

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

SAMANTHA EDUARDA MENEGON

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE DRENAGEM
E PAVIMENTAÇÃO EM VIAS URBANAS

Joinville

2022

SAMANTHA EDUARDA MENEGON

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE DRENAGEM
E PAVIMENTAÇÃO EM VIAS URBANAS

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Julian Asdrubal Buritica Garcia.

Joinville

2022

SAMANTHA EDUARDA MENEGON

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE DRENAGEM
E PAVIMENTAÇÃO EM VIAS URBANAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 08 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Dr.
Orientador(a)
Julian Asdrubal Buritica Garcia
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr.(a)
Ana Carolina Gonzaga Pires
Themag Engenharia e Gerenciamento

Dr.(a)
Eduardo Montoya Botero
Universidade de Brasília

Dedico este trabalho a minha filha, Sophia Menegon Muller Cubas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por ter me permitido chegar até aqui e nunca me desamparado em todos os momentos difíceis.

Aos meus familiares, os de sangue e os de coração, que não mediram esforços e fizeram de tudo por mim em todos esses anos de faculdade.

Ao meu orientador, Dr. Julian Garcia, por ter aceito o desafio de me orientar e por exercer esse papel com total comprometimento, com certeza fez toda a diferença nesses meses de orientação.

Aos meus colegas de graduação e futuros colegas de profissão, por toda ajuda nesses últimos meses, e por ter tornado essa caminhada mais leve.

Ao professor Marcelo Heidemann e ao Eduardo Guerreiro por toda ajuda no laboratório de Solos.

À Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores por todo conhecimento transmitido e pela disponibilidade em usar o laboratório de Solos para realização dos ensaios.

À Prefeitura Municipal de Barra Velha, em especial a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano por fornecer os dados para elaboração do trabalho.

Aos meus companheiros de trabalho que cruzaram meu caminho durante o estágio e que com certeza levarei em meu coração para o resto da vida.

Ao meu companheiro de vida, Douglas Hernan Muller Cubas, por permanecer ao meu lado, me dando forças e não me deixando desistir, dia após dia, este trabalho também é seu.

E finalmente à minha filha, Sophia Menegon Muller Cubas, luz na minha vida, minha motivação e esperança de um futuro melhor, tudo é por você.

“Os pavimentos das estradas são parte essencial da infraestrutura de um país e condicionam sua capacidade de crescimento.”

(BALBO, 2007).

RESUMO

As estradas servem para dar acesso, à educação, saúde, cultura, lazer, convívio social e ao trabalho, portanto, são parte essencial da infraestrutura de qualquer município. Neste trabalho foi realizada uma avaliação de alternativas de drenagem e pavimentação da rua Manoel Correa, uma das principais vias locais do bairro São Cristovão, localizada no município de Barra Velha em Santa Catarina (SC). O local escolhido para o estudo é de interesse social e político do município e apresenta sérios problemas de drenagem urbana. Foi realizado o comparativo de duas metodologias de dimensionamento de pavimentos aplicadas a projetos de baixo custo, o tradicional método CBR, utilizado de forma ampla no Brasil, com uma verificação por meio do método de dimensionamento nacional MEDINA. Foram apresentadas alternativas de uso de geossintéticos como geocomposto drenantes e trincheiras drenantes para conduzir e escoar o excesso de água provenientes da chuva, a fim de melhorar o desempenho do pavimento a longo prazo. Apesar da Rua Manoel Correa ser utilizada como referência para a realização deste trabalho, a finalidade é relacionar a problemática encontrada na drenagem e na pavimentação na maioria das vias urbanas. Para escolher as melhores alternativas para o dimensionamento do pavimento e drenagem, foram realizados ensaios de caracterização tátil e visual, análise granulométrica, limite de plasticidade e limite de liquidez do material do subleito. Alguns resultados de ensaios foram fornecidos pela secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano do município de Barra Velha. Foram propostas três alternativas de dimensionamento, com revestimento e espessura de camadas diferentes, as três alternativas foram dimensionadas pelo método CBR e depois inseridas no software Medina para obter as informações da área trincada e da deformação permanente do pavimento. Pode-se concluir que o maior problema encontrado nas vias urbanas não é o dimensionamento das camadas do pavimento em si, pois como observado, utilizando as metodologias existentes a deformação permanente permanece bem abaixo do limite aceito. O maior problema pode estar na falta de conhecimento das propriedades do material do subleito para aproveitá-lo de forma mais adequada numa estrutura de baixo custo, no dimensionamento da drenagem, na falta de manutenção da via e também da falta de conhecimento da utilização de técnicas que aumentam a vida útil do pavimento, como o uso de geossintéticos que podem ser soluções viáveis para melhorar o desempenho de um pavimento de baixo custo em vias urbanas.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Pavimentos de baixo custo. Método Medina. Geossintéticos.

ABSTRACT

Roads serve to provide access to education, health, culture, leisure, social interaction and work, therefore, they are an essential part of the infrastructure of any municipality. In this work an evaluation of alternatives for drainage and paving of Manoel Correa Street, one of the main local roads of the São Cristovão neighborhood, located in the municipality of Barra Velha in Santa Catarina (SC), was carried out. The place chosen for the study is of social and political interest in the municipality and presents serious urban drainage problems. A comparison was made between two sidewalk design methodologies applied to low-cost projects, the traditional CBR method, widely used in Brazil, with a verification by means of the national design method MEDINA. Alternatives were presented for the use of geosynthetics as drainage geocomposites and drainage trenches to conduct and drain excess rainwater, in order to improve the long-term performance of the sidewalk. Although Rua Manoel Correa is used as a reference for this work, the purpose is to relate the problems found in drainage and paving in most urban roads. To choose the best alternatives for the sidewalk and drainage design, tactile and visual characterization tests, granulometric analysis, plasticity limit and liquidity limit of the subgrade material were performed. Some test results were provided by the Planning and Urban Development Department of Barra Velha. Three design alternatives were proposed, with different coatings and layer thicknesses. The three alternatives were designed using the CBR method and then inserted into the Medina software to obtain information about the cracked area and permanent deformation of the sidewalk. It can also be concluded that the biggest problem found in urban roads is not the design of the sidewalk layers themselves, because as observed, using the existing methodologies the permanent deformation remains well below the accepted limit. The biggest problem may be the lack of knowledge of the subgrade material properties in order to use it in a more appropriate way in a low-cost structure, in the drainage design, the lack of road maintenance and also the lack of knowledge of the use of techniques that increase the sidewalk service life, such as the use of geosynthetics that may be viable solutions to improve the performance of a low-cost sidewalk in urban roads.

Keywords: Urban drainage. Low cost floors. Medina method. Geosynthetics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modificações no hidrograma de uma bacia em consequência da urbanização	17
Figura 3 Estruturas de pavimentos.....	22
Figura 4 Classificação dos Revestimentos.....	24
Figura 5 Comparação entre as estruturas do pavimento	26
Figura 6 Prensa para Índice de Suporte California.....	28
Figura 7 Hipóteses Fundamentais da Solução Computacional do Software Medina	29
Figura 8 Filtro geotêxtil <i>versus</i> filtro granular em pavimento	31
Figura 9 Dreno granular <i>versus</i> geocomposto drenante	31
Figura 10 Mapa de localização regional.....	34
Figura 11 Trecho da Rua Manoel Correa em Barra Velha.....	35
Figura 12 Trecho da Rua Manoel Correa em Barra Velha	36
Figura 13 Trecho da Rua Manoel Correa em Barra Velha mostrando o acúmulo de água.....	36
Figura 14 Materiais da pavimentação existente.....	37
Figura 15 Orçamento Sintético Pavimentação Existente	38
Figura 16 Orçamento Sintético Pavimentação Existente	39
Figura 17 Inequações para determinação das espessuras das camadas.....	43
Figura 18 Curva para determinação das espessuras das camadas.....	44
Figura 19 Fluxograma básico para desenvolvimento no software Medina.....	45
Figura 20 Extração da amostra de solo.....	45
Figura 21 Solo após 12h na solução.....	48
Figura 22 Ensaio de sedimentação.....	49
Figura 23 Material retido na peneira de 0,075mm.....	50
Figura 24 Peneiramento fino.....	50
Figura 25 Aparelho de Casagrande com a amostra de solo.....	52
Figura 26 Picnômetro com as amostras de solo sendo aquecidas.....	54
Figura 27 Croqui de localização da sondagem.....	56
Figura 28 Croqui de localização da sondagem.....	57
Figura 29 Sonda 1.....	57
Figura 30 Sonda 2.....	58
Figura 31 Sonda 3.....	58

Figura 32 Sondagem SPT 1.....	59
Figura 33 Sondagem SPT 2.....	60
Figura 34 Sondagem SPT 3.....	61
Figura 35 Boletim de Sondagem	62
Figura 36 Quadro de Resumo dos Ensaios.	62
Figura 37 Ensaio CBR.....	63
Figura 38 Ensaio de Compactação do Solo	65
Figura 39 Solo Superficial e Solo Profundo para Análise Tátil Visual	66
Figura 40 Solo Superficial e Solo Profundo Moldagem de Bastonete	66
Figura 41 Fator de veículo segundo metodologia do USACE	77
Figura 42 Estimativa do número N 8,2t para o próximo ciclo de vida.....	77
Figura 43 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base).....	78
Figura 44 Curva para determinação das espessuras das camadas (Sub base)	79
Figura 45 Dimensionamento do trecho existe pelo método DNER	80
Figura 46 Dados de Entrada Software Medina.....	81
Figura 47 Resultado Software Medina para o Trecho Existente	82
Figura 48 Mapa bacia hidrográfica Barra Velha	82
Figura 49 Coeficiente do Método Racional	86
Figura 50 Geocomposto Drenante	87
Figura 51 Dreno Mac Drain TD	87
Figura 52 Geocomposto Drenante entre as camadas do pavimento	88
Figura 53 Camada sem geotêxtil versus camada com geotêxtil	89
Figura 54 Proposta Direcionamento da Vazão.....	90
Figura 55 Índice de plasticidade.....	92
Figura 56 Carta de Plasticidade	93
Figura 57 Especificações Técnicas MACTEX	95
Figura 58 Capacidade de Vazão do MacDrain TD	98
Figura 59 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base).....	100
Figura 60 Curva para determinação das espessuras das camadas (Reforço do Subleito).....	101
Figura 61 Proposta 1 de Dimensionamento do Pavimento	102
Figura 62 Proposta 1 de Dimensionamento Software Medina	103
Figura 63 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base).....	104

Figura 64 Curva para determinação das espessuras das camadas (Reforço do Subleito).....	105
Figura 65 Proposta 2 de Dimensionamento do Pavimento	106
Figura 66 Proposta 2 de Dimensionamento Software Medina	106
Figura 67 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base).....	107
Figura 68 Curva para determinação das espessuras das camadas (Reforço do Subleito).....	108
Figura 69 Proposta 3 de Dimensionamento do Pavimento	109
Figura 70 Proposta 3 de Dimensionamento Software Medina	110

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Limite de Liquidez.....	74
Gráfico 2 Curva IDF	84
Gráfico 3 Análise Granulométrica.....	91
Gráfico 4 Classificação Rodoviária.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Critérios de Confiabilidade de Cada Tipo de Via	29
Tabela 2 Coeficiente de equivalência estrutural.....	41
Tabela 3 Definição do tipo e espessura do revestimento	42
Tabela 4 Quantidade de amostra para análise granulométrica	47
Tabela 5 Análise Tátil Visual do Solo	67
Tabela 6 Calculo da massa total da amostra seca	68
Tabela 7 Porcentagem de materiais passantes nas peneiras grossas	69
Tabela 8 Densidade real	70
Tabela 9 Razão entre a densidade relativa da água à temperatura (t) e a densidade relativa da água.....	71
Tabela 10 Dados do ensaio de Sedimentação.....	72
Tabela 11 Peneiramento fino	73
Tabela 12 Limite de Liquidez.....	73
Tabela 13 Limite de Plasticidade.....	74
Tabela 14 Resultados Limite de Plasticidade.....	75
Tabela 15 Resultados Limite de Plasticidade.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC - Análise Elástica de Múltiplas Camadas
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CBR – California Bearing Ratio
CDH - California Division of Highways
CP – Corpo de Prova
CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Naturais
DEINFRA – Departamento Nacional de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fh – Fator Expansão Horária
Fp – Fator Pista
Fr – Fator Climático
HRB - Highway Research Board
IDF - Intensidade Duração e Frequência
IP – Índice de Plasticidade
IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
NBR – Norma Técnica
NSPT – Resistência à Penetração do Solo (ensaio SPT)
SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano
SPT – Sondagem à Percussão
SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos
Tc – Tempo de concentração
TSD – Tratamento Superficial Betuminoso Duplo
TST – Tratamento Superficial Betuminoso Triplo
TR – Tempo de Retorno
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USACE - Corpo de Engenheiros do Exército Americano

VDMA - Volume Médio Anual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. DRENAGEM URBANA	17
2.1.1. Macrodrenagem urbana	19
2.1.2 Microdrenagem urbana	20
2.2. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS E GEOLÓGICOS DO SOLO SUPERFICIAL	21
2.3. PAVIMENTOS	22
2.3.1 Revestimentos Asfálticos	23
2.3. PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO	25
2.4. MÉTODO CBR E MÉTODO MEDINA DE DIMENSIONAMENTO	26
2.4.1. Método CBR	26
2.4.2. Método Medina	28
2.5. GEOSINTÉTICOS APLICADOS EM DRENAGEM E PAVIMENTAÇÃO	30
3. METODOLOGIA	34
3.1. BARRA VELHA/SC	34
3.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	35
3.4. SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO EXISTENTE	37
3.5. VAZÃO DA RUA MANOEL CORREA	39
3.6. SOLUÇÕES PARA O NOVO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	40
3.6.1 Método DNER	40
<u>3.6.1.1 Caracterização dos materiais</u>	<u>40</u>
<u>3.6.1.2 Metodologia</u>	<u>41</u>
<u>3.6.1.3 Cálculos necessários</u>	<u>42</u>
3.6.1 Método MEDINA	44
3.7. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO SUBLEITO	45
3.7.1 GRANULOMETRIA	46
<u>3.7.1.1 SEDIMENTAÇÃO</u>	<u>47</u>

3.7.1.2 PENEIRAMENTO FINO	49
3.7.1.3 PENEIRAMENTO GROSSO	51
3.7.2 LIMITE DE LIQUIDEZ	51
3.7.3 LIMITE DE PLASTICIDADE	52
3.7.4 DENSIDADE REAL DOS GRÃOS.....	53
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
4.1 GEOLOGIA LOCAL.....	55
4.1.1 Ensaio índice de Suporte California	63
4.1.2 Ensaio de Compactação do Solo	64
4.1.3 Análise Tátil Visual do Solo.....	65
4.1.4 Análise Granulométrica do Solo	67
<u>4.1.4.1 MASSA TOTAL DA AMOSTRA SECA.....</u>	<u>67</u>
<u>4.1.4.2 PENEIRAMENTO GROSSO</u>	<u>68</u>
<u>4.1.4.3 PORCENTAGEM DE MATERIAL EM SUSPENSÃO</u>	<u>69</u>
<u>4.1.4.4 PORCENTAGEM DOS MATERIAS PASSANTES NAS PENEIRAS FINAS</u>	<u>72</u>
4.1.5 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.....	73
4.1.6 Módulo de Resiliência.....	75
4.2. ESTUDOS DE TRÁFEGO	76
4.3. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL – MÉTODO DO DNER – PARA O TRECHO EXISTENTE	77
4.4. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL – MÉTODO MEDINA – PARA O TRECHO EXISTENTE	81
4.5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DRENAGEM	82
4.5.1 Cálculo da chuva de projeto.....	83
4.5.2 Cálculo da Vazão.....	85
4.6. SISTEMA DE DRENAGEM.....	87
5. RESULTADOS.....	90
5.1 PROPOSTA DE DRENAGEM.....	90
5.2 SUBLEITO.....	90
5.2.1 Análise Granulométrica	90
5.2.2 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.....	92
5.3.3 Classificação do subleito	92
<u>5.3.3.1 Classificação Unificada</u>	<u>93</u>
<u>5.3.3.2 Classificação Rodoviária</u>	<u>93</u>

5.4 DIMENSIONAMENTO DOS GEOSSINTÉTICOS	94
5.4.1 Dimensionamento do Geotêxtil.....	95
5.4.2 Dimensionamento do Dreno Longitudinal	97
5.5 PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	99
5.5.1 Primeira Proposta Método DNER.....	99
5.5.2 Primeira Proposta Método Medina.....	102
5.5.3 Segunda Proposta Método DNER.....	103
5.5.4 Segunda Proposta Método Medina.....	106
5.5.5 Terceira Proposta Método DNER	107
5.5.6 Terceira Proposta Método MEDINA	109
6. CONCLUSÃO	111
REFERÊNCIAS.....	114

1. INTRODUÇÃO

Balbo (2007) afirma que a pavimentação tem como objetivo propiciar um tráfego confortável e seguro, com estruturas e materiais capazes de suportar os esforços decorrentes da ação do tráfego, combinado com as condições climáticas, a um mínimo custo, buscando, sempre que possível, o aproveitamento de materiais locais para as obras, garantindo baixos custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviço dessa infraestrutura social.

Parte dos problemas relacionados à deformação permanente e outros defeitos nas vias, pode ser atribuída ao revestimento asfáltico. Nos pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são fundamentais para a estrutura. Limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento, por meio da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes, é o objetivo da mecânica dos pavimentos (MEDINA; MOTTA 2015).

Segundo Miguez (2015), a urbanização constitui uma das ações antrópicas que geram maiores impactos ambientais, exatamente pelas consequências resultantes das mudanças nas características originais de uso do solo. O rápido crescimento das cidades agravou significativamente os problemas de enchentes urbanas, a cidade sofre com as cheias dos rios, acumulando perdas econômicas e sociais diversas. Projetos de drenagem adequados e integrados com características e limitações físicas da própria bacia são fundamentais no equacionamento do problema (MIGUEZ, 2015).

A drenagem urbana impacta positivamente a vida de todos os munícipes, por ser um sistema que retira a água precipitada dos meios urbanos evitando alagamentos em vias e imóveis. Além de garantir a durabilidade das vias, e prevenir acidentes decorrentes do acúmulo de água, o que também prejudica o desempenho da estrutura do pavimento (SENÇO, 2007).

Segundo Balbo (2007), dimensionar um pavimento significa determinar espessuras de camadas e os tipos de materiais a serem utilizados na construção. No início do século XX, inúmeros métodos de dimensionamento foram elaborados com o intuito de oferecer um instrumento simples de cálculo, de modo que pudessem ser aplicados em diversas situações de projetos (BALBO, 2007).

O método California Bearing Ratio (CBR) é atribuído ao engenheiro O. J. Porter, diretor da Divisão de Materiais do California Highway Department, no final dos anos 1930, para definir a resistência dos materiais granulares empregados nos serviços de pavimentação, sendo considerado uma das características mais aceitas para avaliar o comportamento de um solo, seja como fundação de pavimento ou como componente das camadas do pavimento (SENÇO, 2007).

Já o método de dimensionamento Medina, leva esse nome em homenagem ao professor Jacques de Medina, precursor da mecânica dos pavimentos no Brasil, e trata-se de uma atualização da técnica utilizada, ainda da década de 1960, incluindo tecnologias já adotadas em outros países (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE - DNIT, 2021).

Em função disso, pretende-se analisar o problema de drenagem da Rua Manoel Correa no município de Barra Velha em Santa Catarina, e propor uma solução de drenagem superficial, além de realizar um estudo do solo do local para avaliar as melhores opções de dimensionamento do pavimento, com foco em alternativas de baixo custo, por se tratar de uma via urbana. Para tanto, serão comparados os métodos CBR e Medina através do dimensionamento do pavimento do trecho existente e do novo trecho pelo método CBR e avaliação da estrutura do trecho existente e do novo trecho pelo software Medina.

1.1. OBJETIVOS

Para resolver o problema de drenagem e pavimentação da Rua Manoel Correa, em Barra Velha/SC, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Apontar uma solução de drenagem e dimensionar o pavimento da Rua Manoel Correa em Barra Velha/SC.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Propor uma alternativa de drenagem superficial;
- Analisar condicionantes geotécnicos e geológicos do solo superficial;

- Avaliar alternativas para pavimentos de baixo custo;
- Avaliar a estrutura do pavimento no software Medina.

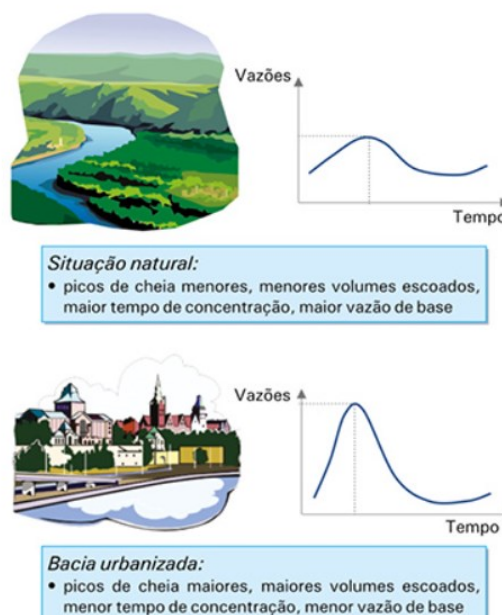
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas considerações gerais sobre drenagem urbana, aspectos geológicos e geotécnicos do solo superficial, características dos pavimentos de baixo custo, bem como, os métodos de dimensionamento de pavimentos CBR e Medina e os sistemas de drenagem existentes aplicáveis a pavimentação.

2.1. DRENAGEM URBANA

Lourenço (2014) afirma que o desenvolvimento e a expansão dos núcleos urbanos conduziram a um aumento das taxas de impermeabilização do solo, o que altera significativamente as condições de drenagem natural das águas pluviais, ocasionando sucessivas inundações e provocando danos nas zonas urbanas. A Figura 1 mostra as modificações no hidrograma de uma bacia em consequência da urbanização.

Figura 1 Modificações no hidrograma de uma bacia em consequência da urbanização



Fonte: Miguez (2015, p. 10).

Segundo Miguez (2015), o problema das cheias urbanas constitui um dos principais desafios das cidades, os prejuízos são inúmeros, afetando diversos aspectos da vida urbana, interferindo nos setores da habitação, transporte, saneamento e saúde pública. É necessário achar um ponto de equilíbrio entre a necessidade de desenvolvimento e crescimento econômico e a gestão urbana, não apenas controlando o uso do solo, mas também reconhecendo os limites das bacias hidrográficas, implantando infraestruturas mais adaptáveis e resilientes, e mitigando os riscos de inundação presentes e futuros (MIGUEZ, 2015).

Lourenço (2014) alega que os sistemas urbanos de drenagem são um importante agente na gestão das águas pluviais, tendo como objetivo primordial assegurar a recolha e o transporte das águas das chuvas, em condições apropriadas, para um meio receptor, de forma a evitar a ocorrência de inundações indesejadas.

A água da chuva requer espaço para o escoamento e acumulação, quando o espaço natural do rio é ocupado desordenadamente ocorrem as inundações. Para conter e diminuir os custos dos prejuízos e das obras que visem disciplinar enchentes, são necessários espaços para a infiltração, para a retenção, para a acumulação e para o escoamento. Daí a importância econômica dos parques, jardins e áreas de preservação ambiental, situados as margens dos cursos d'água, em particular e no solo urbano em geral (NETTO, 1998).

Segundo Tucci (2005) quando a população ocupa o leito dos rios, que são áreas de risco, os impactos são frequentes. Essas condições ocorrem devido a invasões de áreas ribeirinhas, que pertencem ao poder público. Essas condições ocorrem principalmente, quando no plano diretor de desenvolvimento urbano das cidades geralmente não existe nenhuma restrição quanto às ocupações das áreas de risco de inundação, a sequência de anos sem enchentes é suficiente para que empresários desmembrem estas áreas para ocupação urbana.

Em áreas urbanas, as águas pluviais escoam pelas superfícies do pavimento e são coletadas e transportadas pelas sarjetas, ao longo das vias, sendo, então, drenadas pelas bocas de lobo, que às encaminha às galerias subterrâneas, que por sua vez, tem o objetivo de transportar a água até o local de lançamento, geralmente cursos d'água, lagos, rios, e o oceano. O sistema pluvial pode ainda ser dividido em micro e macrodrenagem (ALMEIDA; MASINI; MALTA, 2017).

2.1.1. Macrodrenagem urbana

A macrodrenagem consiste nas intervenções em fundos de valas que coletam águas pluviais de áreas providas de microdrenagem ou não. A macrodrenagem busca evitar as enchentes devido a bacia urbana, isto é, por meio da construção de canais, revestido ou não, com maior capacidade de transporte que o canal natural e também por meio de reservatórios de amortecimento de ondas de cheias (ALMEIDA; MASINI; MALTA, 2017).

Para as obras de macrodrenagem, a canalização projetada deve ser capaz de conduzir a chuva de projeto, que deve considerar a ocupação futura da bacia, um período de retorno de 100 anos e duração de chuva de 24 horas nos cálculos hidrológicos, que devem ser realizados utilizando-se o hidrograma e modelos de simulação matemática. Por carência de dados, normalmente são adotados modelos matemáticos tipo chuva x vazão para a definição dos hidrograma de projeto (TUCCI, 2012).

Para Canholi (2015), os principais dados necessários para a elaboração de estudos de drenagem compreendem as características hidráulicas e geomorfológicas da bacia, as condições de impermeabilização local, os tempos de concentração e as precipitações de projeto. Segundo Canholi (2015), alguns dos dispositivos da macrodrenagem são:

- Canais: são estruturas hidráulicas que possuem o objetivo de conduzir as águas de forma a compatibilizar as necessidades com os volumes disponíveis no tempo e no espaço. No caso da macrodrenagem, incluem-se os cursos d'água nos canais, revestidos artificialmente ou não. Os canais podem ser não revestidos, como no caso de cursos d'água naturais, ou revestidos com solos, gramados, rochas, concreto e gabiões. Os canais podem ainda funcionar como um dispositivo de armazenamento, atrasando a onda de cheia (CANHOLI, 2015).

- Reservatórios: podem ser diferenciados em bacias de retenção e bacias de detenção e, em alguns casos, em bacias de sedimentação (CANHOLI, 2015).

- Bacias de detenção: são medidas estruturais que visam o armazenamento de água de curtos períodos, reduzindo as vazões de pico dos hidrograma de cheia e aumentando o tempo de base desses hidrograma. Esses reservatórios não reduzem o volume de escoamento direto, mas redistribuem as vazões ao longo do tempo. Eles são totalmente drenados em menos de um dia, e tem o objetivo de reduzir problemas

de inundações localizadas, reduzir o custo de um sistema de galerias de drenagem, melhorar a qualidade da água, aumentar o tempo de resposta do escoamento superficial, melhorar as condições para reuso da água e recarga dos aquíferos, e reduzir as vazões máximas de inundação a jusante (CANHOLI, 2015).

- Bacias de sedimentação: são reservatórios com função principal de reter sólidos em suspensão, ou absorver poluentes carregadas pelas águas pluviais drenadas (CANHOLI, 2015).

- Bueiros: são estruturas hidráulicas, construídas nos pontos baixos dos vales, com o objetivo de permitir a passagem das águas dos talwegues sob as obras de terraplanagem (CANHOLI, 2015).

2.1.2 Microdrenagem urbana

A Microdrenagem se inicia nas edificações, seus coletores pluviais, prossegue no escoamento das sarjetas e entra nos bueiros e galerias. Então os estudos voltam-se para os traçados das ruas, seus detalhes de largura, perfis transversais e longitudinais, para a topografia, declividades e para a utilização viária, seja de veículos ou outras utilidades públicas (NETTO, 1998).

Segundo Almeida, Masini e Malta (2017), a microdrenagem é a solução para o escoamento das vazões de chuvas mais frequentes, portanto, com menores recorrências e menores intensidades, é admitida a ocorrências de alagamentos pontuais quando a intensidade das chuvas aumenta. Valores de tempo de retorno são estabelecidos por legislação locais, mas, em geral, tempo de retorno de 10 anos para a microdrenagem tem sido adotado, sendo assim, na média, o sistema ficará sobrecarregado uma vez a cada dez anos, o que resultará em pequena enchente (ALMEIDA; MASINI; MALTA, 2017).

Outro critério de projeto de microdrenagem é o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, que é definido como o tempo de percurso da água desde o ponto mais afastado da bacia, até a seção de interesse, a partir do instante de início da precipitação.

$$tc = te + tp$$

Equação (1)

O tempo de concentração (t_c), equação 1, é a soma dos tempos de entrada (t_e), que é definido como o tempo de percurso gasto pela água da chuva ao atingir o terreno nos pontos mais distantes até alcançar a primeira seção de captação (boca de lobo), e o tempo de percurso (t_p), que é o tempo de escoamento no interior das galerias (NETTO, 1998).

2.2. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS E GEOLÓGICOS DO SOLO SUPERFICIAL

Segundo Senço (2007), a construção de um pavimento exige o conhecimento não só dos materiais constituintes das camadas desse pavimento, mas também dos materiais constituintes do subleito e dos materiais que possam interferir na construção dos drenos, acostamentos, cortes e aterros. E com base nessa afirmativa destaca-se principalmente o solo, que interfere em todos os estudos de um pavimento, pois mesmo não sendo eventualmente utilizado nas camadas previstas, será sempre o suporte da estrutura.

Os solos tem origem na decomposição das rochas, o solo é residual se resultante de uma decomposição de rocha que permaneceu estável no próprio local, e é dito transportado se, decomposto em local remoto, foi deslocado por ação da água, do vento ou da gravidade (BALBO, 2007).

Villibor, Nogami, Cincerre, Serra e Zuppolini Neto (2009), apresentam sugestões e recomendações para se estabelecer a origem dos solos encontrados nos climas tropicais úmidos, eventualmente com determinação da origem geológica, como a cor do solo, sua macroestrutura e sua composição mineralógica.

A identificação dos solos pelas cores também pode auxiliar na determinação de suas origens geológicas, como no caso da terra roxa, do sangue de tatu e dos solos transportados terciários, como os da formação de São Paulo, onde ocorrem argilas cinza – esverdeadas com presença de mosqueamento (solo variegado). Por meio da cor do solo, também é possível, em alguns casos, a determinação das drenagens locais, por exemplo, no caso dos solos de alteração de granito, que apresentam cores de róseo ao avermelhado quando em boas condições de drenagem, e cores do cinza ao esbranquiçado quando mal drenados (BALBO, 2007).

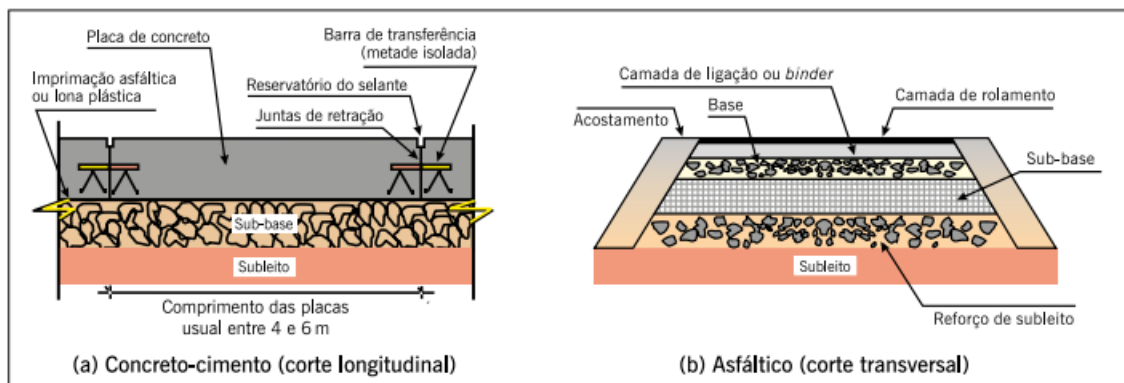
O intemperismo é um processo marcante nas regiões tropicais úmidas, gerando macroestruturas presentes nos solos de alteração e nos solos transportados terciários. As macroestruturas relacionadas ao intemperismo são divididas em duas categorias: herdadas e não herdadas da rocha mãe. Em macroestruturas herdadas da rocha mãe, os minerais estáveis preservam suas formas e posições, por sua vez os minerais instáveis acabam por dar origem a outros minerais secundários (BALBO, 2007). A seguir mapa geológico do estado de Santa Catarina:

Nas regiões de clima temperado, há grande predominância de frações de areia e de silte constituídas por quartzo originário de rocha de decomposição quartzosa. Em solos de climas tropicais úmidos, muitas vezes minerais que não o quartzo estão presentes nas frações de areia e de silte, como feldspato, mica, magnetita e ilmenita (VILLIBOR et al., 2009).

2.3. PAVIMENTOS

Segundo Bernucci et. al. (2008), o pavimento é uma estrutura composta por inúmeras camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final do solo, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima. A figura 3 mostra como são constituídas as camadas de um pavimento:

Figura 2 Estruturas de pavimentos.



Bernucci et. al. (2008)

Nos pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural. Limitar as tensões e as deformações

na estrutura do pavimento, por meio da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes, é o objetivo da mecânica dos pavimentos (MEDINA; MOTTA, 2015).

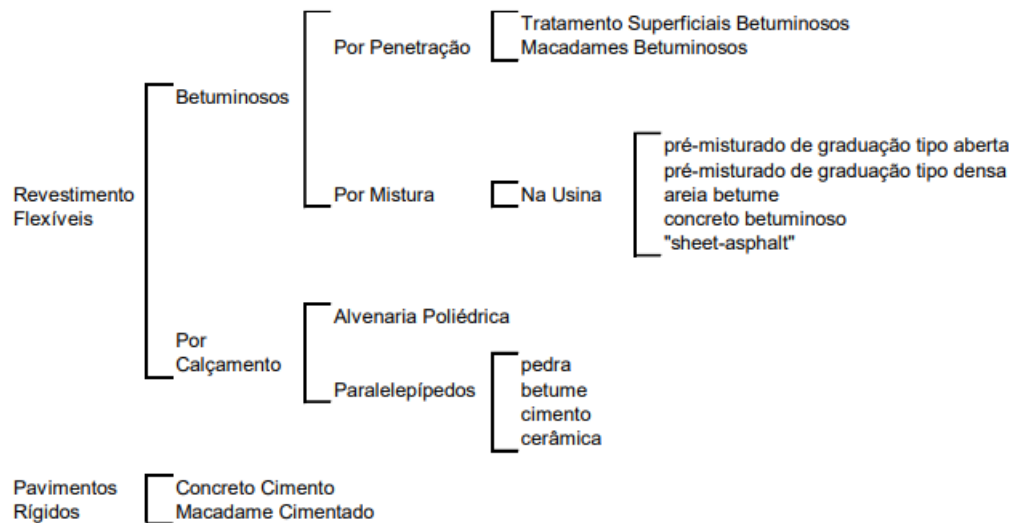
2.3.1 Revestimentos Asfálticos

Os revestimentos asfálticos são constituídos por associação de agregados, fíler e de materiais asfálticos, podendo ser de duas maneiras principais, por penetração ou por mistura. Por penetração refere-se aos executados por meio de uma ou mais aplicações de material asfáltico e de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. No revestimento por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material asfáltico, antes da distribuição e compactação em campo (BERNUCCI et. al., 2008).

Segundo Bernucci et. al. (2008), o revestimento asfáltico recebe a atuação direta do contato com as rodas dos veículos, e mais diretamente, a ação climática dada a sua área de exposição as ações do tempo. Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de várias dimensões, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade às deformações permanentes, durabilidade à desagregação e envelhecimento, resistência à derrapagem dos pneus, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local.

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, os revestimentos podem ser agrupados de acordo com o esquema da (figura 4).

Figura 3 Classificação dos Revestimentos



DNIT (2006)

Os revestimentos flexíveis betuminosos são constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos. Esta associação pode ser feita de duas maneiras clássicas: por penetração e por mistura.

Já os revestimentos por penetração são separados em dois tipos distintos: por penetração invertida e por penetração direta. O revestimento betuminoso por penetração invertida é um tipo de revestimento executado através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. Conforme o número de camadas tem-se os intitulados, tratamento superficial simples, duplo ou triplo. O tratamento simples, executado com o objetivo primordial de impermeabilização ou para modificar a textura de um pavimento existente, é denominado capa selante. Já o revestimento betuminoso por penetração direta é executado através do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo, um exemplo dessa aplicação é o macadame betuminoso (DNIT, 2006).

Já nos revestimentos betuminosos por mistura o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, antes da compressão, e eles podem ser pré misturados a quente ou pré misturados a frio.

Segundo DNIT (2006), existem ainda os revestimentos flexíveis por calçamento, e sua execução se restringe a pátios de estacionamento, vias urbanas e alguns acessos viários. Podem ser subdivididos em alvenaria poliédrica, ou seja, camadas de pedras irregulares, e em paralelepípedos, constituídos por blocos regulares.

Por fim, temos também os revestimentos rígidos, e é constituído por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, distribuído numa camada devidamente adensado. Essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento (DNIT, 2006).

2.3. PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO

O déficit de pavimentos urbanos é grande em quase todas as cidades brasileiras, abrangendo desde vias principais de cidades de grande porte, até vias de circulação de conjuntos habitacionais, cidades altamente desenvolvidas como a cidade de São Paulo com déficit de aproximadamente 20 milhões de m². Isso demonstra, portanto, a necessidade e a importância do desenvolvimento de uma tecnologia de pavimentação que minimize os custos de implantação de pavimentos urbanos (VILLIBOR et al., 2009).

Segundo Villibor et al. (2009), a abordagem tradicional de pavimentação, acrescida das considerações mais recentes sobre a fadiga, tem se mostrado viável para a execução dos pavimentos de vias de maior tráfego. Já para ruas de pequena intensidade de tráfego, como em pequenas comunidades e bairros periféricos a pavimentação tradicional, pode em muitos casos, ter um custo que a torne inviável.

Villibor et. al. (2009), afirma que as prefeituras vêm sempre executando pavimentos de um determinado tipo, com determinada técnica construtiva, demonstrando grande resistência a inovações, principalmente por falta de condições de adaptação tecnológica. Nos municípios de pequeno e médio porte, normalmente, os pavimentos são construídos por pequenas empresas que têm poucas condições de adaptação à inovações tecnológicas em termos de processo construtivo e executam os pavimentos segundo sua experiência.

Vale ressaltar que um pavimento é considerado de baixo custo quando:

- Utiliza bases constituídas de solos locais in natura, ou em misturas, com custos substancialmente inferiores às bases convencionais tais como: brita graduada, solo-cimento, macadame hidráulico ou macadame betuminoso;
- Utiliza revestimento betuminoso esbelto do tipo tratamento superficial ou concreto betuminoso usinado a quente, com espessura de, no máximo, 3,0 cm;
- É dimensionado para atender os tráfegos:
 - Urbano, de muito leve a leve;
- Rodoviário, com VDM inferior a 1500 veículos, com no máximo 30% de veículos comerciais, e com $N < 5 \times 10^6$ solicitações do eixo simples padrão de 80 kN (VILLIBOR et al., 2009).

Figura 4 Comparação entre as estruturas do pavimento



Fonte: Villibor et al. (2022).

2.4. MÉTODO CBR E MÉTODO MEDINA DE DIMENSIONAMENTO

2.4.1. Método CBR

De acordo com Medina e Motta (2015), o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis (revestimentos asfálticos sobre camadas granulares) e semirrígidos (bases cimentadas) do antigo Departamento de Estradas de Rodagem DNER, foi elaborado pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza no início da década de 1960, utilizando o critério CBR.

O critério CBR é atribuído ao engenheiro O. J. Porter, do California Division of Highways (CDH), tendo sido o primeiro método de dimensionamento de pavimentos flexíveis criado sobre bases empíricas, com considerável número de aplicações experimentais e laboratoriais. O critério básico de ruptura adotado é aquele por

cisalhamento do subleito e camadas granulares, que causariam o aparecimento de sulcos nas trilhas de rodas (deformações permanentes) ou mesmo ruptura plástica no subleito (BALBO, 2007).

Para execução do ensaio, geralmente moldam-se corpos de prova com teores de umidade indicados pelos ensaios de compactação, lembrando que o CBR pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão em uma amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, a mesma profundidade em uma amostra de brita de referência (SENÇO, 2007).

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, o valor da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em uma brita padronizada, expressa em porcentagem, permite determinar, por meio de relações empíricas, a espessura de pavimento flexível necessária, em função do tráfego.

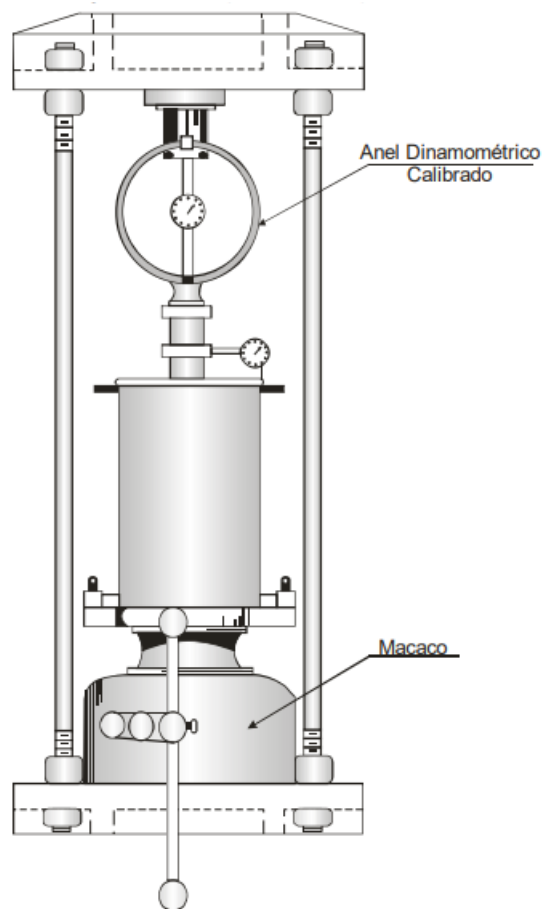
O método do ensaio foi normatizado pelo antigo DNER em 1964 e funciona da seguinte maneira, as amostras compactadas são embebidas na água por quatro dias, tendo à superfície uma sobrecarga enquanto se mede a expansão. A sobrecarga deve representar o peso da camada sobreposta ao material que se ensaia (MEDINA; MOTTA 2015).

Basicamente para a realização do ensaio compacta-se no molde o material, em cinco camadas iguais de modo a se obter uma altura total de solo com cerca de 12,5 cm, após a compactação. Cada camada recebe 12 golpes do soquete (caso de materiais para subleito), 26 ou 55 (caso de materiais para sub-base e base), caindo de 45,7 cm, distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Após a compactação do material retira-se uma parte para determinação da umidade, esse procedimento é realizado com outros corpos de prova, com teores de umidade crescentes, quantas vezes forem necessárias para caracterizar a curva de compactação. Após esse procedimento os corpos de prova são submersos em água por 4 dias, a penetração dos corpos-de-prova é feita em uma prensa, a uma velocidade constante de 0,05 pol/min. O índice de suporte Califórnia (CBR), em porcentagem, para cada corpo-de-prova é obtido pela equação (2) (DNIT, 2006).

$$CBR: \frac{\textit{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\textit{pressão padrão}} \quad \text{Equação (2)}$$

A figura 6 mostra a prensa utilizada para o ensaio de Índice de Suporte California.

Figura 5 Prensa para Índice de Suporte California.



Fonte: DNIT (2006).

2.4.2. Método Medina

“O novo método de pavimentação asfáltica foi denominado de Medina em homenagem ao engenheiro Jacques de Medina, que introduziu a mecânica dos pavimentos no Brasil (DNIT, 2021).”

O método Medina teve origem em 2014, idealizado entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), que é parte do DNIT (Departamento Nacional de

Infraestrutura de Transportes), e pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e trata-se de uma substituição dos métodos tradicionais de dimensionamento, com foco em oferecer maior confiabilidade e durabilidade nos projetos de pavimentação.

As hipóteses fundamentais da solução computacional do software Medina baseiam-se nas mesmas consideradas na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos (Figura 7) (Manual de Utilização do Software Medina, 2020).

Figura 6 Hipóteses Fundamentais da Solução Computacional do Software Medina

- a. os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos (a modelagem elástica não linear é feita por iterações elásticas lineares);
- b. a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
- c. as camadas são ilimitadas na direção horizontal;
- d. todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
- e. a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
- f. na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
- g. a carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
- h. a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
- i. as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

Fonte: Manual de Utilização do Software Medina (2020).

Segundo o Manual de Utilização do Software Medina (2020), os tipos de vias foram definidos em conformidade com a hierarquia dos sistemas funcionais publicados pelo DNIT, e definem os critérios de parada do dimensionamento, bem como os graus de confiabilidade das análises realizadas pelo Medina. A tabela a seguir resume os critérios e a confiabilidade de cada tipo de via.

Tabela 1 Critérios de Confiabilidade de Cada Tipo de Via

TIPO DE VIA	CONFIABILIDADE	ÁREA TRINCADA	DEF. PERMANENTE
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Local	65%	30%	20mm

Fonte: Manual de Utilização do Software Medina (2020).

De acordo com Medina e Motta (2015), a resiliência é a energia acumulada decorrente de um processo de deformação elástica de um corpo, que é posteriormente

devolvida quando cessam as forças que causaram a tensão. Assim, a resiliência compõe um dos principais parâmetros de medição e análise em ensaios dinâmicos de asfaltos, e faz parte também do Método Medina.

As deformações resilientes são resultado da deformação elástica das partículas de solo e dos aglomerados de partículas. Para previsão destas deformações faz-se necessário o conhecimento do módulo de elasticidade dinâmico do material, que é definido como módulo de resiliência, dependente da natureza e constituição do solo, das condições de estado e das solicitações de tensões (Medina e Motta, 2015).

O módulo de resiliência é expresso de modo geral pela relação entre a tensão (cíclica) aplicada a um material e a deformação resiliente observada (Equação 3).

$$Mr = \frac{\sigma d}{\varepsilon r} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Mr - Módulo de Resiliência (Mpa);

σd – Tensão desvio cíclica: $\sigma_1 - \sigma_3$ (MPa);

εr – Deformação resiliente (vertical).

2.5. GEOSSINTÉTICOS APLICADOS EM DRENAGEM E PAVIMENTAÇÃO

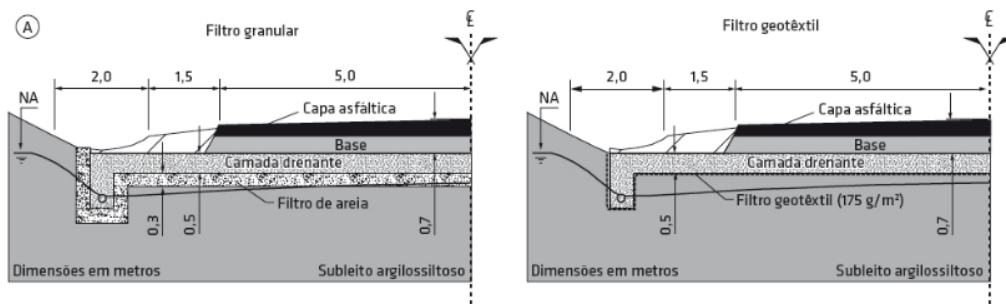
Segundo Palmeira (2018), os geossintéticos são produtos poliméricos usados em obras de geotecnia e de proteção ambiental. Esses produtos podem ser utilizados em uma grande variedade de problemas geotécnicos, tais como reforço (estruturas de contenção, taludes íngremes ou aterros sobre solos moles) ou estabilização de solos, drenagem e filtração, barreiras para fluidos e gases, controle de erosão, barreira de sedimentos e proteção ambiental.

Conforme a norma NBR 12553/2003, o geossintético predominantemente utilizado na engenharia geotécnica e geoambiental, com funções de drenagem, filtração, reforço, separação e proteção é o geotêxtil. Ele ainda pode ser subdividido em geotêxtil não tecido (GTN), que é composto de fibras ou filamentos distribuídos espacialmente de forma aleatória, e geotêxtil tecido (GTW), produto resultante de

entrelaçamentos de fios, filamentos ou laminetes segundo direções preferenciais de fabricação, denominadas trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal) (ABNT, 2003).

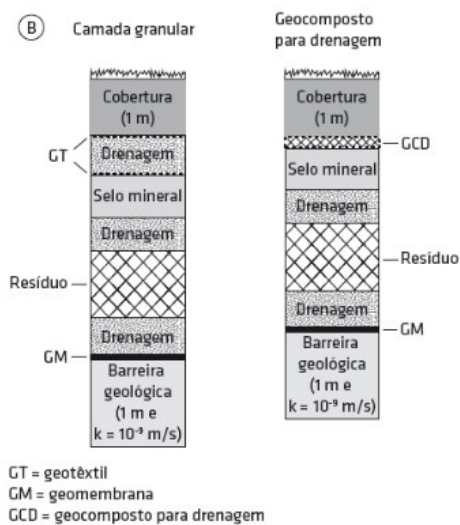
A utilização de um filtro geotêxtil em um pavimento pode reduzir em cerca de 85% os impactos ambientais que seriam produzidos por um filtro de areia tradicional. Reduções entre 55% e 98% em impactos ambientais poderiam ser obtidas com a utilização de um geocomposto para drenagem, em vez de dreno granular. Geossintéticos podem também ser empregados como forma de viabilizar o uso de materiais de construção não convencionais ou de resíduos (PALMEIRA, 2018). A (figura 7) e (figura 8) mostram a comparação entre filtro geotêxtil e filtro granular em pavimento, e entre dreno granular e geocomposto drenante.

Figura 7 Filtro geotêxtil *versus* filtro granular em pavimento



Fonte: Palmeira (2018, p. 12).

Figura 8 Dreno granular *versus* geocomposto drenante



Fonte: Palmeira (2018, p. 12).

Atualmente, dispõe-se de uma grande variedade de produtos geossintéticos, cuja terminologia, abreviações e características básicas conforme a norma 12553/2003 são:

- Geobarra (GB): produto em forma de barra, com função predominantemente de reforço;
- Geotêxtil (GT): produto têxtil permeável, com funções de drenagem, filtração, reforço, separação e proteção, e ainda podem ser subdivididos em geotêxtil não tecido e geotêxtil tecido, explicados anteriormente;
- Geogrelha (GC): estrutura plana em forma de grelha constituída por elementos com função predominantemente de resistência à tração;
- Geotira (GI): tira plástica para utilização como reforço em obras de solo reforçado;
- Geocélula (GL): produto com estrutura tridimensional aberta, constituídas por células interligadas, que confinam mecanicamente os materiais nela inseridos, com função predominantemente de reforço e controle de erosão;
- Geocomposto (GC): formado pela associação de um ou mais geossintéticos;
- Geoespaçador (GS): componente sintético visando prover grande quantidade de espaços vazios entre estruturas próximas;
- Geoexpandido (GE): produto fabricado com polímero expandido visando reduzir peso, em substituição a materiais de aterro granulares convencionais;
- Geobloco: bloco confeccionado com material de baixa densidade, para substituição de materiais de aterro;
- Geofibra: fibra sintética utilizada para misturas com solos visando reforço;
- Geoforma (GF): estrutura confeccionada com geossintéticos, geralmente geotêxtis, podendo ser usada em obras hidráulicas, controle de erosão e redução de umidade de resíduos;
- Geomanta (GA): manta sintética para aplicação em obras de proteção contra erosão;

- Geomebrana (GM): produto bidimensional com baixo coeficiente de permeabilidade, utilizado como barreira ou separação;
- Geotubo (GP): tudo de material sintético para utilização em obras de drenagem.

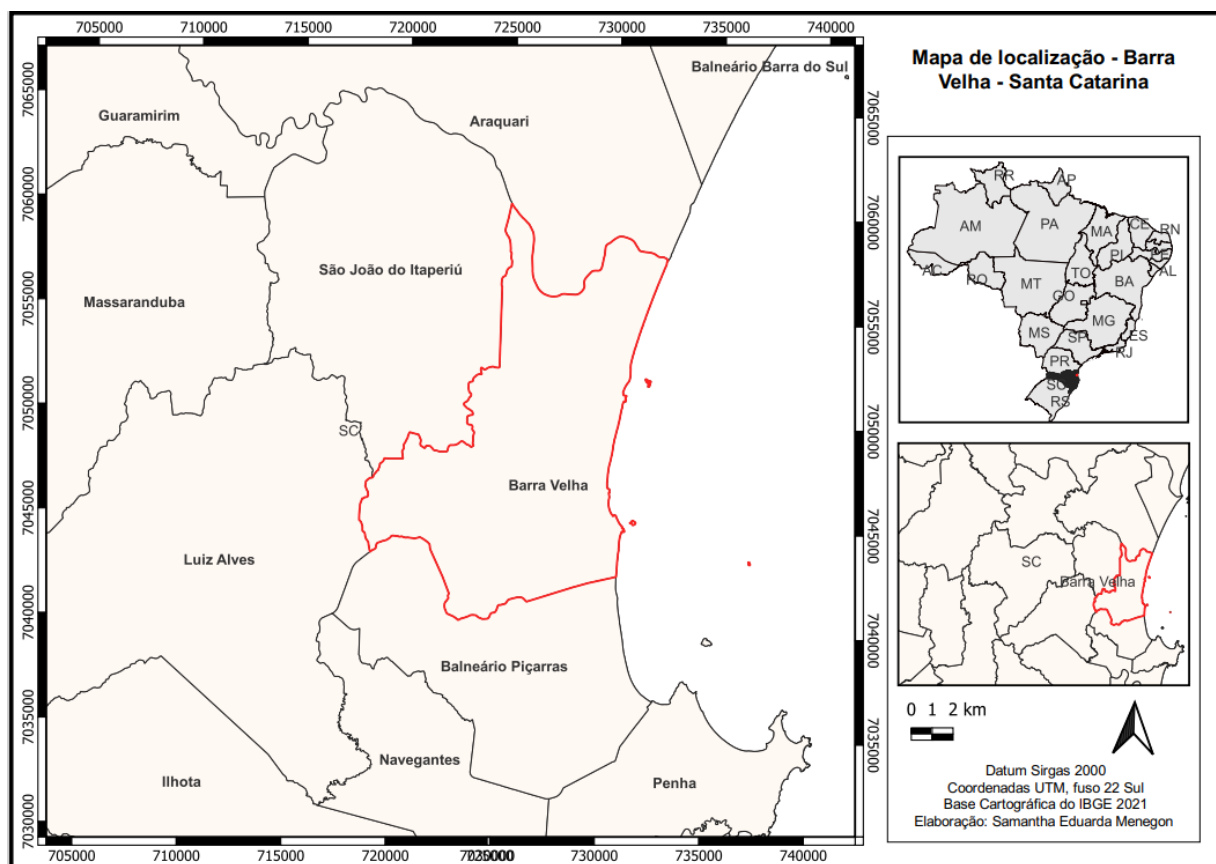
Resumidamente, existem muitos tipos de geossintéticos disponíveis de acordo com a literatura, e podem ser utilizados em uma grande variedade de problemas geotécnicos, sempre buscando aumentar a vida útil da obra e minimizando os impactos ambientais.

3. METODOLOGIA

3.1. BARRA VELHA/SC

Barra Velha é um município brasileiro do estado de Santa Catarina, com uma altitude de 15 metros em relação ao nível do mar. O município está a uma distância aproximada de 130 Km da capital do estado de Santa Catarina e os acessos principais são pelas rodovias BR 101, que corta o município de norte a sul, ligando a Balneário Barra do Sul e Balneário Piçarras respectivamente e SC- 415 passando pelo município no sentido norte – oeste. A Figura 10 mostra a localização regional do município de Barra Velha.

Figura 9 Mapa de localização regional.



Fonte: AUTOR (2022).

3.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Para realização desse trabalho usou-se como referência a rua Manoel Corrêa, localizada no município de Barra Velha, descrito anteriormente. O trecho da rua analisado possui cerca de 700 metros de extensão, está inserida dentro da área urbana do município e não possui pavimentação e rede de drenagem. A imagem 11 mostra o trecho analisado.

Figura 10 Trecho da Rua Manoel Correa em Barra Velha.



Fonte: Google Earth (2022).

Da esquerda para a direita tem-se inicialmente um trecho com 15 metros de altitude em relação ao nível do mar, segundo arquivo de MDE da TOPODATA (2021). A altitude vai aumentando consideravelmente até o fim do trecho chegando a 50 metros de altitude em relação ao nível do mar, esta declividade está relacionada diretamente com os problemas de inundação que a região vem sofrendo ao longo do tempo, além da rua estar localizada em região litorânea e sofrer influências de maré.

Este trabalho teve como objetivo apresentar soluções para a problemática das cheias e da falta de pavimentação devido a esses fatores. Vale ressaltar a importância deste trabalho ao relacionar a Rua Manoel Correa com grande parte das estradas urbanas do nosso país. A (figura 12) e (figura 13) mostram fotos tiradas do trecho que foi estudado.

Figura 11 Trecho da Rua Manoel Correa em Barra Velha



Fonte: AUTOR (2022).

Figura 12 Trecho da Rua Manoel Correa em Barra Velha mostrando o acúmulo de água.



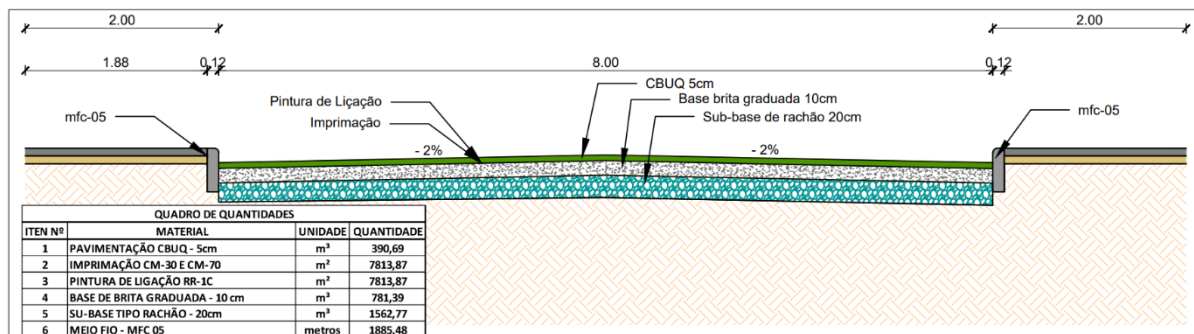
Fonte: AUTOR (2022).

3.4. SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO EXISTENTE

A rua Manoel Correa possui na sua totalidade 1600 metros de extensão, destes, 909,77 metros já possuem pavimentação. O projeto de pavimentação e drenagem existente nesse trecho foi elaborado pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano do município e a obra foi executada pela empresa Vogelsanger.

Segundo memorial descritivo fornecido pela SEPLAN, a drenagem consistiu na instalação de meio fio, tubulação em concreto, caixas coletoras (tipo boca de lobo) e poços de visita. A pavimentação foi executada conforme projeto geométrico com revestimento asfáltico de densidade 2,50 ton/m³. Foi executada uma camada de base, com brita graduada, com índice de suporte de no mínimo 80%. No revestimento asfáltico foi utilizado uma camada de concreto betuminoso usinado a quente – CBUQ, com 5 cm de espessura. A (figura 14) mostra a seção do projeto de pavimentação existente com os materiais e quantidades utilizados:

Figura 13 Materiais da pavimentação existente.



Fonte: SEPLAN (2020).

A obra teve um custo total de R\$1.143.789,28 (um milhão cento e quarenta e três mil setecentos e oitenta e nove reais e vinte e oito centavos). A (figura 15) e (figura 16) apresentam a planilha do orçamento sintético fornecido pela SEPLAN.

Figura 14 Orçamento Sintético Pavimentação Existente

ORÇAMENTO SINTÉTICO

OBRA: PAVIMENTAÇÃO E DRENAGEM DA RUA MANOEL CORREIA
 LOCAL: RUA MANOEL CORREIA - SÃO CRISTÓVÃO
 DATA: 15/05/2020

ITEM	Referência	Código	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO				CUSTO TOTAL DO SERVIÇO (R\$)	
						MAT. (R\$)	M. O. (R\$)	PREÇO (R\$)	BDI 18,60%		CUSTO (R\$)
1. SERVIÇOS PRELIMINARES											
1. 1	Composição	239	PLACA DE DIVULGAÇÃO DE OBRA, DIMENSÃO APROXIMADA DE 1,25X2,00 METROS, MATERIAL EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO OU LONA, ESTRUTURA DE SUPORTE EM MADEIRA, FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO.	UN	1,00			320,76	62,87	383,63	383,63
SUBTOTAL										383,63	
2. TERRAPLANAGEM											
2. 1	Sinapi_comp	74154/1	ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1ª CATEGORIA COM TRATOR SOBRE ESTEIRAS 347 HP E CACAMBA 8M3, DMT 50 A 200M	M3	167,79			3,89	0,76	4,65	780,22
2. 2	Sinapi_comp	89221	ESCAVAÇÃO VERTICAL A CÉU ABERTO, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 1,2 M³ / 155 HP), FROTA DE 3 CAMINHÕES BASCULANTES DE 14 M³, DMT DE 0,2 KM E VELOCIDADE MÉDIA 4 KM/H. AF_12/2013	M3	1.403,19			5,66	1,11	6,77	9.499,60
2. 3	Sinapi_comp	96385	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE ATERRO COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO - EXCLUSIVO SOLO, ESCAVADO, CARGA E TRANSPORTE. AF_11/2019	M3	1.403,19			6,68	1,31	7,99	11.211,49
2. 4	Sinapi_comp	95875	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATE 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_12/2018	M3XKM	1.403,19			0,98	0,19	1,17	1.641,73
SUBTOTAL										23.133,04	
3. DRENAGEM											
3. 1	Sinapi_comp	90991	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE) UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (0,8 M3), LARG. DE 1,5M A 2,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_01/2015	M3	744,95			4,59	0,90	5,49	4.089,78
3. 2	Sinapi_comp	94342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO E COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_05/2016	M3	121,35			112,41	22,03	134,44	16.314,29
3. 3	Sinapi_comp	95566	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 300MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_12/2015	M	203,00			91,23	17,88	109,11	22.149,33
3. 3	Sinapi_comp	92210	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 400 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_12/2015	M	160,00			96,56	18,93	115,49	18.478,40
3. 4	Sinapi_comp	92212	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 600 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_12/2015	M	542,00			157,60	30,89	188,49	102.161,58
3. 5	Sinapi_comp	92214	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 800 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_12/2015	M	176,00			237,41	46,53	283,94	49.973,44
3. 6	Sinapi_comp	92216	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1000 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_12/2015	M	115,00			321,28	62,97	384,25	44.188,75
3. 7	Sinapi_comp	93380	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATE 0,8 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO DE 1ª CATEGORIA EM LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_04/2016	M3	612,00			11,46	2,25	13,71	8.390,52
3. 8	Composição	848	BOCA DE LOBO EM ALVENARIA (10CM ESP.) DE BLOCO MACIÇO DE CONCRETO REVESTIDA C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3, SOBRE CONCRETO ARMADO 10CM TAMPA EM CONCRETO ARMADO (MEDIDAS INTERNAS 40X80CM PROFUNDIDADE 1,20M)	UN	24,00			627,18	122,93	750,11	18.002,64
3. 9	Composição	858	BOCA DE LOBO EM ALVENARIA (10CM ESP.) DE BLOCO MACIÇO DE CONCRETO REVESTIDA C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3, SOBRE CONCRETO ARMADO 10CM E TAMPA EM CONCRETO ARMADO (MEDIDAS INTERNAS 60X80CM PROFUNDIDADE 1,20M)	UN	4,00			830,46	162,77	993,23	3.972,92
3. 10	Composição	859	BOCA DE LOBO EM ALVENARIA (20CM ESP.) DE BLOCO MACIÇO DE CONCRETO REVESTIDA C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3, SOBRE CONCRETO ARMADO 10CM E TAMPA EM CONCRETO ARMADO (MEDIDAS INTERNAS 80X80CM PROFUNDIDADE 1,50M)	UN	18,00			1.632,79	320,03	1.952,82	35.150,76
3. 11	Composição	860	BOCA DE LOBO EM ALVENARIA (20CM ESP.) DE BLOCO MACIÇO DE CONCRETO REVESTIDA C/ ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3, SOBRE CONCRETO ARMADO 10CM E TAMPA EM CONCRETO ARMADO (MEDIDAS INTERNAS 100X80CM PROFUNDIDADE 2,00M)	UN	3,00			2.291,25	449,09	2.740,34	8.221,02
3. 12	Composição	864	CAIXA DE LIGAÇÃO EM ALVENARIA (20CM ESP.) DE BLOCO MACIÇO DE CONCRETO REVESTIDA C/ ARGAMASSA, SOBRE CONCRETO ARMADO 10CM COM TAMPA DE CONCRETO ARMADO 20CM (MEDIDAS INTERNAS 140X100X140CM)	UN	2,00			2.574,10	504,52	3.078,62	6.157,24
SUBTOTAL										337.250,67	

Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 15 Orçamento Sintético Pavimentação Existente

ORÇAMENTO SINTÉTICO

OBRA: PAVIMENTAÇÃO E DRENAGEM DA RUA MANOEL CORREIA
 LOCAL: RUA MANOEL CORREIA - SÃO CRISTÓVÃO
 DATA: 15/05/2020

4. PAVIMENTAÇÃO											
4. 1	Sinapi_comp	94273	ASSENTAMENTO DE GUIA (MEIO-FIO) EM TRECHO RETO, CONFECCIONADA EM CONCRETO PRÉ-FABRICADO, DIMENSÕES 100X15X13X30 CM (COMPRIMENTO X BASE INFERIOR X BASE SUPERIOR X ALTURA), PARA VIAS URBANAS (USO VIÁRIO). AF. 06/2016	M	1.885,48			36,15	7,09	43,24	81.528,16
4. 2	Sinapi_comp	96396	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB-BASE PARA PAVIMENTAÇÃO DE BRITA GRADUADA SIMPLES - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF. 11/2019	M3	781,39			111,14	21,78	132,92	103.862,36
4. 3	Sinapi_comp	97914	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF. 01/2018	M3XKM	2.344,17			1,20	0,24	1,44	3.375,60
4. 4	Sinapi_comp	96401	EXECUÇÃO DE IMPRIMAÇÃO COM ASFALTO DILUÍDO CM-30. AF. 11/2019	M2	7.813,87			6,61	1,30	7,91	61.807,71
4. 5	Sinapi_comp	96402	EXECUÇÃO DE PINTURA DE LIGAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA RR-2C. AF. 11/2019	M2	7.813,87			1,77	0,35	2,12	16.565,40
4. 6	Sinapi_comp	95995	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO COM APLICAÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO, CAMADA DE ROLAMENTO - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF. 11/2019	M3	390,69			910,28	178,41	1.088,69	425.340,30
4. 7	Sinapi_comp	93177	TRANSPORTE DE MATERIAL ASFÁLTICO, COM CAMINHÃO COM CAPACIDADE DE 20000 L EM RODOVIA PAVIMENTADA PARA DISTÂNCIAS MÉDIAS DE TRANSPORTE IGUAL OU INFERIOR A 100 KM. AF. 02/2016	TXXM	43.952,63			1,72	0,34	2,06	90.542,41
SUBTOTAL											
783.021,94											

TOTAL		1.143.789,28
--------------	--	---------------------

maio-2020 : DATA DE REFERÊNCIA DA TABELA SINAPI
 - BDI COMPOSTO CONSIDERANDO A NÃO DESONERAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO PATRONAL DO INSS DE 20% SOBRE A FOLHA DE PAGAMENTO (CONFORME ESTABELECEM AS LEIS 12.844/2013 E

Fonte: SEPLAN (2020).

3.5. VAZÃO DA RUA MANOEL CORREA

Foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica da região, através do software Qgis, que permite a visualização, gestão, edição, análise de dados e criação de mapas. Além do software que foi utilizado para a delimitação da bacia, também foi usado um roteiro disponibilizado em arquivo PDF pela professora Franciele Maria Vanelli, que ministra a disciplina de hidrologia aplicada. Os arquivos MDE foram obtidos no site da TOPODATA, e as camadas de estados brasileiros, mesorregiões e cidades obtidos no site do IBGE. Foram também utilizados programas como o Excel, e Paint para cálculos e recortes de mapas.

Além de delimitar a bacia hidrográfica foram obtidas as características físicas da mesma, como a área, perímetro, comprimento do rio principal, declividade média do rio principal, forma da bacia, uso e ocupação de solo e tipos de solo. Para a obtenção da área, perímetro e comprimento do rio principal foi utilizado o próprio software Qgis, o qual selecionando a bacia que foi delimitada calcula automaticamente estes itens.

A bacia foi delimitada a fim de obter os parâmetros para traçar a curva IDF da região da bacia e calcular a chuva de projeto e a vazão, para determinar o sistema de drenagem da rua Manoel Correa.

3.6. SOLUÇÕES PARA O NOVO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Foi realizado 3 (três) alternativas de solução para o dimensionamento do pavimento com base nas informações de ensaios obtidas pela SEPLAN, e nos dados da caracterização do solo do subleito obtidos no laboratório de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.6.1 Método DNER

Foi realizado o dimensionamento do pavimento pelo método do DNER seguindo as recomendações do Manual de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT.

Segundo o DNIT, a determinação da capacidade de suporte do subleito e dos materiais granulares consecutivos do pavimento é feita pelo CBR. Os dados do ensaio de CBR foram fornecidos pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano do Município de Barra Velha. Os materiais devem ser compactados de acordo com os valores fixados nas Especificações Gerais do Manual do DNIT, sendo recomendado que em nenhum caso, o grau de compactação deve ser inferior a 100% do que for especificado.

3.6.1.1 Caracterização dos materiais

As características dos materiais das camadas segundo DNIT devem ser as seguintes:

Subleito:

CBR \geq a 2% e Expansão \leq a 2%;

Reforço do Subleito:

CBR maior que o do subleito e Expansão \leq a 1%;

Sub-base:

CBR \geq a 20% e Expansão \leq a 1%;

Base:

Quando o número N for $>$ que 5×10^6 então:

CBR \geq 80%;

Expansão $\leq 0,5\%$;

Limite de Liquidez (LL) $\leq 25\%$; e

Índice de Plasticidade (IP) $\leq 6\%$.

Quando o número N $\leq 5 \times 10^6$, então:

CBR $\geq 60\%$; e

Faixas Granulométricas > E e F.

3.6.1.2 Metodologia

O Manual de Projeto de Pavimento flexível do DNIT leva em consideração, além dos materiais, o efeito destrutivo do tráfego que é representado pelo número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido.

Após obtidos os dados das camadas constituintes e no número N deve ser determinado o valor dos coeficientes de equivalência estrutural para as diferentes camadas que irão constituir o pavimento. De acordo com o tipo de material é possível determinar o coeficiente através da tabela (1) fornecida no manual pelo DNIT.

Tabela 2 Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT (1981).

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, os coeficientes estruturais são designados por:

Revestimento: K_R ;

Base: K_B ;

Sub base: K_S ;

Reforço: K_{Ref} .

3.6.1.3 Cálculos necessários

Primeiramente deve ser escolhido o tipo de revestimento, que está diretamente ligado ao número N indicado pelo estudo de trafego. A tabela 2 apresenta o tipo e a espessura mínima do revestimento que devem ser definidos:

Tabela 3 Definição do tipo e espessura do revestimento

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (1981).

Segundo o manual do DNIT o próximo passo é determinar as espessuras das camadas dos pavimentos através de inequações apresentadas na Figura 15 e pelas curvas indicadas na Figura 17.

Figura 16 Inequações para determinação das espessuras das camadas.

$$RK_R + BK_B \geq H_{20}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S \geq H_n$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_M$$

Fonte: DNIT (1981).

Onde:

R = Espessura do revestimento;

B = Espessura da camada de base;

H₂₀ = Espessura sobre a camada de sub base;

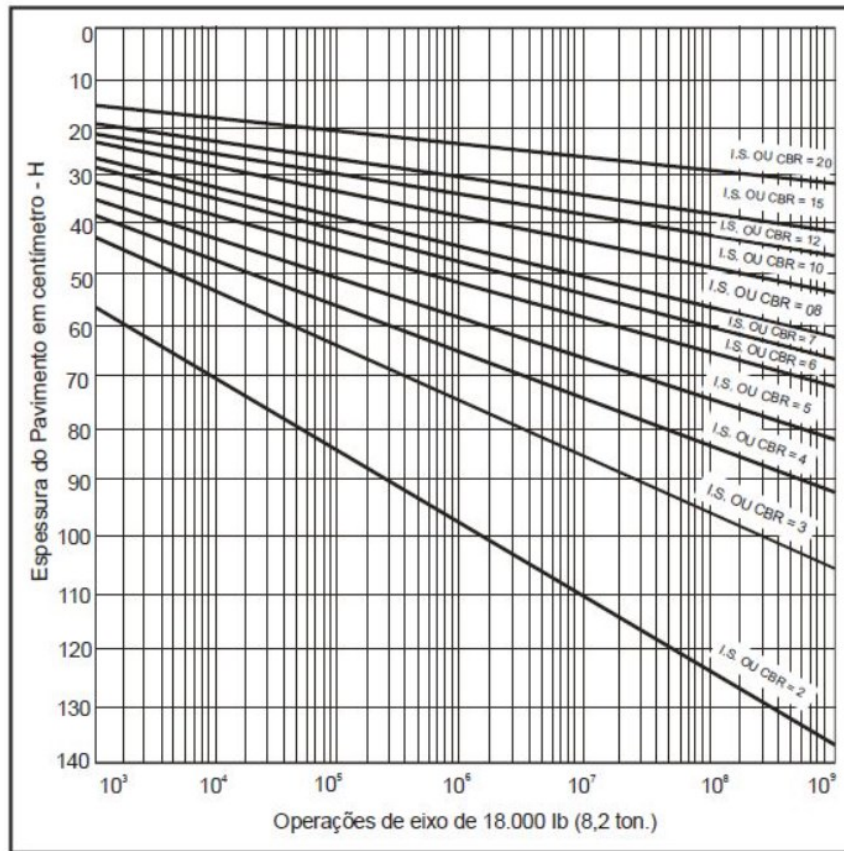
h₂₀ = Espessura da camada de sub base;

H_n = Espessura sobre a camada de reforço do subleito;

h_N = Espessura da camada de reforço do subleito;

H_M = Espessura sobre a camada de subleito.

Figura 17 Curva para determinação das espessuras das camadas



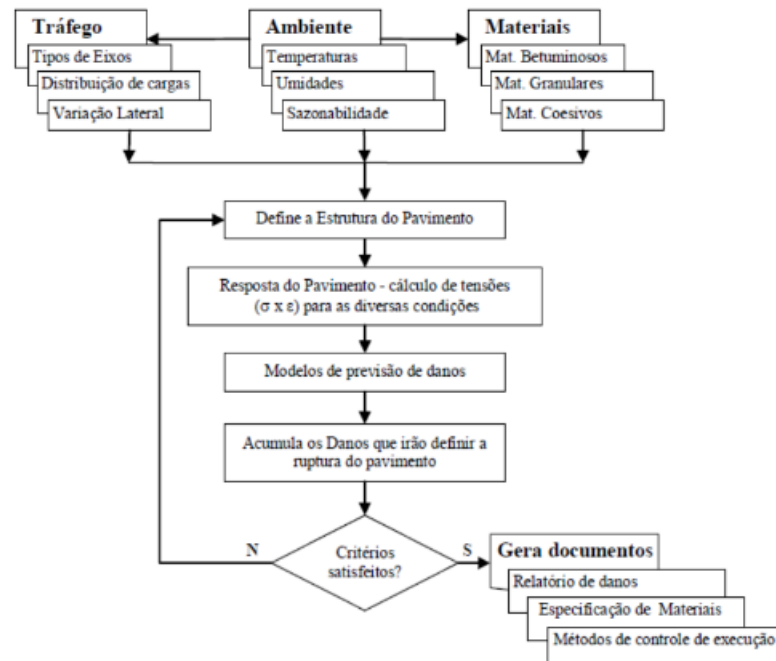
Fonte: DNIT (1981).

3.6.1 Método MEDINA

Para dimensionar o pavimento pelo método mecanístico-empírico será utilizado o MeDiNa, que é um programa computacional que realiza a verificação do dimensionamento de estruturas de pavimentos mecanístico-empírico, por meio da rotina de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC) (DNIT, 2021).

O programa MeDiNa permite a verificação dos dados de entrada (tráfego, clima, estrutura e materiais do pavimento) e requisitos definidos pelo projetista, e informa a vida de projeto que a estrutura pode suportar ou dimensiona a espessura da camada desejada de modo a atender aos requisitos pré estabelecidos. O fluxograma básico utilizado para o desenvolvimento no software segue apresentado na figura 19.

Figura 18 Fluxograma básico para desenvolvimento no software Medina



Fonte: FRANCO (2007).

3.7. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO SUBLEITO

Foi extraída uma amostra de solo da rua Manoel Correa com 50 centímetros de profundidade para análise laboratorial e caracterização do subleito, conforme mostra a figura 20.

Figura 19 Extração da amostra de solo.



Fonte: AUTOR (2022).

O objetivo da realização de ensaios laboratoriais é a caracterização do solo, e dessa forma contribuir para o melhor conhecimento sobre o comportamento do solo. O principal objetivo é conhecer a distribuição granulométrica do solo e representá-la através de uma curva, possibilitando assim a determinação de suas características físicas. Os ensaios de limite de liquidez e plasticidade permitem determinar os limites de consistência do solo, o termo consistência é usado para descrever um estado físico, isto é, o grau de ligação entre as partículas das substâncias. Antes de começar os ensaios, o solo foi preparado de acordo com a norma NBR 6457/2016. A amostra do solo foi deixada no laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Joinville cerca de quinze dias antes da realização dos ensaios para que pudesse secar ao ar até atingir a umidade higroscópica. Após isso foi desmanchado os torrões, evitando-se quebra de grãos e tornando a amostra homogênea.

3.7.1 GRANULOMETRIA

Os materiais usados para o ensaio de granulometria foram:

- Estufa;
- Balança;
- Aparelho de Dispersão;
- Proveta de Vidro com cerca de 450 mm de altura e 65 mm de diâmetro, com traço de referência indicado 1.000 cm^3 a 20°C ;
- Densímetro de Bulbo simétrico, calibrado a 20°C e com resolução de $0,001 \text{ mm}$ graduado de $0,995$ a $1,050$;
- Termômetro graduado em $0,1^\circ\text{C}$;
- Relógio que indique os segundos;
- Béquer de vidro com capacidade de 250 cm^3 ;
- Proveta de vidro, com capacidade de 250 cm^3 e resolução de 2 cm^3 ;
- Escovas com cerdas metálicas;
- Peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e 0,075 mm;
- Bisnaga;
- Bagueta de vidro;

- Cápsulas metálicas;
- Defloculante;
- Água Destilada.

Foi tomada uma fração da amostra obtida a partir da secagem ao ar onde a mesma foi peneirada na peneira de 76 mm, desprezando-se o material retido. Após o peneiramento, foi tomado parte do material passante pela peneira de 76 mm em função do diâmetro das partículas, observados a olho nu, separando assim uma quantidade mínima da amostra.

Tabela 4 Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensões dos órgãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual mm	Quantidade mínima a tomar kg
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

Fonte: ABNT, NBR6457 (20216)

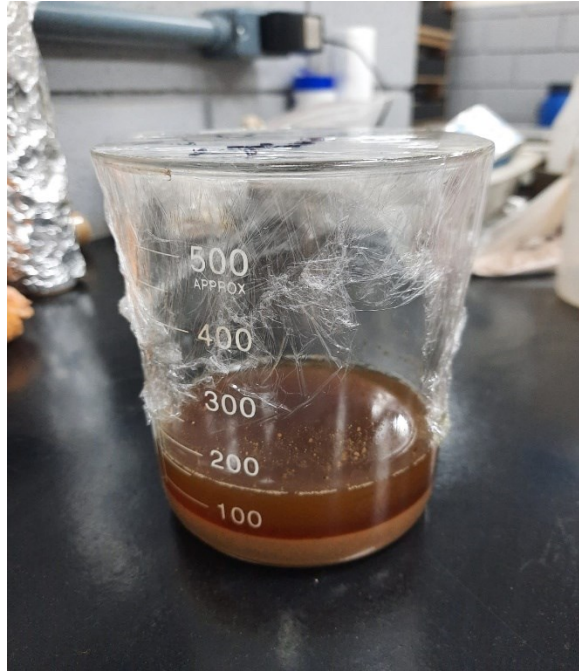
Segundo a norma e a dimensão dos grãos, a quantidade mínima a ser adotada foi de 4 kg. O primeiro passo para a realização dos ensaios de granulometria com sedimentação foi verificar o teor de umidade da amostra de solo, foram selecionados três recipientes metálicos, pesados esses recipientes e anotado a massa de cada um vazio na planilha de laboratório depois foi coletado um pouco da amostra de solo e pesado novamente os recipientes com o solo. Os recipientes foram levados para a estufa para secar. Foi anotada a quantidade de solo e passado na peneira de 2mm.

3.7.1.1 SEDIMENTAÇÃO

Esse ensaio foi feito com o material que passou na peneira de 2mm. Foi selecionado 70,00g já que o solo é mais argiloso. Depois de o material ter sido pesado foi deixado em uma imersão por 12 horas em uma solução de hexametáfosfato de

sódio (solução que já estava pronta no laboratório). A (figura 21) mostra a amostra de solo após 12 horas na solução:

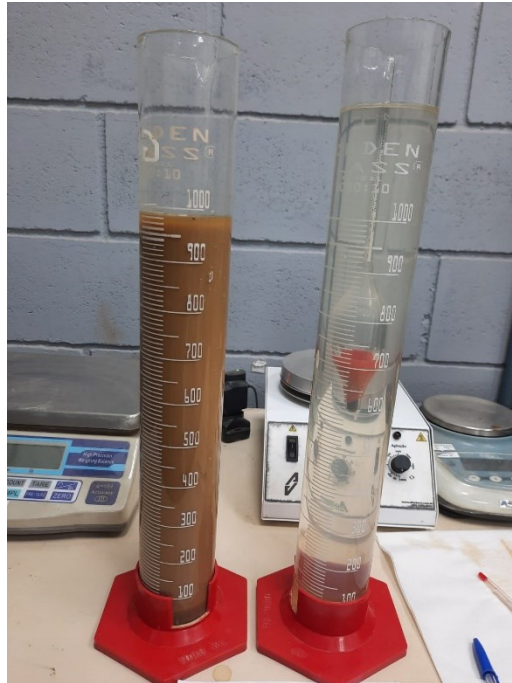
Figura 20 Solo após 12h na solução.



Fonte: AUTOR (2022).

Depois das 12 horas o material foi passado para o copo dispersor com ajuda de água destilada, e deixado no dispersor em agitação por 15 minutos. Depois dos 15 minutos no dispersor foi passado o material para uma proveta graduada com a ajuda de água destilada para que não ficasse sobras do material no copo dispersor. A proveta foi preenchida com água destilada até o limite indicado no laboratório. Outra proveta foi providenciada e preenchida com água destilada para ficar ao lado na bancada e servir como suporte para o densímetro. A proveta foi tampada com a mão e a ajuda de uma luva para que não vazasse material e agitada vigorosamente por 1 minuto, colocada sob a bancada e então o cronômetro foi disparado para realizar as leituras. A (figura 22) mostra a realização do ensaio de sedimentação:

Figura 21 Ensaio de sedimentação.



Fonte: AUTOR (2022).

Foi efetuada a leitura nos tempos de 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas e 24 horas. Sempre depois da leitura do densímetro foi medida a temperatura da dispersão. Depois da leitura de 24 horas o conteúdo da proveta foi despejado na peneira de 0,075mm e lavado com cuidado, depois foi colocado dentro de uma cápsula de porcelana e levado para estufa por 24 horas.

3.7.1.2 PENEIRAMENTO FINO

Este ensaio foi realizado com o material retido na peneira de 0,075mm do ensaio de sedimentação. Após a secagem do material o mesmo foi passado nas peneiras de 1,6mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,3mm, 0,15mm e 0,075mm conforme a norma. A figura 23 mostra o material retido na peneira de 0,075mm e material após ter sido seco em estufa e pronto para passar na sequência de peneiras:

Figura 22 Material retido na peneira de 0,075mm.



Fonte: AUTOR (2022).

Figura 23 Peneiramento fino.



Fonte: AUTOR (2022).

3.7.1.3 PENEIRAMENTO GROSSO

O material retido na peneira de 2mm foi lavado em água corrente com cuidado para a realização desse ensaio. Depois de lavado o material foi colocado em uma cápsula de porcelana e colocado na estufa por 24 horas. Depois que o material estava seco foi passado nas peneiras de 50mm, 38mm, 25mm, 19mm, 9,5mm e 4,8mm conforme a norma e anotado a quantidade de material que ficou retida em cada peneira na planilha de laboratório.

3.7.2 LIMITE DE LIQUIDEZ

Conforme a norma NBR6459/2016 é necessário inspecionar o aparelho de Casagrande de modo a conferir que o pino que conecta a concha está firme, parafusos apertados, concha não apresente ranhuras e o cinzel esteja em perfeito estado. Após a inspeção o aparelho foi ajustado com a ajuda de um gabarito garantindo que o ponto de contato da concha com a base estivesse 10mm acima da base.

Foi tomado metade da amostra preparada de acordo com a ABNT NBR6457, colocando-a em um recipiente de porcelana, aos poucos adicionando água destilada, amassando e revolvendo, com o auxílio de uma espátula, de forma a obter uma pasta homogênea com consistência necessária na ordem de 35 golpes para fechar a ranhura feita pelo cinzel. O tempo para tal homogeneização deve ser entre 15min e 30min.

Depois de homogeneizada a pasta da amostra, foi colocada na concha e moldada de tal maneira que a espessura central ficasse próximo de 10 mm, devolvendo o excesso de solo para a cápsula da amostra. Logo após, com o cinzel, foi feita a ranhura na parte central deslocando o cinzel perpendicularmente a superfície da concha. A (figura 25) mostra a concha preenchida pelo solo.

Figura 24 Aparelho de Casagrande com a amostra de solo.



Fonte: AUTOR (2022).

O procedimento foi realizado com a concha apoiada nas mãos para que pudesse ser realizado com maior exatidão e facilidade. Após esse processo a concha foi realocada no aparelho e golpeada contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo, anotando o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13 mm de comprimento aproximadamente.

Depois de realizado os golpes, uma pequena quantidade de material junto das bordas que se uniram foi colocada em uma cápsula metálica para a determinação da umidade, conforme NBR6457. O restante do material foi colocado na cápsula de cerâmica, a concha e o cinzel foram limpos para que o procedimento pudesse ser repetido.

3.7.3 LIMITE DE PLASTICIDADE

Para a realização deste ensaio foi necessário coletar metade da quantidade da amostra preparada de acordo com a ABNT NBR6457, fazendo também necessário a secagem prévia da mesma.

A amostra foi colocada em uma cápsula de porcelana e aos poucos foi adicionando água destilada, da mesma forma que o ensaio de limite de liquidez,

amassando e revolvendo, com o auxílio de uma espátula, de forma a obter uma pasta homogênea no tempo ideal de 15 min a 30 min.

Aproximadamente 10g da amostra preparada foi enrolada nas mãos formando uma pequena bola e logo após, sobre a placa de vidro, foi submetida a pressão da palma da mão fazendo com que se formasse em um cilindro sem quebrar.

A amostra deve atingir o diâmetro de 3mm, caso contrário, era devolvida para a cápsula de porcelana e homogeneizada novamente por 3 minutos. O ensaio foi repetido até o momento em que a amostra atingisse o diâmetro de 3 mm sem fragmentar. E caso o cilindro se fragmentasse com o diâmetro superior a 3 mm, também deveria recomeçar o ensaio.

Quando o cilindro se fragmentava ao chegar o diâmetro de 3 mm e comprimento máximo de 100 mm, comparando com o gabarito, o mesmo era transferido para uma cápsula metálica e levado a estufa para logo após determinar sua umidade conforme estabelecido pela NBR6457.

3.7.4 DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

Conforme a norma DNER-ME 093/94, foi pesado o picnômetro vazio, seco e limpo e anotado sua massa (P1), logo após, foi colocado a amostra no picnômetro e novamente anotado sua massa (P2). Em seguida colocou-se água destilada no picnômetro até cobrir a amostra.

O picnômetro foi aquecido, deixando-o ferver por 15 min para expulsar todo o ar existente entre as partículas do solo e ao mesmo tempo agitando-o para evitar superaquecimento. Depois de esfriado ao ar livre, o picnômetro foi cheio completamente com água destilada e colocado em um banho de água à temperatura ambiente, durante 15 min, com a rolha perfurada a modo que aflorou à sua parte superior e assim anotando a temperatura do banho (t). Após isso o picnômetro e o conteúdo foram pesados obtendo assim a massa (p3). A (figura 26) mostra o ensaio de densidade real dos grãos:

Figura 25 Picnômetro com as amostras de solo sendo aquecidas.



Fonte: AUTOR (2022).

Depois de realizado esses procedimentos, foi retirado todo o material de dentro do picnômetro, o mesmo foi lavado e enchido completamente com água destilada, colocando-o em banho de água por 15 min. Após, foi colocado a rolha perfurada, enxugando o picnômetro com um pano e pesando-o (P4).

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 GEOLOGIA LOCAL

A Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano de Barra Velha contratou a empresa Solo Geo (sondagem e topografia) para realizar os estudos geológicos - geotécnicos de um terreno próximo à rua Manoel Correa, os dados foram fornecidos para a análise e elaboração deste trabalho.

Foram realizadas sondagens à percussão e foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais de apoio:

- Equipamento de sondagem à percussão;
- GPS;
- Veículo HR Hyundai.

O objetivo principal da sondagem realizada foi caracterizar as espessuras das camadas encontradas, e determinar a resistência do solo, permitindo sua classificação bem como identificar a ocorrência de eventuais níveis d'água.

As sondagens geotécnicas são métodos que permitem a perfuração e amostragem das unidades de subsuperfície (solo/rocha). São utilizadas para obter informações sobre a distribuição de diversos materiais que compõe o local de estudo, suas características geológicas e geotécnicas, a fim de subsidiar projetos de fundação, construção de ruas e análise de estabilidade do solo.

As normas brasileiras aplicadas foram a ABNT NBR 6484 (fev./2001) que diz respeito ao Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio, e a norma ABNT NBR 8036 que fala sobre a programação de sondagem de simples reconhecimento do solo.

A sondagem iniciou-se com o emprego do trado concha ou cavadeira manual até uma profundidade de 1 metro, seguindo-se a instalação, até esta profundidade, do primeiro seguimento de tudo revestimento. Para a cravação do barrilete no solo utilizou-se um martelo de 65 kg, de forma prismática ou cilíndrica, que é içado pela roldana com apoio do tripé. Esse martelo é solto de uma altura de 75 cm sobre a composição de hastes.

O amostrador padrão, conectado à haste de perfuração, desceu livremente até ser apoiado suavemente no fundo. Estacionado o amostrador, confere-se a profundidade com a medida feita com haste de perfuração. Para cravar o amostrador no solo, o martelo foi suspenso, novamente até 75cm, marcadas nas hastes guias, por meio de corda flexível que se encaixou com folga do sulco da roldana. Os eixos

de simetria do martelo e da composição do amostrador sempre estiveram rigorosamente coincidentes.

Durante as operações de perfuração, os furos foram revestidos com tubos de revestimento os quais ficaram no mínimo a 0,50 m do fundo, quando da operação de amostragem. Através desse procedimento, auxiliado com a anotação do número de golpes por intervalos regulares de penetração no solo, obteve-se o ensaio de penetração padronizado SPT, de onde são obtidos os índices de resistência à penetração do solo. A metodologia para classificação de sondagens a percussão baseou-se na descrição do material retido no amostrador ou de lavagem e nos registros dos ensaios de penetração e infiltração d'água.

Ao término do furo, aguardou-se 24 horas para fazer a medição do nível de água. Posteriormente fechou-se o furo com o próprio material retirado ou outro material de acordo com a fiscalização, deixando-se no local um piquete identificador.

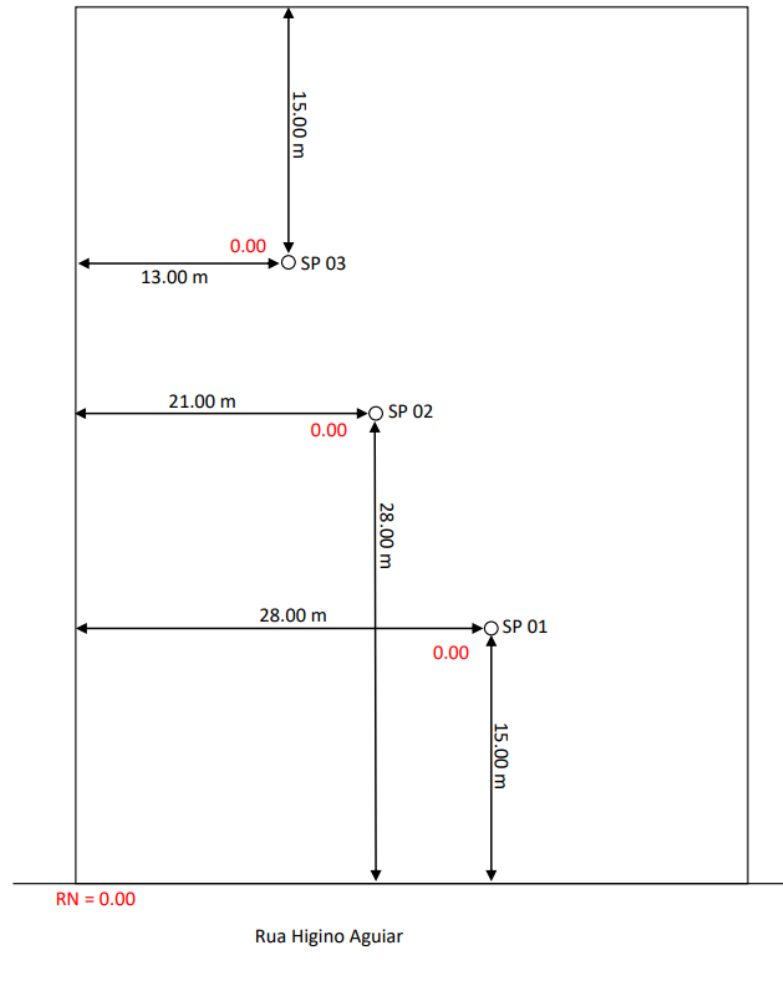
Toda a estrutura para a perfuração foi composta por um tripé com roldana, guincho mecânico, trado concha ou helicoidal, tubo revestimento, hastes e amostrador, este último é composto de uma sapata ou bico de aço temperado possuindo ainda dois furos em suas laterais para saída de ar e água. A (figura 27) mostra croqui de localização da sondagem:

Figura 26 Croqui de localização da sondagem.



Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 27 Croqui de localização da sondagem.



Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 28 Sonda 1.



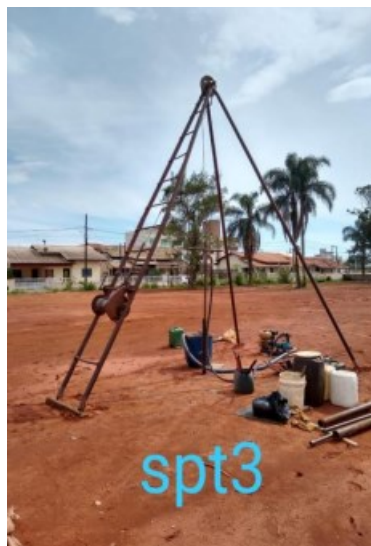
Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 29 Sonda 2.



Fonte: SEPLAN (2020).

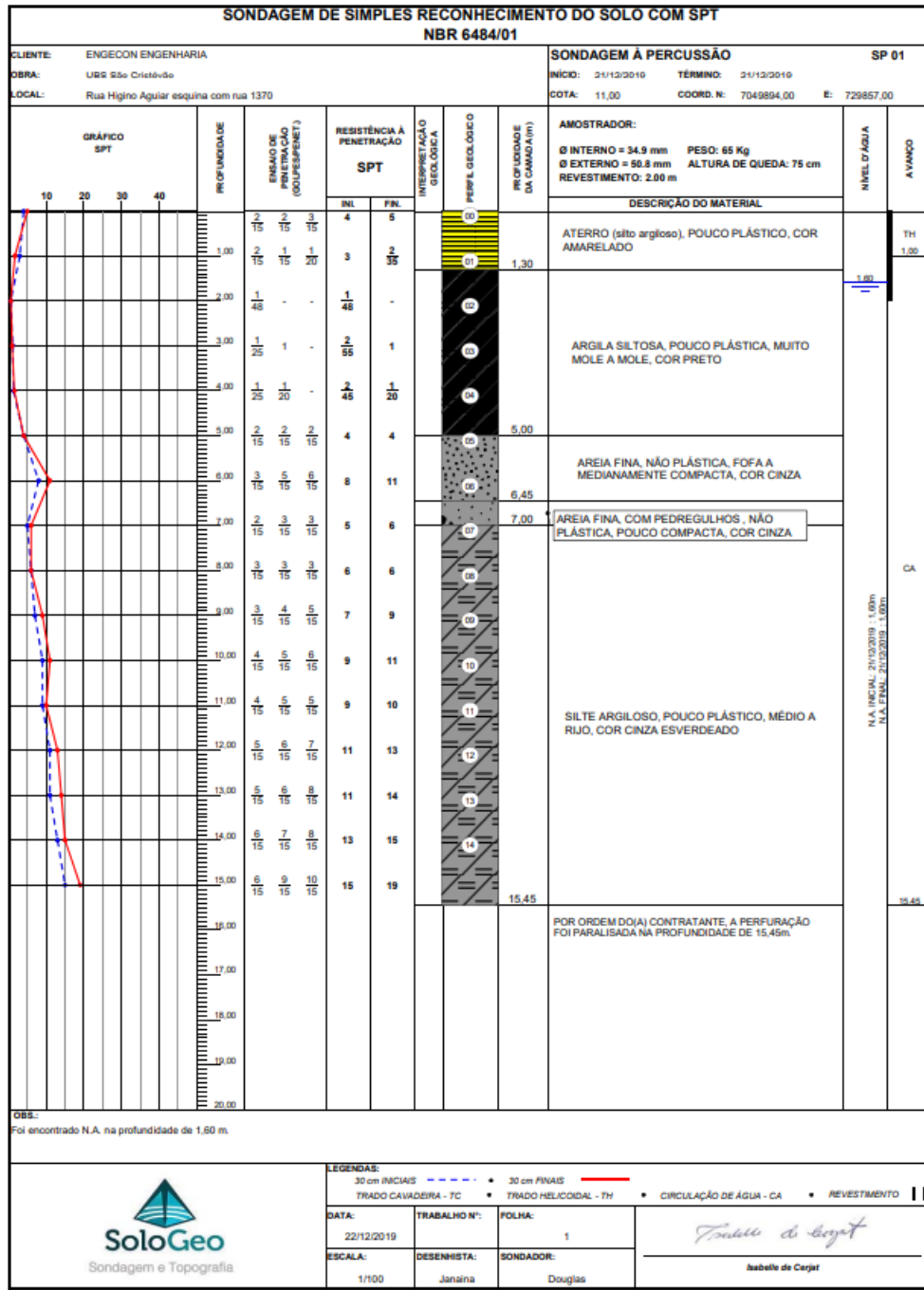
Figura 30 Sonda 3.



Fonte: SEPLAN (2020).

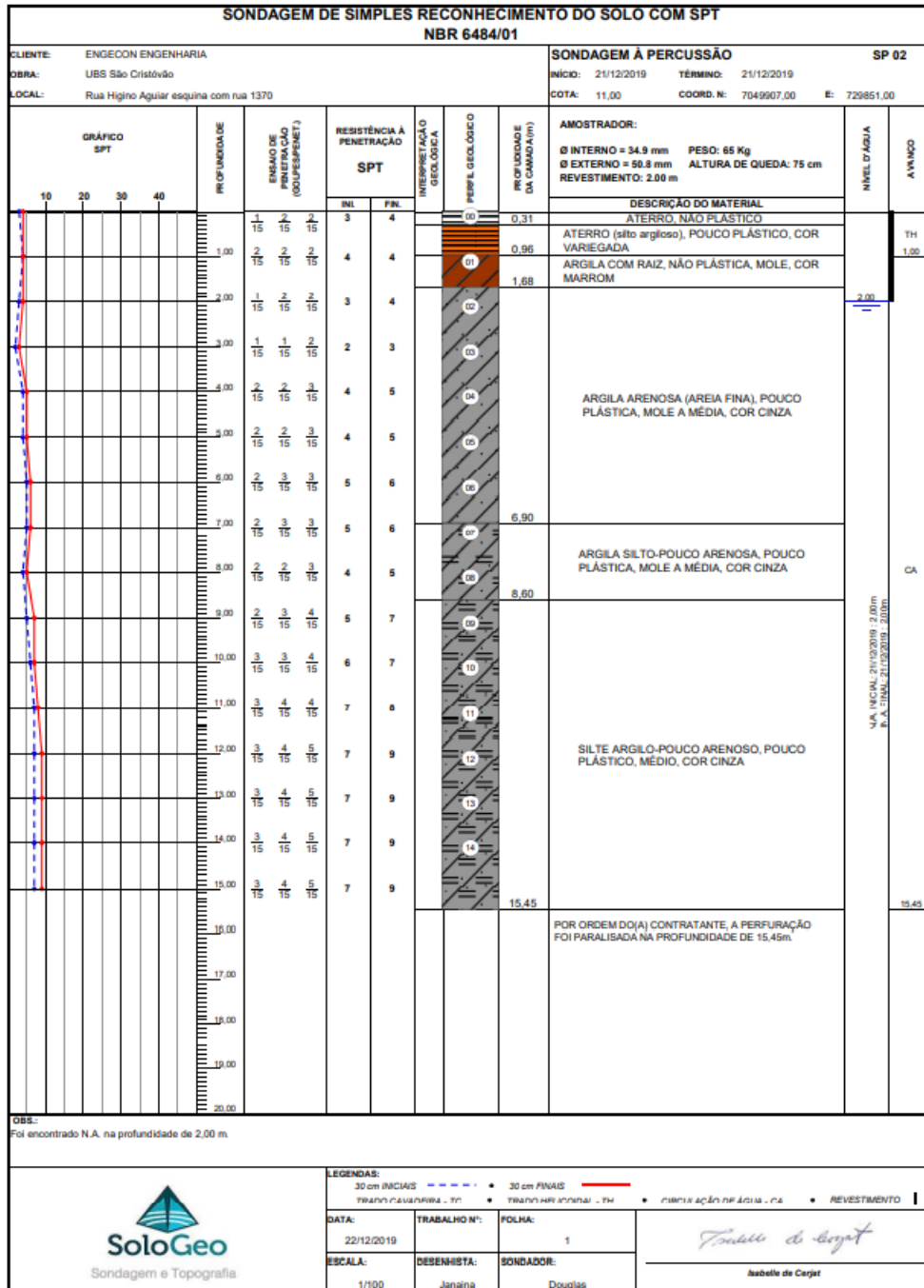
A seguir os perfis de sondagem à percussão:

Figura 31 Sondagem SPT 1.



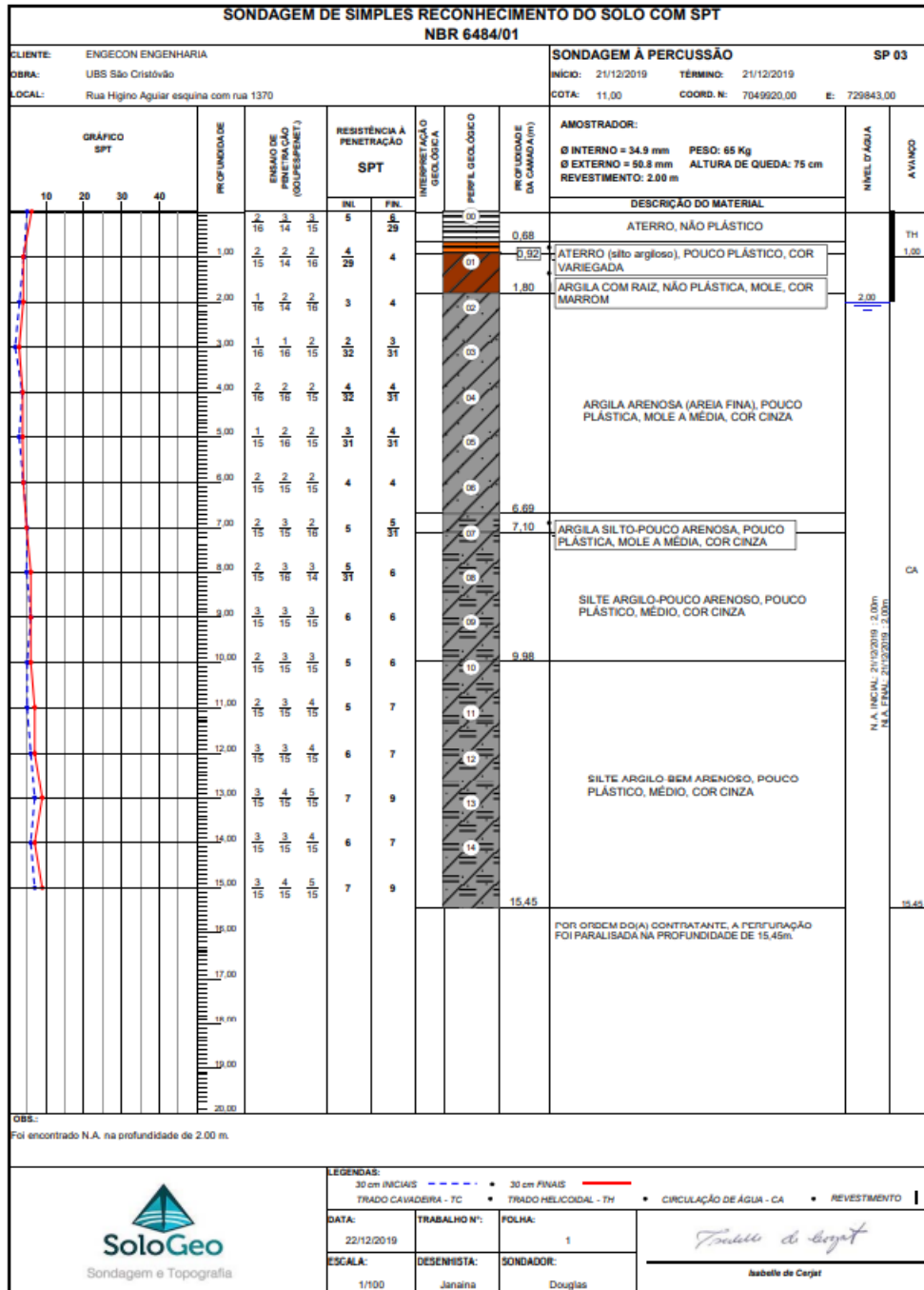
Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 32 Sondagem SPT 2.



Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 33 Sondagem SPT 3.



Fonte: SEPLAN (2020).

Também foram analisados dados obtidos de estudos geotécnicos realizados em uma rua próxima a Manoel Correa, fornecidos pela SEPLAN. A empresa KTOP Consultoria e Engenharia LTDA, adotou normas do DEINFRA/SC para a realização dos estudos geotécnicos do subleito. Foram extraídas amostras significativas em todo o segmento da rua, sendo a mesma analisada em laboratório. Nos ensaios realizados

concluiu-se que os materiais do subleito obtiveram um bom suporte e principalmente uma boa expansão. Pelos resultados obtidos o solo tem resistência adequada para a execução da pavimentação. A seguir boletim de sondagem quadro de resumo dos ensaios:

Figura 34 Boletim de Sondagem

Furo	Estaca	CAMADA		Classificação Expedita
		Início	Fim	
01	0=PP A 7+00	0,00	1,50	ARGILA ARENOSA VARIEGADA
02	7+00 A 15+00	0,00	1,40	ARGILA ARENOSA VARIEGADA
03	15+00 A 23+00	0,00	1,50	ARGILA ARENOSA VARIEGADA
04	23+00 A 30+00	0,00	1,30	ARGILA ARENOSA VARIEGADA
05	30+00 A 40+00	0,00	1,50	ARGILA SILTOSA
06	40+00 A PF	0,00	1,45	ARGILA SILTOSA

Fonte: SEPLAN (2020).

Figura 35 Quadro de Resumo dos Ensaios.

Furo	Estaca	Massa Específica (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)	Umidade Campo (%)	I. S. C. (%)	Expansão (%)
01	0=PP A 7+00	1,476	24,6	23,4	8,3	1,17
02	7+00 A 15+00	1,474	25,0	26,5	8,0	1,14
03	15+00 A 23+00	1,490	23,2	25,1	8,6	0,94
04	23+00 A 30+00	1,456	21,2	25,7	7,8	0,90
05	30+00 A 40+00	1,478	24,8	25,9	7,7	1,41
06	40+00 A PF	1,579	22,3	23,8	7,8	1,31

Fonte: SEPLAN (2020).

Foram feitas sondagens a pá, picareta e trado para a obtenção das amostras e nível d'água, que imediatamente foram classificadas.

4.1.1 Ensaio índice de Suporte Califórnia

Foram fornecidos pela SEPLAN os ensaios de Índice de Suporte Califórnia realizados pela empresa Ktop Consultoria e Engenharia LTDA, na rua Pedro João Oliveira, próximo à rua Manoel Correa, que serão utilizados para o cálculo do dimensionamento do pavimento existente e do novo trecho, objeto estudo deste trabalho. A seguir um dos relatórios do ensaio CBR realizado no ano de 2014:

Figura 36 Ensaio CBR.

Ktop Consultoria e Engenharia Ltda							
ENSAIO DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLOS							
TRECHO	CAMADA		REGISTRO	DATA			
RUA PEDRO JOÃO OLIVEIRA - BARRA VELHA	0,00 A 1,50			20/03/2014			
	MATERIAL	ENERGIA	FURO				
0=PP A 7+00	ARGILA VARIEGADA	NORMAL	1				
PREPARAÇÃO DA AMOSTRA							
DETERMINAÇÕES DE UMIDADE	HIGROSCÓPICA	MOLDAGEM	APÓS SATURAÇÃO				
Cápsula nº	13	3					
Peso da Cápsula+Solo Úmido(g)	31,47	36,14					
Peso da Cápsula+Solo Seco(g)	29,03	30,53					
Peso da Água(g)	2,44	5,61					
Peso da Cápsula(g)	7,70	7,70					
Peso do Solo Seco(g)	21,33	22,83					
Teor de Umidade(%)	11,4	24,6					
Umidade Média(%)	11,4	24,6					
UMID. ÓTIMA(%)	24,6	AMOSTRA ÚMIDA(g):	6.000	ÁGUA A ADICIONAR(ml):	792		
COMPACTAÇÃO DA AMOSTRA			EXPANSÃO				
DENSIDADE	MOLDAGEM	SATURADO	Altura do Corpo de Prova(mm)				
			112,7				
Cilindro nº	12		DATA	Tempo Decorrido em dias	Expansão Lida em mm	Expansão em Porcentagem	
Água Adicionada(ml)	792						
Peso do Cilindro+Solo Úmido(g)	9,875		20/03/2014	0	0,00		
Peso do Cilindro(g)	5,600		21/03/2014	1			
Peso do Solo Úmido(g)	4,275		22/03/2014	2			
Volume do Cilindro(cm³)	2,314		23/03/2014	3			
Densid. Aparente Úmida(g/cm³)	1,847		24/03/2014	4	1,32	1,17	
Densid. Aparente Seca(g/cm³)	1,483						
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Constante do Anel		0,10379					
Tempo (min.)	Penet. (mm)	Leitura (0,001mm)	Pressão (kgf/cm²)				
0,5	0,64	5	0,5				
1,0	1,27	15	1,6				
1,5	1,91	27	2,8				
2,0	2,54	38	3,9				
3,0	3,81	61	6,3				
4,0	5,08	79	8,2				
6,0	7,62	106	11,0				
8,0	10,16	120	12,5				
10,0	12,70	131	13,6				
CÁLCULO DO I.S.C.							
Leitura (mm)	pressão		I.S.C. (%)				
	aplic.	Corrigida					
2,54	3,9	4,8	6,9				
5,08	8,2	8,7	8,3				
DENS. MÁXIMA	1,476	UMID. ÓTIMA(%)=	24,6	I.S.C.(%)=	8,3	EXPANSÃO(%)=	1,17
Obs:							
VISTO							

Fonte: SEPLAN (2020).

O CBR de projeto foi definido de acordo com a seguinte expressão, considerando nível de confiança de 90%:

$$CBR_{projeto} = CBR_{m\u00e9dio} - \frac{1,29 * \sigma}{N^5} \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 4})$$

Onde:

CBR m\u00e9dio = m\u00e9dia aritm\u00e9tica

σ = desvio padr\u00e3o

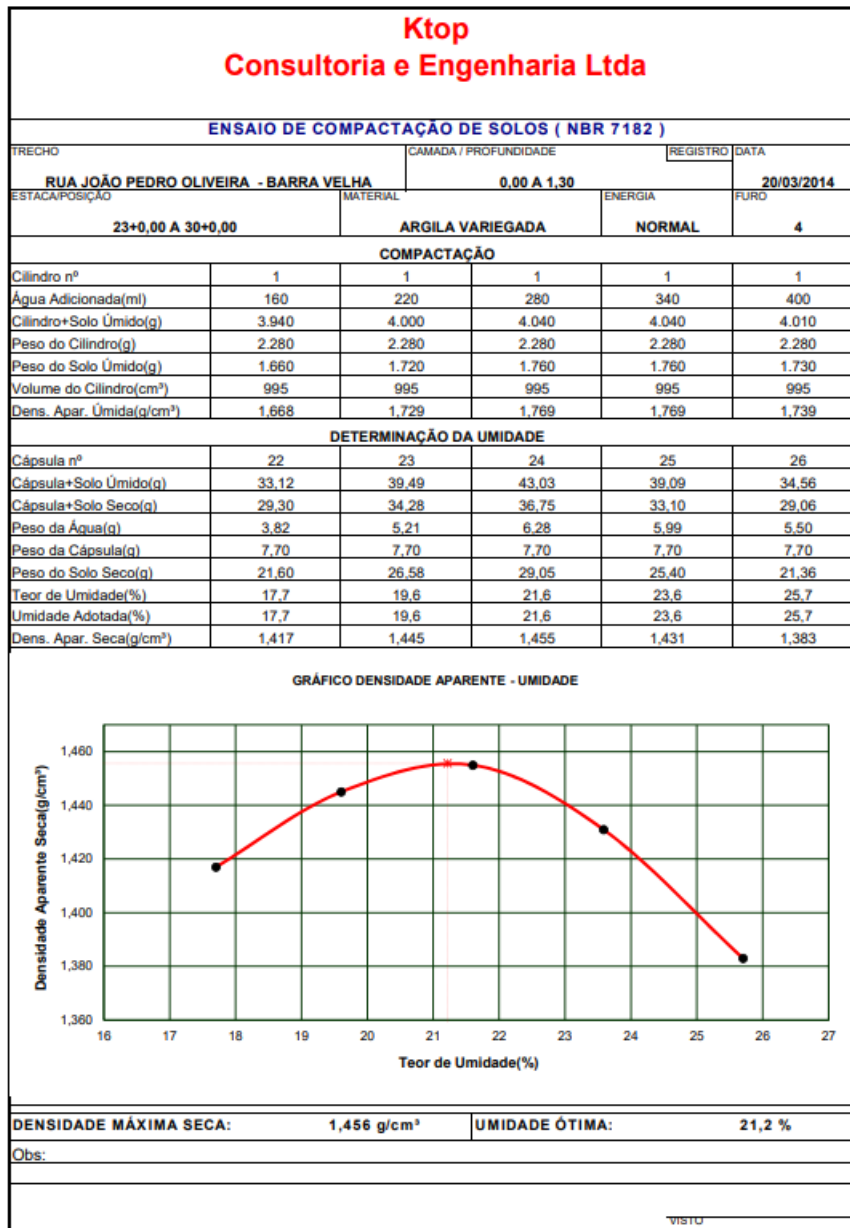
N = n\u00famero de determina\u00e7\u00f5es

Aplicando a f\u00f3rmula conclui-se que o CBR de projeto de solo \u00e9 de 8,0%.

4.1.2 Ensaio de Compacta\u00e7\u00e3o do Solo

Foram fornecidos pela SEPLAN os ensaios de Compacta\u00e7\u00e3o do Solo realizados pela empresa Ktop Consultoria e Engenharia LTDA, na rua Pedro Jo\u00e3o Oliveira, pr\u00f3ximo \u00e0 rua Manoel Correa, que s\u00e3o utilizados para o c\u00e1lculo do dimensionamento do pavimento existente e do novo trecho, objeto estudo deste trabalho. A seguir um dos relat\u00f3rios do ensaio de compacta\u00e7\u00e3o realizado no ano de 2014:

Figura 37 Ensaio de Compactação do Solo



Fonte: SEPLAN (2020).

4.1.3 Análise Tátil Visual do Solo

O solo da região de estudo foi analisado previamente tátil visualmente no laboratório de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina conforme figura 39 e figura 40, e caracterizado conforme tabela 5.

Figura 38 Solo Superficial e Solo Profundo para Análise Tátil Visual



Fonte: AUTOR (2022).

Figura 39 Solo Superficial e Solo Profundo Moldagem de Bastonete



Fonte: AUTOR (2022).

Tabela 5 Análise Tátil Visual do Solo

	Solo Superficial	Solo Profundo
Cor	cinza	marrom
Partículas	poucas partículas arenosas	maior número de partículas arenosas
Plasticidade	forma bastonete	os bastonetes formados quebram no manuseio com maior facilidade
Dilatância	média	rápida

Fonte: AUTOR (2022).

4.1.4 Análise Granulométrica do Solo

Para a análise granulométrica, deve-se calcular a massa total da amostra, a porcentagem de materiais passantes nas peneiras até 2,0 mm, a porcentagem de material em suspensão, o diâmetro das partículas e a porcentagem passante nas peneiras mais finas, abaixo de 2,0 mm, nessa mesma sequência.

4.1.4.1 MASSA TOTAL DA AMOSTRA SECA

Tem-se a fórmula:

$$M_s = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + w)} \times 100 + M_g \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca;

M_t = massa da amostra seca em temperatura ambiente;

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm;

w = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

Tabela 6 Cálculo da massa total da amostra seca

Massa total (g) (Mt)	505,7
Material retido 2mm (Mg)	84,88
umidade higroscópica (w) (%)	15,73

Fonte: AUTOR (2022).

Com os dados da tabela 2 é possível calcular que $M_s = 448,5g$.

4.1.4.2 PENEIRAMENTO GROSSO

A equação 6 é usada para todas as peneiras, chegando na porcentagem de cada uma:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

Q_g = porcentagem de material passado em cada peneira;

M_s = massa total da amostra seca;

M_r = massa do material retido acumulado em cada peneira.

Com a fórmula e os dados anotados em laboratório durante a realização dos ensaios é feita a tabela 6:

Tabela 7 Porcentagem de materiais passantes nas peneiras grossas

Peneiras	Material Retido (g)	Material acumulado (g)	% passante Qg
50 mm	0	0	100
38 mm	0	0	100
25 mm	0	0	100
19 mm	0	0	100
9,5 mm	22,38	22,38	95,01
4,8 mm	20,69	43,07	90,40
2 mm	27,74	48,43	89,20

Fonte: AUTOR (2022).

4.1.4.3 PORCENTAGEM DE MATERIAL EM SUSPENSÃO

Para calcular a porcentagem de material em suspensão do ensaio de sedimentação utilizou-se a fórmula a equação 7.

$$Q_s = N \times \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho_{md})} \times \frac{V \times \rho_w \times (L - L_d)}{\frac{M_w}{(100 + w)} \times 100} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

Q_s = porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N = porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm, calculado acima;

ρ_s = massa específica dos grãos do solo (g/cm^3);

ρ_{md} = massa específica do meio dispersor na temperatura de calibração do densímetro (20°C) (g/cm^3);

V = volume da proveta;

ρ_w = massa específica da água na temperatura de calibração do densímetro (20°C) (g/cm^3);

L = leitura do densímetro na suspensão;

Ld = leitura do densímetro no meio dispersor, na mesma temperatura da suspensão;

Mw = massa do material úmido submetido a sedimentação;

w = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

Foi realizado o ensaio de densidade real dos grãos para encontrar o valor da densidade específica dos grãos, como mostrado na tabela 7.

Tabela 8 Densidade real

PICNOMETRO	P1	P2	P3	P4	Solo	Volume Picnometro	Volume externo às partículas	Volume das partículas	Densidade
1	33,96	53,94	98,05	88,19	19,98	54,23	44,11	10,12	1,97
2	34,89	50,59	98,92	89,21	15,7	54,32	48,33	5,99	2,62
3	38,28	49,79	99,44	89,63	11,51	51,35	49,65	1,7	6,77
								média	2,30

Fonte: AUTOR (2022).

Segundo a DNER o resultado do ensaio só será considerado quando obtido pela média de no mínimo duas determinações e quando não diferem de 0,009 com isso os dados do picnômetro número 3 foi desconsiderado nos cálculos. Após achar a densidade deve-se achar o valor referido a 20°C, usando a equação 8:

$$D_{20} = K_{20} \times D_t \quad \text{Equação (8)}$$

Onde k_{20} é achado na tabela 8:

Tabela 9 Razão entre a densidade relativa da água à temperatura (t) e a densidade relativa da água

Tabela - Razão entre a densidade relativa da água à temperatura (t) e a densidade relativa da água a 20 °C.

Temperaturas t em °C	Densidade relativa da água	Fator de correção k ₂₀	Temperaturas t em °C	Densidade relativa da água	Fator de correção k ₂₀
4	1,0000	1,0018	19	0,9984	1,0002
5	1,0000	1,0018	20	0,9982	1,0000
6	0,9999	1,0017	21	0,9980	0,9998
7	0,9999	1,0017	22	0,9978	0,9996
8	0,9999	1,0017	23	0,9976	0,9993
9	0,9998	1,0016	24	0,9973	0,9991
10	0,9997	1,0015	25	0,9971	0,9989
11	0,9996	1,0014	26	0,9968	0,9986
12	0,9995	1,0013	27	0,9965	0,9983
13	0,9994	1,0012	28	0,9963	0,9980
14	0,9993	1,0011	29	0,9960	0,9977
15	0,9991	1,0009	30	0,9957	0,9974
16	0,9990	1,0008	31	0,9954	0,9972
17	0,9998	1,0006	32	0,9951	0,9969
18	0,9986	1,0004	33	0,9947	0,9965

Fonte: DNER-ME 093/94 (2019).

Sendo assim foi utilizado o valor de correção K20 de 0,9996, com isso o valor de ps ficou 2,29908 g/cm³.

O diâmetro das partículas foi calculado para cada medição, utilizando a equação a seguir:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times \mu}{\rho_s - \rho_{md}} \times \frac{z}{t}} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

d = diâmetro máximo das partículas;

μ = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio (g.s/cm³);

z = altura de queda das partículas, correspondente à leitura do densímetro;

t = tempo de sedimentação;

ps = massa específica dos grãos do solo (g/cm³);

pmd = massa específica do meio dispersor na temperatura de calibração do densímetro (20°C) (g/cm³).

Com os valores obtidos obteve-se a tabela com todos os dados do ensaio de sedimentação:

Tabela 10 Dados do ensaio de Sedimentação

Ensaio de sedimentação		Data de inicio: 09/11/2022		Hora inicial: 08:55		Densímetro:		2	
Data	Hora	Tempo(s)	Temperatura (°C)	Leitura (L)	Leitura meio dispersor (LD)	Altura de queda (cm)	Viscosidade	Diametro do grão	% em suspensão
09/11/2022	08:55	30	19,8	1,024	1,008601	12,352	0,000001034	0,024279115	40,2
09/11/2022	08:56	60	19,8	1,022	1,008601	12,656	0,000001034	0,017377906	35,0
09/11/2022	08:57	120	19,8	1,021	1,008601	12,808	0,000001034	0,012361606	32,4
09/11/2022	08:59	240	19,9	1,02	1,008594	9,04	1,0315E-06	0,007334623	29,8
09/11/2022	09:03	480	19,9	1,019	1,008594	9,188	1,0315E-06	0,005228644	27,2
09/11/2022	09:10	900	20	1,018	1,008587	9,336	0,000001029	0,003844425	24,6
09/11/2022	09:25	1800	20	1,017	1,008587	9,484	0,000001029	0,002739882	22,0
09/11/2022	09:55	3600	20,5	1,017	1,008552	9,484	0,000001016	0,001925112	22,0
09/11/2022	10:55	7200	20,9	1,0157	1,008523	9,6764	1,0056E-06	0,001367943	18,7
09/11/2022	12:55	14400	21	1,015	1,008516	9,78	0,000001003	0,000971188	16,9
09/11/2022	16:55	28800	21,7	1,0132	1,008467	10,0464	0,000009869	0,002183284	12,3
10/11/2022	08:55	86400	21,9	1,012	1,008453	10,224	0,000009823	0,001268645	9,3

Fonte: AUTOR (2022).

4.1.4.4 PORCENTAGEM DOS MATERIAS PASSANTES NAS PENEIRAS FINAS

Para o cálculo da porcentagem dos materiais passantes nas peneiras finas utilizou-se a equação:

$$Qf = \frac{Mw \times 100 - Mr \times (100 + w)}{Mw \times 100} \times N \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

Qf = porcentagem de material passado em cada peneira;

Mw = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou a sedimentação;

w = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm;

Mr = massa do material retido acumulado em cada peneira;

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm.

Usando a equação 10 e os dados obtidos no laboratório chegou-se aos resultados da tabela 10.

Tabela 11 Peneiramento fino

		Massa úmida:		49,01
Peneiras:	Material Retido (Mr) (g)	Material Acumulado (g)	% Passanta (Qf)	
1,2 mm	3,21	3,21	83,85	
0,6 mm	7,01	10,22	72,18	
0,42 mm	4,66	11,67	69,76	
0,3 mm	7,2	11,86	69,45	
0,15 mm	6	13,2	67,22	
0,075 mm	7,48	13,48	66,75	

Fonte: AUTOR (2022).

4.1.5 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

Para a determinação do Limite de Liquidez foram analisados todos os dados obtidos em laboratório, a partir disso foi possível determinar o teor de umidade para cada cápsula a fim de traçar a curva de limite de liquidez. A tabela 11 mostra todos os dados do ensaio de limite de liquidez.

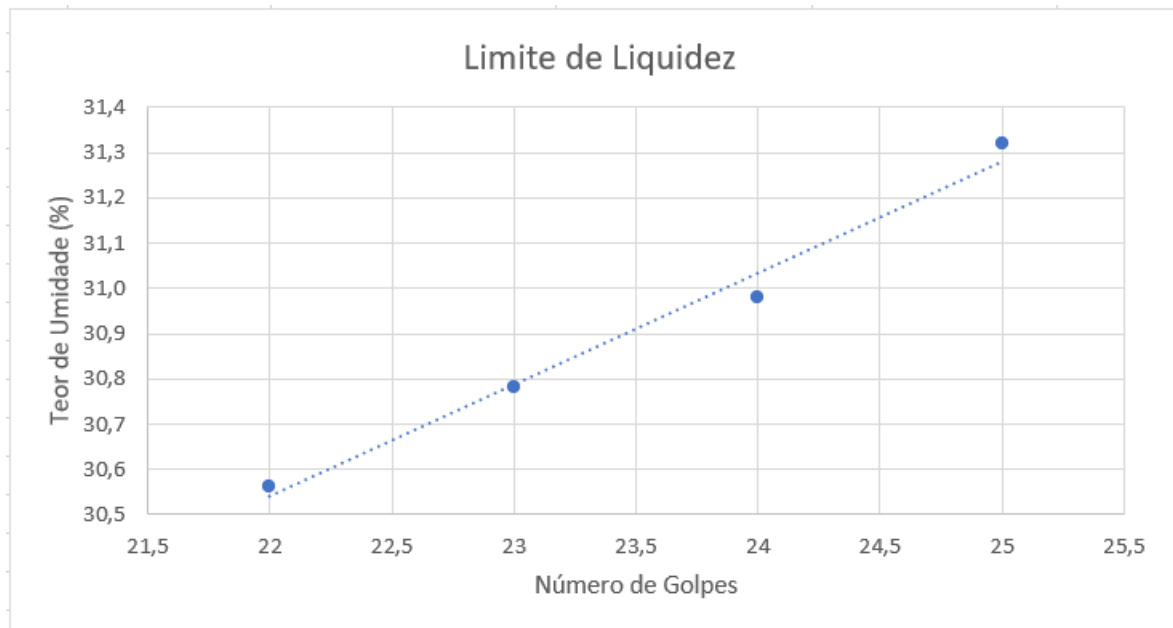
Tabela 12 Limite de Liquidez

Capsula	Peso capsula	Capsula + solo umido	Capsula + solo seco	número de golpes	umidade
135	16,23	38,83	33,44	25	31,3
120	15,83	31,72	27,98	23	30,78
113	15,15	41,66	35,39	24	31,0
109	15,47	36,36	31,47	22	30,6

Fonte: AUTOR (2022).

O gráfico 1 mostra a reta obtida a partir dos dados do ensaio.

Gráfico 1 Limite de Liquidez



Fonte: AUTOR (2022).

Com base no gráfico 1 podemos concluir que o teor de umidade para 25 golpes é de aproximadamente 31,2%.

Já para a determinação do limite de plasticidade (LP), foram usados os dados da tabela 10, com os valores obtidos em laboratório chegando aos valores da tabela 12.

Tabela 13 Limite de Plasticidade

Cápsula	Peso cápsula	Cápsula + solo úmido (g)	Cápsula + solo seco (g)	umidade	média
104	7,6	9,55	9,26	17,5	21,4
7	8,26	9,58	9,34	22,2	
140	8,44	10,12	9,79	24,4	
109	8,26	9,81	9,54	21,1	
120	8,47	10,08	9,79	22,0	
139	8,11	9,26	9,06	21,1	

Fonte: AUTOR (2022).

O valor do limite de plasticidade foi obtido através da média dos teores de umidade obtidos através da tabela 12, sendo assim chegando no valor descrito na tabela 13.

Tabela 14 Resultados Limite de Plasticidade

média (%)	21,4
limite inferior (%)	17,5
limite superior (%)	24,4

Fonte: AUTOR (2022).

4.1.6 Módulo de Resiliência

O modulo de resiliência será obtido através da tabela 14 que fornece o valor do modulo com base na caracterização do solo.

Tabela 15 Resultados Limite de Plasticidade

AUTOR	SOLO	LOCAL	CLASSIFICAÇÃO			MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	MODELO
			MCT	SUCS	AASHTO		
Bonzanini (2011)	Areia	Osório/RS		SP	A-3 (0)	289	MR=547,56 σ_3 ^{0,232}
	Solo arenoso fino laterítico	Santa Bárbara do Sul/RS	NA/LA'	SC	A-2-4(0)	214	MR=349,61 σ_3 ^{0,184}
	Solo argiloso	Cruz Alta/RS	LG'/NG'	CL	A-7-6 (13)	114	MR=36,097 σ_3 ^{-0,319}
	Solo residual de granito	Mariana Pimentel/RS		SC	A-6 (2)	60	MR=25,288 σ_3 ^{-0,269}
Guimarães (2009)	Solo laterítico pedregulhoso	Senador Guiomard/AC	LA'			585	MR=188,9 σ_3 ^{-0,4829}
	Sílte argiloso	Senador Guiomard/AC	NG'			100 - 200	MR=7,6481 σ_3 ^{-1,324}
	Cascalho laterítico	BR-429/RO				300-1000	MR=209,21 σ_3 ^{-0,462}
	Areia argilosa	BR-101/ES	LG'			176	MR=70,72 σ_3 ^{-0,4196}
	Argila	Ribeirão Preto/SP	LG'			285	MR=410,77 σ_3 ^{0,1664}
	Areia silto-argilosa	Papucaia/RJ	NS'			197	MR=155,41 σ_3 ^{-0,075}
	Areia fina	Campo Azul/MG	NA/LA'			278	MR=840,71 σ_3 ^{0,4038}
Medrado (2009)	Cascalho laterítico	Porto Velho/RO	NA			419	MR=757,94 σ_3 ^{0,221}
	Solo arenoso fino	Campo Azul/MG	NA			299	MR=1005 σ_3 ^{0,4373}
Echeverria (2011)	Solo argiloso	Cruz Alta/RS		SC	A-4 (1)	200-220	MR=624,37 σ_3 ^{0,5788}
	Solo argiloso	Guarani das Missões/RS		CH	A-7-5 (11)	34-51	MR=98,361 σ_3 ^{0,2404}
Nervis (2010)	Solo sedimentar arenoso	Santana do Livramento/RS	LA'/LG'	SP	A-2-4	62,4	MR=42,12 σ_3 ^{-0,10}
Werk (2000)	Solo argiloso	Gravataí-Viamão/RS	LG'	CL	A-7-6	115	MR=305,42 σ_3 ^{-0,037}
	Solo residual de arenito	Sapiranga/RS	NA'	SC	A-2-4	326,6	MR=91,597 σ_3 ^{-0,195}
Rodrigues (1997)	Solo argiloso	Gravataí-Viamão/RS	LG'	CL	A-7-6	113	MR=3402,3 σ_3 ^{-0,8303}
Soliz (2007)	Solo arenoso	Não identificado	NA'		A-1-B	549	MR=222,9 σ_3 ^{-0,0522}
	Solo argiloso	Rio de Janeiro/RJ	NG'		A-7-5	177	MR=39 σ_3 ^{-0,418}
	Solo siltoso	Rio de Janeiro/RJ	NS'		A-2-4(0)	83	MR=93,1 σ_3 ^{0,0635}
Weber (2013)	Solo silte-argiloso	Guaíba-Eldorado do Sul/RS		ML		50-225	MR=113 σ_3 ^{0,01}
Guimarães e Dornellas (2010)	Laterita	BR-319 Beruri/AM (Jazida Arara)				690	MR=366,59 σ_3 ^{-0,271}
	Laterita	BR-319 Beruri/AM (Jazida Anta)				420	MR=383,74 σ_3 ^{-0,038}
Seixas (1997)	Solo argiloso fino	Rio Branco/AC		CH	A-7-5	420,44	MR=4395,8 σ_3 ^{-0,219}
	Solo argiloso fino	Rio Branco/AC		CL	A-6/A-7-6	552,96	MR=5824,8 σ_3 ^{-0,212}
	Solo laterítico	Rio Branco/AC		SC	A-2-6	475,47	MR=11156,6 σ_3 ^{-0,581}

Fonte: PDF Julian Garcia (2022).

Portanto o modulo de resiliência adotado para os dimensionamentos para o solo caracterizado como CL, será igual a 115.

4.2. ESTUDOS DE TRÁFEGO

Foram obtidos dados fornecidos pela SEPLAN de um estudo de trafego realizado no ano de 2014 em uma rua próxima a rua de estudo, que será utilizado como base para o dimensionamento do pavimento. A finalidade principal dos Estudos de Tráfego é de avaliar os volumes, composição da frota e previsão do comportamento futuro do tráfego desta rua em estudo, tendo como base os dados atuais.

Em conjunto com pesquisas e por meio da geração e distribuição do tráfego, obtém-se o prognóstico das necessidades da rodovia no futuro, isto é, definição das características técnicas operacionais, além de permitir a determinação em função do peso próprio, da carga transportada e número de eixos dos veículos. Seus valores anuais e acumulados durante o período são determinados com base nas projeções de tráfego, sendo necessário para isto, o conhecimento da composição presente e futura da frota.

No presente estudo, o volume médio anual (VDMA) foi obtido a partir de contagens feitas no mês de abril de 2014. O ano de abertura da rodovia foi considerado como sendo 2014 e o período de projeção foi de 10 anos para efeito de análise de capacidade e cálculo do Número "N" (Número de solicitações do eixo padrão de 8,2 T).

A contagem do tráfego foi realizada em dois dias de 13 horas e um dia de 24 horas. A contagem de 24 horas possibilitou a determinação do Fator de Expansão Horária – Fh, a ser aplicada sobre os volumes de 13 horas. O fator de expansão horária foi calculado a partir da contagem de 24 horas, comparados com os volumes no período de 13 horas do mesmo dia.

Para a estimativa do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 toneladas foram utilizados os fatores de veículos apresentados na Figura 41. Estes fatores foram obtidos segundo a metodologia do Corpo de Engenheiros do Exército Americano – USACE.

Figura 40 Fator de veículo segundo metodologia do USACE

Fatores veículos						
Método	VP	ON	CS	CM	CD	SR
USACE	0	4,15	0,04	4,15	9,65	13,35

Fonte: SEPLAN (2020).

A figura 42 apresenta o número N (8,2t) estimado para o próximo ciclo de vida. O F_p é o fator de pista que é considerado 0,5, pois são duas pistas. O F_r é o fator climático que é considerado igual a 1,0.

Figura 41 Estimativa do número N 8,2t para o próximo ciclo de vida

Ano	365xF _p xF _r	Número N - USACE		
		Σ(VixF _{vi})	Anual	Acumulado
2014	182,50	50,04	9,13E+03	9,13E+03
2015	182,50	51,86	9,46E+03	1,86E+04
2016	182,50	53,55	9,77E+03	2,84E+04
2017	182,50	55,30	1,01E+04	3,85E+04
2018	182,50	57,11	1,04E+04	4,89E+04
2019	182,50	58,98	1,08E+04	5,96E+04
2020	182,50	60,91	1,11E+04	7,08E+04
2021	182,50	63,14	1,15E+04	8,23E+04
2022	182,50	65,45	1,19E+04	9,42E+04
2023	182,50	67,84	1,24E+04	1,07E+05

Fonte: SEPLAN (2020).

De acordo com as considerações feitas, número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 toneladas estimado para a pista de rolamento é de $1,07 \times 10^5$.

4.3. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL – MÉTODO DO DNER – PARA O TRECHO EXISTENTE

Parâmetros fornecidos pela SEPLAN e apresentado nos itens anteriores para o dimensionamento do trecho de pavimento existente:

$$N = 1,07 \times 10^5$$

Subleito: CBR = 8,0%

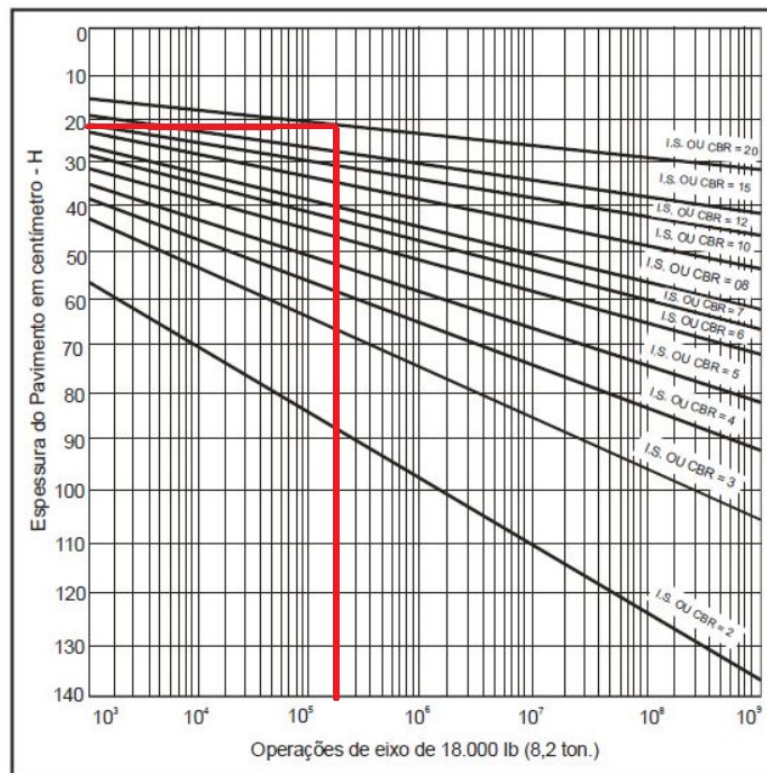
Sub base: CBR = 20%

Base: CBR = 62%

Como o número "N" é inferior a 10^6 então o tipo de revestimento poderia ser um tratamento superficial betuminoso, mas será utilizado o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com 5cm de espessura. Sendo assim $KR = 2$.

Pela Figura 43 obtém-se $H_{20} = 25\text{cm}$.

Figura 42 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base)



Fonte: DNIT (1981).

Pela equação (11) temos que.

$$Rkr + Bkb \geq H_{20}$$

Equação (11)

Conforme tabela 1 o valor de K para camadas granulares é igual a 1, sendo assim:

$$5 \times 2 + B \times 1 \geq 20$$

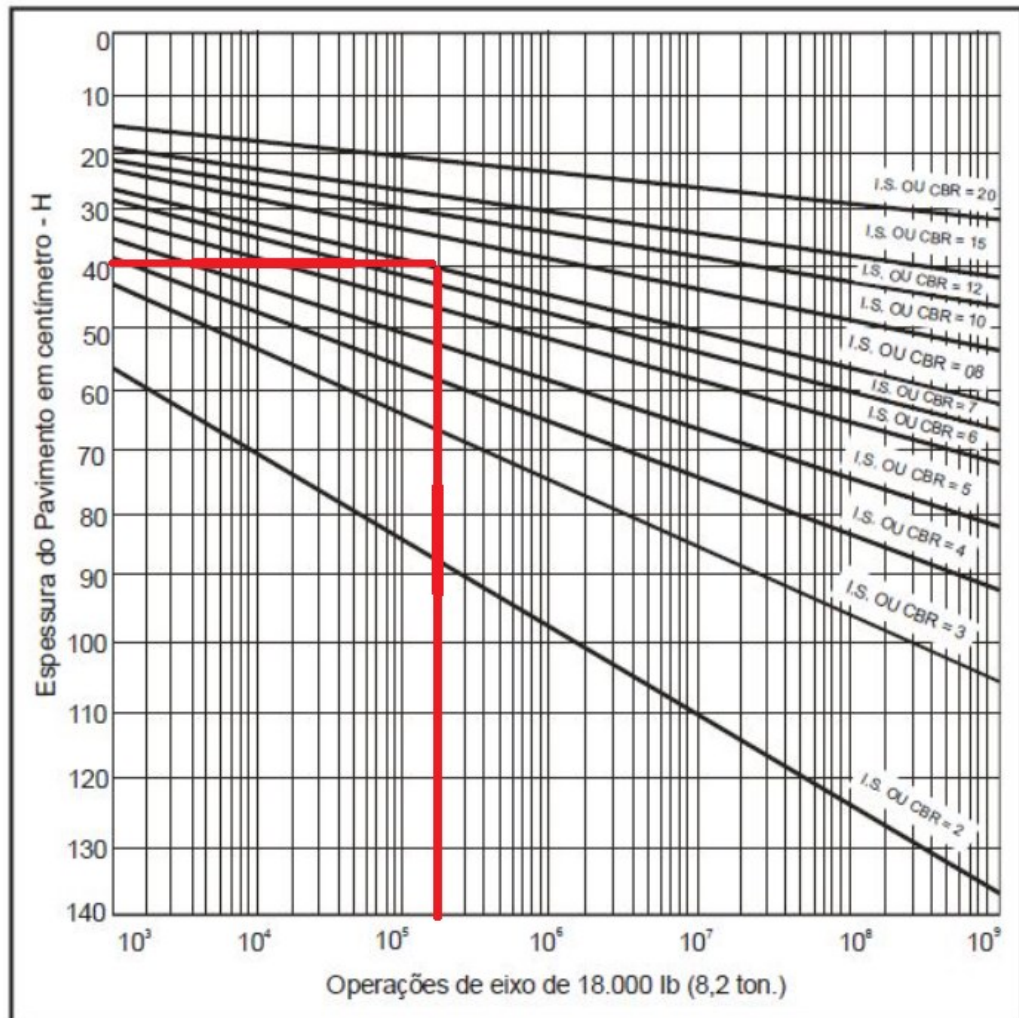
$$B \geq 20 - 10$$

$$B \geq 10$$

A espessura da base deve ser de 10cm.

Após determinar a espessura da base foi determinado a espessura da sub base, usando o mesmo gráfico, com o valor de CBR do subleito, pois a sub base está logo acima do subleito.

Figura 43 Curva para determinação das espessuras das camadas (Sub base)



Fonte: DNIT (1981).

Pela figura 44 obtém-se $H_{20} = 40$ cm. Pela equação 12 temos que:

$$R_k r + B_k b + h_{20} K_s \geq H_n$$

Equação (12)

Sendo assim:

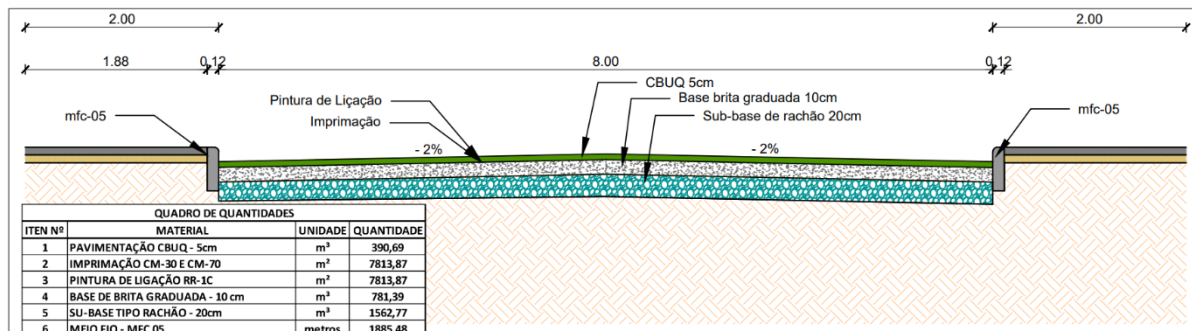
$$2 \times 5 + 10 \times 1 + h_{20} \times 1 \geq 40$$

$$h_{20} \geq 40 - 20$$

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

Sendo assim a camada de sub base considerada foi a de 20cm. Considerando os parâmetros de tráfego e de CBR das camadas, o pavimento terá a configuração ilustrada na figura 45.

Figura 44 Dimensionamento do trecho existe pelo método DNER



Fonte: SEPLAN (2020).

Revestimento:

Tipo: CBUQ

Espessura: 5,0cm

Base

Tipo: Granular

Espessura: 10,0 cm

CBR = 62%

Sub base

Tipo: Granular

Espessura: 20,0 cm

CBR = 20%

Subleito

CBR = 8%.

4.4. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL – MÉTODO MEDINA – PARA O TRECHO EXISTENTE

Após o dimensionamento do trecho existente pelo método do DNER foi realizado o dimensionamento pelo software Medina. Os dados de entrada do software (figura 46) foram os mesmos fornecidos pela SEPLAN para o dimensionamento do trecho existente.

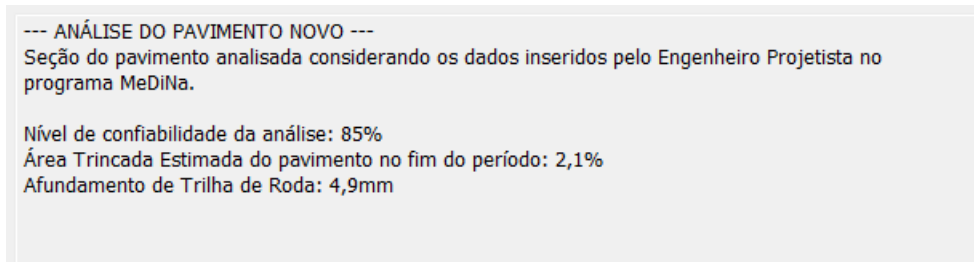
Figura 45 Dados de Entrada Software Medina

ESTRUTURA	MODELAGEM	RESULTADOS																					
RESPONSÁVEL:	Samantha Menegon																						
EMPRESA:	Universidade Federal de Santa Catarina																						
PROJETO:	Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc	MODOS: Pavimento Novo (Nível A)																					
Alterar Estrutura >>																							
CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON																		
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	5,0	9000	0,30																		
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	381	0,35																		
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG(1)	20,0	250	0,45																		
SL	SUBLEITO	Solo Subleito Barra Velha	0,0	115	0,21																		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>EIXO PADRÃO RODVIÁRIO</p> <p>DADOS DO TRÁFEGO</p> <table border="1"> <tr> <td>Tipo de Via:</td> <td>Sistema Coletor Primário</td> </tr> <tr> <td>VMD (1º ano):</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>FV:</td> <td>1.000</td> </tr> <tr> <td>N anual (1º ano):</td> <td>6.70e+03</td> </tr> <tr> <td>% Veículos na faixa de projeto:</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>N Anual da faixa:</td> <td>6.70e+03</td> </tr> <tr> <td>Taxa de crescimento (%):</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>Período de projeto (anos):</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>N Total:</td> <td>1.07e+05</td> </tr> </table> <p>N anual (1º ano): Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano)</p> </div> <div style="flex: 2; border: 1px solid gray; background-color: #f0f0f0;"></div> </div>						Tipo de Via:	Sistema Coletor Primário	VMD (1º ano):	18	FV:	1.000	N anual (1º ano):	6.70e+03	% Veículos na faixa de projeto:	100	N Anual da faixa:	6.70e+03	Taxa de crescimento (%):	10.0	Período de projeto (anos):	10	N Total:	1.07e+05
Tipo de Via:	Sistema Coletor Primário																						
VMD (1º ano):	18																						
FV:	1.000																						
N anual (1º ano):	6.70e+03																						
% Veículos na faixa de projeto:	100																						
N Anual da faixa:	6.70e+03																						
Taxa de crescimento (%):	10.0																						
Período de projeto (anos):	10																						
N Total:	1.07e+05																						

Fonte: AUTOR (2022).

Após avaliação da estrutura pelo software Medina obteve-se os resultados da imagem 47.

Figura 46 Resultado Software Medina para o Trecho Existente

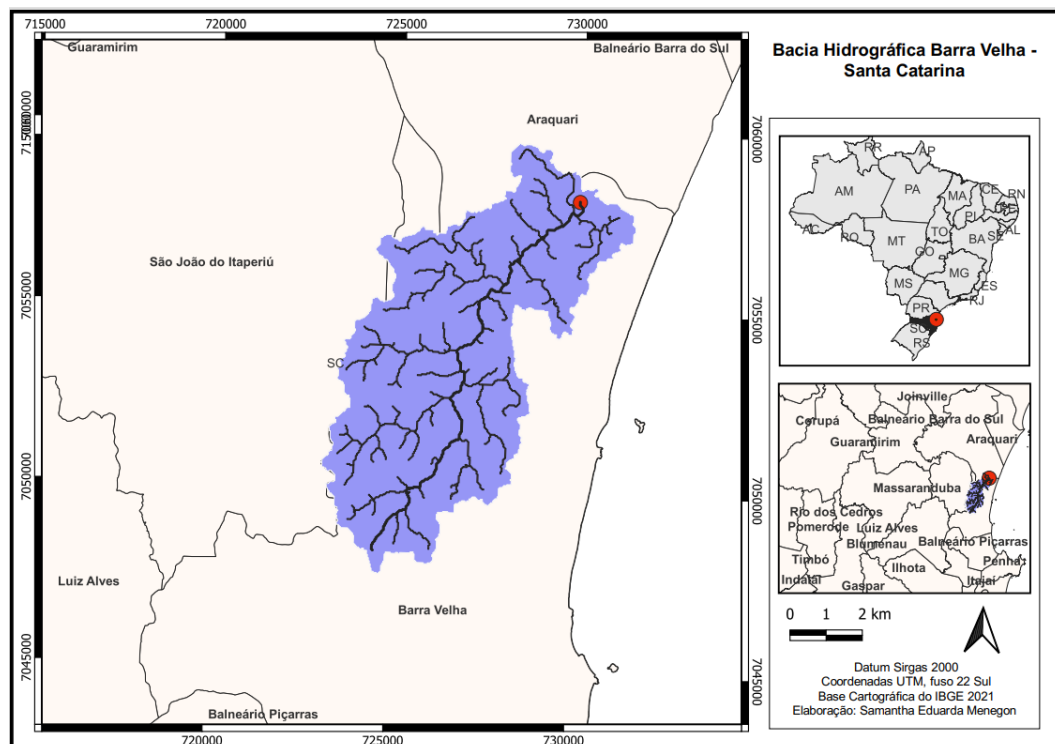


Fonte: AUTOR (2022).

4.5. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DRENAGEM

Para resolver o problema de drenagem existente foi proposto alternativas baseadas nas curvas de nível do trecho e da bacia hidrográfica que compreende a região do estudo. A (figura 48) apresenta o mapa da bacia hidrográfica da região de estudo.

Figura 47 Mapa bacia hidrográfica Barra Velha



Fonte: AUTOR (2022).

Para o cálculo da declividade média do rio principal foi utilizada a seguinte fórmula:

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad \text{Equação (13)}$$

Já para o cálculo da forma da bacia utiliza-se o "Índice de Gravelius" ou "Coeficiente de Compacidade" (K_c) pela seguinte fórmula:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação (14)}$$

Usando a fórmula descrita acima conseguimos calcular a forma da bacia:

$$K_c = 0,28 \frac{56}{\sqrt{49,22}} = 2,2349 \quad \text{Equação (15)}$$

Como o nosso índice se aproxima mais do 3 temos que a bacia tem o formato mais alongado, e podemos visualizar isso no mapa da figura 31.

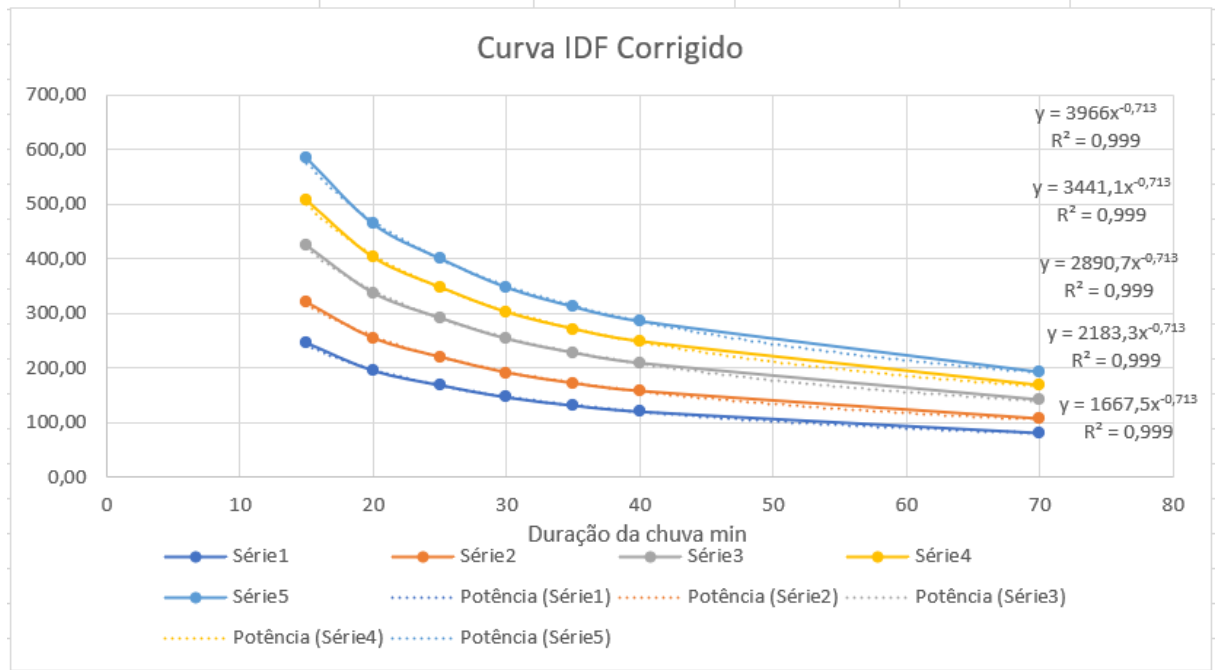
O comprimento do rio principal foi calculado pelo software Qgis e possui 13,18 Km, para o cálculo da declividade média do rio principal foi usada a fórmula descrita anteriormente:

$$S = \frac{0,175 - 0}{13,18} = 0,0132m/m \quad \text{Equação (16)}$$

4.5.1 Cálculo da chuva de projeto

Para os cálculos das curvas de intensidade, duração e frequência da bacia hidrográfica delimitada foi considerada uma estação pluviométrica (2648020) localizada no município de Araquari – Santa Catarina, tendo em vista ser a estação mais próxima da bacia com dados consecutivos de 30 anos sem interrupções. Foi utilizado o modelo de Gumbel para a obtenção das curvas IDF (intensidade, duração, frequência) e da equação da intensidade. A seguir gráfico mostrando a curva IDF obtida:

Gráfico 2 Curva IDF



Fonte: AUTOR (2022).

De acordo com a curva IDF foi obtida a fórmula de intensidade:

$$i = \frac{1094,5 * TR^{0,2886}}{(td + 10)^{0,713}} \quad \text{Equação (17)}$$

E para calcular o tempo de concentração usou-se a equação de Kirpich, onde:

$$tc = 57 * \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad \text{Equação (18)}$$

Onde:

tc = tempo de concentração

L = comprimento do rio principal da bacia

Δh = diferença da cota a montante e da cota a jusante do rio principal

$$tc = 57 * \left(\frac{13,18^3}{175} \right)^{0,385} = 153,39 \quad \text{Equação (19)}$$

Onde:

Cota a montante: 175 metros

Cota a jusante: 0 metros

Comprimento do rio principal: 13,18 metros.

4.5.2 Cálculo da Vazão

A vazão máxima de projeto foi calculada utilizando a equação 20 pelo método racional, disponibilizada pelo DNIT no Manual de Drenagem de Rodovias, calculando a contribuição por metro linear da rua Manoel Correa.

$$Q = \frac{C * i * A}{36} \quad \text{Equação (20)}$$

Onde:

Q = descarga por metro linear da rodovia (m³ /s/m);

C = coeficiente médio de escoamento superficial (adimensional);

i = intensidade de precipitação (mm/h);

A - área de contribuição por metro linear da sarjeta, (Km²);

Coeficiente médio de escoamento superficial (c).

O valor do coeficiente C foi obtido através de tabelas de acordo com o tipo de ocupação da bacia, como mostra a figura 49.

Figura 48 Coeficiente do Método Racional

Zonas	Intervalo
Centro de cidade densamente construído	0,70 a 0,95
Partes adjacentes ao centro com menor densidade	0,60 a 0,70
Áreas residenciais com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
Áreas residenciais com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

Fonte: Collischonn & Dornelles (2015).

O valor do coeficiente C adotado foi o de 0,60 por se tratar de parte adjacente ao centro da cidade com menor densidade. O valor de intensidade foi obtido através da equação resultante da curva IDF, o valor de tempo de retorno (TR), foi considerado de 10 anos e o valor de tempo de duração (td) foi utilizado sendo igual ao tempo de concentração, calculado no item anterior. Sendo assim aplicando todos os valores a equação 17 obteve-se o valor de intensidade, como mostra a equação 21.

$$i = \frac{1094,5 * 10^{0,2886}}{(153,39 + 10)^{0,713}} = 53,2 \text{ mm/h} \quad \text{Equação (21)}$$

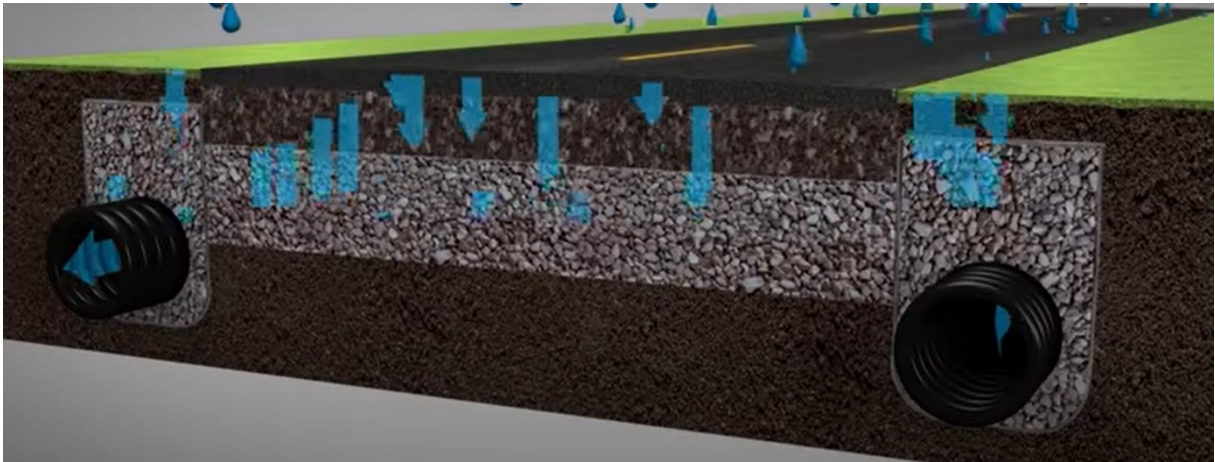
Considerando a área igual a 0,5 km quadrado da bacia, e usando a equação 20 obtemos o valor da vazão para projeto.

$$Q = \frac{0,6 * 53,2 * 0,5}{3,6} = 4,43 \frac{m^3}{s} / m \quad \text{Equação (22)}$$

4.6. SISTEMA DE DRENAGEM

Para o dimensionamento do novo pavimento foi pensado em soluções de baixo custo utilizando o método de dimensionamento do DNER e o método Medina, considerando o uso de geossintéticos figura (50), como por exemplo, o Mac Drain TD (Dreno Longitudinal) da marca Maccaferri (figura 51). Segundo catalogo da Maccaferri o dreno Mac Drain TD consiste em um dreno especialmente desenvolvido para ser aplicado em obras viárias, e é capaz de captar conduzir e escoar o excesso da água da chuva, apresentando vantagens construtivas e econômicas em relação aos sistemas convencionais.

Figura 49 Geocomposto Drenante



Fonte: NTC Brasil (2022).

Figura 50 Dreno Mac Drain TD



Fonte: Maccaferri (2022).

Entre as camadas do pavimento foi proposto o uso de um geocomposto drenante (figura 52), a fim de captar e escoar as águas que infiltram no pavimento, evitando o acúmulo de água nas camadas adjacentes.

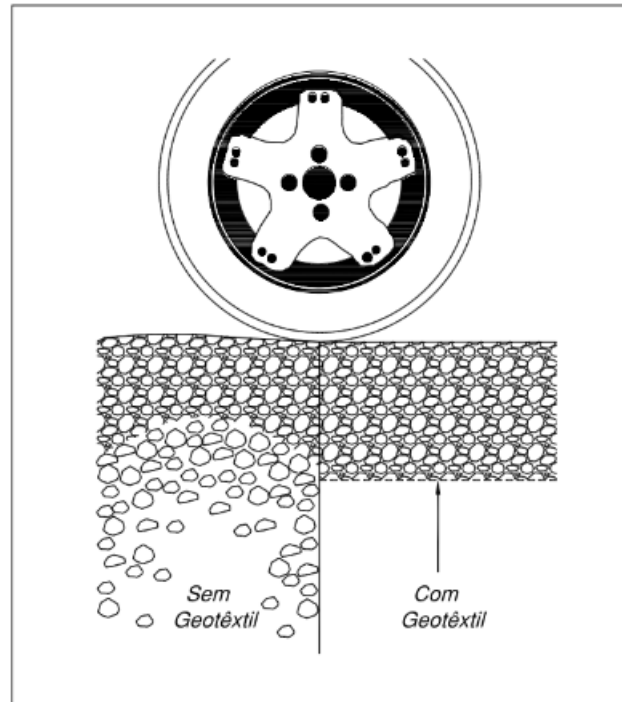
Figura 51 Geocomposto Drenante entre as camadas do pavimento



Fonte: NTC Brasil (2022).

Entre a camada do reforço de subleito e subleito foi proposto uma camada de geotêxtil não tecido de separação. Segundo o Manual de Critérios Gerais para dimensionamento de geossintéticos da Maccaferri, para alcançar um nível satisfatório de resistência com o uso de materiais granulares, é necessário um volume significativo de material, algo que não ocorre quando são usados geotêxtis, pois seu emprego permite otimizar a camada de material granular, e ainda, desempenha o papel de filtração requerido figura (53), ou seja, pretende-se que o geotêxtil separe duas camadas de diferentes materiais, de modo a evitar contaminações, misturas, ou o mero contato.

Figura 52 Camada sem geotêxtil versus camada com geotêxtil



Fonte: Maccaferri (2022).

5. RESULTADOS

5.1 PROPOSTA DE DRENAGEM

Com bases nos projetos fornecidos pela SEPLAN e análise da topografia do local, foi proposto que toda vazão da Rua Manoel Correa seja direcionada para o sistema de drenagem da Rua Silvério Bertolino Ribeiro conforme imagem 54.

Figura 53 Proposta Direcionamento da Vazão



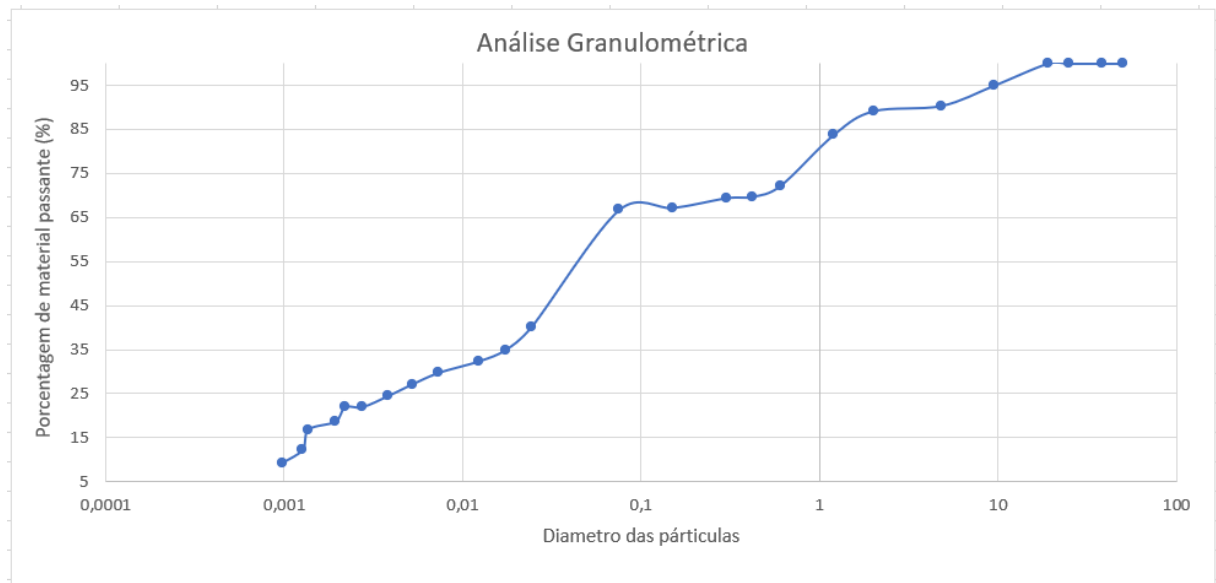
Fonte: AUTOR (2022).

5.2 SUBLEITO

5.2.1 Análise Granulométrica

Com os dados obtidos nos ensaios de granulometria, as tabelas e os gráficos apresentados no capítulo anterior podemos traçar a curva granulométrica do solo do subleito que está representada no gráfico 3:

Gráfico 3 Análise Granulométrica



Fonte: AUTOR (2022).

Com base gráfico 3 e na norma ABNT – NBR 6502/1995 podemos classificar o solo presente na amostra, sendo assim:

- 0% de matacão;
- 0% de pedra;
- 10,8 % de pedregulho;
- 17,02% de areia grossa;
- 2,73% de areia média;
- 2,7% de areia fina;
- 44,75% de silte;
- 22% de argila.

Podemos achar também os coeficientes de não uniformidade (C_{NU}) e o de curvatura (C_C).

$$C_{NU} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Equação (23)}$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{Equação (24)}$$

Obtêm-se os valores a partir do gráfico 3, onde $D_{60} = 0,05$, $D_{30} = 0,0074$ e $D_{10} = 0,001$. Chegando nos valores de $C_{NU} = 50$ e $C_c = 1,0952$. Pode-se dizer que a curva granulométrica é uma curva bem graduada, já que seu C_{NU} é maior que 6 e seu C_c está entre 1 e 3.

5.2.2 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

Com os limites de liquidez e plasticidade podemos obter o índice de plasticidade (IP), conforme equação 25.

$$IP = LL - LP \quad \text{Equação (25)}$$

Como o $LL = 31,2\%$ e o $LP = 21,4\%$, ficando com o $IP = 9,8\%$, que segundo a imagem 55 pode ser classificada como medianamente plástica.

Figura 54 Índice de plasticidade

fracamente plásticos	$1 < IP < 7$
medianamente plásticos	$7 < IP < 15$
altamente plásticos	$IP > 15$

Fonte: Helena Nierwinski (2019).

5.3.3 Classificação do subleito

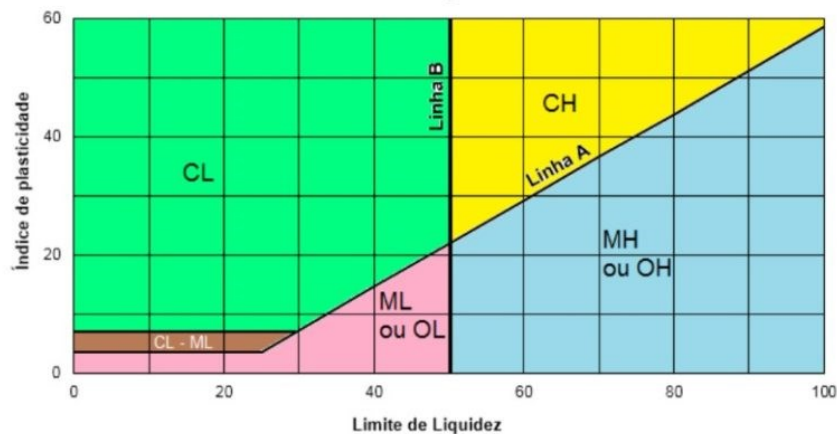
Após a avaliação dos dados obtidos em laboratório, das tabelas e dos gráficos podemos classificar o solo do subleito pela classificação unificada, e pela classificação rodoviária.

5.3.3.1 Classificação Unificada

Pela classificação unificada primeiro foi observado a percentagem passante na peneira 200 (0,075 mm) no gráfico 3, caso fosse menor que 50% tem-se uma granulação grosseira e se for maior que 50% tem-se uma granulação fina.

No solo analisado a percentagem passante na peneira 200 é de 66,75%, sendo assim caracterizando o material com uma granulação fina, segundo a classificação unificada, vemos agora a carta de plasticidade para determinar sua classificação na figura 56.

Figura 55 Carta de Plasticidade



Fonte: Guia da Engenharia (2022).

E como o IP é 9,8% e o LL é 31,2%, a classificação resultante pela carta de plasticidade é a CL, que pela terminologia do sistema unificado significa ser um solo Argila de baixa compressibilidade.

5.3.3.2 Classificação Rodoviária

Podemos também classificar o solo pela classificação rodoviária, foi o utilizado o gráfico a seguir para a classificação:

Gráfico 4 Classificação Rodoviária

Sistema de Classificação dos solos H.R.B					
		%P#10 (2 mm)	%P#40 (0,42 mm)	%P#200 (0,075 mm)	IP
%P # 200 < 35%	A-1a	< 50%	< 30%	< 15%	< 6
	A-1b		< 50%	< 25%	< 6
	A-3		> 50%	<10 %	NP
	A-2	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7			
%P # 200 > 35%	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6				

Fonte: Guia da Engenharia (2022).

Conforme o gráfico 4 e com os valores da porcentagem de solo passante na peneira de 0,075mm podemos concluir que o solo está na região denominada de A4, que significa ser um solo siltoso.

5.4 DIMENSIONAMENTO DOS GEOSSINTÉTICOS

Segundo Palmeira (2018), um geotêxtil deve seguir os seguintes critérios para funcionar como filtro:

- Critério de retenção: visa garantir que o geotêxtil reterá as partículas de solo, evitando uma passagem significativa delas através de si;
- Critério de permeabilidade: visa garantir que o filtro geotêxtil manterá um valor de coeficiente de permeabilidade suficientemente maior que o do solo em contato e compatível com as necessidades do regime de fluxo e as características da obra;
- Critério de anticolmatação: visa garantir que o filtro não sofrerá nenhum mecanismo de colmatação;
- Critério de sobrevivência e durabilidade: visa garantir que o filtro possuirá propriedades mecânicas suficientes para resistir a danos durante o manuseio,

a instalação e a execução da obra, bem como possuirá durabilidade igual ou superior a vida útil da obra.

Palmeira (2018) ainda afirma que para aplicar os critérios são necessárias propriedades físicas e hidráulicas do filtro, que são facilmente fornecidas pelo fabricante, bem como a propriedades do solo, particularmente sua curva granulométrica.

5.4.1 Dimensionamento do Geotêxtil

Foi considerada a metodologia de Christopher e Holtz (1985) para o dimensionamento do geotêxtil, que para Palmeira (2018), essa é uma metodologia bastante consolidada e também bastante completa em relação a outros modelos de dimensionamento.

Para dimensionamento dos geotêxtis foi usado como referência o MACTEX da marca Maccaferri, com as especificações técnicas ilustradas na figura 57.

Figura 56 Especificações Técnicas MACTEX

Características técnicas			
O MacTex®W1 175S é fabricado através do entrelaçamento de monofilamentos e/ou multifilamentos de polipropileno de alta tenacidade, em ângulos retos, proporcionando um geotêxtil de alta resistência. Sua composição garante um comportamento inerte à degradação biológica e resistência contra ataques químicos (álcalis e ácidos).			
Propriedades mecânicas			
Resistência nominal à tração - longitudinal	kN/m	ASTM D4595	175
Alongamento nominal - longitudinal	%	ASTM D4595	22
Resistência nominal à tração - transversal	kN/m	ASTM D4595	175
Propriedades hidráulicas			
Permissividade	s ⁻¹	ASTM D 4491	0,2
Abertura aparente (O ₉₅)	mm	ASTM D 4751	0,297
Apresentação do rolo			
Comprimento do rolo	m		50
Largura do rolo	m		4,5

Fonte: MACCAFERRI (2022).

- Critério de retenção: primeiramente foi analisado as condições de fluxo permanente conforme equação 26.

$$O_{95} < BD_{85}$$

Equação (26)

Onde:

O_{95} = abertura de filtração do geotêxtil;

D_{85} = diâmetros das partículas de solo correspondente a 85% passando;

B = parâmetros que depende das características do solo.

Como o solo do subleito foi caracterizado como fino, foi usado a fração granulométrica $< 4,75$ mm para a seleção do filtro geotêxtil. Seguindo a metodologia de Christopher e Holtz (1985), para geotêxtil não tecido e solos finos $B = 1,8$ e $O_{95} \leq 0,3$ mm.

Sendo assim para o critério de retenção nas condições de fluxo permanente temos que O_{95} do geotêxtil MACTEX é de 0,297, e D_{85} conforme curva granulométrica do solo igual a 1,2, substituindo os valores na equação 26 temos a equação 27.

$$0,297 < (1 * 1,2)$$

Equação (27)

Ou seja, o geotêxtil MACTEX atende ao critério de retenção para condições de fluxo permanente. Agora analisando para condições de fluxo dinâmico temos a equação 28.

$$O_{95} < 0,5D_{85}$$

Equação (28)

Resultando na equação 29.

$$0,297 < 0,5 * 1,2$$

Equação (29)

Ou seja, o geotêxtil MACTEX atendo ao critério de retenção para condições de fluxo dinâmico.

- Critério de permissividade:

Segundo Christopher e Holtz (1985), o coeficiente de permissividade tem que ser $\geq 0,1 \text{ s}^{-1}$ para mais de 50% em peso de partículas menores que 0,075 mm. Sendo assim o geotêxtil MACTEX também atende ao critério de permissividade.

- Critério de anticolmatação:

Para $C_u > 3$ tem-se a equação 30.

$$O_{95} \geq 3D_{15} \quad \text{Equação (30)}$$

Como o valor de D_{15} é igual a 0,0013 então $0,297 \geq 3 \cdot 0,0013$, sendo assim o geotêxtil MACTEX atende ao critério de anticolmatação.

- Critério de sobrevivência e durabilidade:

O requisito de sobrevivência é recomendado por AASHTO, e diz que O_{95} tem que ser menor que 0,59 mm se 50% dos grãos de solo forem menores que 0,074 mm.

Sendo assim o geotêxtil MACTEX da marca Maccaferri atende aos critérios de dimensionamento de geotêxteis e foi utilizado como referência para as propostas de dimensionamento do pavimento da Rua Manoel Correa.

5.4.2 Dimensionamento do Dreno Longitudinal

Foi utilizado o Manual de Critérios para Dimensionamento de Geossintéticos disponibilizado pela Maccaferri para dimensionar o dreno longitudinal aplicado nas propostas de soluções de dimensionamento do pavimento.

Para a realização da verificação da capacidade de vazão do MacDrain TD foi utilizada a vazão por metro linear já calculada anteriormente, igual à $4,43 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$ ou $4,43 \times 10^{-3} \text{ l/s} \cdot \text{m}$.

Para se obter a capacidade de vazão do MacDrain TD, é necessário determinar a tensão a que este estará submetido. Adota-se, em favor da segurança, um valor aproximado para o coeficiente de empuxo no repouso $K_0 = 0,40$; obtém-se assim a tensão horizontal efetiva conforme equação 31.

$$P = \gamma \cdot h \cdot K_0 \quad \text{Equação (31)}$$

Em que:

γ é o peso específico do solo, em kN/m³;

h é a altura da trincheira, em m.

O peso específico do solo varia entre 13 e 21 KN/m³ a depender da consistência do solo, como o solo do subleito em estudo apresentou uma consistência média o valor adotado é de 17 KN/m³. A altura da trincheira foi considerada igual a 0,85 m, considerando a espessuras das camadas do pavimento. Sendo assim $P = 17 \cdot 0,85 \cdot 0,40 = 5,78$ KPa.

Utilizando a ficha técnica do MacDrain TD (figura 58), obtêm-se os seguintes valores para o gradiente hidráulico:

Figura 57 Capacidade de Vazão do MacDrain TD

Pressão [kPa]	Vazão [l/s.m]
10	2,84
20	2,17
50	1,35
100	0,41

Fonte: MACCAFERRI (2022).

Como a tensão horizontal efetiva (P) ficou mais próxima de 10 kPa, obtêm-se, uma capacidade de vazão (favoravelmente à segurança) de 2,84 l/s.m para o MacDrain TD.

Pelas normas, tem-se que aplicar os seguintes fatores de redução para o geocomposto drenante MacDrain:

$F_{RIN} = 1,05$ (Intrusão do solo);

$F_{RCR} = 1,20$ (Fluência – CREEP);

$F_{RCC} = 1,10$ (Colmatação química);

$F_{RBC} = 1,15$ (Colmatação biológica).

Com isso obtêm-se a vazão admissível do sistema utilizando MacDrain TD pela equação 32.

$$Q_{AdmMacDrain} = Q_{MacDrain} / (F_{RIN} * F_{RCR} * F_{RCC} * F_{RBC}) = 1,78 \text{ l/s.m} \quad \text{Equação (32)}$$

A vazão encontrada de 1,78 l/s.m, representa a vazão admissível para o dreno longitudinal com MacDrain TD.

Como a vazão anteriormente calculada foi de $4,43 \times 10^{-3}$ l/s*m, o dreno longitudinal com MacDrain TD atende a proposta de solução.

5.5 PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Com base em todos os ensaios fornecidos pela SEPLAN, pelos ensaios realizados no laboratório de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina e por toda bibliografia pesquisada e apresentada nos capítulos anteriores foram propostas três alternativas de pavimento, levando em consideração o método DNER de dimensionamento e o método Medina.

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, os materiais utilizados no reforço de subleito devem apresentar um CBR maior que o CBR do subleito, e quando o número N for menor que 5×10^6 o CBR da base poderá ser $\geq 60\%$.

5.5.1 Primeira Proposta Método DNER

Parâmetros adotados baseados na caracterização do solo, dos ensaios e dos materiais disponíveis para o dimensionamento do pavimento:

$$N = 1,07 \times 10^5;$$

$$\text{Subleito: CBR} = 4,0\%;$$

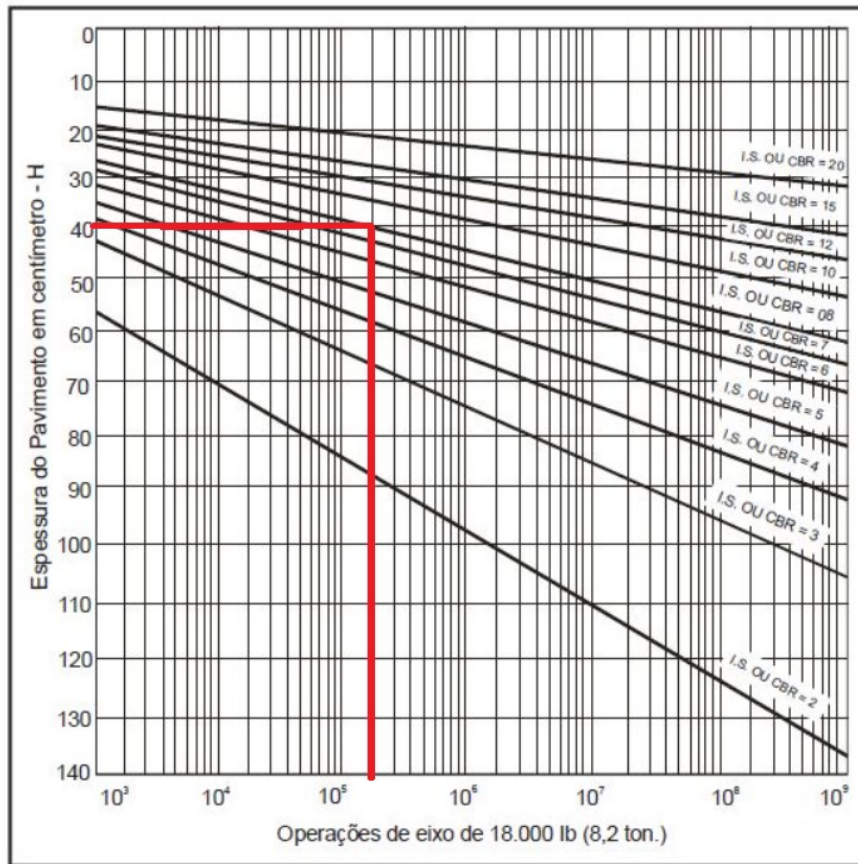
$$\text{Reforço do subleito: CBR} = 8\%;$$

$$\text{Base: CBR} = 60\%$$

Como o número “N” é inferior a 10^6 então o tipo de revestimento poderia ser um tratamento superficial betuminoso, mas para a primeira proposta, será utilizado o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com 5cm de espessura. Sendo assim $KR = 2$.

Pela Figura 59 obtém-se $H_{20} = 40\text{cm}$.

Figura 58 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base)



Fonte: DNIT (1981).

Pela equação (33) temos que.

$$Rkr + Bkb \geq H20$$

Equação (33)

Conforme tabela 1 o valor de K para camadas granulares é igual a 1, sendo assim:

$$5 \times 2 + B \times 1 \geq 40$$

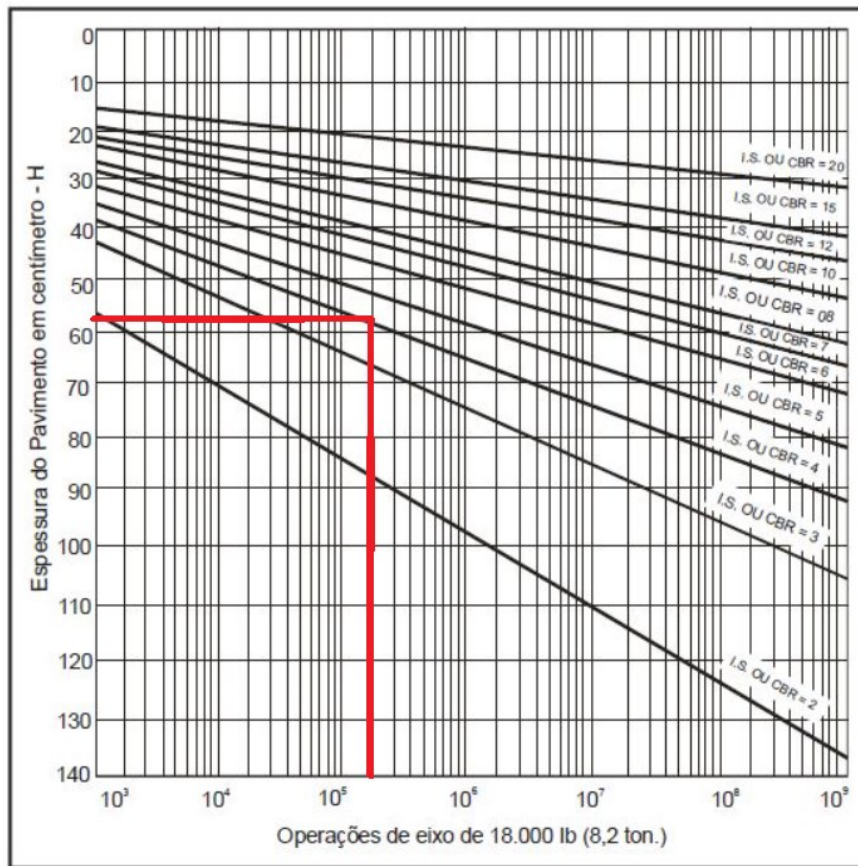
$$B \geq 40 - 10$$

$$B \geq 30$$

A espessura da base deve ser de 30cm.

Após determinar a espessura da base foi determinado a espessura do reforço do subleito, usando o mesmo gráfico, com o valor de CBR do subleito, pois o reforço do subleito está logo acima do subleito.

Figura 59 Curva para determinação das espessuras das camadas (Reforço do Subleito)



Fonte: DNIT (1981).

Pela figura 60 obtém-se $H_{20} = 59$ cm. Pela equação 34 temos que:

$$RK_r + BK_b + h_{20}K_s + h_nK_{ref} \geq H_m \quad \text{Equação (34)}$$

Para calcularmos o valor do Coeficiente K para o reforço do subleito usamos a fórmula (35).

$$K_{ref} = \sqrt{\frac{CBR_{ref}}{3CBR_{subleito}}} \quad \text{Equação (35)}$$

Obtendo um valor de $K_{ref} = 0,82$

Sendo assim:

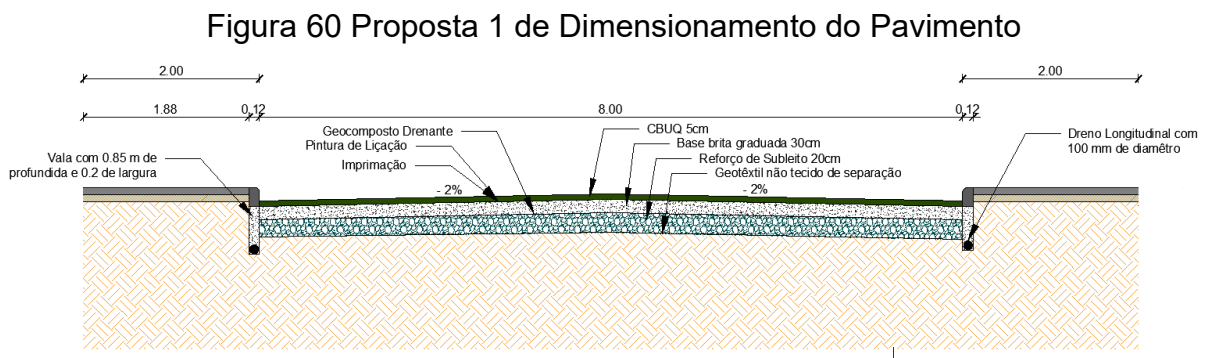
$$2 \times 5 + 30 \times 1 + h_{20} \times 0,82 \geq 59$$

$$h_{20} \geq (59 - 40) / (.82)$$

$$h_{20} \geq 23\text{cm}$$

A espessura do reforço de subleito deve ser de 20cm, totalizando uma espessura total do pavimento de 50 cm (base + reforço do subleito).

Foi considerado também o uso de um geotêxtil não tecido de separação entre o subleito e o reforço de subleito, e entre a camada de reforço de subleito e de base foi considerado um geocomposto drenante. Ao longo da via foi considerado uma trincheira drenante apresentada nos capítulos anteriores, foi analisado os critérios de dimensionamento dos geossintéticos para que eles atendessem as condições do projeto apresentado. Considerando os parâmetros de tráfego e de CBR das camadas, e do dimensionamento dos geossintéticos, o pavimento terá a configuração ilustrada na figura 61.



Fonte: AUTOR (2022).

5.5.2 Primeira Proposta Método Medina

Após dimensionamento pelo método do DNER os dados foram inseridos no software Medina para avaliação da estrutura do pavimento, conforme (Figura 62).

Figura 61 Proposta 1 de Dimensionamento Software Medina

ESTRUTURA	MODELAGEM	RESULTADOS			
RESPONSÁVEL: Samantha Menegon	EMPRESA: Universidade Federal de Santa Catarina				
PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc	MODO: Pavimento Novo (Nível A)				
Alterar Estrutura >>					
CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	5,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C6	30,0	278	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Siltoso NS'	20,0	189	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Subleito Barra Velha	0,0	115	0,21

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Coletor Primário
VMD (1º ano):	18
FV:	1.000
N anual (1º ano):	6,70e+03
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	6,70e+03
Taxa de crescimento (%):	10,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	1,07e+05
Taxa de crescimento (%): Taxa de crescimento do tráfego	

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 2,2%
 Análise encerrou por haver atingido a espessura mínima da camada.
 Afundamento de Trilha de Roda: 3,9mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Fonte: AUTOR (2022).

5.5.3 Segunda Proposta Método DNER

Parâmetros adotados baseados na caracterização do solo, dos ensaios e dos materiais disponíveis para o dimensionamento do pavimento:

$$N = 1,07 \times 10^5;$$

$$\text{Subleito: CBR} = 4,0\%;$$

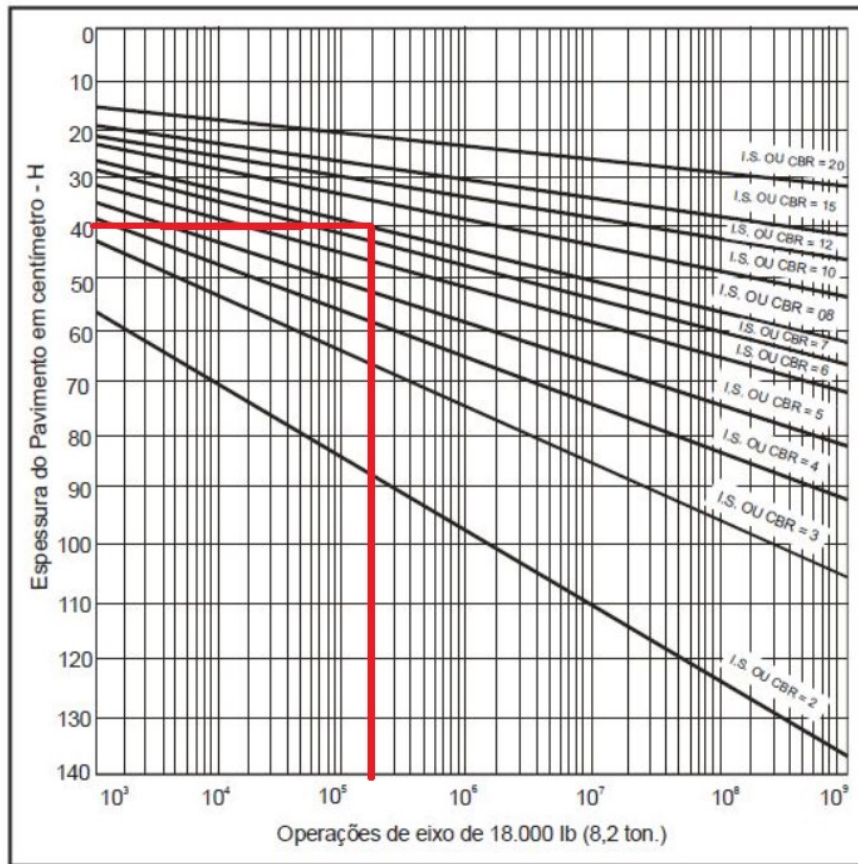
$$\text{Reforço do subleito: CBR} = 8\%;$$

$$\text{Base: CBR} = 60\%$$

Como o número “N” é inferior a 10^6 então o tipo de revestimento usado na segunda proposta de dimensionamento foi um tratamento superficial betuminoso duplo (TSD), com 3cm de espessura. Sendo assim $KR = 1,20$.

Pela Figura 63 obtém-se $H_{20} = 40\text{cm}$.

Figura 62 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base)



Fonte: DNIT (1981).

Pela equação (36) temos:

$$Rkr + Bkb \geq H20$$

Equação (36)

Sendo assim:

$$3 \times 1,20 + B \times 1 \geq 40$$

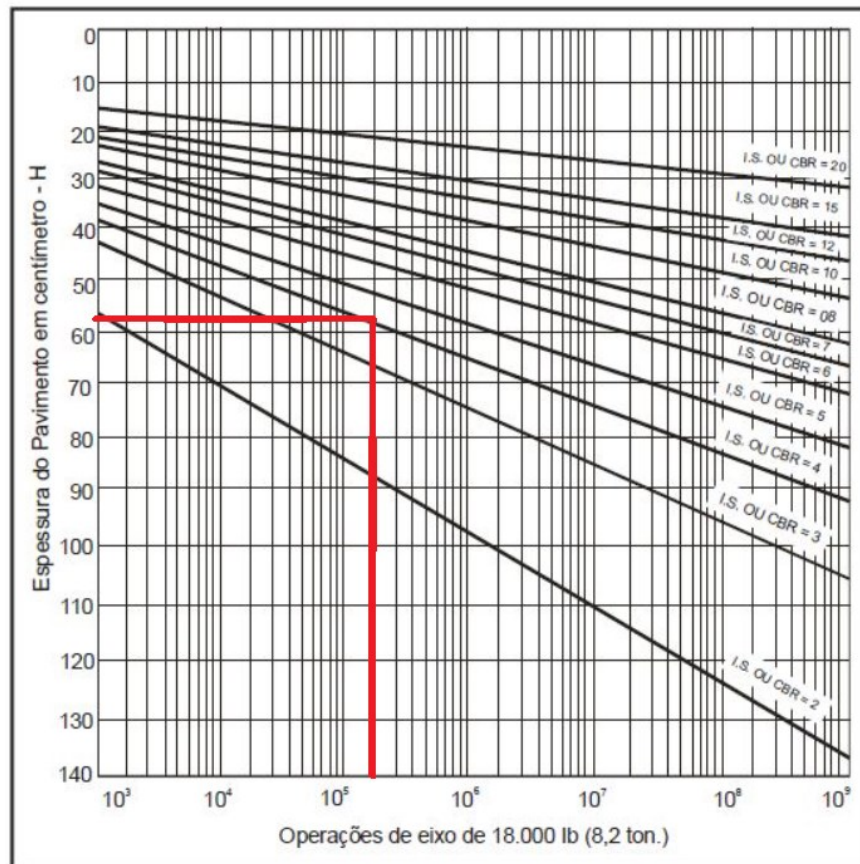
$$B \geq 40 - 3,6$$

$$B \geq 36,4\text{cm}$$

A espessura da base deve ser de 40cm.

Após determinar a espessura da base foi determinado a espessura do reforço do subleito, usando o mesmo gráfico, com o valor de CBR do subleito, pois o reforço do subleito está logo acima do subleito.

Figura 63 Curva para determinação das espessuras das camadas (Reforço do Subleito)



Fonte: DNIT (1981).

O valor do coeficiente K para o reforço do subleito já foi calculado anteriormente e é igual a $K_{ref} = 0,82$. Utilizando a equação (34) temos que:

$$3 \times 1,20 + 40 \times 1 + h_{20} \times 0,82 \geq 59$$

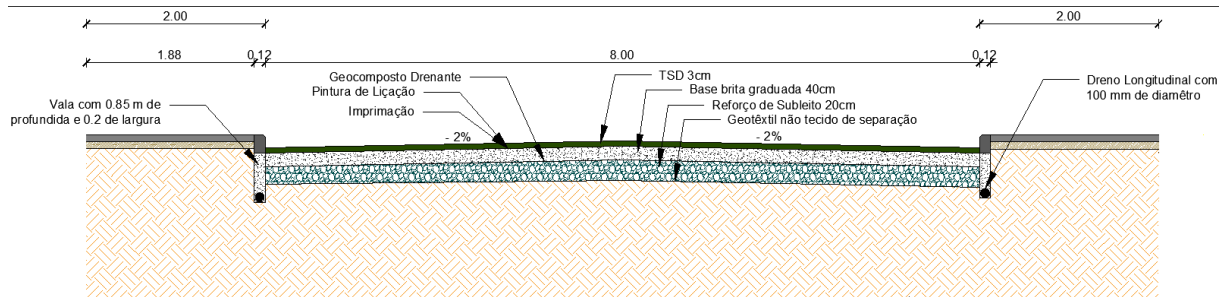
$$h_{20} \geq (59 - 43,6) / (0,82)$$

$$h_{20} \geq 18,78 \text{ cm}$$

A espessura do reforço de subleito deve ser de 20cm, totalizando uma espessura total do pavimento de 60 cm (base + reforço do subleito). Foi considerado também o uso de um geotêxtil não tecido de separação entre o subleito e o reforço de subleito, e entre a camada de reforço de subleito e de base foi considerado um geocomposto drenante. Ao longo da via foi considerado uma trincheira drenante apresentada nos capítulos anteriores, foi analisado os critérios de dimensionamento dos geossintéticos para que eles atendessem as condições do projeto apresentado. Considerando os

parâmetros de tráfego e de CBR das camadas, e do dimensionamento dos geossintéticos, o pavimento terá a configuração ilustrada na figura 65.

Figura 64 Proposta 2 de Dimensionamento do Pavimento



Fonte: AUTOR (2022).

5.5.4 Segunda Proposta Método Medina

Após dimensionamento pelo método do DNER os dados foram inseridos no software Medina para avaliação da estrutura do pavimento, conforme (Figura 66).

Figura 65 Proposta 2 de Dimensionamento Software Medina

ESTRUTURA	MODELAGEM	RESULTADOS			
RESPONSÁVEL: Samantha Menegon	EMPRESA: Universidade Federal de Santa Catarina				
PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc	MODO: Pavimento Novo (Nível A)				
Alterar Estrutura >>					
CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	TRATAMENTO SUPERFICIAL	Tratamento Superficial Duplo	3	1000	0,25
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C6	40	278	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Siltoso NS'	20	189	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Subleito Barra Velha	0,0	115	0,21
EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO DADOS DO TRÁFEGO Tipo de Via: Sistema Coletor Primário VMD (1º ano): 18 FV: 1.000 N anual (1º ano): 6,70e+03 % Veículos na faixa de projeto: 100 N Anual da faixa: 6,70e+03 Taxa de crescimento (%): 10,0 Período de projeto (anos): 10 N Total: 1,07e+05 Taxa de crescimento (%): Taxa de crescimento do tráfego			--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDINA. Nível de confiabilidade da análise: 85% Análise realizada não considerou o dano relativo à fadiga. Afundamento de Trilha de Roda: 4,2mm		

Fonte: AUTOR (2022).

5.5.5 Terceira Proposta Método DNER

Parâmetros adotados baseados na caracterização do solo, dos ensaios e dos materiais disponíveis para o dimensionamento do pavimento:

$N = 1,07 \times 10^5$;

Subleito: CBR = 4,0%;

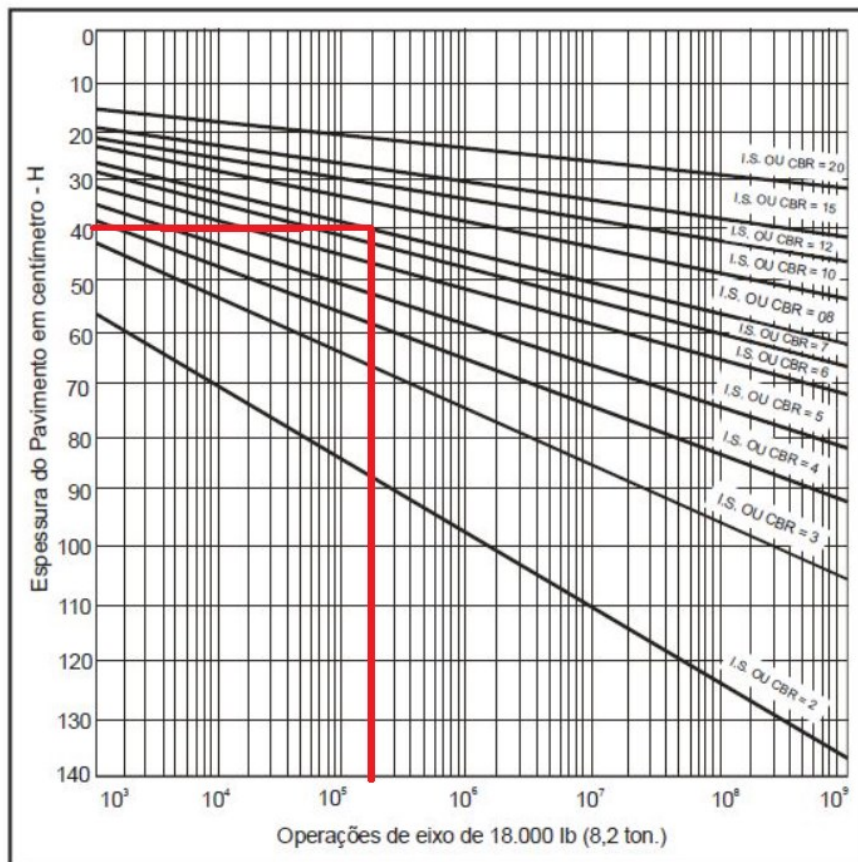
Reforço do subleito: CBR = 8%;

Base: CBR = 60%

Como o número “N” é inferior a 10^6 então o tipo de revestimento usado na terceira proposta de dimensionamento foi um tratamento superficial betuminoso triplo (TST), com 4cm de espessura. Sendo assim $KR = 1,20$.

Pela Figura 67 obtém-se $H_{20} = 40$ cm.

Figura 66 Curva para determinação das espessuras das camadas (Base)



Fonte: DNIT (1981).

Pela equação (34) temos que:

$$4 \times 1,20 + B \times 1 \geq 40$$

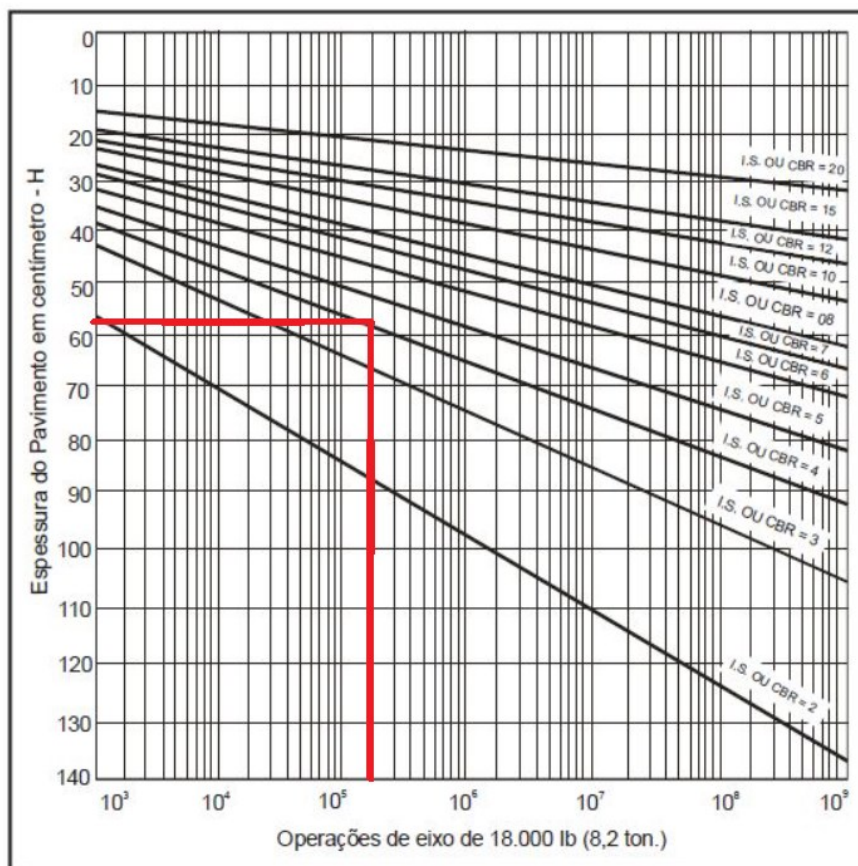
$$B \geq 40 - 4,8$$

$$B \geq 35,2\text{cm}$$

A espessura da base deve ser de 35cm.

Após determinar a espessura da base foi determinado a espessura do reforço do subleito, usando o mesmo gráfico, com o valor de CBR do subleito, pois o reforço do subleito está logo acima do subleito.

Figura 67 Curva para determinação das espessuras das camadas (Reforço do Subleito)



Fonte: DNIT (1981).

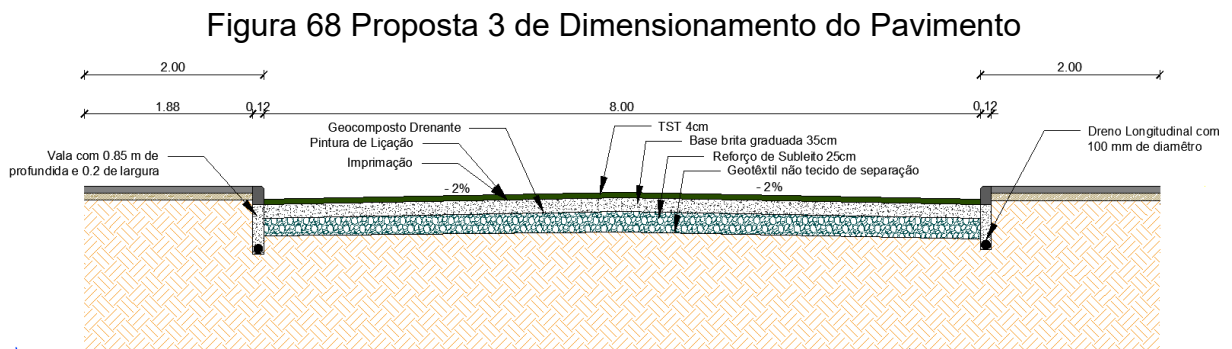
O valor do coeficiente K para o reforço do subleito já foi calculado anteriormente e é igual a $K_{ref} = 0,82$. Utilizando a equação (34) temos que:

$$4 \times 1,20 + 35 \times 1 + h_{20} \times 0,82 \geq 59$$

$$h_{20} \geq (59 - 39,8) / (0,82)$$

$$h_{20} \geq 23,4 \text{ cm}$$

A espessura do reforço de subleito deve ser de 25cm, totalizando uma espessura total do pavimento de 60 cm (base + reforço do subleito). Foi considerado também o uso de um geotêxtil não tecido de separação entre o subleito e o reforço de subleito, e entre a camada de reforço de subleito e de base foi considerado um geocomposto drenante. Ao longo da via foi considerado uma trincheira drenante apresentada nos capítulos anteriores, foi analisado os critérios de dimensionamento dos geossintéticos para que eles atendessem as condições do projeto apresentado. Considerando os parâmetros de tráfego e de CBR das camadas, e do dimensionamento dos geossintéticos, o pavimento terá a configuração ilustrada na figura 69.



Fonte: AUTOR (2022).

5.5.6 Terceira Proposta Método MEDINA

Após dimensionamento pelo método do DNER os dados foram inseridos no software Medina para avaliação da estrutura do pavimento, conforme (Figura 70).

Figura 69 Proposta 3 de Dimensionamento Software Medina

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	TRATAMENTO SUPERFICIAL	Tratamento Superficial Triplo	3	1500	0,25
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaise C6	35	278	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Siltoso NS'	25	189	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Subleito Barra Velha	0,0	115	0,21

EXIGÊNCIA PADRÃO RODVIÁRIO DADOS DO TRÁFEGO Tipo de Via: Sistema Coletor Primário VMD (1º ano): 18 FV: 1.000 N anual (1º ano): 6,70e+03 % Veículos na faixa de projeto: 100 N Anual da faixa: 6,70e+03 Taxa de crescimento (%): 10,0 Período de projeto (anos): 10 N Total: 1,07e+05		--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO --- Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDINA. Nível de confiabilidade da análise: 85% Análise realizada não considerou o dano relativo à fadiga. Afundamento de Trilha de Roda: 4,2mm
---	--	---

Taxa de crescimento (%):
Taxa de crescimento do tráfego

Fonte: AUTOR (2022).

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou como objetivo principal apontar uma solução de drenagem e dimensionar a Rua Manoel Correa pelo método de dimensionamento do DNER e pelo método Medina, avaliando os condicionantes geotécnicos e geológicos do solo e pensamento em soluções de baixo custo, por se tratar de uma via urbana.

A caracterização do solo do subleito foi realizada no laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Catarina através de análise tátil visual, ensaio de granulometria, ensaio de limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos. Outros ensaios importantes para a realização do dimensionamento como o ensaio de C.B.R., ensaio de compactação do solo, e estudo de trafego, assim como a sondagem SPT, foram fornecidos pela (SEPLAN) Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano do Município de Barra Velha.

Após a análise de todos os ensaios chegou-se à conclusão de que o solo do subleito é um solo medianamente plástico, tendo mais de 50% do material passante na peneira de 0,075mm, assim sendo classificado como fino. A classificação unificada e a classificação rodoviária confirmaram o que a sondagem SPT havia mostrado, ou seja, um solo Silte Argiloso com baixa compressibilidade. Com base na caracterização do subleito foi proposto usar no dimensionamento uma camada de reforço de subleito compactada com 8% de C.B.R, conforme ensaio realizado pela SEPLAN.

Entre a camada de subleito e reforço de subleito foi proposto uma camada de geotêxtil não tecido de separação. Para alcançar um nível satisfatório de resistência com o uso de materiais granulares, é necessário um volume significativo de material, e as propostas deste trabalho foram pensadas para minimizar os custos e aumentar a vida útil do pavimento. Já quando são usados geotêxtis, não é preciso utilizar uma camada expressiva de material, pois seu emprego permite otimizar a camada de material granular, e ainda, desempenha o papel de filtração requerido, ou seja, pretende-se que o geotêxtil separe as duas camadas, de modo a evitar contaminações, misturas, ou o mero contato.

Ainda pensando na drenagem superficial e na vida útil do pavimento, evitando com que haja acumulo de água na pista, foi proposto o uso de uma camada geodrenante entre a camada de reforço de subleito e base. Também foi proposto o uso drenos longitudinais ao longo da via, fazendo com que a água seja captada e escoada. Para o dimensionamento dos geossintéticos foram avaliados critérios de

dimensionamento usando como referência a metodologia de Christopher e Holtz (1985), usando como parâmetro a curva granulométrica do subleito obtida, bem como as propriedades físicas e hidráulicas do filtro, que são facilmente fornecidas pelo fabricante. Para o cálculo da vazão para o dimensionamento da drenagem profunda foi delimitada a bacia hidrográfica da região, com base em arquivos fornecidos pela TOPODATA, após foi obtida a equação de intensidade da chuva conforme dados da estação pluviométrica mais próxima da Rua Manoel Correa e utilizando o método racional que consta no Manual de Pavimentação foi calculada a vazão por metro linear da rua.

Foram propostas três alternativas de dimensionamento do pavimento, levando em consideração o método do DNER e os resultados obtidos no software Medina. As três alternativas foram pensadas para serem caracterizadas como pavimentação de baixo custo, utilizando as espessuras das camadas no limite dos dimensionamentos. Foi observado que as metodologias usadas são criadas para pavimentos convencionais e não de baixo custo, onde o número N é muito baixo, não atendendo perfeitamente as necessidades para este tipo de via. As três propostas foram analisadas pelo software Medina, mostrando que as deformações são muito pequenas, não chegando perto dos limites aceitos, confirmando o que foi observado no dimensionamento pelo método do DNER, que as metodologias não foram criadas pensando em pavimentos de baixo custo.

Foi observado a necessidade de existir um manual para cada estado com parâmetros de forma clara para o dimensionamento do pavimento em vias urbanas, considerando um número N baixo. Pode-se concluir também que o maior problema encontrado nas vias urbanas não é o dimensionamento das camadas do pavimento em si, pois como observado, utilizando as metodologias existentes a deformação permanente permanece bem abaixo do limite aceito. O maior problema pode estar na falta de conhecimento do subleito, no dimensionamento da drenagem, da falta de manutenção da via e também da falta de conhecimento da utilização de técnicas que aumentam a vida útil do pavimento, como o uso de geossintéticos.

Recomenda-se para trabalhos futuros realizar o ensaio de módulo de resiliência do material do subleito, bem como, avaliar diferentes misturas como por exemplo, solo e brita, solo e cal, afim de estabelecer a possibilidade de substituir totalmente o material granular utilizado no dimensionamento. Recomenda-se também que seja realizado o dimensionamento do sistema de drenagem profundo, tendo como

base a vazão encontrada com este trabalho e também realizar o orçamento do trecho dimensionado, para efeito de comparação com o orçamento do trecho existente.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553**: Geossintéticos - terminologia. Rio de Janeiro: Copyright, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solos – Preparação para ensaios de compactação e de caracterização. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484/2020** – Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio. ABNT. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ALMEIDA, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de; MASINI, Leticia Santos; MALTA, Luiz Ricardo Santos. **Hidrologia e drenagem**. Londrina: Educacional S.A, 2017.
- BALBO, José Tadeu. **pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006.
- CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Pavimentação**. 3a ed. Rio de Janeiro, 2006.
- FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos** - SisPAV. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: [IBGE | Portal do IBGE | IBGE](#). Acesso em: 26 de setembro de 2022.
- LOURENÇO, Rossana. **Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2014.
- MEDINA, Jacques de. MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos pavimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional a sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

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

PALMEIRA, Ennio Marques. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

QGIS. Um Sistema de Informação Geográfica Livre e Aberto. Disponível em: [Bem-vindo ao projeto QGIS](#). Acesso em: 19 de setembro de 2022.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2007.

TOPODATA. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2020. Disponível em: [TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil \(inpe.br\)](#). Acesso em: 26 de setembro de 2022.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

VILLIBOR, Douglas Fadul ET AL. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

