diretrizes da NBR 7180 (ABNT, 2016). Utilizando a mesma amostra previamente empregada no ensaio de limite de liquidez, foi moldada uma pequena esfera, que foi então rolada manualmente sobre uma superfície de vidro até formar um fio com dimensões aproximadas de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, conforme ilustrado na Figura 12. Esse procedimento foi repetido três vezes, dividindo a amostra em três porções iguais, as quais foram acondicionadas em três cápsulas distintas. Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 110°C por um período de 24 horas. Decorrido esse tempo, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas em uma balança de alta precisão. O valor do limite de plasticidade foi determinado pela média dos resultados obtidos nas três porções analisadas.

Figura 12 - Moldagem do cilindro

Fonte: Autoria (2024).

3.2.3 Ensaio de compactação

Para a realização deste ensaio, empregou-se a energia de compactação pelo método Proctor Normal. O processo teve início com a secagem ao ar da amostra de solo, a qual foi então peneirada através de uma malha com abertura de 4,8 mm e aproximadamente 6 kg do solo peneirado foram reservados. Subsequentemente, realizou-se o destorroamento do solo, adicionando-se uma quantidade controlada de água para melhorar a trabalhabilidade e assegurar a homogeneidade do material. Logo após, utilizou-se o cilindro de Proctor pequeno, conforme as dimensões e especificações estabelecidas pela NBR 7182 (ABNT, 2020). A Figura 13 apresenta o preenchimento do material no cilindro.

Figura 13 - Preenchimento do material no cilindro

Fonte: Autoria (2024).

O solo foi compactado em três camadas, utilizando um soquete para aplicar 26 golpes de maneira uniforme em cada camada. A superfície do material foi nivelada com o auxílio de uma régua biselada, removendo o colarinho, o excesso e o conjunto cilíndrico contendo o solo compactado para ser pesado. A Figura 14 apresenta a pesagem do conjunto cilindro-amostra úmida.

Figura 14 - Pesagem do conjunto cilindro-amostra úmida

Fonte: Autoria (2024).

No total, foram moldados 20 corpos de prova, com 5 amostras para cada uma das diferentes condições de umidade. O procedimento foi repetido cinco vezes, variando a umidade em incrementos de 2% para cada etapa subsequente, resultando em cinco pontos de umidade distintos. Em cada etapa, uma amostra do material foi retirada de dentro do corpo de prova e colocada em estufa para determinar a umidade higroscópica. A Figura 15 apresenta a retirada do material do corpo de prova para determinar a umidade.

Figura 15 - Extração de solo do cilindro

Fonte: Autoria (2024).

A massa específica aparente do solo úmido precisou ser determinada antes de calcular a massa específica aparente do solo seco compactado, conforme indicado na eq. (2):

$$\gamma h = \frac{P'}{V} \qquad (2)$$

Sendo,

γh= massa específica aparente do solo úmido;

P'= Peso do material úmido compactado;

V = Volume do cilindro;

Posteriormente foi determinada a massa específica aparente do solo seco (γs) demonstrado na eq. (3)

$$\gamma s = \frac{\gamma h}{(1+h)} \quad (3)$$

Sendo,

γs = massa específica aparente do solo seco;

h= teor de umidade do solo seco;

Como resultado, é possível obter a curva de compactação em um sistema cartesiano, onde a massa específica aparente do solo seco (γs) é mostrada no eixo vertical (ordenadas) e o teor de umidade é mostrado no eixo horizontal (abscissas).

3.2.3 Índice de suporte califórnia (ISC)

Nesta etapa, as amostras foram peneiradas através de uma malha de 19 mm, substituindo o material retido por uma quantidade equivalente do material que passou pela peneira de 19 mm e foi retido na peneira de 4,8 mm. Os ensaios para determinação do ISC foram conduzidos segundo a norma NBR 9895 (ABNT, 2017), e compreenderam duas etapas principais: expansão e penetração.

Em seguida, determinou-se a umidade higroscópica da amostra. Com a umidade higroscópica calculada, determinou-se o peso do solo seco da bandeja. A seguir, adicionou-se água até alcançar a umidade ótima (ho) do ensaio de compactação. O solo foi então homogeneizado. A Figura 16 mostra a homogeneização da amostra de solo.

Figura 16 - Homogeneização da amostra de solo

Fonte: Autoria (2024).

Logo após, o molde foi pesado e fixado à sua base metálica. O cilindro complementar, com colarinho, foi ajustado, e o disco espaçador e a folha de papel filtro foram colocados. O solo foi compactado em cinco camadas iguais dentro do molde, com cada camada recebendo 55, 26 e 12 golpes, de acordo com cada tipo de verificação do material para base, sub-base e sub-leito. Ademais, foi utilizado o soquete grande com uma altura de aproximadamente 45 cm, distribuídos de maneira homogênea. Após a compactação, o colarinho foi removido e o solo nivelado até ficar rente com o cilindro. O peso do conjunto (solo úmido e molde) foi registrado, e a Figura 17 apresenta a compactação das camadas com a utilização do soquete.

Figura 17 - Compactação das camadas

Fonte: Autoria (2024).

O molde, agora invertido, foi colocado sobre um prato perfurado com haste ajustável e discos anelares de sobrecarga, que totalizam aproximadamente 4,5 kg. Um tripé com extensômetro foi montado para medir as expansões ocorridas. Após 96 horas de imersão, o corpo de prova foi retirado, drenado por 15 minutos e pesado novamente para determinar o peso da água absorvida e a nova densidade do solo. A Figura 18 apresenta os corpos de provas submersos.

Figura 18 - Corpo de prova submerso

Fonte: Autoria (2024).

A sobrecarga utilizada no ensaio de expansão foi colocada de volta sobre o corpo de prova, e o conjunto foi colocado no prato da prensa. O pistão de penetração foi ajustado para aplicar uma carga de aproximadamente 4,5 kg, controlada por um anel dinamométrico. Os extensômetros foram zerados, e a manivela da prensa foi acionada para avançar a uma velocidade de 1,27 mm/min, registrando-se a penetração do pistão (Figura 19) no solo a cada 30 segundos durante 10 minutos.

Figura 19 - Rompimento do corpo de prova

Fonte: Autoria (2024).

Para verificar a expansão, é necessário medir a variação de altura do corpo de prova devido à alteração de volume causada pela absorção de água a cada 24 horas, durante 96 horas (DNIT, 2006). Com essa variação, é possível calcular a expansão utilizando equação 4.

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\Delta h}{h_o} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

Δh = Variação de altura do corpo

h_o= Altura inicial do corpo de prova

O ISC consiste em comparar a resistência à penetração do solo a ser utilizado com a de uma brita padronizada (Medina, 2005). A equação 5 demonstra esses resultados em porcentagens.

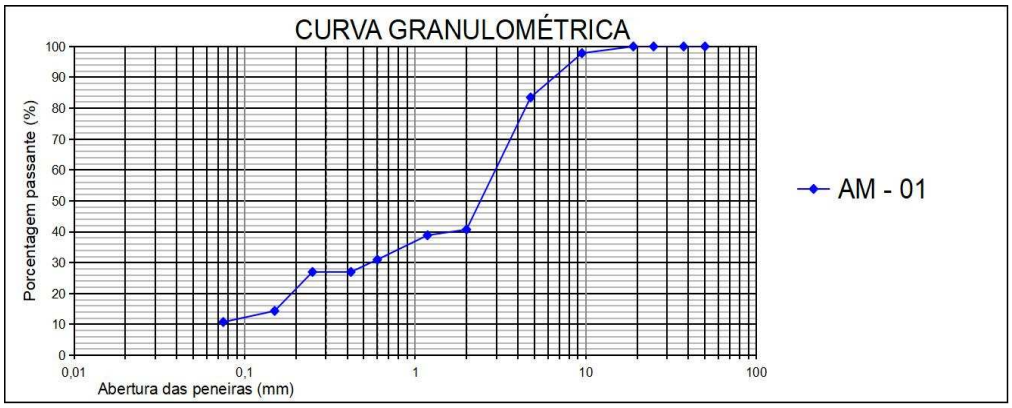
$$\text{ISC (\%)} = \frac{\text{Pressão calulada ou corrigida}}{\text{Pressão padrão}} \quad (5)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Granulometria

A análise granulométrica é fundamental para compreender a distribuição dos tamanhos das partículas do solo. Nos Gráficos 1 a 4, são apresentadas as distribuições granulométricas das amostras AM-01 a AM-04, respectivamente.

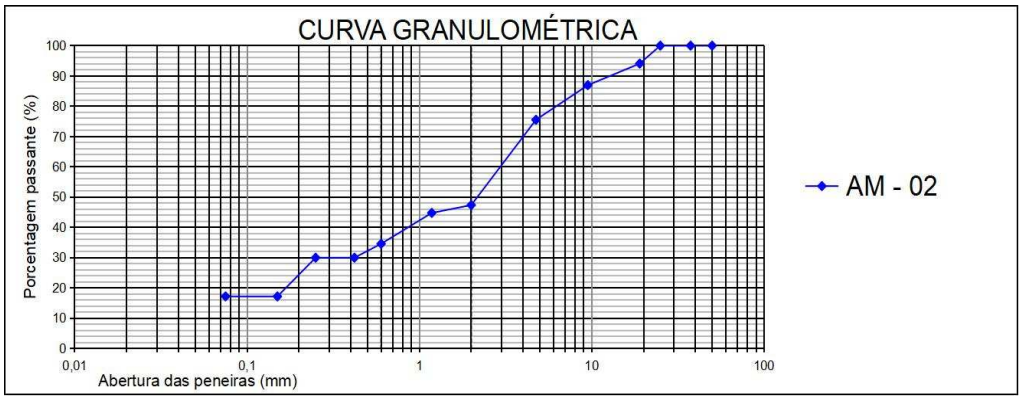
Gráfico 1 – Curva granulométrica AM - 01



Fonte: Autoria (2024).

Observando o Gráfico 1 da curva granulométrica AM-01, verifica-se que o solo apresentou majoritariamente pedregulho (59,28%), com uma quantidade significativa de areia (37,13%) e uma pequena quantidade de finos (silte + argila), com uma porcentagem de (3,59%).

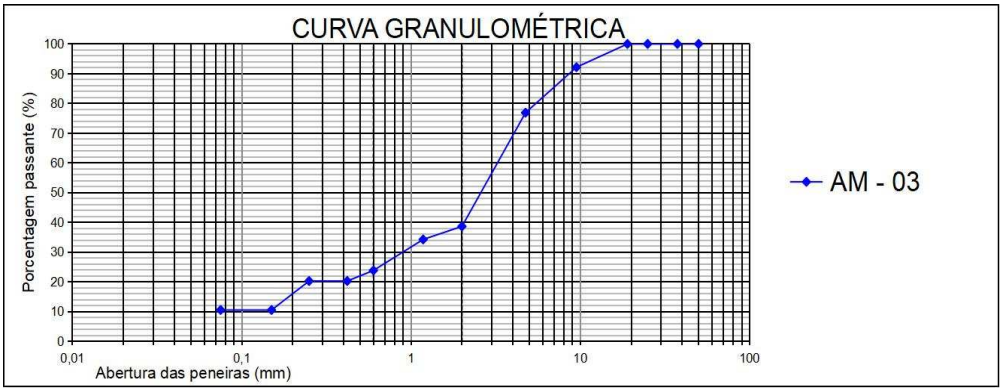
Gráfico 2 - Curva granulométrica AM - 02



Fonte: Autoria (2024).

Analisando o Gráfico 2, a curva granulométrica da AM-02 apresenta uma composição similar à AM-01, com pedregulho (52,66%), areia em torno de (38,76%), mas com uma maior quantidade de finos (8,58%).

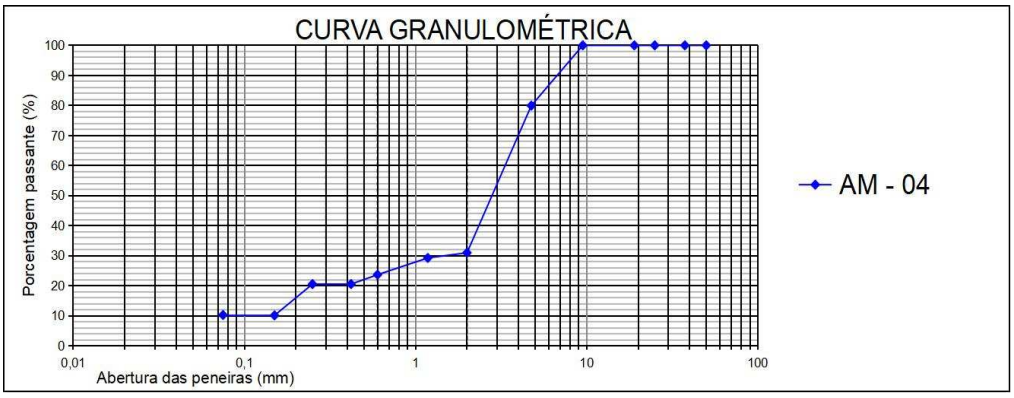
Gráfico 3 - Curva granulométrica AM - 03



Fonte: Autoria (2024).

Analisando o Gráfico 3, a curva granulométrica da AM-03 contém o maior percentual de pedregulho (61,37%), areia de (33,37%) e finos (5,26%).

Gráfico 4 - Curva granulométrica AM - 04



Fonte: Autoria (2024).

Ao analisar o Gráfico 4, observa-se que a curva granulométrica da amostra AM-04 apresenta características distintas em relação às demais, com a menor quantidade de pedregulho (35,85%) e a maior proporção de areia (45,24%) e finos (19%) uma quantidade maior de finos em relação as outras amostras.

Segundo Moura (2017), a presença de frações mais finas, podem ser limitantes em materiais granulares destinados a camadas de pavimentos. Essa restrição, geralmente baseada na plasticidade, decorre do fato de que, para engenharia rodoviária os finos tendem a reduzir a permeabilidade e a rigidez dos materiais, aumentando sua deformabilidade e, principalmente,

causando uma expansão volumétrica quando em contato com a água, resultando na diminuição da resistência do solo.

4.2 Classificação AASTHO

A classificação AASHTO é a mais utilizada na engenharia rodoviária, foi aplicada essa classificação às amostras estudadas para ter melhor embasamento, sendo possivel identificar em todas as amostras uma maior proporção entre pedregulho e areia e podem ser confirmados pela granulometria apresentada no item 4.2. De acordo com a AASHTO, todas as amostras resultaram em IG=0, as amostras AM-01 e AM-03 foram classificadas no grupo A-1 e subgrupo A-1-a, enquanto a AM-02 enquadrou-se no grupo A-1 e subgrupo A-1-b, e a AM-04 no grupo A-2 e subgrupo A-2-4. De acordo com o DNIT (2006), solos pertencentes a esses grupos são considerados de excelente a bom em termos de comportamento geral para uso como subleito, o que significa um ponto positivo para a adequação do material para essa função, atendendo aos critérios estabelecidos para pavimentação.

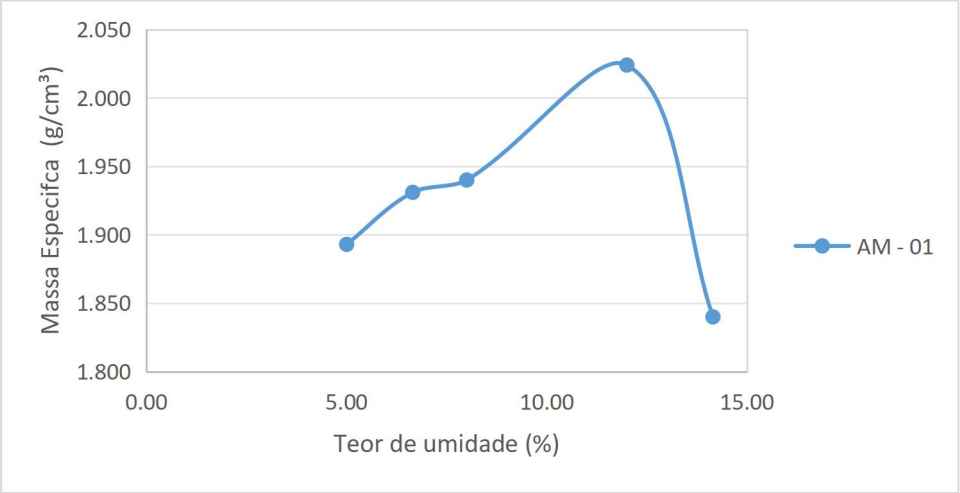
4.3 Limites de atteberg

Os LL e LP são parâmetros para entender o comportamento do solo fino em diferentes condições de umidade. Nos ensaios realizados não foram encontrados valores de limite de liquidez e limite de plasticidade. Como base nisso, o DNIT (2006) afirma que os solos com altos limites de liquidez e plasticidade tendem a ser mais suscetíveis a problemas de estabilidade, devido à sua propensão a deformações. No entanto, a ausência desses parâmetros no solo analisado indica que ele é menos suscetível a variações de umidade, reduzindo a necessidade de técnicas intensivas de estabilização para garantir um desempenho adequado. Logo, o fato de as amostras não apresentarem limites de Atteberg é um fator positivo para a utilização desse material em obras de pavimentação.

4.4 Compactação

O ensaio de compactação tem o objetivo de determinar a relação entre o teor de umidade e a densidade do solo compactado. Em síntese, conforme indicado nos Gráficos 5 a é possível observar que a variação de umidade ótima entre as amostras foi de 10% a 12,6% e massa específica aparente seca de 2,005 a 2,236 g/cm³.

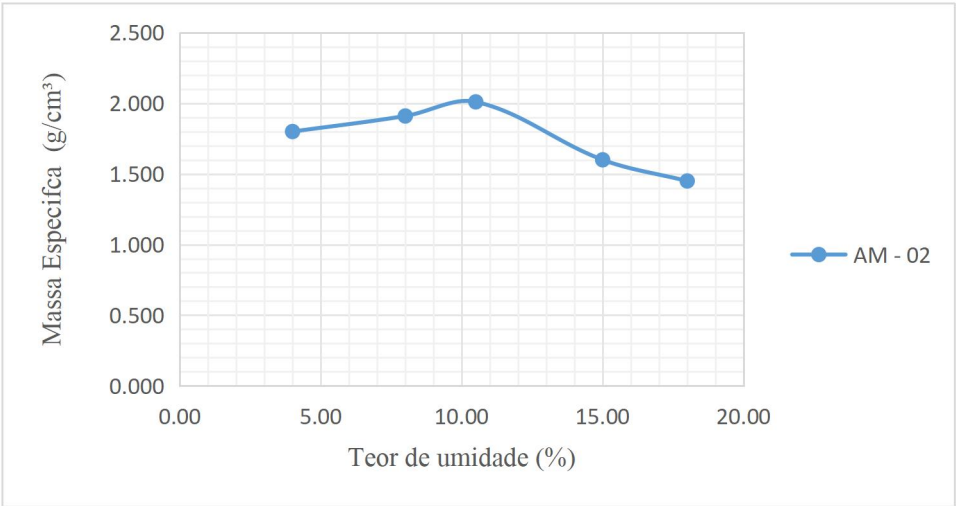
Gráfico 5 – Curva de compactação AM-01



Fonte: Autoria (2024).

Analisando o Gráfico 5, a curva de compactação AM-01 apresentou uma umidade ótima de 11,5% e uma massa específica de 2,024 g/cm³.

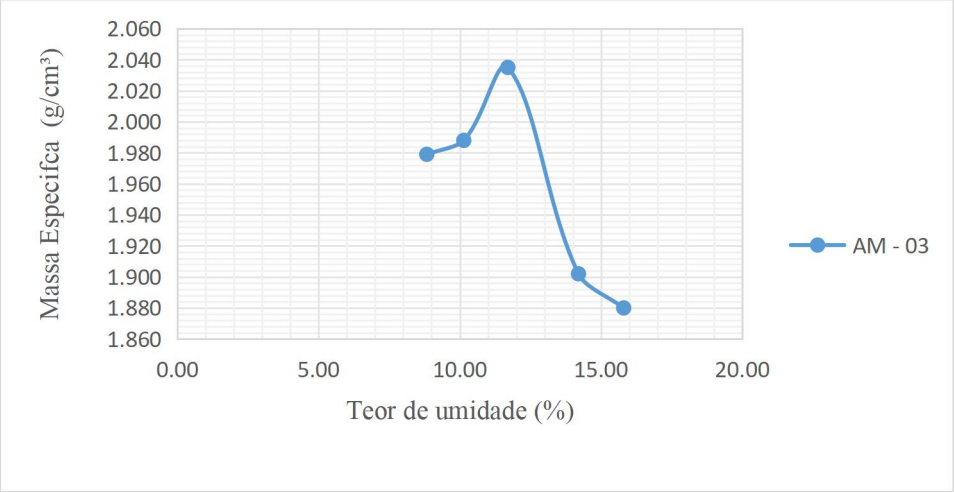
Gráfico 6 - Curva de compactação AM-02



Fonte: Autoria (2024).

Analisando o Gráfico 6, a curva de compactação AM-02 teve a menor umidade ótima em relação as outras amostras, de 10%, e uma massa específica de 2,005 g/cm³.

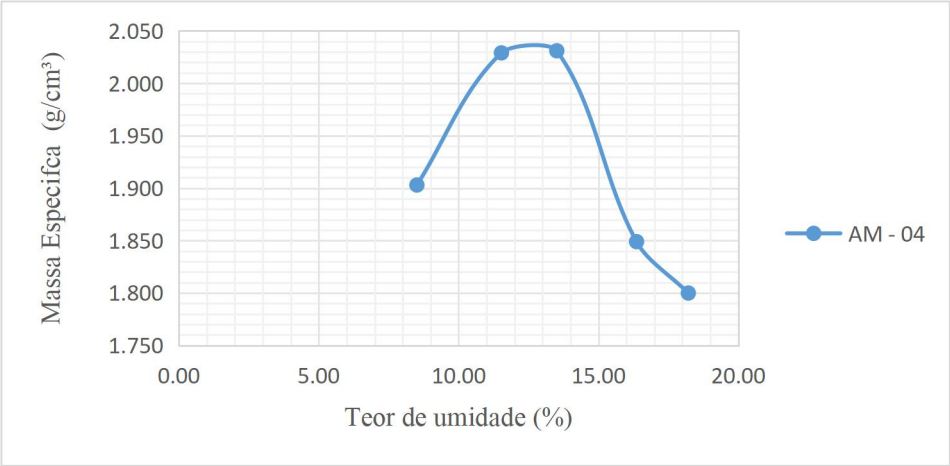
Gráfico 7 - Curva de compactação AM-03



Fonte: Autoria (2024).

Analisando o Gráfico 7, a curva de compactação AM-03 apresentou uma umidade ótima de 11,7% e a maior massa específica entre as amostras, de 2,236 g/cm³.

Gráfico 8 - Curva de compactação AM-04



Fonte: Autoria (2024).

Analisando o Gráfico 8, a curva de compactação AM-04 a maior umidade ótima, de 12,6%, e uma massa específica de 2,038 g/cm³.

De acordo com Braga (2023), as variações nos valores de umidade ótima e massa específica seca são influenciadas por fatores como a composição granulométrica e a plasticidade do solo, sendo importante ressaltar que cada amostra foi coletada em locais distintos, sujeitos a condições geológicas e ambientais variadas. Analisando as amostras estudadas, observa-se que as composições granulométricas e plasticidade foram semelhantes,

resultando em valores de umidade ótima e massas específicas secas que não apresentaram grandes discrepâncias.

4.5 Índice de suporte carlifórnia (ISC)

De acordo com o DNIT (2006), para que o solo atenda aos critérios de aceitabilidade para fins de pavimentação, os resultados obtidos no ensaio ISC devem obedecer aos seguintes limites: a camada de base deve apresentar expansão ≤ 0,5% e ISC ≥ 80%; a camada de sub-base deve ter expansão ≤ 1% e ISC ≥ 20%; e a camada de subleito deve apresentar expansão ≤ 2% e ISC ≥ 2%. Dessa forma, esses parâmetros são fundamentais para definir a aceitabilidade do solo nas diferentes camadas de um pavimento. A Tabela 2 apresenta os resultados do ISC.

Tabela 2 - Índice de Suporte Califórnia

AMOSTRA	EXPANSÃO (%)	ISC (%)	CAMADA	ATENDE AOS CRITÉRIOS
AM-01	0,06	38,5	subleito	SIM
AM-01	0,05	42,3	sub-base	SIM
AM-01	0,03	56,6	base	NÃO
AM-02	0,12	20	subleito	SIM
AM-02	0,07	26,4	sub-base	SIM
AM-02	0,08	48,7	base	NÃO
AM-03	0,09	35,7	subleito	SIM
AM-03	0,08	40	sub-base	SIM
AM-03	0,04	48,7	base	NÃO
AM-04	1,02	28	subleito	SIM
AM-04	0,8	32	sub-base	SIM
AM-04	0,57	35,4	base	NÃO

Fonte: Autoria (2024).

Analisando a Tabela 2, para o ISC da AM-01 é possível observar que os resultados foram positivos para camada de subleitos, com uma expansão de 0,06%, abaixo do limite de 2%, e um ISC de 38,5%, bem acima do mínimo exigido de 2%. Esses valores indicam que o solo é adequado para essa função. Para a sub-base, os resultados também foram satisfatórios,

com uma expansão de 0,05% e um ISC de 42,3%, ambos superiores ao mínimo de 1% e 20%, respectivamente, confirmando a adequação do solo para essa camada. No entanto, para a camada de base, apesar da expansão de 0,03% estar dentro do limite de ≤ 0,5%, o ISC foi de 56,6%, abaixo do critério mínimo de 80%, o que torna essa amostra inadequada para a função de base.

Analisando os resultados obtidos da tabela 2, a AM-02 teve desempenho positivo na camada de subleito, com uma expansão de 0,12% e um ISC de 20%, ambos dentro dos limites exigidos pelo DNIT (2006). Na sub-base, os resultados também foram satisfatórios, apresentando uma expansão de 0,07% e um ISC de 26,4%, superando os valores mínimos requeridos de 1% e 20%, respectivamente. No entanto, para a camada de base, apesar da expansão estar dentro do limite aceitável (0,08% ≤ 0,5%), o ISC foi de 48,7%, o que está abaixo dos 80% necessários, tornando o solo inadequado para essa função.

Analisando os resultados obtidos da tabela 2, a AM-03 atendeu aos critérios de aceitabilidade para as camadas de subleito e sub-base. Para o subleito, a expansão foi de 0,09% e o ISC de 35,7%, ambos dentro dos limites estabelecidos. Na sub-base, a expansão foi de 0,08% e o ISC de 40%, valores que também atendem aos requisitos normativos. No entanto, para a camada de base, o ISC de 48,7% se mostrou novamente insuficiente, apesar da baixa expansão de 0,04%, não alcançando o mínimo exigido de 80%.

Analisando os resultados obtidos da tabela 2, a AM-04 seguiu um padrão semelhante. Ela foi adequada para o subleito, com uma expansão de 0,09% e ISC de 35,7%, e também para a sub-base, com expansão de 0,08% e ISC de 32%, ambos dentro dos critérios estabelecidos. Entretanto, assim como as demais amostras, o solo não foi considerado apropriado para a camada de base. Embora a expansão tenha sido baixa (0,57%), o ISC de 35,4% foi inferior ao mínimo requerido de 80%, indicando que o material não é adequado para essa função.

Em síntese, as amostras AM-01, AM-02, AM-03 e AM-04 atenderam aos critérios de aceitabilidade para as camadas de subleito e sub-base, com valores de expansão dentro dos limites permitidos e Índices de Suporte Califórnia (ISC) superiores aos mínimos exigidos, indicando a adequação do solo para essas camadas. Segundo Melo (2011), solos que atendem aos pré-requisitos normativos em sua forma natural são considerados estáveis granulometricamente, dispensando a adição de outros materiais, o que é confirmado pelos resultados obtidos para camadas de subleito e sub-base. Porém, para a camada de base, as amostras não atingiram o ISC mínimo de 80%, embora as expansões tenham se mantido

baixas, sugerindo que o solo não possui a resistência necessária para essa função. Nesse caso, como propõe Vizcarra (2010), pode ocorrer o aprimoramento do solo através de técnicas de estabilização, que modificam as propriedades e aumentam sua capacidade de suporte, seria uma solução eficaz. Essas técnicas, como a adição de agentes estabilizadores, preparam o solo para resistir às cargas externas e às variações climáticas, tornando-o adequado para a camada de base, onde são exigidas maiores condições mecânicas.

5. CONCLUSÕES

A análise do solo de Pombal - PB obteve informações importantes para sua aplicação em projetos de pavimentação. A classificação AASHTO revelou que as amostras de solo foram predominantemente identificadas como duas do tipo A-1-a, uma do tipo A-1-b e uma do tipo A-2-4, indicando boas propriedades para uso em bases e sub-bases de pavimentos. A análise granulométrica revelou uma composição favorável, com a presença de pedregulho, areia e uma quantidade reduzida de finos. As avaliações dos LL e LP mostraram que, por não apresentarem LL e LP, as amostras demonstram boa estabilidade para uso em pavimentação, uma vez que esses índices não foram identificados. Além disso, os resultados da compactação mostraram um intervalo de umidade ótima entre 10% e 12,6%, com massas específicas secas variando de 2,005 a 2,236 g/cm³.

Com base nos resultados obtidos para as amostras de solo AM-01, AM-02, AM-03 e AM-04, constatou-se que todas atenderam aos critérios de aceitabilidade estabelecidos pelo DNIT (2006) para as camadas de subleito e sub-base, com valores de expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC) dentro dos limites normativos. No entanto, nenhuma das amostras apresentou ISC suficiente para a camada de base, mesmo com expansões dentro dos padrões exigidos, indicando que o solo, em sua condição natural, não é adequado para essa aplicação. Assim, recomenda-se o uso de técnicas de estabilização ou a utilização de solos com maior capacidade de suporte para garantir a viabilidade do material na camada de base.

Desta forma, pode-se concluir que este trabalho de pesquisa contribui para uma compreensão das propriedades das regiões analisadas do município de Pombal-PB. As características identificadas abrem caminho para a aplicação de técnicas de estabilização, assegurando a durabilidade e a segurança das infraestruturas. Os resultados enfatizam a necessidade de uma análise dos parâmetros geotécnicos e planejamento na execução de projetos de pavimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 11170- Serviços de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7182- Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895 - Índice de suporte - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

AGUIAR, A.S. *et al*. **Asfalto**. Unama, Belém: 2012. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/95302963/Asfalto-QUIMICA> Acesso em: 22/09/2024.

ASIMOV, Isaac. The Roman Empire. Boston: Houghton Mifflin, 1967.

BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007. E-book. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 22 set. 2024.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al*. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2006. 504 p.

BITTENCOURT, E. R. *Caminhos e estradas na geografia dos transportes*. Rio de Janeiro: Editora Rodovia, 1958. 392 p.

BRAGA, Mayla Estrela *et al*. Estudo da viabilidade técnica na utilização de solos como camadas de pavimento na cidade de Sousa/PB. 2023.

Conselho Nacional de Trânsito (2017-2019). Pesquisa CNT de rodovias. Brasília. Recurso online. Disponível em https://pesquisarodovias.cnt.org.br/.

DA COSTA MIRANDA, Jose Luís. A calçada comparada a outras metodologias de pavimentos. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Pavimentação. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

DO NASCIMENTO, Rodrigo Marques; DE SOUZA, Newton Moreira; DE ARAÚJO ROMÃO, Patrícia. Caracterização Geotécnica de argilas da Formação Serra de Santa Helena, em Montes Claros, MG.

DOS SANTOS SILVA, Anderson Oliveira; DOS SANTOS CARMO, Junio César. Estudo da pavimentação de rodovias. PARAMÉTRICA, v. 15, n. 2, 2023.

FONTENELLE, T. (2014). Qualidade das estradas no Brasil: uma pesquisa da Confederação Nacional de Transportes. SINICESP. Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais. 2006.

HUMBOLDT, Alexander von. Personal Narrative of a Journey to the Equinoctial Regions of the New Continent. London: Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown, 1814.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

JONES, A. H. M. The Roman Economy. Oxford: Blackwell, 1974.

MACHADO, Carlos Cardoso *et al*. Caracterização geotécnica de solos para pavimentos de estradas florestais: estudo de caso. SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, v. 7, p. 277-292, 2005.

MACHADO, S.L.; MACHADO, M.F.C, Mecânica dos Solos I – Conceitos introdutórios, 2022.

MEDINA, J.; MOTTA. L.M.G. Mecânica dos pavimentos. 2. ed. Rio de Janeiro: 2005.

MÉLO, Virgiane da Silva. Classificação e estabilização de solos lateríticos do estado da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande-PPGECA, Campina Grande/PB, 2011. 93p.

MOURA, Edson. TRANSPORTES E OBRAS DE TERRA.

NETO, Mascarenhas. Tratado sobre a Construção de Estradas. Lisboa: Imprensa Régia, 1790.

PREGO, A.S.S. A memória da pavimentação no Brasil. Rio de Janeiro: ABPv, 2001.

ROSA, Klicha Kelen Boni *et al*. DIAGNÓSTICO E PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DAS PATOLOGIAS APRESENTADAS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA DE PALMAS-TO. Revista Integralização Universitária,n , 2016.

SALES, Davi Meneses Araújo Leite. Avaliação experimental dos solos utilizados no pavimento flexível de uma rua no município de Piripiri-PI. 2023. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Piauí.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador; FRÓES, Luann Marco Moreira. Pavimentação rodoviária: uma análise de qual melhor tipo de pavimentação para as rodovias brasileiras. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, Teófilo Otoni, v. 2, p. 1-15, fev. 2020.

SAMPAIO, Matheus Caetano de. Análise comparativa entre pavimento asfáltico e pavimento intertravado. Universidade Estadual Paulista – Júlio Mesquita Filho, Guaratinguetá – São Paulo, 2016.

SANTOS, ELIANA FERNANDES DOS (2006). Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais. São Carlos, 2006. - Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SAUNIER, B.; DOLFUS, C.; GEFFROY, G. Histoire de la locomotion terrestre. v. II. Paris: L'Illustration, 1936.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação. 2. ed. [S. l.]: PINI Ltda, São Paulo, p. 147. 1997.

VIZCARRA, Gino Omar Calderón. Aplicabilidade de cinzas de resíduo sólido urbano para base de pavimentos. Engenharia Civil. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2010.