



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATEUS VÍCTOR ARAÚJO DA COSTA

**ANÁLISE DE UM PAVIMENTO EXECUTADO EM UM CONDOMÍNIO
HORIZONTAL ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DO
SOLO**

ANGICOS/RN

2022

MATEUS VÍCTOR ARAÚJO DA COSTA

**ANÁLISE DE UM PAVIMENTO EXECUTADO EM UM CONDOMÍNIO
HORIZONTAL ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DO
SOLO**

Projeto apresentado ao Concelho do Curso de engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para elaboração do Trabalho Final de Graduação.

Orientador: Arthur Gomes Dantas de Araújo.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C837 Costa, Mateus Víctor Araújo da .
a Análise de um pavimento executado em um
condomínio horizontal através de dados obtidos na
caracterização do solo / Mateus Víctor Araújo da
Costa. - 2022.
60 f. : il.

Orientador: Arthur Gomes Dantas de Araújo .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2022.

1. Pavimento.. 2. CBR. . 3. Camadas.. 4.
Dimensionamento.. I. Araújo , Arthur Gomes Dantas
de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MATEUS VÍCTOR ARAÚJO DA COSTA

**ANÁLISE DE UM PAVIMENTO EXECUTADO EM UM CONDOMÍNIO
HORIZONTAL ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DO
SOLO**

Projeto apresentado ao Concelho
do Curso de engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-
árido, como requisito parcial para
elaboração do Trabalho Final de
Graduação.

Definida em: 23 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas de Araújo (UFERSA)
Presidente

Prof. Me. Luís Henrique Gonçalves Costa - (UFERSA)
Primeiro Membro Examinador

Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral - (UFERSA)
Segundo Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder esta oportunidade de estar aqui, buscando sempre o melhor para mim e me mostrando em nossas conversas que eu sou capaz.

Agradeço a minha família, que se resume em irmãs, irmão e em especial à minha mãe Jaciara Santana de Araújo Silva Costa que eu amo incondicionalmente e sempre me dá conselhos construtivos, agradeço também a meu pai Sirmonio Herper Costa de Oliveira que é minha forma de se inspirar, ele que sempre tá ali do meu lado em todos os momentos.

Agradeço a todos os meus avós e meus tios e tias que eu tenho certeza que sempre oram por mim, e sabem do meu potencial.

Agradeço a minha namorada Gabriela Pereira da Silva, futura engenheira civil também, por me apoiar neste momento, e ao longo de 4 anos, está sempre do meu lado. E também por ser uma pessoa muito preciosa para mim que eu admiro tanto e amo muito, de forma incondicional.

A meu orientador Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas de Araújo que me deu total assistência, foi uma pessoa muito bacana e calma comigo neste momento tão crucial.

Aos meus amigos verdadeiros amigos.

Quero agradecer também aos meus companheiros da Ecomax, empresa de grande renome, que me concedeu espaço para um estágio maravilhoso e de muita aprendizagem, sempre que precisei, me tiraram dúvidas sobre tudo.

Agradeço também ao meu amigo Jose Paiva Lopes Neto, que me proporcionou momentos ímpares no início da minha carreira, no meu primeiro estágio na Paiva Engenharia.

E por último quero agradecer de coração a esta cidade que está sendo a minha segunda casa, onde eu pude conhecer pessoas maravilhosas.

A desistência é uma palavra inexistente.

Autoria Própria.

RESUMO

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem possui a sua designação destinada a viabilidade econômica e simultaneamente, em seu conjunto a várias outras questões, tais como: a resistência do solo, distribuição de esforços e as melhorias das condições de rolamento. São várias as alternativas de execução, como por exemplo, os mais comuns são a utilização de Pavers (piso intertravado), Calçamento e Revestimento asfáltico. Diante desse contexto, o seguinte trabalho tem como objetivo, estudar um projeto de pavimentação de um condomínio horizontal no Município de Parnamirim, no Rio Grande do Norte, e posteriormente a isso, fazer a análise desse projeto através de um estudo de caracterização do solo obtidos no trabalho, o outro ponto a ser seguido é realizar comparações, soluções, estimativas de camadas, métodos de execução e orçamento, de uma nova proposta de pavimentação asfáltica. E após esta análise granulométrica, com os dados obtidos na mesma caracterização e perfil de solo, foi dimensionado para o mesmo ambiente de estudo um novo tipo de pavimentação, desta vez, um pavimento flexível, o revestimento Asfáltico para Tratamento Betuminoso Simples, através do método de dimensionamento DNER-ME 049/94, observando os valores de CBR, seguindo a norma do DNIT. Ao final da análise característica do ambiente estudado, foi possível compreender que o solo do condomínio em estudo suportaria os dois tipos de pavimentação, o pavimento atual (Revestimento Intertravado) e novo proposto (Revestimento Asfáltico). Logo, foi realizado o dimensionamento do revestimento asfáltico (nova proposta) e determinado a partir disso, as camadas do novo pavimento. Após os cálculos, foram obtidos os resultados através de uma média ponderada e designado valores unitários onde envolve viabilidade econômica. Logo, foi realizado uma comparação dos dois tipos de pavimentos, e observou-se que o tipo de pavimento que mais se adequa para o ambiente estudado foi o Piso Intertravado, uma vez que os critérios de avaliação são os custos e o tempo de execução. Então, o pavimento atual mostrou possuir ter uma efetividade positiva referente aos aspectos tratados anteriormente de 29,77 %, em comparação com relação ao Revestimento Asfáltico novo proposto.

Palavras-chave: Pavimento. CBR. Camadas. Dimensionamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhamento Sondagem SPT Simples	16
Figura 2 - Imagem Real de uma Sondagem SPT Simples.....	16
Figura 3 - Solo Residual Detalhes	17
Figura 4 - Detalhe de um Pavimento Flexível	19
Figura 5 - Detalhe de um Pavimento Rígido	20
Figura 6 - Detalhes de descolamentos	21
Figura 7 - Detalhes da tipologia	23
Figura 8 - Detalhe de assentamento.....	23
Figura 9 - Detalhe de assentamento.....	24
Figura 10 - Detalhe de assentamento.....	25
Figura 11 - Resposta Mecânica do Pavimento Flexível	26
Figura 12 - Estrutura de Pavimento Flexível.....	27
Figura 13 - Rodovia Pavimentada com CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente)	28
Figura 14 - Localização do município de Parnamirim/RN.....	29
Figura 15 - Localização do bairro Cotovelo	30
Figura 16 - Localização do condomínio horizontal em estudo	30
Figura 17 - Mapa de estudo geológico dos setores de Parnamirim/RN	32
Figura 18 - Descrição tabelada da figura 18.....	32
Figura 19 - Modelo digital do Terreno Primitivo em estudo (sem escala).....	33
Figura 20 - Modelo de classificação do solo	34
Figura 21 - Exemplo de material, agitador de peneiras	35
Figura 22 - Ensaio de compactação com o cilindro de proctor e o soquete	36
Figura 23 - Ensaio de limite de liquidez (aparelho Casagrande).....	37
Figura 24 - Limites de Consistência	37
Figura 25 - Coeficiente relativo ao intervalo de confiança de 90%	39
Figura 26 - Prensa para cálculo de CBR (Índice de Suporte Califórnia)	40
Figura 27 - Espessuras mínimas da camada de revestimento asfáltico - DNER 1981	41
Figura 28 - Tabela de Coeficientes de equivalência estrutural usados no dimensionamento das camadas do pavimento.....	42
Figura 29 - Ábaco para a determinação de espessura de sub-base.....	43
Figura 30 - Tabela de Classificação das vias e parâmetros de tráfego	45

Figura 31 - Resultado dos cálculos das amostras de CBR	45
Figura 32 - Coeficiente relativo ao intervalo de confiança de 90%	45
Figura 33 - Corte ilustrativo da plataforma do projeto	47
Figura 34 - Corte ilustrativo da plataforma do projeto detalhada	48
Figura 35 - Ábaco para a determinação das espessuras mínimas das camadas de revestimento	50
Figura 36 - Esquema de camadas do dimensionamento	52
Figura 37 - Esquema de gastos de materiais.....	54
Figura 38 - Esquema de gastos de mão-de-obra.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 ENSAIOS DE SONDAGEM.....	15
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	17
2.3.1 Piso intertravado	21
2.3.1.1 Movimentos:.....	22
2.3.1.2 Tipos de formato e características	22
2.3.1.3 Manejo e características técnicas	24
2.3.2 Pavimentação em revestimento asfáltico	25
2.3.2.1 Características, etapas e materiais	26
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 LOCAL DE PESQUISA	29
3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS DO LOCAL	31
3.2.1 Climatologia	31
3.2.1 Geologia	31
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	33
3.3.1 Granulometria.....	34
3.3.3 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)	36
3.3.4 Índice de Suporte Califórnia (CBR).....	38
3.4 MÉTODO DE CÁLCULO DNER (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM).....	40

3.4.1 Dados de entrada para o cálculo do dimensionamento de pavimento flexível (Revestimento asfáltico).....	41
4 RESULTADOS	44
4.1 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO ATUAL (INTERTRAVADO COM BLOCOS DE CONCRETO)	44
4.1.1 Determinação do número de N.....	44
4.1.2 Determinação do CBR do subleito.....	45
4.1.3 Dimensionando as camadas.....	46
4.2 PROPOSTA DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	48
4.2.1 Dimensionamento.....	48
4.2.1.1 Adoção de materiais na concepção do pavimento.....	49
4.2.1.2 Determinação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento.....	49
4.3 ANÁLISE DE CUSTOS DO PAVIMENTO INTERTRAVADO	52
4.4 ANÁLISE DE CUSTOS DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	53
4.5 CÁLCULO DOS GASTOS	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

Condomínios horizontais seguem a tendência de moradia isolada e distante de outras camadas sociais nos dias de hoje e são uma modalidade de moradia nova no mercado imobiliário do Brasil. A sua realização deve-se a pontos estratégicos, ligados a grandes centros urbanos, uma padronização de casas e áreas de entretenimento. São inúmeros os fatores característicos destes tipos de empreendimentos, tais como: tranquilidade, privacidade, lazer, espaços infantis, a segurança, uma vez que a violência continua assustando muita gente nos centros urbanos, o convívio social também é outro fator, já que neste tipo de condomínios contam como uma espécie de área gourmet para estabelecer laços fortes de amizades em pessoas que possam ganhar a confiança entre si, outros pontos positivos são os tamanhos de lotes, que na maioria das vezes são grandes, a facilidade de acesso, infraestrutura e padronização. O meio de rodagem interno desses empreendimentos, é um assunto muito abordado, devido a sua diversificação no que se refere à pavimentação. Pode-se ser executado de várias maneiras e com vários materiais. Resumindo, são várias as alternativas de execução. Como por exemplo, os mais comuns são a utilização de Pavers (piso intertravado), Calçamento e Revestimento asfáltico.

O piso intertravado é formado por Pavers, uma espécie de blocos pequenos de concreto, e se destaca pela sua facilidade de manuseio, intertravando com a areia de selagem, onde uma vez aplicada por cima do revestimento, o mesmo fixa de maneira rígida e segura. O método de execução Bripar (brita + paralelepípedo), utilizado com calçamentos é o segundo mais lucrativo e utilizado no Brasil, sua criação se deu no estado do Rio Grande do Norte, criado em 1958 pelo engenheiro civil potiguar Milson Dantas, 80 anos, ex-combatente da Segunda Guerra, este tipo de pavimentação se relaciona com a longevidade, pelas três propriedades que lhes são mais comuns, que são: união de britas entre si e ao paralelepípedo, o mesmo é impermeabilizante, além de garantir a estabilidade da base, e não permite a entrada de água e também não permite a desconcentração dos materiais, e por final é um meio plástico o suficiente para permitir, em pequenos movimentos à adaptação do pavimento, mantendo as principais características já observadas. E por último método, tem-se o Revestimento asfáltico, o mais utilizado no país, a pavimentação asfáltica é formada por uma estrutura de múltiplas camadas de materiais entre si, executada de acordo com o seu uso específico, sendo que esta, é construída sobre uma superfície final de terraplanagem compactada, este é o seu detalhe.

Observa-se que o estudo de solos e pavimentação é algo que em determinadas regiões do Brasil não se aborda com tanta frequência.

Tendo essa visão, é necessário informar que, o dimensionamento de pavimentos para qualquer tipo de empreendimento é muito importante. O dimensionamento de um pavimento consiste na determinação das espessuras das camadas, além disso, é determinado os tipos de materiais que serão utilizados e que se adaptam perfeitamente ao local, como forma de construir uma estrutura capaz de suportar um determinado volume de tráfego pré-estabelecido ou não no projeto e oferecer desempenho satisfatório.

Os métodos de dimensionamento foram estabelecidos basicamente de duas maneiras: empíricos e mecanístico-empíricos. O empírico está ligado à pura e simples observação daquele terreno onde será trabalhado o revestimento. O profissional vai analisar as condições de evolução do pavimento, com base na sua experiência com trabalhos anteriores

Já a abordagem mecanística-empírica é a técnica mais indicada pelos especialistas. Esse método utiliza conceitos de mecânica para analisar o comportamento estrutural do pavimento, o que é bastante importante. Além disso, é possível ter uma noção e prever a vida útil do material utilizado na obra para responder a uma questão básica, como por exemplo, quanto tempo ele vai durar?

Este trabalho terá como base os princípios trabalhados nos tópicos dos objetivos. Será estudado a partir do método DNER (1981), os dois dimensionamentos de comparações, que são o Revestimento asfáltico e o atual intertravado dimensionado, através de cálculos de CBR. Esse método DNER, simula os efeitos de repetições de um eixo padrão de 80kN e foi concebido pelo professor Murilo Lopes de Souza do Instituto Militar de Engenharia, no ano de 1981.

Tendo já conhecido o número de repetições do eixo padrão (N), e o CBR para o Subleito, o dimensionamento ocorre através de ábacos do DNER. As camadas de Base e Subbase são dimensionadas levando em consideração os valores mínimos de CBR para essas camadas, sendo eles:

- Base – CBR = 80%
- Subbase – CBR = 20%

O dimensionamento e análise desse estudo de pavimentação devem ser realizados cuidadosamente para receber esforços variados. A maneira utilizada para estas análises é

através de ensaios de caracterização do solo, onde mede-se limite de liquidez e limite de plasticidade conhecidos também como limites de Atterberg, e estes ensaios, em outras palavras, permitem determinar os limites de consistência do solo. É necessário também uma análise da granulometria do solo, onde consiste na definição do tamanho das partículas de material presente nele, a compactação do solo também é uma análise necessária, que é praticamente um método de estabilização do solo através de vibração, impacto, compressão estática ou dinâmica. E um ensaio muito importante também é o CBR (Índice de Suporte Califórnia) que determina a pressão necessária para a penetração de um pistão no material testado e, também, ele mede a pressão que é necessária para a penetração em uma mistura de brita estabilizada granulometricamente. Esse ensaio tem por finalidade, a prevenção de problemas que podem ser criados por um solo de baixa qualidade, problemas estes como fissuras e recalques. O CBR se tornou padrão em 1987 pela norma ABNT NBR 9895/87.

Este trabalho irá fazer uma análise para buscar resultados de um solo que será pavimentado para destinação específica, através de um projeto de pavimentação e observando os resultados de caracterização do mesmo.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos listados a seguir, referem-se ao propósito que esta pesquisa busca atingir ao seu final.

1.1.1 Objetivo Geral

- Estudar um projeto de pavimentação de um condomínio horizontal e posteriormente a isso, fazer a análise desse projeto através de um estudo de caracterização do solo obtidos no trabalho. O outro seguimento é fazer comparações soluções, estimativas de camadas, métodos de execução e por último o orçamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as curvas granulométricas e resultados do ensaio de Ensaio de sondagem;
- Comparar os resultados dos ensaios com o outro estudado;
- Verificar ensaios de caracterização do solo, amostras, ensaios de percolação do mesmo;
- Verificar e analisar os limites de consistência do solo;
- Analisar a granulometria do solo, definida em projeto através de amostras;
- Analisar a compactação do terreno;
- Verificar e analisar os ensaios de CBR (Índice de Suporte Califórnia);
- Através de métodos teóricos fazer uma análise geral do objetivo deste estudo e por último, comparar os resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo mostrará definições importantes de pavimentação, estudo de solo, controle de dimensionamento e tipos de pavimentações.

2.1 ENSAIOS DE SONDAGEM

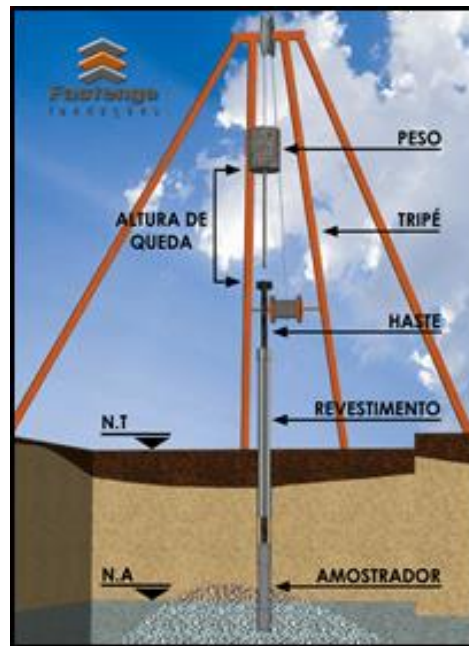
A sondagem de um solo, segundo Cavalcante (2002) é um processo de reconhecimento e caracterização daquele terreno a ser estudado, para conhecer as características do terreno, é necessário extrair informações de suma importância que auxiliam no desenvolvimento da obra, que são: identificação das diferentes camadas do solo, a classificação de cada camada identificada, o nível do lençol freático e por último, a capacidade de carga ou resistência do solo em várias profundidades. Atualmente a sondagem é um elemento indispensável para uma construção, quando se refere a fundações, a maioria dos engenheiros estruturais exigem os ensaios de sondagem para dar início aos seus projetos com segurança. É muito importante ter em mente a necessidade da sondagem quando for construir.

Ter a certeza de que um solo é capaz de suportar os esforços destinados a ele com segurança, graças ao estudo preliminar do terreno por meio de sondagens, é um grande passo significativo para a edificação. A sondagem a percussão (SPT) tem origem do inglês “standard penetration test”, que significa ensaio de penetração padrão.

A NBR 6484:2020 (ABNT, 2001) prescreve a metodologia correta para a execução da sondagem de simples reconhecimento de solos com (SPT). Este procedimento consiste na perfuração e uma cravação dinâmica para recolher amostras de solo a cada metro, determinando suas composições e características. O processo começa com a sondagem do terreno em sua superfície para a instalação do equipamento, perfurando o primeiro metro de solo com o trado concha ou cavadeira manual, retirando a primeira amostra de solo. A partir do segundo metro de solo, segue-se um padrão, ergue-se um martelo de geralmente 65 kg, a uma altura de 75cm com um auxílio de uma corda sisal, fazendo a queda livre do mesmo deixando cair. Com isso, obtém-se a amostra e se repete da mesma maneira nos próximos metros. Um detalhe, o procedimento ocorre até que o penetrador no solo, penetre cerca de 45 cm, e a cada 15 cm é

determinado o número de golpes do martelo necessários para atingir essa profundidade citada. O resultado do NSPT é obtido através da soma dos golpes dos últimos 30 cm do solo, coletando as amostras de cada metro do solo perfurado. Segue abaixo a figura 01 e 02 para ilustração e detalhamento:

Figura 1 - Detalhamento Sondagem SPT Simples



FONTE: fastenge.com.br (Fastenge fundações, 2016).

Figura 2 - Imagem Real de uma Sondagem SPT Simples



FONTE: APL ENGENHARIA, (2022).

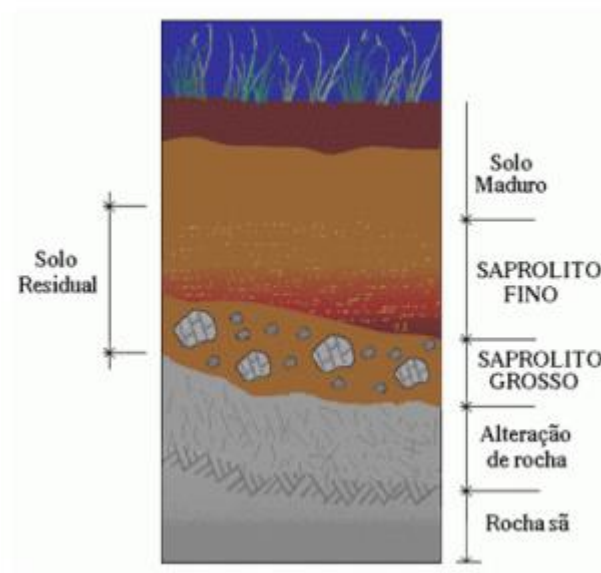
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Neste tópico será trabalhado a base do livro *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*, de Homero Pinto Caputo e Armando Negreiros Caputo, que define solo como um material constituído por um conjunto de partículas sólidas, que tem sua origem imediata ou remota na decomposição das rochas pela ação das intempéries. Deixando entre si vazios que poderão estar parciais ou totalmente preenchidos pela água. E, no caso mais geral, é um sistema disperso formado por três fases: sólida, líquida e gasosa.

Com o tempo esses sedimentos podem sofrer alterações em sua composição inicial, originando os solos diferentes:

- **Solo Residual** - provém do produto final da rocha sã intemperizada pelo processo químico, permanecendo “in situ”, constituindo o manto de intemperismo. Grande relação com a rocha de origem. Figura 03 ilustrativa abaixo:

Figura 3 - Solo Residual Detalhes



FONTE: FECFAU/UNICAMP, (2018).

- **Solo Transportado** - caracterizado pelo solo residual que sofre a ação transportadora dos agentes geológicos: mar, rio, vento, gelo, gravidade. Neste tipo

de solo tem-se uma grande quantidade de matéria orgânica em sua composição. Não possui ligação coma rocha original.

Partindo para o estudo de caracterização do solo, o mesmo consiste em uma grande relevância na construção civil, no que se diz respeito a engenharia geotécnica. Esse estudo explora os comportamentos do solo, as tensões-deformações do solo, dessa maneira, essa caracterização contribui de forma significativa para um dimensionamento de projetos mais racional e condizente com a realidade.

Os objetivos desses ensaios devem visar a caracterização física e mecânica dos materiais obtidos. A caracterização de forma física é realizada da seguinte maneira: geralmente consiste em ensaios de rotina simples como análises granulométricas, determinação dos limites de consistência e do teor em água natural (em solos finos), é necessário também ensaios de compactação, massa volumétrica e partículas sólidas. Este conjunto de ensaios, serve não só para determinar a obtenção de parâmetros índice que identificam a natureza do solo, mas também as suas propriedades mecânicas.

Ainda de acordo com Caputo e Caputo (2015), os dois primeiros limites (LL e LP) são devidos ao cientista sueco Atterberg (1911), e o último (LC), a Haines. Limites de Liquidez (LL) e Limites de Plasticidade (LP), que também são conhecidos como Limites de Atterberg, onde o mesmo (Atterberg), definiu quatro estados de consistência do solo, em função da variação crescente do teor de umidade da amostra tem a função de determinar os limites de consistência do solo em estudo. Estes estados são: sólido (quando qualquer secagem do solo não implica em variação de volume), semi-sólido (tem a aparência de um sólido, mas com a secagem ocorre variação de volume), solo ainda apresenta retração ao secamento; plástico (o material possui comportamento plástico, deformável) e líquido (quando não possui forma definida. A resistência ao cisalhamento é nula), solo tem aparência fluida ou de lama.

Além dos limites de liquidez (LL) e os limites de plasticidade (LP), tem-se os limites de contração (LC). Esses limites, refere-se ao teor de umidade a partir do qual o solo não mais se contrai não obstante continue perdendo peso, é feita tendo em vista que o índice de vazios da amostra é o mesmo, quer quando ainda saturada (no momento em que cessa a contração), quer estando completamente seca. Para a determinação de um estado físico de solo, o termo utilizado, é chamado de consistência, isto quer dizer, o grau de ligação entre as partículas das

substâncias. Quando se trata dos solos finos ou coesivos, a consistência está ligada à quantidade de existente de água no solo (teor de umidade).

O Limite de Liquidez em outras palavras, é o valor de umidade onde o solo passa do estado para o outro (líquido para o estado plástico). Com o auxílio de um aparelho casagrande é determinado esse limite de teor de umidade, funcionando com 25 golpes. O Limite de Plasticidade, se refere ao valor de umidade onde o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido. Este é o limite quando o solo começa a se quebrar, se dividindo em pequenas partes, quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro, logo é o menor teor de umidade em que o solo se comporta falando de forma plástica. Normatizados pela NBR – 7180-84 e NBR 6459 – ABNT.

2.3 TIPOS DE PAVIMENTAÇÕES

Para Souza (1980), o pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações. E as pavimentações existentes possuem a seguinte classificação: pavimentos rígidos e flexíveis. Assim, estes pavimentos são constituídos por camadas, essas que são o subleito, o reforço do subleito, a base, sub-base e revestimento.

As figuras 04 e 05 abaixo mostrará detalhes do pavimento rígido e flexível:

Figura 4 - Detalhe de um Pavimento Flexível



FONTE: ANTONIO CARLOS S. DE LIMA – UNINASSAU, (2016).

Figura 5 - Detalhe de um Pavimento Rígido



FONTE: ANTONIO CARLOS S. DE LIMA – UNINASSAU, (2016).

Essas camadas do pavimento podem conter vários materiais como exemplo: pisos intertravados de concreto, brita, areia, macadame seco, macadame hidráulico, solo agregados graúdos e miúdos, e outros materiais. A definição de cada material a ser utilizado irá variar de acordo com a região, disponibilidade do material e a qualificação de execução do mesmo.

Neste trabalho irá ser trabalhado e mencionado dois métodos: o revestimento asfáltico e o piso intertravado (paver).

Segundo o (DNIT, 2006) O método é baseado na capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento, pelo CBR. Os materiais utilizados no pavimento podem ser classificados em:

- Materiais para reforço do subleito, os que apresentam: C.B.R. maior que o do subleito e Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- Materiais para sub-base, os que apresentam: C.B.R. $\geq 20\%$ I.G. = 0 e Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lbs)

- Materiais para base, os que apresentam: C.B.R. $\geq 80\%$ Expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lbs) Limite de liquidez $\leq 25\%$ Índice de plasticidade $\leq 6\%$.

Os subtópicos 2.3.1, 2.3.1.1, 2.3.1.2 e 2.3.1.3 seguirão a metodologia técnica para o piso intertravado, baseado no Manual de Pavimento Intertravado, coordenado pela Engenheira Glécia R. S. Vieira – ABCP.

2.3.1 Piso intertravado

De acordo com Vieira – ABCP (2010), coordenadora geral do Manual de Pavimento Intertravado, os pavimentos intertravados têm sua origem nos pavimentos revestidos com pedras, isso ocorre desde muitos anos atrás, cerca de 2000 a.C. utilizados pelos romanos.

O piso intertravado realizado pelos paver, nada mais é do que uma pavimentação composta por peças de concreto, assentadas sobre camada de areia e travadas entre si por contenção/travamento lateral. O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos. Este procedimento é fundamental para o desempenho e a durabilidade do pavimento. Para que se consiga o intertravamento, são duas condições são necessárias e indispensáveis: a contenção lateral e junta preenchida com areia. A **contenção lateral** impede o deslocamento lateral dos blocos da camada de rolamento, promovendo o intertravamento. A **junta preenchida com areia** proporciona a transferência de esforços entre os blocos de concreto, permitindo que eles trabalhem juntos, uns com os outros, e suportem as cargas solicitantes, além da firmeza.

É comum ocorrer deslocamento nas peças neste tipo de pavimentação, são estes os tipos: vertical, movimento rotacionado e deslocamento horizontal. A figura 06 abaixo ilustrará os detalhes:

Figura 6 - Detalhes de descolamentos



FONTE: MANUAL DE PAVIMENTO INTERTRAVADO, (2010).

2.3.1.1 Movimentos:

Observe os tipos de movimentações abaixo, os movimentos verticais, rotacionado e horizontais.

- **DESLOCAMENTO VERTICAL:** ocorre se um conjunto de blocos de um piso receber uma carga bem no centro de um dos blocos, ou seja, uma carga destinada e fixa para aquele bloco, logo, a tendência dele é afundar e ter um deslocamento no sentido vertical.
- **MOVIMENTO ROTACIONADO:** ocorre se a carga fixa for precisamente aplicada na extremidade do bloco, criando assim uma tendência de rotação da peça.
- **DESLOCAMENTO HORIZONTAL:** ocorre se o esforço for exatamente no sentido horizontal, assim, as peças de blocos (paver) ficam com a tendência de se deslocar lateralmente.

2.3.1.2 Tipos de formato e características

São três tipos básicos de formatos de blocos:

1. **Tipo 1:** Constituído por formas retangulares, este tipo representa uma facilidade de produção e aplicação na obra, desta maneira, facilita a construção de detalhes nos pavimentos. As suas dimensões são geralmente: 20 cm de comprimento por 10 cm de largura, onde as suas faces laterais podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas.

Na figura 07 abaixo, a tipologia a seguir:

Figura 7 - Detalhes da tipologia

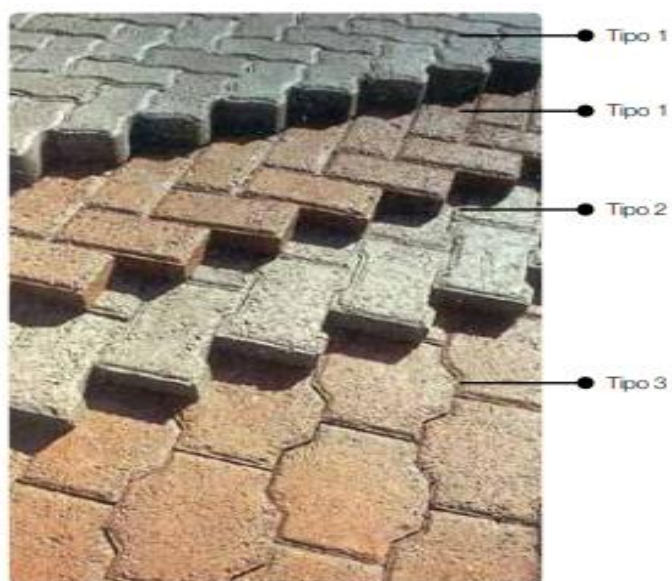


FONTE: MANUAL DE PAVIMENTO INTERTRAVADO (2010).

2. **Tipo 2:** Apresenta o formato de “I”, montado somente pode em fileiras travadas. As suas dimensões são: 20 cm de comprimento por 10 cm de largura.
3. **Tipo 3:** É o bloco que se torna um pouco maior, pelo seu peso e tamanho. Com dimensões: pelo menos, 20 x 20 cm.

Na figura 08 abaixo, mostrará o detalhe de assentamento da tipologia do intertravado.

Figura 8 - Detalhe de assentamento



FONTE: MANUAL DE PAVIMENTO INTERTRAVADO, (2010).

2.3.1.3 Manejo e características técnicas

É necessário antes da execução, os trabalhadores terem um treinamento de execução. Onde este treinamento mostrará a necessidade de serviços preliminares antes do início, materiais e equipamentos que precisam ser utilizados nessa pavimentação. E também, neste treinamento, mostrar aos servidores, o modo correto de executar o pavimento, e analisar se os materiais (composições) a serem utilizados, estão de acordo com as NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS.

Para atender às exigências técnicas, o setor conta com as seguintes normas da ABNT:

- NBR 9780 - Peças de Concreto para Pavimentação – Determinação da Resistência à Compressão (Método de ensaio).
- NBR 9781 - Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação.
- NBR 9050 - Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos.

REQUISITOS DE FABRICAÇÃO:

- Resistência característica estimada à compressão $\geq f_{pk}$ 35 MPa para solicitação de veículos comerciais de linha, isso para que atenda às necessidades de fluxo.

Os principais materiais usados são: areia média, brita, areia fina, peças de concreto para pavimentação e concreto para contenções internas. Além dos EPI's, os principais equipamentos a serem utilizados serão mostrados na figura 09.

Figura 9 - Detalhe de assentamento

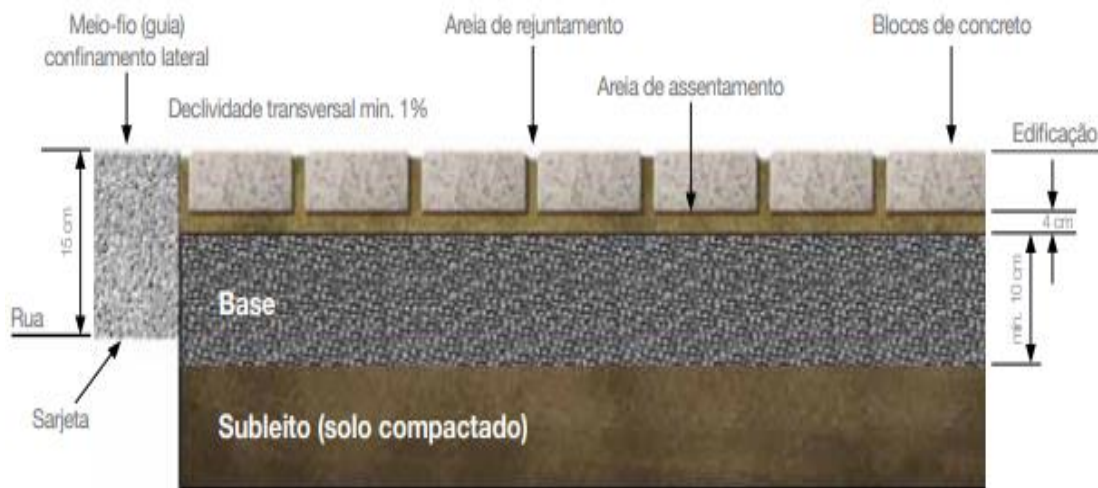
- | | |
|--------------------------------------|---|
| • Fios de nylon | • Lápis |
| • Marretas de borracha | • Pás e enxadas |
| • Vassouras | • Placas vibratórias |
| • Rodos de madeira | • Carrinhos para transporte de blocos e areia |
| • Equipamentos para corte dos blocos | • Guias de madeira ou tubos metálicos
(gabarito da espessura da camada de areia) |
| • Trenas | • Réguas metálicas ou de madeira desempenada
(para rasar a camada de areia) |
| • Nível de água (mangueira) | |
| • Colher de pedreiro | |
| • Estacas | |

FONTE: MANUAL DE PAVIMENTO INTERTRAVADO, (2010).

ESTRUTURA TÍPICA DO INTERTRAVADO:

A figura 10 mostra em detalhes a estrutura do pavimento em estudo:

Figura 10 - Detalhe de assentamento



FONTE: Manual de Pavimento Intertravado, (2010).

2.3.2 Pavimentação em revestimento asfáltico

O asfalto é o revestimento mais utilizado pelo ser humano, na maioria dos países. No Brasil, segundo o manual PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA – Formação Básica para engenheiros, cerca de 95% das estradas, são pavimentadas por revestimento asfáltico. Mas por que este revestimento é tão utilizado?

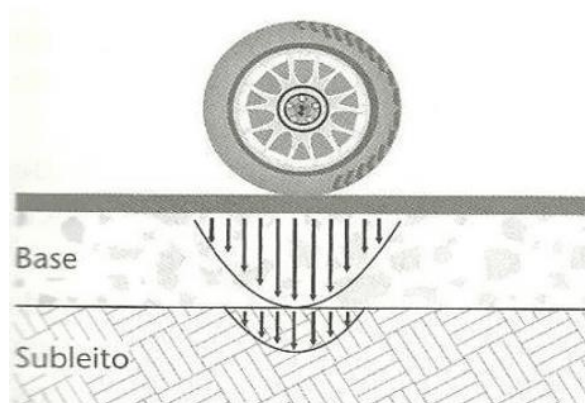
São vários os motivos da utilização desse material na pavimentação, sendo os principais: proporcionar uma forte união dos agregados, funcionando como um ligante que permite flexibilidade controlável; o mesmo também é impermeabilizante, tem uma boa durabilidade e resistência a uma quantidade considerável de ácidos, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado.

Neste trabalho será apresentado comparações e análises de um possível dimensionamento correlacionando com o revestimento asfáltico, que foi citado acima.

2.3.2.1 Características, etapas e materiais

De acordo com o DNIT (2006), que é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, o pavimento de uma rodovia consiste de uma superestrutura formada por um sistema de camadas de espessura finita, ou seja, detalhadas e trabalhadas. Os pavimentos flexíveis, é aquele que é composto por uma camada superficial asfáltica, o revestimento, e este, é apoiado em camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes, e que sob carregamento sofre deformação elástica em todas as camadas, ou seja, a carga aplicada neste revestimento, vai se distribuindo em parcelas praticamente iguais com pressões concentradas. Mais detalhes para o entendimento na figura 11 abaixo:

Figura 11 - Resposta Mecânica do Pavimento Flexível



FONTE: NÚCLEO DO CONHECIMENTO, (2022).

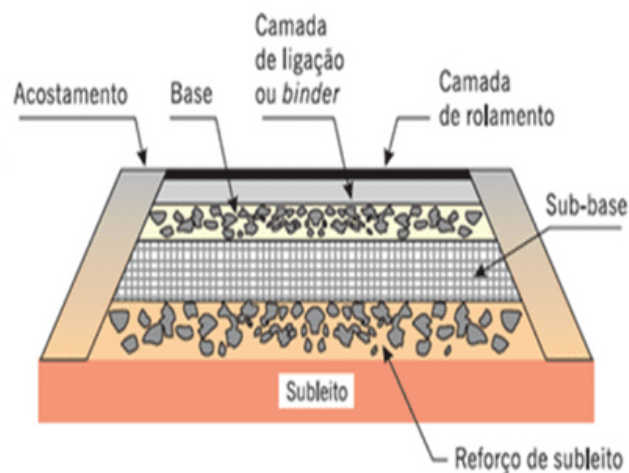
É necessário ressaltar que esta execução só é feita após a conclusão do processo de terraplenagem, que é destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos, fluxo de pessoas e outros, buscando também melhorar a função de rolamento quanto ao conforto e segurança, e além disso, resistir aos esforços horizontais, para que tenha uma melhor durabilidade. Abaixo serão descritas as camadas do pavimento flexível trabalhado:

O glossário de termos técnicos rodoviários (DNER, 2017) define as subdivisões como:

- Subleito: é o maciço de terra que serve de fundação para o pavimento ou revestimento;
- Reforço de subleito: camada granular do pavimento executada com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito e de reduzir espessura da sub-base;

- Sub-base: camada corretiva do subleito e complementar à base, com as mesmas funções desta, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base;
- Base: camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento;
- Revestimento: camada mais acima do pavimento, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais dos veículos, e destinada a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança. Observe a figura 12 abaixo para o detalhamento.

Figura 12 - Estrutura de Pavimento Flexível



FONTE: BERNUCCI, (2010).

Com relação aos materiais utilizados em pavimentos flexíveis, os agregados correspondem cerca de 90% e 95% do revestimento, e estes são os responsáveis por suportar e transmitir as cargas aplicadas pelos veículos, fluxo de pessoas e resistir ao desgaste das solicitações de esforços (BERNUCCI et al., 2010).

O material betuminoso, o asfalto, corresponde cerca de 5% e 10% do revestimento, a sua função é de aglutinante e também de ação impermeabilizante (BERNUCCI et al., 2010).

Existem as misturas usinadas, dentre os tipos de revestimento dos pavimentos flexíveis. Para Bernucci et al. (2010), a mistura de agregados com o ligante é realizada em uma usina estacionária, e depois que será transportada para o local de utilização do material. Ainda

segundo Bernucci et al. (2010), um dos tipos mais utilizados de concreto asfáltico no Brasil é concreto asfáltico usinado a quente, o CAUQ. Detalhe na figura 13 abaixo:

Figura 13 - Rodovia Pavimentada com CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente)



FONTE: RODOCON, (2017).

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o local da pesquisa, e os aspectos geológicos do local de estudo. Será detalhado também os métodos de execução para a caracterização do estudo de caso.

3.1 LOCAL DE PESQUISA

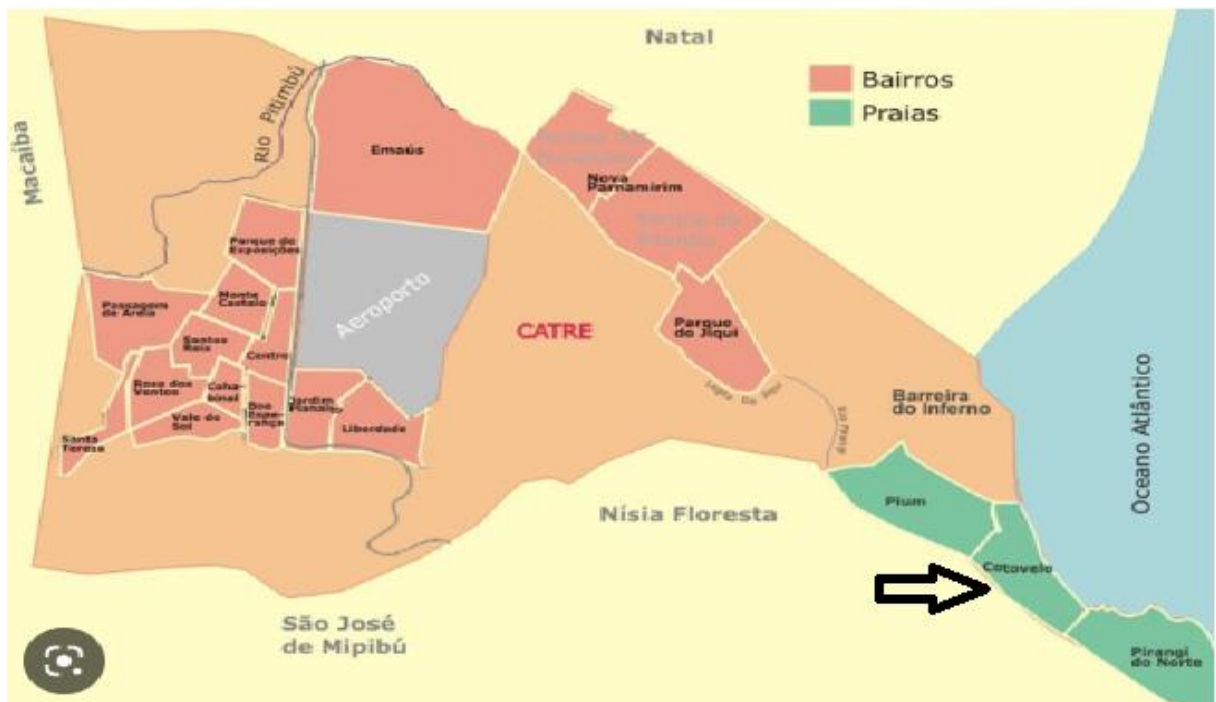
O local da pesquisa em que foram realizados os estudos, foi uma obra de um condomínio horizontal, medindo cerca de 9,71 ha de área de terreno, localizado no Município de Parnamirim, no estado de Rio Grande Norte (Figura 15). O local estudado se localiza no bairro Cotovelo, próximo à praia de Cotovelo. Localização e mais detalhes nas figuras 14, 15 e 16 abaixo:

Figura 14 - Localização do município de Parnamirim/RN



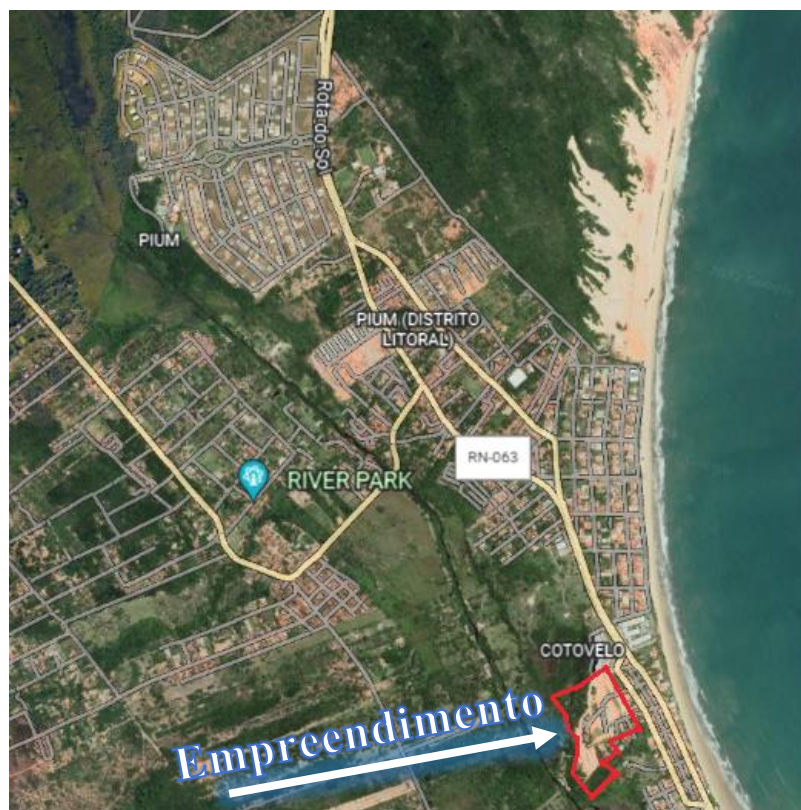
FONTE: FONTE: PREFEITURA DE PARNAMIRIM, (2022).

Figura 15 - Localização do bairro Cotovelo



FONTE: PREFEITURA DE PARNAMIRIM, (2022).

Figura 16 - Localização do condomínio horizontal em estudo



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, (2022) (ADAPTADO DO GOOGLE EARTH – SEM ESCALA).

3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS E GEOLÓGICOS DO LOCAL

Neste subtópico será apresentado um breve resumo sobre a climatologia e a geologia do local estudado.

3.2.1 Climatologia

Segundo Diniz (2002), o clima de Cotovelo é tropical chuvoso, ou seja, subúmido, quente e com verão seco, e o clima é o fator que mais influencia o intemperismo, principalmente a precipitação pluviométrica (chuvas) e as variações de temperatura. São elas as principais responsáveis pela natureza e velocidade das reações químicas que ocorrem na formação do solo.

As médias pluviométricas anuais segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), situam-se entre 800 e 1.200 milímetros de chuvas. Equivale ao clima tropical chuvoso, com inverno seco e a estação chuvosa prolongando-se até o mês de julho. Detalhando mais as informações pluviométricas, este clima prevalece com chuvas concentradas entre os meses de março e julho e índice pluviométrico superior a 1500 milímetros (mm) anuais, com poucas ocorrências de descargas elétricas.

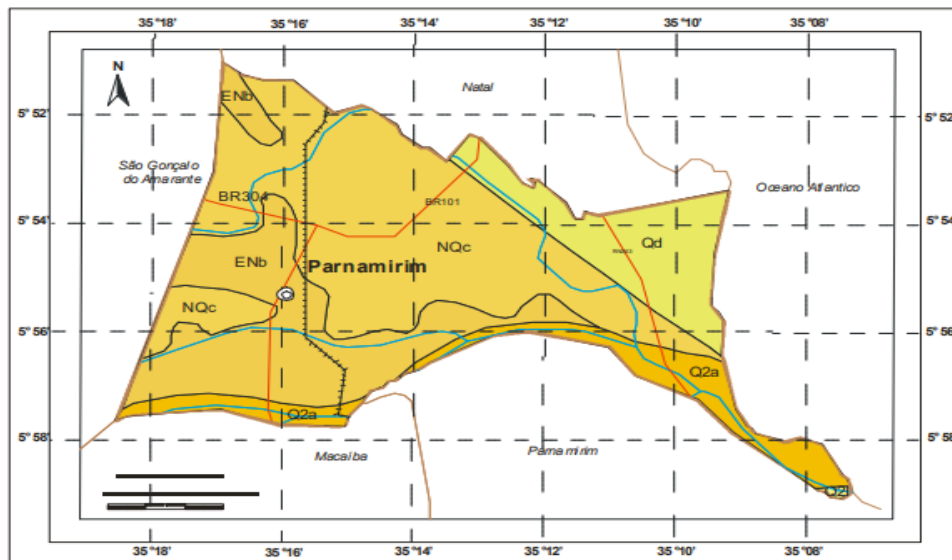
3.2.1 Geologia

O relevo do município apresenta altitudes de até cem metros e está inserido, em parte, na planície costeira, caracterizada pela presença de dunas de areia modeladas pela ação eólica. Afastando-se do litoral estão os tabuleiros costeiros ou planaltos rebaixados, constituídos por argila e bastante modificados pela ação antrópica. Parnamirim está situado em área de abrangência de rochas do Grupo Barreiras, formadas durante o período Terciário Superior e cobertas, em sua maioria, por para conglomerados de sílex e quartzo. Rochas deste grupo também podem ser encontradas na área costeira, formando as falésias. Os solos de Parnamirim são profundos, porosos, bem drenados e com textura variada, que pode ser formada por areia (neossolos ou areias quartzosas, que cobrem a maior parte do território) ou argila (latossolos, do tipo vermelho amarelo distrófico), porém apresentam baixa fertilidade.

O Município de Parnamirim encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos sedimentos do Grupo Barreiras (ENb), pelos depósitos Litorâneos (Q2l), Aluvionares (Q2a) e Dunas Inativas (Qd).

Observe as figuras 17, 18 e 19 abaixo:

Figura 17 - Mapa de estudo geológico dos setores de Parnamirim/RN



FONTE: CPRM-COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, (2005).

Figura 18 - Descrição tabelada da figura 18

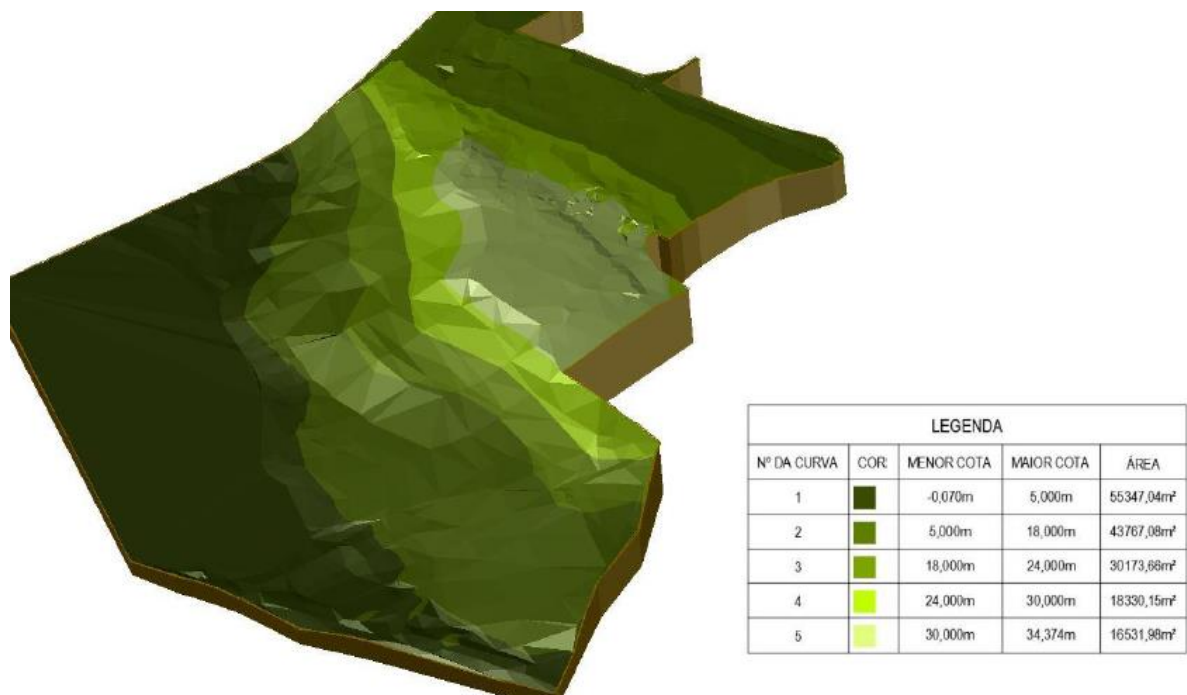
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Cenozóico

Q2a	Depósitos Aluvionares (a): areia, cascalho e níveis de argila
Qd	Dunas Inativas (d): areia bem selecionada
Q2l	Depósitos litorâneos (l): areia fina a grossa e dunas móveis
NQc	Depósitos colúvio-eluviais: Sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático
ENb	Grupo Barreiras (b): arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito

FONTE: CPRM-COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, (2005).

Figura 19 - Modelo digital do Terreno Primitivo em estudo (sem escala)



FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, 2018

O solo da pavimentação em estudo, como pode ser observado nas imagens acima, apresenta em sua predominância: Depósitos de Q2a (Al uvionares(a)) na base de areia, cascalho e níveis de argila.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Neste trabalho foi utilizado de 08 amostras de furos, resultados para a análise de Granulometria, Limite de liquidez, Limite de plasticidade, Compactação, CBR e Capacidade de percolação do solo (k) – Absorção. Isto para o dimensionamento do pavimento em trabalho, através do método DNER-ME.

3.3.1 Granulometria

Para Fernandes (2017), a granulometria está ligada ao percentual de ocorrência de cada tamanho dos grãos constituintes de um solo. É a distribuição, em percentual, dos diversos tamanhos dos grãos.

No estudo tratado, a análise granulométrica foi realizada através do método DNER-ME 080/94. Foi realizado 08 furos, onde com os resultados determinou a classificação do solo, a figura 20 abaixo mostrará os detalhes:

Figura 20 - Modelo de classificação do solo

Ensaio (Furos)	Prof. (m)	N.A	Classificação expedida do solo	Tempo de Absorção (min. ou seg.)	Coefficiente de Absorção (l/m ² /dia)
F - 01	1,30	N.E	Solo amarelado	20,3 seg	135,90
F - 02	1,30	N.E	Solo avermelhado barrado	50,1 seg	117,60
F - 03	1,30	N.E	Solo avermelhado com argila	3,52 mim	73,60
F - 04	1,30	N.E	solo amarelado arenoso	29,5 seg	129,90
F - 05	1,30	N.E	solo amarelado barrado	1,17 min	110,30
F - 06	1,30	N.E	Solo amarelado barrado	2,06 mim	94,80
F - 07	1,30	N.E	Solo avermelhado c/ presença de seixo rolado (piçarro)	3,06 mim	81,10
F - 08	1,30	N.E	Solo amarelado barrado	2,43 mim	85,50

Obs: N.A = Nível da água
N.E = Não encontrado

FONTE: Autoria própria, (2022).

A partir dessas informações, iniciou-se o processo de granulometria do solo em estudo. Onde através das análises de curvas granulométricas, tão importante para a classificação dos solos bem como a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade e outros. O tipo de solo predominante, estabelece variações de um solo com presença de areia, silte, argila e pedregulho.

Figura 21 - Exemplo de material, agitador de peneiras



FONTE: Directiva Engenharia, (2016).

3.3.2 Compactação

Segundo CAPUTO (1975), entende-se como compactação de um solo, o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, assim, aumentar sua resistência, tornando-o mais estável.

De acordo com seus estudos, os elementos que influenciam na qualidade da compactação do solo são:

- Tipo de solo;
- Teor de umidade do solo;
- Esforço de compactação necessário.

O pavimento em estudo, baseou-se no estudo de laboratório colocando todas as peças e feitos todos os ajustes e acabamentos, onde é realizada toda uma análise de ramo seco e ramo úmido. Onde o ramo seco é aquele em que existe pouca umidade (muito ar contido na massa de solo, e baixa densidade), já o ramo úmido é com pouco ar contido na massa de solo.

Ainda neste intervalo, forma-se uma tendência de curva do tipo parábola em que o pico da compactação, ou seja, a máxima densidade, é chamado de umidade ótima.

Os materiais utilizados são: o cilindro de Proctor, papel filtro, soquete, pisseta e proveta (utilizadas para despejar e armazenar a água no ensaio para que o solo se torne o mais homogêneo possível). Por último, o processo de ensaio deriva-se de no cilindro ser adicionado o solo homogêneo, em 3 camadas. Após isso, dar-se 26 golpes por camada e arrasa a borda do cilindro para que seja pesado o corpo de prova e retirado do cilindro. Leva-se o material a uma

cápsula de alumínio e leva-se a estufa. Repete-se o processo por em torno de 3 vezes com um acréscimo de 2% de água a cada ensaio.

Este ensaio é normatizado pelas normas ABNT NBR-7182/2016 e DNERM162/94, no Brasil. A figura 22 abaixo mostrará ilustrativamente o ensaio de compactação com o cilindro de proctor e o soquete.

Figura 22 - Ensaio de compactação com o cilindro de proctor e o soquete



FONTE: REENGENHARIA, (2018).

3.3.3 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)

Segundo o DNIT-ME 122/94, o limite de liquidez é o teor de umidade do solo com que se unem, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha de um aparelho normalizado (Aparelho de Casagrande), sob a ação de 25 golpes da concha sobre a base desse aparelho. Em outras palavras, o Limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido e é representado por LL, expresso em porcentagem. A figura 23 representará ilustrativamente um ensaio para a determinação do limite de liquidez.

Figura 23 - Ensaio de limite de liquidez (aparelho Casagrande)



FONTE: SUPORTE SOLOS, (2017).

A figura abaixo mostrará os limites de consistência existentes de solo.

Figura 24 - Limites de Consistência



FONTE: Autoria própria, (2022)

Existem dois métodos para a obtenção do Limite de Liquidez. Em um deles confecciona-se um gráfico com os dados obtidos, e o outro é através de fórmulas. O do pavimento em estudo foi obtido através de dados do solo em estudo. O método descrito aqui, se trata da determinação com o auxílio do gráfico e o ensaio deve ser executado em condições ambientais que minimizem a perda de umidade do material por evaporação o máximo possível.

De acordo com a NBR 6459:2016, a Curva de Fluidez é a curva resultante da representação gráfica da relação entre os teores de umidade, e os números de golpes correspondentes ao ensaio.

Etapas seguindo a Norma 6459:84:

- Preparação de amostra;
- Dividir amostra com cinzel;

- Utilizar o aparelho casa grande até que ele tenha 13 mm entre os dois lados da amostra;
- Retirar uma pequena amostra;
- Anotar a umidade dessa pequena amostra e o número de golpes necessários para que houvesse união entre os dois lados da amostra;
- Repetir o ensaio por 5 vezes pelo menos;
- Por último, através de uma reta média partindo da marcação dos 25 golpes, obtém-se o LL.

O ensaio de plasticidade ainda de acordo com a norma citada acima, é o teor de umidade que limita os estados plásticos e semis-sólidos.

Etapas:

- Faz-se uma esfera com amostra de 10 gramas de solo;
- Fazer um formato cilíndrico com a esfera em uma superfície plana de vidro;
- Caso a amostra comece a fissurar com menos de 3 mm de diâmetro, deve-se aumentar a umidade da amostra, homogeneizar e fazer o mesmo com as outras amostras;
- Quando a amostra começar a fissurar com 3 mm de diâmetro, deve-se separar esta amostra e anotar a umidade da mesma;
- Repete-se o ensaio 3 vezes pelo menos;
- O Limite de plasticidade será a média dos ensaios.

3.3.4 Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Essa pesquisa segue a ABNT NBR 9895:2016 e os resultados são apresentados no capítulo 4, de maneira percentual sendo por exemplo um valor de CBR de 15%, por exemplo significa que a resistência a penetração do solo testado é de 15% do valor da brita padronizada.

Este ensaio serve para determinar a resistência do solo em comparação a uma brita padrão. E esse valor de resistência é fundamental para a construção de pavimentações principalmente em estradas e rodovias, pois uma das suas principais funções é proteger o pavimento de rupturas.

Na seguinte pesquisa, a partir de ensaios de caracterização realizados em 08 furos de sondagem no terreno do condomínio horizontal estudado, foi realizado um zoneamento das vias

baseado em valores de CBR's semelhantes. Os ensaios de CBR's foram realizados na energia normal de compactação de forma laboratorial. Onde o CBR utilizado no dimensionamento foi obtido através de plano de amostragem para a análise estatística dos resultados de ensaios, chamando X1, X2, X3..., Xn, os valores individuais de qualquer uma das características citadas, tem-se as equações abaixo:

$$X_{min} = MX - \frac{t_{0,90} \times S}{\sqrt{n}} \quad \frac{S \sqrt{\sum(X-MX)^2}}{n-1}$$

Onde, o t_{0,90} é encontrado a partir figura da tabela mostrada a seguir:

Figura 25 - Coeficiente relativo ao intervalo de confiança de 90%

n-1	t _{0,90}	n-1	t _{0,90}	n-1	t _{0,90}	n-1	t _{0,90}
1	3,08	11	1,36	21	1,32	40	1,30
2	1,89	12	1,36	22	1,32	60	1,30
3	1,64	13	1,35	23	1,32	120	1,29
4	1,53	14	1,34	24	1,32	∞	1,28
5	1,48	15	1,34	25	1,32		
6	1,44	16	1,34	26	1,32		
7	1,42	17	1,33	27	1,31		
8	1,40	18	1,33	28	1,31		
9	1,38	19	1,33	29	1,31		
10	1,37	20	1,32	30	1,31		

onde: n = n° de amostras

FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, (2018).

Em que:

- Número de amostra;
- X = Valor individual;
- MX= Média aritmética;
- S = Desvio padrão;
- X_{min} = Valor mínimo provável, estatisticamente.

Considerações adotada: N = 1,0 x 10⁵ → Tráfego leve

As etapas deste processo em laboratório foram obtidas através do rompimento dos corpos de provas de solo e com a soma da constante da prensa. Realizando-se o ensaio

moldando o material, deixando-o na umidade ótima, e descansando dentro de um tanque (recipiente de espera).

Após isto, esse tempo de espera no tanque é respeitado, retira-se o material, leva-se o mesmo até a prensa, vai realizando o ensaio e fazendo a leitura do mesmo com intervalos de tempos. Por último, com os resultados obtidos, divide os valores pela constante da prensa.

Este ensaio, o CBR é normatizado através das ASTM D1883, NBR 9895 e DNER-ME 049/94.

A figura 26 abaixo ilustrará o equipamento utilizado no ensaio de Suporte Califórnia.

Figura 26 - Prensa para cálculo de CBR (Índice de Suporte Califórnia)



FONTE: LPE ENGENHARIA, (2016).

3.4 MÉTODO DE CÁLCULO DNER (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM)

O método do DNER (1981) simula os efeitos de repetições de um eixo padrão de 80kN. Esse método foi concebido pelo professor Murilo Lopes de Souza do Instituto Militar de Engenharia. Tendo já conhecido o número de repetições do eixo padrão (N), e o CBR para o Subleito, o dimensionamento ocorre através de ábacos do DNER. As camadas de Base e

Subbase são dimensionadas levando em consideração os valores mínimos de CBR para essas camadas, sendo eles:

- Base – CBR = 80%
- Subbase – CBR = 20%

3.4.1 Dados de entrada para o cálculo do dimensionamento de pavimento flexível (Revestimento asfáltico)

É necessário para o cálculo, os seguintes itens:

- a) Tráfego de projeto antigo sendo $\Rightarrow N=1,0 \times 10^5$ (Tráfego leve), observe a escolha através da figura abaixo:

Figura 27 - Espessuras mínimas da camada de revestimento asfáltico - DNER 1981

N	Espessura Mínima do Revestimento Betuminoso ou Asfáltico
$N \leq 10^6$	Utilizar tratamentos superficiais betuminosos. De acordo com o DNER (1981), pode ser utilizado 2,5 cm
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Utilizar revestimentos betuminosos com 5,0 cm
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico usinado a quente com 7,5 cm
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico usinado a quente com 10,0 cm
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico usinado a quente com 12,5 cm

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, (2022)

- b) Revestimento de tratamento superficial betuminoso;
- c) Base de camada granulada (brita graduada), e CBR da base adotado para $\geq 40\%$, uma vez que o pavimento anterior estudado (intertravado) não existia camada de base e foi considerado tráfego leve;
- d) Subbase de solo, e CBR da subbase $\geq 30\%$;
- e) Reforço do subleito de solo não irá existir nas camadas, uma vez que, segundo o IP-04/2004, no subleito do projeto atual o valor de CBR calculado foi de 14,46%, e é um valor de CBR $\geq 8\%$, além de ser tráfego leve, logo foi adotada esta decisão;
- f) Subleito de solo, e CBR do subleito = 14,46 %.

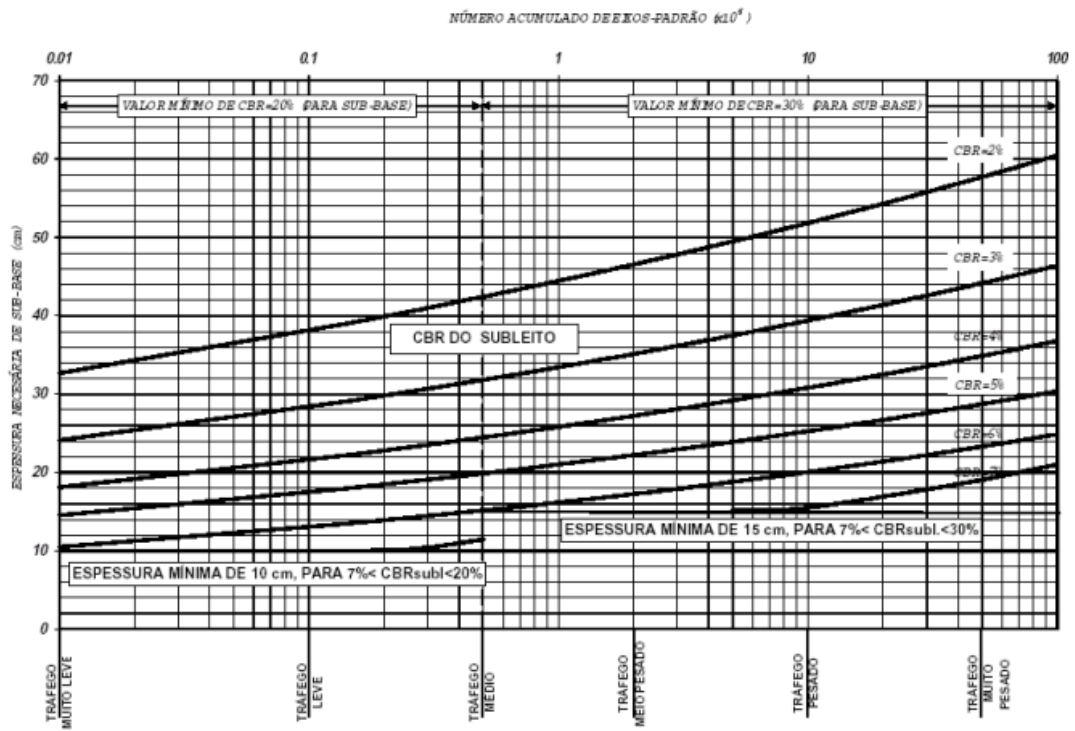
A figura 28 abaixo é responsável pela determinação dos coeficientes de cálculos do material de escolha de cada camada de acordo com o DNER/DNIT, a figura 29 representa a escolha da espessura de camada da sub-base através do valor de CBR obtido em laboratório pela colheita e testes do material, observe o ábaco abaixo.

Figura 28 - Tabela de Coeficientes de equivalência estrutural usados no dimensionamento das camadas do pavimento

COMPONENTES DO PAVIMENTO	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso (ou asfáltico)	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente de graduação densa	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração direta ou invertida (tratamento superficiais)	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ²	1,70
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45 e 28 kg/cm ²	1,40
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 28 e 21 kg/cm ²	1,20
Bses de Solo-Cal	1,20

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, (2022)

Figura 29 - Ábaco para a determinação de espessura de sub-base



FONTE: IP-06, (2022).

4 RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentado os resultados da pesquisa, detalhando as análises do projeto de pavimentação atual e para o novo projeto de pavimentação proposto, além de detalhamento dos resultados de gastos financeiros e tempo de execução.

4.1 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO ATUAL (INTERTRAVADO COM BLOCOS DE CONCRETO)

Na forma a atender as necessidades locais com critérios técnicos, econômicos e ambientais aplicados a esta área da engenharia e após a análise das possibilidades dos tipos de pavimentação, optou-se neste projeto por trabalhar na pista de rolamento um pavimento intertravado de blocos de concreto.

O dimensionamento do pavimento intertravado em estudo foi baseado em duas premissas: o estudo do tráfego e as características do subleito onde este pavimento irá apoiar-se. Onde o tráfego é dimensionado em função do número equivalente de operações do eixo padrão durante o período de projeto do pavimento, conhecido como número N. As características do subleito foram avaliadas por ensaios de laboratórios com destaque para os ensaios de CBR, compactação, Limite de Liquidez e limite de Plasticidade.

4.1.1 Determinação do número de N

De acordo com IP – 02 - Classificação das vias da Prefeitura Municipal de São Paulo, documento que apresenta as diretrizes para a classificação de vias em função do tráfego, da geometria e do uso do solo de vias urbanas. As vias do condomínio horizontal em estudo se caracterizam como de tráfego leve, isso quer dizer que as suas ruas são características residenciais, onde não é previsto o tráfego de ônibus ou caminhões sendo superior a 20 por dia, por faixa de tráfego.

Os parâmetros para este tipo de tráfego são apresentados na figura 30 abaixo:

Figura 30 - Tabela de Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Classificação das vias e parâmetros de tráfego					
Função	Tráfego previsto	Vida de projeto (anos)	Equiv./eixo	N	N Característico
Via local resid.	LEVE	10	1,5	$2,7 \times 10^4$ a $1,4 \times 10^5$	1×10^5

FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, (2018).

Sendo assim, Tráfego leve $\rightarrow N=1,0 \times 10^5$.

A partir de ensaios de caracterização realizados em 08 furos de sondagem no terreno, desta maneira, foram encontrados 8 valores de CBR, um para cada amostra de furo. Os ensaios foram realizados na energia normal de compactação, de forma laboratorial. Observe as figuras abaixo:

Figura 31 - Resultado dos cálculos das amostras de CBR

Ensaio de CBR			
Descrição	CBR	Descrição	CBR
Amostra - 01	15,0%	Amostra - 05	11,0%
Amostra - 02	14,0%	Amostra - 06	19,0%
Amostra - 03	12,0%	Amostra - 07	22,0%
Amostra - 04	19,0%	Amostra - 08	19,0%

FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, (2018).

Figura 32 - Coeficiente relativo ao intervalo de confiança de 90%

n-1	t _{0,90}	n-1	t _{0,90}	n-1	t _{0,90}	n-1	t _{0,90}
1	3,08	11	1,36	21	1,32	40	1,30
2	1,89	12	1,36	22	1,32	60	1,30
3	1,64	13	1,35	23	1,32	120	1,29
4	1,53	14	1,34	24	1,32	∞	1,28
5	1,48	15	1,34	25	1,32		
6	1,44	16	1,34	26	1,32		
7	1,42	17	1,33	27	1,31		
8	1,40	18	1,33	28	1,31		
9	1,38	19	1,33	29	1,31		
10	1,37	20	1,32	30	1,31		

onde: n = n° de amostras

FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, (2018).

4.1.2 Determinação do CBR do subleito

Como foi citado no capítulo 3, o resultado do CBR foi definido pelas equações abaixo:

$$X_{min} = MX - \frac{t_{0,90} \times S}{\sqrt{n}}$$

Onde:

- Número de amostra = 8
- MX= Média aritmética = 16,38;
- S = Desvio padrão= 3,88 → calculado a partir da variância;
- X_{min} = Valor mínimo de CBR calculado.

Logo,

$$X_{min} = 16,38 - \frac{1,40 \times 3,88}{\sqrt{8}}$$

$$X_{min} = 14,46$$

CBR adotado = 14,46%

4.1.3 Dimensionando as camadas

O roteiro para dimensionamento do pavimento intertravado, foi baseado no IP-06 Instruções para Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto. No estudo da pesquisa, na página 111 do IP-06, aconselha o uso do procedimento “A” para determinação das espessuras das camadas do pavimento para um tráfego leve.

➤ Informações recapituladas:

De acordo com o manual, para tráfego com $N \leq 1,5 \times 10^6$, a camada de base não é necessária. Logo no projeto foram obtidos os resultados seguintes:

- $N = 1,0 \times 10^5$
- CBR = 14,46 %

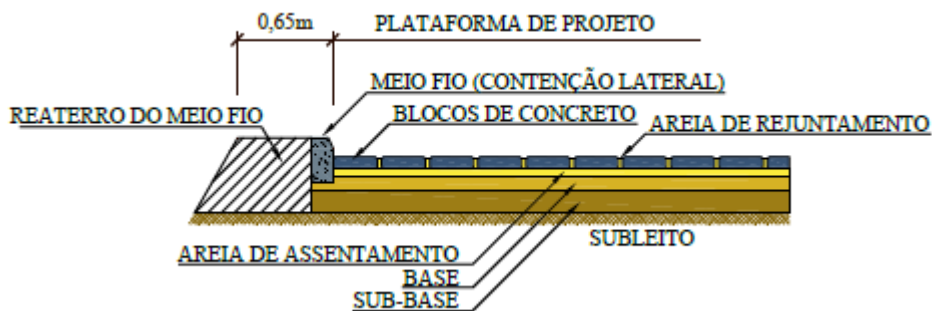
A figura 29, do capítulo anterior representa o ábaco que determina a espessura necessária de sub-base, após leitura do ábaco, observa-se que a sub-base poderia ter espessura a mínima igual a 10 cm. Após esta análise laboratorial de solo, por motivos construtivos recomendou-se adotar na pista de rolamento uma sub-base com 15 cm mínimos e com $\text{CBR} \geq 30\%$. Para o tráfego leve, as peças pré-moldadas de concreto têm espessura total igual a 6,0 cm e $\text{Fck} \geq 35,00 \text{ MPa}$. Mas, por dificuldade dos fabricantes de atingirem o Fck exigido com tal espessura, foram utilizados blocos de 8 cm e $\text{Fck} \geq 35,00$. Para o assentamento das peças foi necessário o uso de uma camada de areia com uma espessura de 5,0 cm.

Ao final do dimensionamento, a estrutura do pavimento intertravado para um tráfego leve terá a seguinte configuração:

- Espessura total = 28,0 cm
- Peça pré-moldada de concreto = 8,0 cm com $\text{Fck} \geq 35,00 \text{ MPa}$
- Areia de assentamento = 5,0 cm
- Sub-base = 15,0 cm com $\text{CBR} \geq 30\%$.

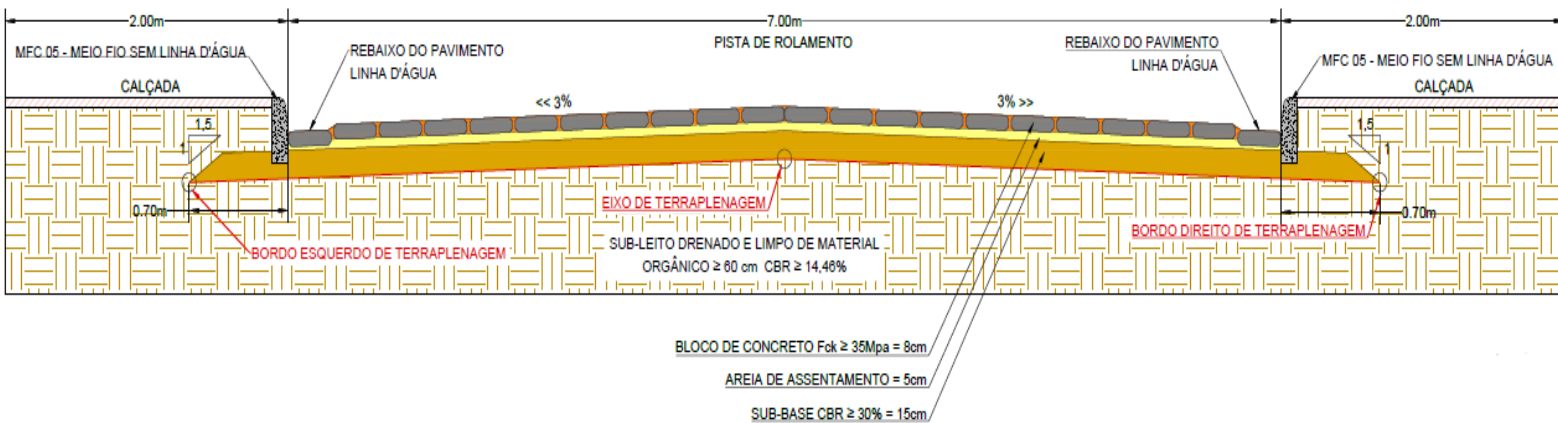
Observe as figuras 33 e 34 abaixo para entendimento:

Figura 33 - Corte ilustrativo da plataforma do projeto



FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, (2018).

Figura 34 - Corte ilustrativo da plataforma do projeto detalhada



FONTE: PRÓXIMA ENGENHARIA, (2018).

4.2 PROPOSTA DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Neste subtópico, será tratado e detalhado questões do dimensionamento para o novo pavimento proposto.

4.2.1 Dimensionamento

Retomando os dados de entrada para o cálculo do dimensionamento de pavimento flexível (Revestimento asfáltico) no item 3.4.1, temos:

Os seguintes itens:

- Tráfego de projeto antigo sendo $\Rightarrow N=1,0 \times 10^5$ (Tráfego leve);
- Revestimento de tratamento superficial betuminoso;
- Base de camada granulada (brita graduada), e CBR da base adotado para $\geq 40\%$, uma vez que o pavimento anterior estudado (intertravado) não existia camada de base e foi considerado tráfego leve;
- Sub-base de solo, e CBR da sub-base $\geq 30\%$;

- Reforço do subleito de solo não irá existir nas camadas, uma vez que, segundo o IP-04/2004, no subleito do projeto atual o valor de CBR calculado foi de 14,46%, e é um valor de $\text{CBR} \geq 8\%$, além de ser tráfego leve, logo foi adotada esta decisão;
- Subleito de solo, e CBR do subleito = 14,46 %.

4.2.1.1 Adoção de materiais na concepção do pavimento

Em função do tráfego leve - $N=1,0 \times 10^5$, foi analisado e escolhido os materiais primários existentes nas camadas de revestimento e base. A análise de escolha foi realizada a partir da leitura da tabela da figura 27 no capítulo anterior.

Em função de questões técnicas, climáticas e adaptações padrão, foi pensado e analisado através do IP-04/2004 (DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO), que a melhor escolha para a espessura do revestimento em estudo é de 2,5cm, tratamento superficial betuminoso.

- Revestimento em tratamento superficial betuminoso → $R = 2,5 \text{ cm}$ e $K_R = 1,20$
- Base constituída por material granular graduada → $K_B = 1,00$
- Sub-base constituída por material granular graduada → $K_S = 1,00$

4.2.1.2 Determinação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento

Seguindo as orientações do método DNER do IP-04/2004, para os cálculos abaixo temos as fórmulas a seguir para o dimensionamento das camadas:

$$1. \quad K_R * R + K_B * B \geq H_{20}$$

$$2. \quad K_R * R + K_B * B + K_S * h_{20} \geq H_n$$

$$3. \quad K_R * R + K_B * B + K_S * h_{20} + K_{Ref} * h_n \geq H_m$$

Onde:

H_m = espessura total do pavimento necessária para proteger o subleito (cm);

H_n = espessura total do pavimento necessária para proteger o reforço do subleito (cm);

H_{20} = espessura total do pavimento necessária para proteger a sub-base (cm);

R = espessura do revestimento (cm);

B = espessura da base (cm);

h₂₀ = espessura da sub-base (cm);

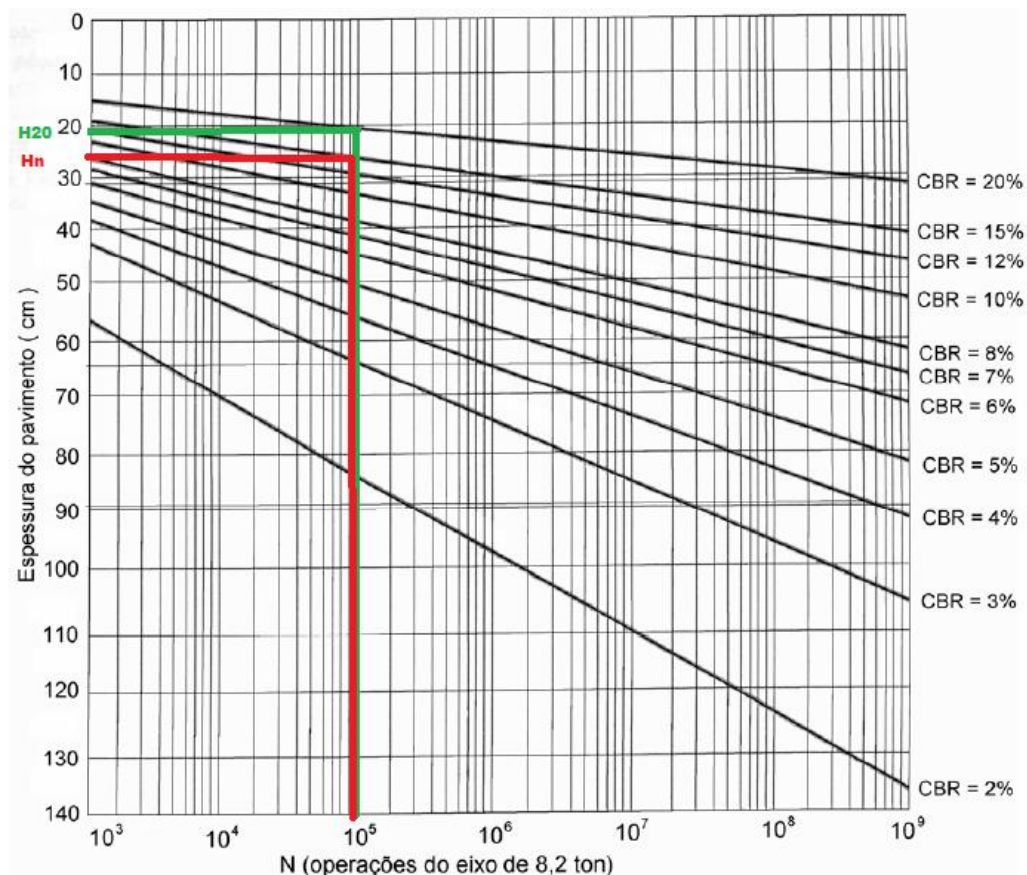
h_n = espessura do reforço do subleito (cm);

K_R, K_B, K_S e K_{REF} = respectivamente, são os coeficientes estruturais do revestimento, da base, da sub-base e do reforço do subleito.

a) Cálculo da espessura da BASE:

Adotando a espessura mínima recomendada para revestimento constituído por revestimento em tratamento superficial betuminoso, determinado através da figura 27 do capítulo anterior, temos a espessura de R = 2,5 cm e K_R = 1,2 obtido através da figura 28 do capítulo anterior. E o valor de suporte CBR do Subleito = 14,46 %, obtém-se no ábaco de dimensionamento, em função do CBR da sub-base ≥ 30%, abaixo temos o valor de H₂₀ = 21cm. Observe a figura 35 abaixo:

Figura 35 - Ábaco para a determinação das espessuras mínimas das camadas de revestimento



FONTE: IP-06, COM EDIÇÃO DE AUTORIA PRÓPRIA, (2022).

Observação: Como o valor do CBR da camada de sub-base é $\geq 30\%$, utilizou-se a linha de referência de CBR = 20%.

$$K_R * R + K_B * B \geq H_{20}$$

- Determinou-se K_R , K_B e R (pelas tabelas anteriores);
 - Determinou-se $H_{20} = 21$, a partir do CBR da sub-base, do valor de N e do ábaco;
 - Calculou-se a espessura da Base (B) pela equação 1.
- Como base na figura 28, tem-se que: $K_R = 1,2$ e $K_B = 1,0$;
- Como base na figura 35 do ábaco para $N = 1,0 \cdot 10^5$, tem-se $R = 2,5$ cm;

$$1,2 \times 2,5 + 1,0 \times B \geq 21$$

$$B \geq 21 - 3,0$$

$$B \geq 18\text{cm.}$$

A **camada de base** foi definida com **18cm**.

b) Cálculo da espessura da SUB-BASE:

$$K_R * R + K_B * B + K_S * h_{20} \geq H_n$$

- Determinou-se K_R , K_B e R (pelas tabelas anteriores);
 - Determinou-se $H_{20} = 21$, a partir do CBR da sub-base, do valor de N e do ábaco (figura 35);
 - Calculou-se a espessura da Base (B) pela equação 1.
 - Calculou-se a espessura da Sub-Base (SB) pela equação 2.
- Como base na figura 28, tem-se que: $K_R = 1,2$, $K_B = 1,0$ e $K_S = 1,0$;
- Como base na figura 35 do ábaco para $N = 1,0 \cdot 10^5$, tem-se $R = 2,5$ cm
- O reforço do subleito de solo não irá existir nas camadas, uma vez que, segundo o IP-04/2004, no subleito do projeto atual o valor de CBR calculado foi de 14,46%, e é um valor de CBR $\geq 8\%$, além de ser tráfego leve, logo foi adotada esta decisão baseada no ábaco da figura 26, que com o CBR = 14,46%, tem-se valor de $H_n = 26$ cm.

$$1,2 \times 2,5 + 1,0 \times 18 + 1,0 \times h_{20} \geq 26$$

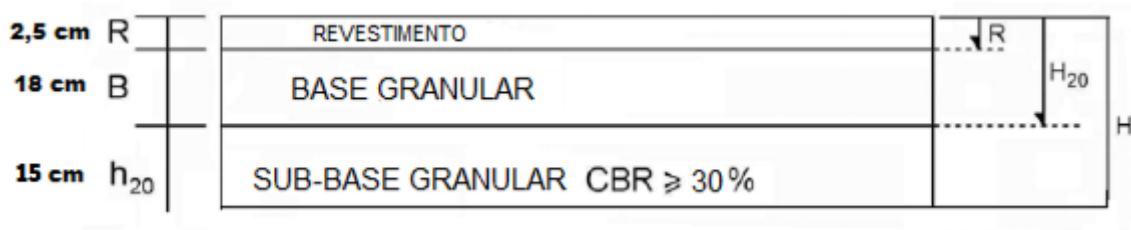
$$h_{20} \geq 26 - 3,0 - 18$$

$$h_{20} \geq 5\text{cm.}$$

Segundo o DNIT, levando em conta o método DNER, a espessura mínima para qualquer camada se sub-base é de 10cm. Portanto, por facilidades de execução, o valor escolhido para $h_{20} = 15\text{cm}$.

Observe o esquema das camadas do dimensionamento acima, na figura 36:

Figura 36 - Esquema de camadas do dimensionamento



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, (2022).

4.3 ANÁLISE DE CUSTOS DO PAVIMENTO INTERTRAVADO

Para o pavimento trado, será utilizado cinco elementos para a realização do mesmo, será mostrado abaixo:

1. Solo e Brita (Bica Corrida) – Camada de Sub-base;
2. Areia média – Camada de areia de Assentamento;
3. Areia fina – Camada de areia para o acabamento de rejunte dos blocos;
4. Peças de meio fio – Para a limitação das bordas do pavimento;
5. Piso Intertravado 100x200x80mm Natural.
6. Meio fio

Os valores unitários são os seguintes:

- Piso Intertravado 100x200x80mm Natural
 - Média de R\$ 32,00 por m^2 .
- Solo e Brita (Bica Corrida)
 - Média de R\$ 35,00 por m^3 .
- Areia média
 - Média de R\$ 54,00 por m^3 .
- Areia fina

- Média de R\$ 59,00 por m³.
- Peças de meio fio
 - Média de R\$ 13,00 por metro linear.

4.4 ANÁLISE DE CUSTOS DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Para o novo pavimento dimensionado TSS (Tratamento superficial simples), será utilizado 5 elementos para a realização do mesmo, será mostrado abaixo:

1. Material para Tratamento Betuminoso Superficial – Revestimento;
 - Manta asfáltica e emulsão.
 - Cascalhinho.
2. Brita 19mm Graduada Simples (BGS) – Camada de Base;
3. Solo e Brita – Camada de Sub-Base.
4. Meio fio

Os valores unitários são os seguintes:

- Material para Tratamento Betuminoso Superficial (Emulsão Asfáltica, manta e Cascalhinho)
 - Emulsão Asfáltica, uma média de R\$ 249,00 por balde de 18 litros;
 - Manta Asfáltica, uma média de R\$ 119,00 de 0,60m x 10m;
 - Material Cascalhinho, uma média de R\$ 95,00 por m³.
- Brita 19mm Graduada Simples (BGS)
 - Média de R\$ 89,00 por m³;
- Solo e Brita (Bica Corrida)
 - Média de R\$ 35,00 por m³.
- Meio fio
 - Média de R\$ 13,00 por metro linear.

4.5 CÁLCULO DOS GASTOS

Para uma melhor precisão dos cálculos, será utilizado um trecho da rua 01 do condomínio, medindo 100 metros de comprimento por 7 metros de largura. Logo abaixo tem-se as tabelas dos dados de cálculos dos dois pavimentos em estudo, o intertravado (pavimentação atual) e o pavimento asfáltico (nova proposta). Observe abaixo a figura da tabela de materiais relacionada com os gastos de materiais de cada um:

Figura 37 - Esquema de gastos de materiais

TABELA GASTO MATERIAIS					
INTERTRAVADO			REVESTIMENTO ASFÁLTICO		
MATERIAL	CÁLCULO	VALOR R\$	MATERIAL	CÁLCULO	VALOR R\$
BLOCO DE CONCRETO	100x7x32	22400	BRITA BGS	100x7x0,18x89	11214
AREIA FINA	100x7x0,01x59	413	MEIO FIO	200x13	2600
AREIA MÉDIA	100x7x0,05x54	1890	SOLO - BRITA	100x7x0,15x35	3675
MEIO FIO	200x13	2600	CASCALHINHO	100x7x0,025x95	1623
SOLO - BRITA	100x7x0,15x35	3675	MANTA ASFÁLTICA	120x119	14280
TOTAL		R\$ 30.978	EMULSÃO ASFÁLTICA	70x249	17430
			TOTAL		R\$ 50.822

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2022

O esquema de gastos foi realizado fazendo a correlação com os itens 4.3 e 4.4, para que fosse calculado o total. Este cálculo da tabela (figura 37), de cada tipo de material, foi realizado através do produto das dimensões do trecho e camada específica, pelo valor unitário de cada material utilizado.

Abaixo tem-se a tabela da figura 38 como função de descrever os gastos relacionados com a mão-de-obra exercida em cada tipo de pavimento, isto de acordo com o esquema de dias de trabalho para a execução dos pavimentos que será mostrado abaixo da figura.

Figura 38 - Esquema de gastos de mão-de-obra

TABELA MÃO DE OBRA									
INTERTRAVADO					REVESTIMENTO ASFÁLTICO				
MAQUINÁRIO OU TRABALHADOR	QUANTIDADE	DIÁRIA	NÚMERO DE DIÁRIAS	VALOR R\$	MAQUINÁRIO OU TRABALHADOR	QUANTIDADE	DIÁRIA	NÚMERO DE DIÁRIAS	VALOR R\$
MOTO NIVELADORA	1	2580	2	5160	MOTO NIVELADORA	1	2580	3	7740
OPERADOR MOTONIVELADORA	1	200	2	400	OPERADOR MOTONIVELADORA	1	200	3	600
ROLO COMPACTADOR	1	1380	1	1380	ROLO COMPACTADOR	1	1380	3	4140
OPERADOR DE ROLO COMPACTADOR	1	180	1	180	OPERADOR DE ROLO COMPACTADOR	1	180	3	540
PEDREIROS PARA ASSENTAMENTO	5	120	6	3600	PEDREIROS PARA APLICAÇÃO DE EMULSÃO ASFÁLTICA	2	120	2	240
PEDREIRO PARA MEIO FIO	2	120	2	240	PEDREIRO PARA MEIO FIO	2	120	1	240
SERVENTE PARA MEIO FIO	1	60	2	120	SERVENTE PARA MEIO FIO	1	60	2	120
SERVENTE PARA REJUNTE	5	60	1	300	PEDREIROS PARA APLICAÇÃO DE MANTA ASFÁLTICA	2	120	2	480
TOTAL				11380	TOTAL				14100

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2022

Abaixo será descrito a relação de esquema para tempo médio para a execução de cada pavimento:

Intertravado – 14 dias

- 1º dia – Compactação da camada de sub-base (solo-brita);
- 2º dia – Nivelamento da camada de sub-base (solo-brita);
- 3º dia – Nivelamento da camada de base (areia média) + Compactação manual;
- 4º e 5º dia – Execução de meio-fio;
- 6º dia até o 12º dia – Assentamento das peças dos blocos;
- 13º e 14º - Rejunte do intertravado.

Revestimento asfáltico – 10 dias

- 1º dia – Compactação da camada de sub-base (solo-brita);
- 2º dia – Nivelamento da camada de sub-base (solo-brita);
- 3º dia – Compactação da camada de base (BGS);
- 4º dia – Nivelamento da camada de base (BGS);
- 5º Compactação e nivelamento manual rápido do revestimento cascalhinho (BGS);
- 6º e 7º dia – Execução de meio-fio;
- 8º dia – Aplicação de emulsão asfáltica;

- 9º e 10º dia – Aplicação de manta asfáltica.

Observação: para os critérios de cálculo, não foram inseridos valores de execução de terraplenagem, dessa maneira, considerou-se que essa técnica construtiva já estivesse pronta para o exercício do trabalho em estudo.

Os critérios de escolha para o melhor tipo de pavimentação do ambiente de estudo foram levados em consideração o custo (peso 3) e o tempo de execução (peso 2), formando uma viabilidade econômica dentro de um prazo que atende as condições dos dois tipos de pavimentação. Os gastos totais do **Piso Intertravado** somando os gastos de materiais com mão-de-obra, totalizaram em torno de **R\$ 42.358,00 (mão-de-obra = 11.380,00 reais + materiais = 30.978,00 reais)**, tendo um tempo de execução com cerca de **14 dias** até a sua finalização. Já o **revestimento Asfáltico**, somando os gastos de materiais e mão-de-obra para a execução, totalizaram em torno de **R\$ 64.922,00 (mão-de-obra = 14.100,00 reais + materiais = 50.822,00 reais)**, tendo um tempo de execução com cerca de **10 dias** até a sua finalização.

Realizando uma média ponderada com os pesos descritos acima, foi obtido um valor unitário descrito abaixo, onde a partir deste valor, foi decidido qual tipo de pavimento é a melhor escolha economicamente viável para o ambiente de estudo. Os valores dos resultados acima, serão aproximados para a próxima centena para a melhoria dos cálculos, observe as equações abaixo:

Piso Intertravado

$$PI = \frac{(42,4 * 3) + (14 * 2)}{3 + 2} = \frac{155,2}{5}$$

$$PI = 31.04$$

Revestimento Asfáltico

$$RA = \frac{(67 * 3) + (10 * 2)}{3 + 2} = \frac{211,1}{5}$$

$$RA = 44.20$$

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises dos módulos dos capítulos anteriores, é de se observar que foi realizado o dimensionamento de um novo pavimento, desta vez, flexível, e este é o Pavimento de tratamento Asfáltico Betuminoso Simples. Para que sejam mais precisos e melhores analisados, foram realizados os cálculos com base em uma faixa com média exata de pavimento de 100 metros de comprimento e 7 metros de largura para o estudo das comparações das duas pavimentações. Desta maneira, foi melhor a compreensão entre as comparações e cálculos dos pavimentos.

Levando em consideração a viabilidade econômica (menor custo e menor tempo de execução), que foi o critério de escolha para o melhor tipo de pavimentação em estudo, uma vez que através da análise granulométrica do solo, e estudos do mesmo, mostrou-se que é possível executar os dois tipos de pavimentos no solo do condomínio em questão. Logo, os valores unitários obtidos de **PI (Piso Intertravado)** e **RA (Revestimento Asfáltico)**, mostraram que o Piso intertravado possui uma viabilidade econômica melhor que o Revestimento Asfáltico para o ambiente trabalhado. Ainda tendo em conta que o valor de **RA** (44,20) representa cerca de 100% do limite máximo de valor unitário para o critério de avaliação para os dois pavimentos dimensionados, logo, foi entendido que o **PI** (31,04) é cerca de 29,77 % mais econômico e viável em comparação com o Revestimento Asfáltico, embora este último exija um tempo bem mais reduzido para a sua execução no ambiente estudado na pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. 02 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 12 p.

ALBUQUERQUE, Paulo J. R.. Mecânica dos Solos. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~pjra/mecanica-dos-solos/> . Acesso em: 23 out. 2022.

BARRETO, Alcina Magnúlia Franca; SUGUIO, Kenitiro; BEZERRA, Francisco Hilário Rego; TATUMI, Sonia Hatsue; YEE, Márcio; GIANNINI, Paulo César Fonseca. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. Revista do Instituto de Geociências - Usp, São Paulo, p. 1-12, out. 2004.

BELTRÃO, Breno Augusto et al. PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE: diagnóstico do município de Parnamirim. Recife: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Secretaria de Desenvolvimento Energético Ministério de Minas e Energia, 2005. 22 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras – Petróleo Brasileiro S. A e Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos, 2008. 116 p. (3).

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. MECÂNICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES: fundamentos. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015. 280 p. (Volume 1).

DNIT. IPR - 719: MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. 3 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pavimentação, 2006. 277 p.

DNIT. NORMA DNIT 146/2012 - ES: Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Simples - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - Ipr, 2012. 9 p.

DNIT. IP-04: DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO. 4 ed. São Paulo, 2004. 23 p.

DNIT. IP-05: INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS. 5 ed. São Paulo, 2004. 57-105 p.

FILGUEIRAS, Gabriela Chaves. COMPARAÇÃO ENTRE OS PROJETOS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E PAVIMENTO INTERTRAVADO PARA FINS DE EXECUÇÃO DO SISTEMA VIÁRIO DE UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL EM SENADOR CANEDO. 2012. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, Go, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/378/1/tcc_%20Gabriela%20Chaves%20Filgueiras.pdf . Acesso em: 08 ago. 2022.

FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 06, Vol. 02, pp. 146-163, Junho de 2018.

FRANCISCONI, Ana Paula Demetrio; ARNS, Pedro. DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO DO DNER (1979) E ORÇAMENTAÇÃO DO PAVIMENTO DA RODOVIA SC-447. Unesc - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, v. 1, n. 1, p. 1-19, fev. 2013.

NASCIMENTO, Kleiton Cassemiro do. MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN. 2009. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Sanitária, Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-Rn, 2009.

PEIXOTO, Isabella. Ensaios de caracterização em solos. 2019. Disponível em: <http://igeologico.com.br/ensaios-de-caracterizacao-em-solos/> . Acesso em: 09 ago. 2022.

RUSSI, Daniel. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE SOLOS ATRAVÉS DE ENSAIOS DE PLACA DE DIFERENTES DIÂMETROS. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SUPORTE et al. Determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR) - Ensaio Geotécnico. 2018. Disponível em: <https://www.suportesolos.com.br/blog/determinacao-do-indice-de-suporte-california-cbr-ensaio-geotecnico-o-que-e/126/> . Acesso em: 10 ago. 2022.

VIANA, Dandara. Tudo sobre ensaios de sondagem no solo. 2018. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/ensaios-de-sondagem/> . Acesso em: 10 ago. 2022.

VIEIRA, Eng^a Glécia R. S.; SILVA, Eng^o Claudio Oliveira. **Manual de Pavimento Intertravado**: passeio público. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010. 36 p. (1).