

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ÉVERTON COLLING NEDEL

**DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ATERRO PARA REVESTIMENTO EM
ESTRADA VICINAL: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SD-LTAP**

Itaqui-RS

2017

ÉVERTON COLLING NEDEL

**DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ATERRO PARA REVESTIMENTO EM
ESTRADA VICINAL: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SD-LTAP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientador: Prof. Me. Marcilio Baltazar Teixeira

Itaqui-RS

2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

N371d Nedel, Éverton Colling

DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ATERRO PARA REVESTIMENTO EM
ESTRADA VICINAL: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SD-LTAP / Éverton
Colling Nedel.

60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 2017.

"Orientação: Marcilio Baltazar Teixeira".

1. Dimensionamento. 2. topografia. 3. volume de terra. I.
Título.

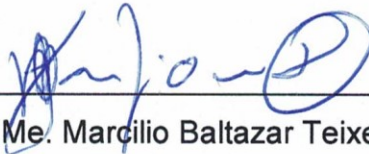
ÉVERTON COLLING NEDEL

**DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ATERRO PARA REVESTIMENTO EM
ESTRADA VICINAL: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SD-LTAP**

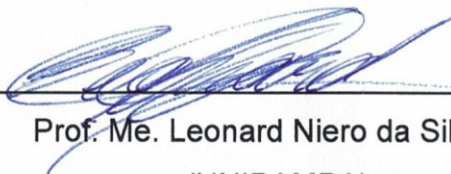
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 25 de novembro de 2017.

Banca examinadora:



Prof. Me. Marcilio Baltazar Teixeira
Orientador
(UNIPAMPA)



Prof. Me. Leonard Niero da Silveira
(UNIPAMPA)



Prof. Me. Robert Martins da Silva
(UNIPAMPA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe que, com muito carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTO

Ao professor Marcilio Baltazar, pela orientação, apoio e confiança.

Aos demais componentes da banca pela cooperação e apoio.

Ao corpo docente do curso, por todo conhecimento transmitido.

A minha namorada pela apoio e incentivo.

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio incondicional.

RESUMO

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), 87,8 % da malha viária brasileira é composta por rodovias sem pavimentos, assim denominadas estradas de terra ou vicinais. A constituição destas estradas deve-se ao fato da economia do Brasil estar apoiada na produção e comercialização de produtos primários. E essas estradas servem de suporte e infraestruturas imediata para o escoamento da produção. Uma grande porcentagem das estradas vicinais pode ser encontrada no ambiente rural, possibilitando subsidiar o desenvolvimento socioeconômico por fornecer acessibilidade a determinadas comunidades, permitindo aos habitantes das zonas rurais, acesso aos serviços básicos tais como saúde, educação, abastecimento e lazer. Tendo em vista a importância destas estruturas bem como a deficiência dos aspectos metodológicos e tecnológico para desenvolvimento de rodovias vicinais mais eficientes, o presente trabalho apresenta a aplicação de uma metodologia de dimensionamento do revestimento primário de estradas de terra, esta metodologia considera as condições climáticas, as características mecânicas do solo bem como as condições de tráfego da região, possibilitando a determinação do volume de material necessário para implantação do aterro de revestimento da rodovia, juntamente com os custos envolvidos neste projeto.

Palavras-Chave: Dimensionamento, topografia, volume de terra.

ABSTRACT

According to the National Transportation Confederation (CNT), 87.8% of the Brazilian road network consists of unpaved roads, so-called dirt roads or roads. The constitution of these roads is due to the Brazilian economy being supported in the production and commercialization of primary products. And these roads serve as support and immediate infrastructure for the outflow of production. A large percentage of the secondary roads can be found in the rural environment, enabling socioeconomic development to be provided by providing accessibility to certain communities, allowing rural inhabitants access to basic services such as health, education, supplies and leisure. Considering the importance of these structures as well as the deficiency of the methodological and technological aspects for the development of more efficient suburban highways, the present work presents the application of a methodology of sizing the primary road surface, this methodology considers the climatic conditions, the mechanical characteristics of the soil as well as the traffic conditions of the region, making it possible to determine the volume of material needed to implement the landfill of the highway, together with the costs involved in this project.

Keywords: Sizing, topography, soil volume.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da base, sub-base e subleito	18
Figura 2 – Ensaio de Peneira	22
Figura 3 – Distribuição Granulométrica	22
Figura 4 – Gráfico do ensaio de peneiramento	23
Figura 5 – Área de estudo	30
Figura 6 – Eixo padrão rodoviário	32
Figura 7 – Gráfico para definição do número permitido de solicitações do eixo padrão em função do parâmetro perda de serventia (PS)	37
Figura 8 – Gráfico para definição do número permitido de solicitações do eixo padrão em função da profundidade das ondulações (CASE)	38
Figura 9 – Levantamento topográfico	40
Figura 10 – Estrada vicinal estudada	41
Figura 11 – Danos totais x espessura da base, critérios de serventia e deterioração	47
Figura 12 – Malha triangular gerado no TopoGraph a partir dos pontos levantados	48
Figura 13 – Corte lateral da Base e do Subleito	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de rodovias não pavimentadas	17
Quadro 2 – Materiais usados na pavimentação e suas dimensões granulométricas	21
Quadro 3 – Momento individual de transporte	27
Quadro 4 – Parâmetros de Projeto	31
Quadro 5 – Fatores críticos a serem considerados na deterioração de pavimentos em rodovias vicinais	32
Quadro 6 – Período de duração das estações do ano para regiões climática existente no Brasil	33
Quadro 7 – Módulo de resiliência (MPa) em função da qualidade relativa do solo	33
Quadro 8 – Nível de serventia terminal (ST) e aceitações de usuários	34
Quadro 9 – Cálculo do trafego sazonal	36
Quadro 10 – Resultado encontrado para espessura de 20,0 cm	45
Quadro 11 – Resultado encontrado para espessura de 22,5 cm	45
Quadro 12 – Resultado encontrado para espessura de 25,0 cm	45
Quadro 13 – Resultado encontrado para espessura de 27,5 cm	46
Quadro 14 – Resultado encontrado para espessura de 30,0 cm	46
Quadro 15 – Estimativa de volume para seções com diferentes extensões	49
Quadro 16 – Custo do transporte de material	49
Quadro 17 – Custo total para cada m ³	50
Quadro 18 – Custo total do aterro (Distância de transporte até 1.000 m)	50

Quadro 19 – Custo total do aterro (Distância de transporte até 2.500 m)	50
Quadro 20 – Custo total do aterro (Distância de transporte até 5.000 m)	50

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Considerações gerais sobre revestimento de rodovias não pavimentadas	17
2.1.1 Estradas vicinais	17
2.1.2 Definição dos elementos fundamentais dos pavimentos	17
2.1.3 Construção de estradas não pavimentada	18
2.1.4 Manutenção de estradas vicinais	19
2.1.5 Granulometria dos materiais	20
2.2 Condicionantes do dimensionamento	23
2.2.1 Condições de tráfego	23
2.2.2 Condições climáticas	23
2.2.3 Deformabilidade de materiais	24
2.2.3.1 Módulo de resiliência	24
2.2.4 Serventia	24
2.2.5 Condições admissíveis da pista de rolamento	25
2.2.6 Perda de agregado da superfície da estrada (pase)	25
2.3 Cálculo do volume de material	25
2.3.1 Topografia	26
2.3.1.1 Levantamento topográfico	26

2.3.2	Custo de transporte	27
2.3.3	Ajustamento do volume	28
3	ÁREA DE ESTUDO	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	Condicionantes do dimensionamento	31
4.1.1	Futuro tráfego previsto – FTP	32
4.1.2	Efeitos da duração do clima na região	33
4.1.3	Módulo de resiliência do subleito e da camada base	34
4.1.4	Perda de serventia da superfície da estrada (PS)	34
4.1.5	Condições admissíveis da superfície da estrada (CASE)	34
4.1.6	Espessura inicial para a camada de base	35
4.1.7	Determinação do trafego sazonal de veículos	35
4.1.8	Estimativa de solicitações com base na perda de serventia (PS)	36
4.1.9	Estimativa de solicitações com base na profundidade das ondulações (CASE)	37
4.1.10	Determinação do dano sazonal na superfície da estradas, considerando a perda de serventia (PS)	38
4.1.11	Determinação do dano sazonal na superfície da estradas, considerando a profundidade das ondulações (CASE)	39
4.2	Volume de material	39
4.2.1	Atividades de topografia	39
4.2.1.1	Materiais	39

4.2.1.2 Levantamento planialtimétrico	39
4.2.2 Determinação do volume de material	41
4.3 Custo de aterro	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Dimensionamento da camada base	44
5.1.1 dados para a determinação da espessura do revestimento	44
5.1.2 Dano sazonal na superfície da estrada, considerando "PS" e "CASE"	44
5.1.3 Espessura média da camada base considerando as condições estabelecidas	46
5.1.4 Espessura final da base considerando a perda de agregado	47
5.2 Volume de material e custo de aterro	47
5.2.1 Custo do material e de transporte	49
5.2.2 Custo total	49
6 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	
ANEXOS	
APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), 87,8% da malha viária brasileira é composta por rodovias sem pavimentos, denominadas estradas de terra ou vicinais. À isto, de acordo com Pruski (2009), a constituição destas estradas deve-se ao fato da economia do Brasil estar apoiada na produção e comercialização de produtos primários. E estas estradas servem de suporte e infraestrutura imediata para o escoamento da produção.

Uma grande porcentagem das estradas vicinais pode ser encontrada no ambiente rural, subsidiando o desenvolvimento socioeconômico por fornecer acessibilidade a determinadas comunidades. Para ressaltar o que foi exposto anteriormente, Júnior e Ferreira (2007) descreve que estas estradas de terra (ou rodovias não pavimentadas) permitem o acesso dos habitantes das zonas rurais, aos serviços básicos como saúde, educação, abastecimento e lazer.

Observando o grau de relevância que as estradas não pavimentadas possuem para o desenvolvimento socioeconômico das localidades rurais, assim como também, em partes, para a economia brasileira, é de fundamental importância que estas estruturas rodoviárias estejam em razoáveis condições de trafegabilidade. Baesso e Gonçalves (2003), considerando as avaliações desenvolvidas pelo Banco Mundial, relatam que a melhora na qualidade do sistema de rodovias vicinais, possibilitou na diminuição dos custos operacionais dos transportes, assim como também no aumento dos serviços públicos prestados nas zonas rurais ou aquelas abrangidas pelas estradas não pavimentadas.

Dessa forma, atenta-se para a obrigatoriedade de investimento em ciência e tecnologia, o que possibilita a criação e o aprimoramento dos métodos de construção e conservação destas estradas. Dalosto, Colturato e Pasqualetto (2016) ainda afirma que, a maioria das metodologias empregadas na construção de rodovias não pavimentadas datam de épocas donde as solicitações (ou esforços mecânicos no pavimento) do tráfego eram muito inferiores quando comparados com parâmetros e características do fluxo viário dos dias atuais, levando-se em conta a capacidade de transporte de carga dos caminhões.

Contudo, sabendo da deficiência dos aspectos metodológicos e tecnológico para desenvolvimento de rodovias vicinais mais eficientes, visando a redução do custo de conservação e garantia de maior operacionalidade da via, busca-se o

aprofundamento dos estudos e a aplicação de técnicas direcionadas a definição da espessura do revestimento primário destas estradas. Assim o presente trabalho apresenta o método de dimensionamento de revestimento de estrada de terra desenvolvido pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul (SD – LTAP). Esta metodologia está disponível no Manual de Dimensionamento e Manutenção de Estradas de Terra do Departamento de Transporte dos Estados Unidos (SKORSETH e SELIM, 2000).

Para esta metodologia, Guedes, Coutinho e Fonseca (2014) consideram os seguintes condicionantes: Futuro Tráfego Previsto (FTP), Módulo de Resiliência da Camada de Base (Módulo de Deformabilidade), Efeitos do Clima na Região, Condição Admissível de Dirigibilidade e Perda de Agregado da Superfície destas estradas. Ainda de acordo com os autores, com este procedimento é possível avaliar o intervalo de tempo em que deve acontecer uma manutenção trecho-a-trecho da rodovia vicinal, objetivando a diminuição de custos diversos e aumento da durabilidade da estrada. Além disso, com este procedimento pode-se definir o quantitativo de materiais essencial à construção de um trecho da rodovia não pavimentada, possibilitando a obtenção do orçamento para a constituição desta.

O cálculo do volume de material necessário para revestimento da pista é realizado por meio da multiplicação da espessura do pavimento (definido pela metodologia da SD-LTAP) pela área a ser revestida (área da pista de rolamento). Dessa maneira, em vias existentes em que haja o interesse de implementação deste método, se faz necessário, a priori, o levantamento topográfico para se determinar a área e as cotas (altimetria) da pista e, posteriormente, do projeto da superfície de rolamento.

Com isto o presente trabalho tem por objetivo, estabelecer uma metodologia de dimensionamento do revestimento primário compatível com as condições climáticas da região estudada bem como, o dimensionamento do revestimento de uma estrada vicinal juntamente com o volume de material necessário para implantação do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações gerais sobre revestimento de rodovias não pavimentadas

2.1.1 Estradas vicinais

De acordo com Nunes (2003), as estradas vicinais, também denominadas de estradas de terras ou rodovias não pavimentadas, são todas aquelas estruturas rodoviárias onde não houve aplicação de nenhum tipo de tratamento betuminoso. Sendo, portanto, a sua camada superficial constituída somente de solo, e em algumas ocasiões, estes podem vir mesclado com agregado granular. Considerando isto, de acordo com o Quadro 1, as rodovias vicinais podem ser classificadas da seguinte forma:

Quadro 1 – Classificação de rodovias não pavimentadas.

Categorias	Características
A	A superfície de rolamento é composta por agregados naturais.
B	A camada superficial possui agregados artificiais
C	Apresentam solos naturalmente estabilizados
D	A camada superficial é formada por material do seu próprio leito.

Fonte: BAESSO E GONÇALVES, 2003.

Portanto, a pista de rolamento, objeto de estudo deste trabalho pode ser classificada como sendo de categoria A, visto que, para aplicação do revestimento primário, utiliza-se materiais provenientes de jazidas.

2.1.2 Definição dos elementos fundamentais dos pavimentos

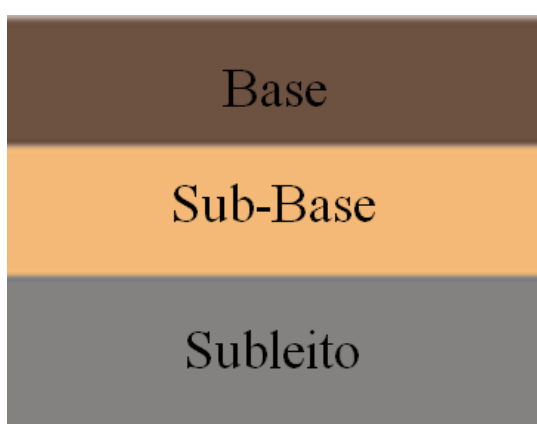
As seções de um pavimento normalmente são compostos de três elementos principais, são eles: base, sub-base e subleito.

A camada de base destina-se a resistir e distribuir ao subleito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento (MARQUES, 2012).

Segundo Marques (2012), sub-base é a camada complementar à base. Usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. Pode ser usado para regularizar a espessura da base.

Já o subleito representa o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego (MARQUES, 2012).

Figura 1: Representação da base, sub-base e subleito.



Fonte: Autor, 2017.

2.1.3 Construção de estradas não pavimentadas

Para o desenvolvimento e/ou a construção de qualquer rodovia não pavimentada, deve-se considerar algumas condicionantes fundamentais (NUNES, 2003):

- a) Capacidade de suporte compatível com o volume de tráfego da estrada;
- b) Condições de rolamento e aderência da pista permitindo a comodidade e segurança dos usuários;

Para que uma rodovia possua as condições expostas no parágrafo anterior, é de fundamental importância a implantação de elementos que ajudam a melhorar as condições de trafegabilidade. Sendo assim, necessita-se constituir um revestimento primário de boa qualidade. Desta forma Santos et. al. (1998) afirma que é importante a realização da compactação de um material heterogêneo compostos por argila e

granulados de rocha sobre o subleito. Seguindo este mesmo raciocínio de Santos et. al. (1998), Braga e Guimarães (2014) explicam que a argila age como um ligante quando aplicada em conjunto com o material granular, ou seja, enquanto aquela aumenta a coesão, esta (os grânulos rochosos) eleva o atrito entre a pista e os pneus. Por outro lado, Guedes, Coutinho e Fonseca (2014), apontam alguns procedimentos que podem ser utilizados como recurso de melhoramento da pista de rolamento, são eles: Agulhamento; Encascalhamento.

De acordo com Oda (1995), agulhamento consiste em um processo de compactação mecânica de material granular sobre uma camada de material argiloso. Enquanto o encascalhamento se refere a deposição de uma camada de cascalho sobre a pista e posterior patrolamento e compactação.

Guedes, Coutinho e Fonseca (2014) ainda frisam que, mesmo com o uso dos procedimentos de melhorias da superfície de rolamento das rodovias vicinais, estes podem apresentar algumas desvantagens quando construídas sem critérios de dimensionamento, destacando-se os seguintes problemas:

- a) Pouca durabilidade;
- b) Baixa eficiência técnica;
- c) Forte impacto ambiental;
- d) Custo elevado.

2.1.4 Manutenção de estradas vicinais

Oda (1995) considera a manutenção de rodovias como um aparato de operações executivas (de conservação e/ou correção), cujo objetivo é o de reduzir os problemas das estradas, aumentando o seu tempo de vida útil, minimizando os gastos com manutenção dos veículos, refletindo em ganhos consideráveis nos aspectos econômicos, segurança e no conforto dos motoristas.

A frequência de manutenção das estradas não pavimentadas deve ser constante, isto possibilita a diminuição dos problemas provocados pela deformação da superfície de rolamento. Baesso e Gonçalves (2003) são enfáticos, mencionam a condicionante econômica, e ressaltam que se a manutenção da via for realizada

corretamente e de maneira periódica, os custos a longo prazo caem consideravelmente. Os autores ainda indicam, como exemplo, alguns dos defeitos que normalmente podem ser encontrados em estradas de terra: seção transversal imprópria, drenagem inadequada; corrugações; excesso de poeira; buracos; trilha de rodas e perda de agregados.

Para Baesso e Gonçalves (2003) as atividades de manutenção devem consistir:

- a) Recuperação e conformação da pista de rolamento;
- b) Limpeza das obras de drenagem;
- c) Reparo ou inclusão de dispositivos de proteção às saídas de drenagem;
- d) Recomposição de áreas degradadas.

Assim, segundo Nunes (2003) as condições da pista de rolamento, são influenciadas pelos fatores regionais, tais como, o tipo de solo, clima, topografia, tráfego e frequência de manutenção. É a partir disto que observa-se a importância de melhorar e criar novas metodologias de construção e manutenção de rodovias vicinais, considerando todos os elementos, conforme citado anteriormente (por exemplo), que controlam a sua depreciação.

2.1.5 Granulometria dos materiais

A terminologia de solos e rochas pela NBR 6502 (1995), dita que os solos devem ser caracterizados por meio de sua constituição granulométrica (textura), limite de plasticidade e consistência dentre outras propriedades mecânicas. Portanto, a mais utilizada, neste aspecto da identificação dos tipos de solos ao qual se faz o uso, é a classificação granulométrica.

De acordo com Skorseth e Selim (2000), os pavimentos primários são constituídos de materiais graúdos (pedregulhos), materiais de granulometria intermediária (siltes e areias) e materiais finos (argilas). Os graúdos proporcionam capacidade de suporte ao pavimento. Os materiais intermediários oferecem estabilidade na mistura, possibilitando o preenchimento dos espaços vazios contidos

no solo graúdo. As argilas, ou materiais finos, aumentam a coesão e a redução da permeabilidade do pavimento.

O DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2006), órgão público responsável pela malha viária brasileira, assim como as mais variadas instituições oficiais públicas e privadas da administração das rodovias, utilizam a escala granulométrica da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Fundamentado nisto, os materiais podem ser classificados de acordo com o Quadro 2.

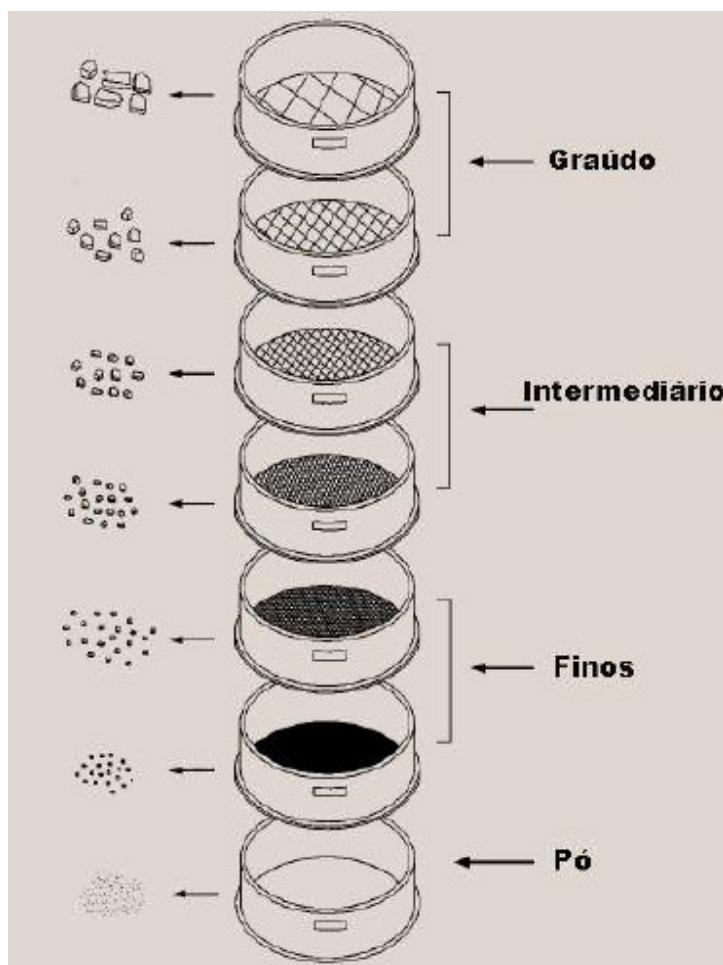
Quadro 2 – Materiais usados na pavimentação e suas dimensões granulométricas.

Frações Constituintes dos Solos	Diâmetro Equivalente (mm)
Pedregulho	76,0 e 2,0
Areia Grossa	2,0 e 0,42
Areia Fina	0,42 e 0,075
Silte	0,075 e 0,005
Argila	Menor que 0,005

Fonte: FATTORI, 2007.

Logo, para descrever a granulometria dos solos basta executar o ensaio de peneiramento. A Figura 2, Figura 3 e Figura 4 apresentam um esboço deste tipo atividade em que o solo passa por consecutivas peneiras que variam desde 1” a peneira de nº 200, assim como também é apresentada a diferenciação dos solos quanto a graduação e os resultados gráficos (percentagem retida x diâmetro dos grãos - mm) que podem ser obtidos a partir deste tipo de ensaio laboratorial.

Figura 2 – Ensaio de Peneira



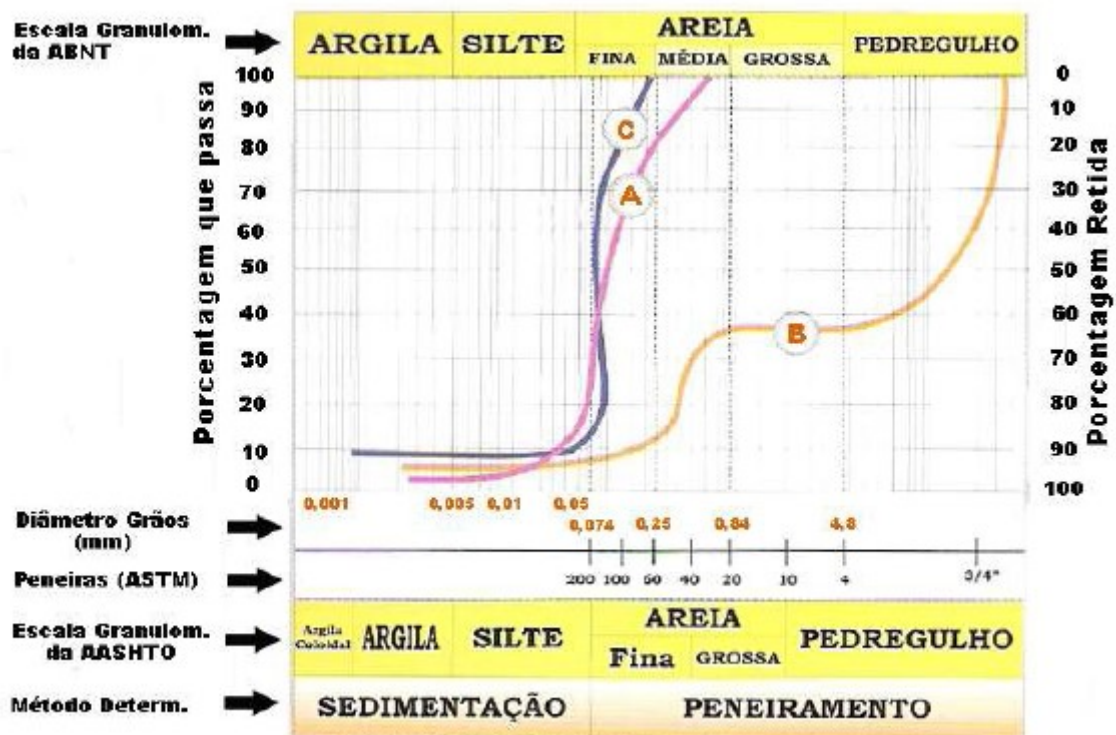
Fonte: SKORSETH e SELIM, 2000

Figura 3 – Distribuição Granulométrica



Fonte: NUNES, 2003

Figura 4 – Gráfico do ensaio de peneiramento



Fonte: BAESO e GONÇALVES, 2003.

2.2 Condicionantes de dimensionamento

2.2.1 Condições de tráfego

As rodovias vicinais devem ser desenvolvidas de maneira a suportar certo volume de tráfego ao longo do tempo. Considerando isto, Guedes, Coutinho e Fonseca (2014) define esta “quantidade veicular”, com referência a um eixo equivalente de peso, de forma a desconsiderar os veículos pequenos (ou leves), a priori. Portanto, estes veículos leves deve ter seu peso somado a outros veículos de características semelhantes (ou iguais), de modo a se obter o valor do eixo equivalente de peso. No Brasil, considera-se o mesmo eixo padrão estabelecido pela AASHTO.

2.2.2 Condições climáticas

Medina e Motta (2005) define o clima como um conjunto de fenômenos naturais meteorológicos como um fator proveniente da combinação da nebulosidade, umidade, temperatura, vento, pressão barométrica, dentre diversos outros fatores. Dessa forma, considerando que esse condicionantes naturais interagem com os materiais da superfície da pista de rolamento, conclui-se que o clima agride fortemente a qualidade e durabilidade da superfície da estrada.

2.2.3 Deformabilidade de materiais

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), essa característica dos solos, e dos materiais geológicos, pode ser definida como uma relação entre tensão e deformação. Ou seja, é dessa forma que se expressa a deformabilidade dos materiais. Quando um material é submetido à um determinado esforço, este tende a sofrer deformações, para isto ocorrer há um processo de acúmulo energia.

2.2.3.1 Módulo de resiliência

O Módulo de Resiliência (MR) dos materiais que constituem os estratos da base (E_{Base}) e sub-base ($E_{Sub-Base}$) é referenciado por Guedes, Coutinho e Fonseca (2014) conforme a Equação 1:

$$MR = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

Onde:

σ = tensão desviadora aplicada no eixo axial;

ε = deformação recuperável.

O Módulo de resiliência está associado com a história das tensões a qual o material geológico foi exposto ao longo do tempo, ou seja, a máxima tensão sofrida pelo solo, sem provocar tensões irreversíveis.

2.2.4 Serventia

Para Guedes, Coutinho e Fonseca (2014), serventia é uma condicionante que representa o nível de conforto para circular por uma rodovia. Muito usada para quantificar o estado de trafegabilidade de uma estrada. No entanto, é essencial que se fixe um intervalo de valores, em que se deve ter uma nota mínima e uma máxima, ou seja, sem condições de transitar e a outra excelentes condições de trafegabilidade, expressando assim a necessidade de manutenção. De acordo com Skorseth e Selim (2000) os valores comumente adotados estão entre 2,0 e 2,5, considerando que o menor valor é conhecido como nível de serventia terminal.

2.2.5 Condições admissíveis da pista de rolamento

As trepidações atrapalham os usuários a circularem pelas rodovias em velocidades mais elevadas, em vista da dificuldade em manter o domínio do veículo. A priori, deve-se definir uma profundidade aceitável para as ondulações da pista, pois Guedes, Coutinho e Fonseca (2014) relatam que essas trepidações em determinados níveis controlados não expõe os motoristas ao risco. Skorseth e Selim (2000) apontam, por vias práticas, que as ondulações admissíveis estão entre as profundidades de 2,5 a 5,0 cm aproximadamente.

2.2.6 Perda de agregado da superfície da estrada (PASE)

É impossível não considerar a perda de agregados da superfície de rolamento das vias não pavimentadas. Guedes, Coutinho e Fonseca (2014), afirmam que essa perda é devido aos seguintes elementos: atrito dos pneus do veículo, erosão e precipitação. Estes autores ainda apontam para a necessidade de se considerar no dimensionamento, a degradação da pista de rolamento, ocasionada pela perda de agregado ao longo do tempo.

2.3 Cálculo do volume de material

Segundo Júnior, Neto e Andrade (2014), o cálculo de volume para Topografia consiste em, calcular o volume de uma determinada quantidade de terra, em outras palavras, determinar o volume de um sólido composto por uma massa de solo.

A determinação do volume de material necessário para execução da obra é de vital importância no desenvolvimento do revestimento primário de estradas vicinais, tendo em vista que, o custo de movimento de terra é, na maioria dos projetos, significativo em relação ao custo total da estrada, sendo portanto um item importante a ser analisado (MACEDO, 2008).

2.3.1 Topografia

Topografia é o conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de pontos sobre a superfície da terra ou no seu interior (minas, túneis, galerias, etc.) (BLITZKOW et al., 2004).

Segundo Espartel (1965), a topografia constitui uma ciência aplicada na determinação de perímetros, áreas e volumes sobre uma determinada região da superfície terrestre, desconsiderando a curvatura da mesma, considerando esta região plana e tangente a superfície da Terra.

De acordo com Rodrigues (2015), a topografia se baseia na geometria e na trigonometria, dessa forma é imprescindível o conhecimento de dois pontos pré-estabelecidos com coordenadas arbitrárias ou georreferenciadas (X, Y, Z). Contudo, a topografia permite que representemos pequenas áreas sobre a superfície da Terra, simplificando o processo ao considerá-la plana.

Para Cardoso (2015), a topografia tem por finalidade determinar analiticamente as medidas de área e perímetro, localização, orientação, variações no relevo, e por fim, representá-las graficamente em plantas topográficas, mais precisamente, no PTL (Plano Topográfico Local). Ela é a base para qualquer projeto em qualquer obra realizada por engenheiros ou arquitetos. Possibilitando o conhecimento pormenorizado do terreno, tanto na etapa do projeto, quanto na fase de construção ou execução

2.3.1.1 Levantamento topográfico

De acordo com a NBR 13133 – Execução de Levantamentos Topográficos.

As condições exigíveis para a execução de um levantamento topográfico devem compatibilizar medidas angulares, medidas lineares, medidas de desníveis e as respectivas tolerâncias em função dos erros, selecionando métodos, processos e instrumentos para a obtenção de resultados compatíveis com a destinação do levantamento, assegurando que a propagação de erros não exceda os limites de segurança inerentes a esta destinação (NBR 13133, 1994).

Observando o item 3.11 – Levantamento de Detalhes da NBR 13133.

Conjunto de operações topográficas clássicas (poligonais, irradiações, interseções, ou por ordenadas sobre uma linha-base), destinado à determinação das posições planimétrica e/ou altimétrica dos pontos, que vão permitir a representação do terreno a ser levantado topograficamente a partir do apoio topográfico. Estas operações podem conduzir, simultaneamente, à obtenção da planimetria e da altimetria, ou então, separadamente, se condições especiais do terreno ou exigências do levantamento obrigarem à separação (NBR 13133, 1994).

2.3.2 Custo de transporte

Para desenvolver uma atividade de terraplanagem, Lee (2005) aponta que devem ser seguidas 3 etapas: a) escavação, b) transporte e a c) deposição de materiais (terrosos ou rochosos). Esses materiais podem ter o seu comportamento mecânico melhorado a partir da compactação. O Quadro 3 abaixo, aponta de acordo com Lee (2005) os elementos básicos fundamentais para o cálculo do momento individual de transporte (custo unitário da carga de aterro).

Quadro 3 – Momento individual de transporte

Parâmetro	Volume individual de terraplanagem (vi)	Distância individual de transporte (di)	Momento individual de transporte (mi)
Conceito	Quantidade de material retirada da jazida (m ³);	Distância de transporte entre a jazida e o local onde o material é aplicado (m ou km)	Produto do volume de terraplanagem pela distância de transporte, (m ³ ·m ou m ³ ·km)

Fonte: Autor, 2017.

Assim, o momento individual de transporte é dado pela expressão (Equação 2):

$$m_i = v_i \cdot d_i \quad (2)$$

Logo o momento total de transporte (M) é considerado como o somatório dos momentos individuais (Equação 3):

$$M = \sum m_i \quad (3)$$

2.3.3 Ajustamento do volume

O solo escavado resultará em um volume maior ao do medido em seu estado natural, de acordo com Lee (2005), isso se dá pela ruptura da estrutura interna original do solo causada pela escavação, denominada de empolamento do solo.

O solo empolado ao ser depositado e compactado, terá seu volume reduzido novamente, processo este denominada de densificação do solo. Lee (2005) ressalta que para energias de compactação usuais na construção de rodovias, após a compactação verifica-se a redução do volume de material em relação ao volume original.

A variação do volume e material pode ser medido pelo coeficiente de empolamento, dado pela relação entre as densidades do material nas condições consideradas. Contudo, Lee (2005) expressa a possibilidade de realizar o ajuste do volume de material, compensando assim, a redução no volume de material.

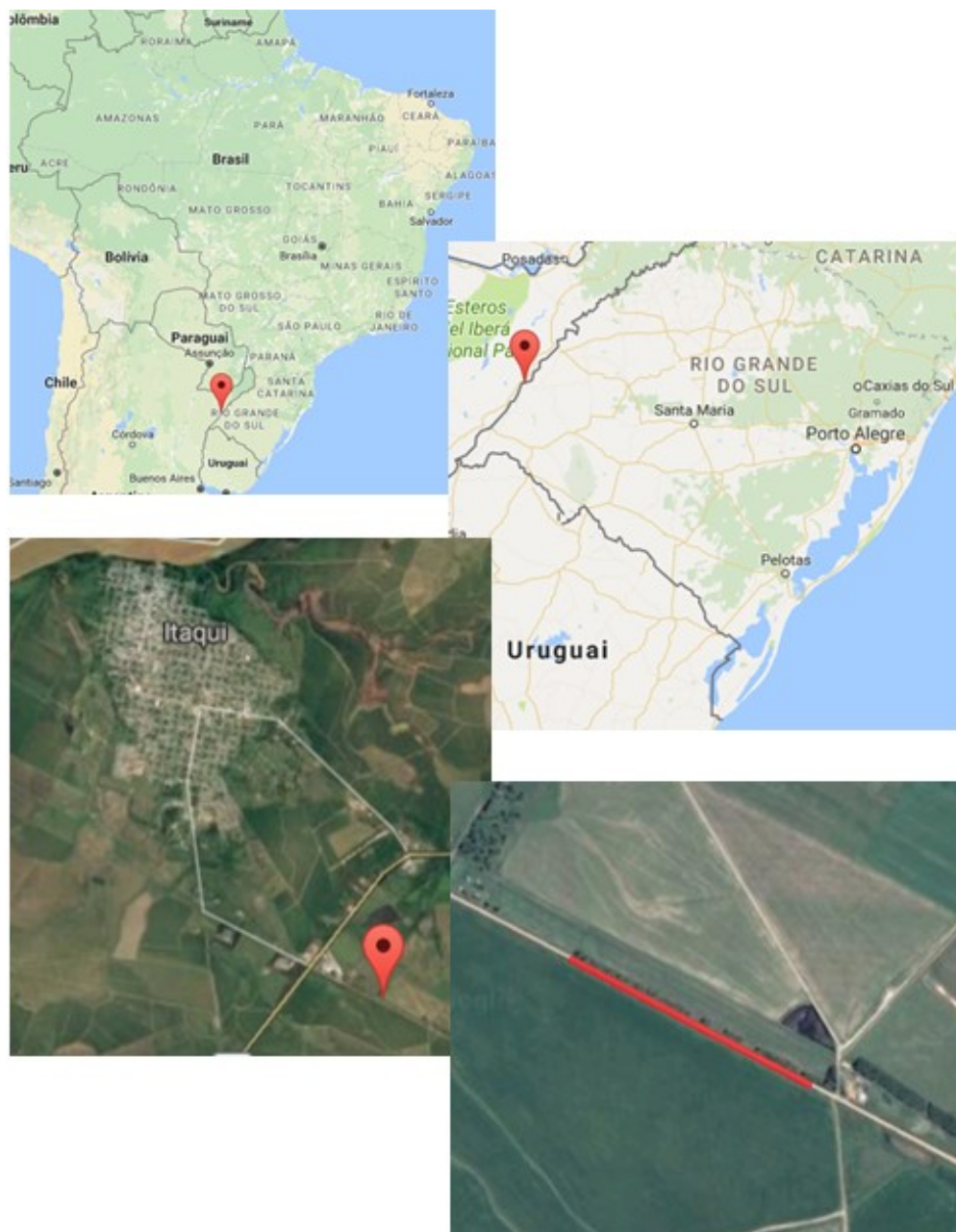
3 ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse para a realização e aplicação da metodologia de dimensionamento de pavimentos a ser desenvolvida neste trabalho, localiza-se no município de Itaqui, no Rio Grande do Sul. O município apresenta grande potencial agrícola, se destacando na produção de arroz.

Portanto, foi selecionando um trecho de uma rodovia vicinal neste município que permite o escoamento da produção de arroz e muito utilizada durante a época de safra e entre safra. Ou seja, esta porção da rodovia escolhida constitui numa importante via de acesso entre as lavouras produtoras de arroz, e as comunidades rurais, além de possibilitar o acesso à BR 472, sendo esta uma das principais rodovias federais pavimentadas da região. Ao longo do ano, a estrada de terra, ao qual pertence o trecho a ser estudado, também é muito usada como via de acesso entre as cidades de Itaqui e Alegrete.

A Figura 5 representa a localização do segmento da pista a ser estudado, sendo esta cercada, ao longo deste trecho da rodovia, em uma das margens por campo de pastagem e na margem oposta por lavoura de arroz. Esta localidade está situada próximo à rodovia BR 472 em confluência com o acesso sul da cidade de Itaqui, entre as coordenadas 29° 11' 14" S, 56° 30' 50" O e 29° 11' 26" S, 56° 30' 23".

Figura 5 – Área de estudo.



Fonte: Autor, 2017.

4 METODOLOGIA

4.1 Condicionantes do dimensionamento

A metodologia de dimensionamento utilizada nesta pesquisa é uma adaptação do procedimento criado pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul (SD – LTAP), de forma que este foi adaptado as condições climáticas da região estudada. Contudo, este método pode ser encontrado na íntegra no Apêndice –A do Manual de Dimensionamento e Manutenção de Estradas de Terra do Departamento de Transporte dos Estados Unidos (SKORSETH e SELIM, 2000). Fazendo uso desta metodologia torna-se possível estimar a durabilidade da pista, custos de implantação, assim como também a quantidade volumétrica de material a ser utilizado na execução do projeto. Portanto, para esta pesquisa, os critérios considerados como elementos de suporte paramétricos desta metodologia estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros de Projeto.

- Futuro Tráfego Previsto (FTP)
- Módulo de Resiliência das Camadas de Base
- Efeitos das Condições Climáticas
- Perda de Serventia da Estrada
- Condição Admissível da Pista
- Perda de Agregado da Superfície da Estrada

Fonte: SKORSETH e SELIM, 2000.

Por outro lado, o Quadro 5 apresenta diversos condicionantes que influenciam o grau de degradação do revestimento primário e que foram considerados nas atividades de desenvolvimento do dimensionamento do pavimento da rodovia não pavimentada desta pesquisa.

Quadro 5 – Fatores críticos a serem considerados na deterioração de pavimentos em rodovias vicinais.

<ul style="list-style-type: none"> – Carga por eixo – Característica dos agregados da superfície – Drenagem subterrânea 	<ul style="list-style-type: none"> – Propriedades mecânicas do subleito; – Alterações de umidade; – Modulo de resiliência dos materiais – Congelamento e degelo
--	---

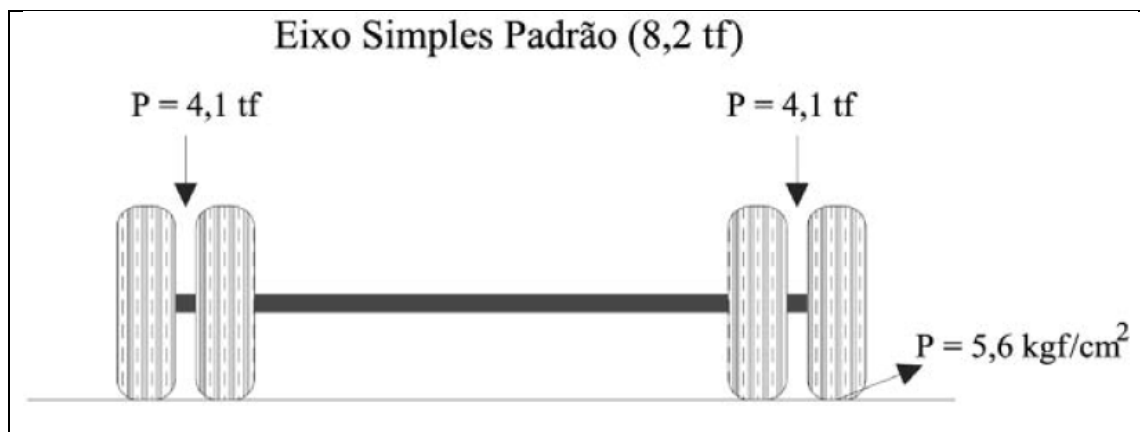
Fonte: SKORSETH e SELIM, 2000.

Nota-se que o parâmetro “Carga por Eixo” é uma variável essencial que influencia diretamente na magnitude do atrito entre os pneus dos caminhões e a pista. Nos veículos pequenos esta importância pode ser considerada muito inferior quando comparada aos dos caminhões.

4.1.1 Futuro tráfego previsto – FTP

Assim como foi definido no item 2.3.1 – Condições de Tráfego, o Futuro Tráfego Previsto utilizado nesta pesquisa, para efeito de cálculo do dimensionamento do pavimento, utiliza como referência o eixo simples de roda dupla, estabelecendo concordância com os padrões da AASHTO, que possui as características apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Eixo padrão rodoviário



Carga por Eixo (P): 8165 Kgf;
 Carga por roda (P/4): 2041 Kgf;
 Pressão de Enchimento dos Pneus (p): 549 kPa;
 Pressão de Contato Pneu-Pavimento (q): 549 kPa;
 Raio da Área de Contato Pneu-Pavimento (r): 0,108 m;
 Afastamento entre Pneus por Roda (s): 0,324 m.

Fonte: Modificado de GUEDES COUTINHO E FONSECA, 2014.

4.1.2 Efeitos da duração do clima na região

Esse faz referência as condições em que o subleito se encontra em determinado período do ano. O mesmo se baseia nas considerações realizadas por Skorseth e Selim (2000). Para efeito de desenvolvimento das atividades deste trabalho, os períodos foram reduzidos a dois, visto que apenas estas situações foram consideradas para a área de estudo: período de chuvas intensas e elevada umidade e, período de chuvas escassas e pouca umidade, assim como encontra-se exposto no Quadro 6.

Quadro 6 – Período de duração do clima para regiões climática existente na área de estudo.

Período com as Respectivas Condições do Subleito		
Regiões Climáticas	Período I (Subleito Úmido)	Período II (Subleito Seco)
I	7,5 meses	4,5 meses
II	4,0 meses	8.0 meses

Modificada de SKORSETH e SELIM, 2000.

Por outro lado, o Quadro 7 apresenta para a área de estudo, as qualidades impostas ao solo do subleito em função dos valores dos módulos de resiliência sazonais de cada período (úmido e seco) conforme está descrito em Skorseth e Selim (2000).

Quadro 7 – Módulo de resiliência (MPa) em função da qualidade relativa do solo.

Qualidade Relativa do Solo do Subleito	Período I (Subleito Úmido)	Período II (Subleito Seco)

Muito Bom	55,16	137,90
Bom	41,37	68,95
Razoável	31,03	44,82
Ruim	22,75	33,78
Muito Ruim	17,24	27,58

Fonte: Modificado SKORSETH e SELIM, 2000.

4.1.3 Módulo de resiliência do subleito e da camada base

O módulo de resiliência do subleito pode ser determinado considerando a qualidade relativa do solo, em função da variação da umidade de cada período do ano para a localidade de interesse. O valor do módulo de resiliência do material da base deve ser definido a partir do estudos do solo de cada região, de forma que, neste trabalho isto não foi realizado, pois a partir do Quadro 7 pode-se determinar o módulo de resiliência sazonal do subleito. Os valores para os parâmetros citados e utilizados nesta pesquisa são:

MRS = BOM – Quadro 7: período I (MR = 41,37 MPa), período II (MR = 68,95 MPa);

$MR_{Base} = 206,84$ MPa.

O valor do MR_{Base} foi determinado segundo Neto (2004), entretanto o ideal é que sejam realizados ensaios mecânicos dos solos que constituirão a camada base, juntamente com as análises mecânicas a partir de informações de resiliência ao cisalhamento dos solos da região.

4.1.4 Perda de serventia da superfície da estrada (PS)

Os valores adotados para a perda de serventia deste trabalho foram os mesmo de Skorseth e Selim, 2000 e estão expostos no Quadro 8.

Quadro 8 – Nível de serventia terminal (ST) e aceitações de usuários.

Nível de Serventia Terminal	3.0	2,5	2,0
Porcentagens de Pessoas Afirmando Inaceitável	12%	55%	85%
PS utilizado no trabalho = 2,0			

Fonte: SKORSETH e SELIM, 2000

4.1.5 Condições admissíveis da superfície da estrada (CASE)

Foram utilizados para a avaliação do dimensionamento da espessura do revestimento primário os mesmos valores admitidos por Skorseth e Selim (2000), para as ondulações em uma estrada de terra. Ou seja, profundidades entre 2,5 cm e 5,0 cm, de forma que para o presente trabalho foi utilizado CASE = 5,0 cm.

4.1.6 Espessura inicial para a camada de base

Para a aplicação da metodologia desenvolvida pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul (SD – LTAP) deve-se adotar uma quantidade mínima de pelo menos quatro espessuras, em que cada uma deve constituir um valor de referência a uma porcentagem de danos da pista. Neste trabalho foi utilizada cinco espessuras para a base: 20,0; 22,5; 25,0; 27,5; 30,0 cm.

4.1.7 Determinação do trafego sazonal de veículos

O trafego sazonal estimado é calculado em função do número de solicitações do eixo padrão (N), no período de doze meses. Para este trabalho foi realizada a contagem de veículos que transitam na pista ao longo do dia. As contagens foram realizadas em horários alternados do dia, por um período de duas semanas, considerado os eixos simples de roda dupla como uma solicitação, os demais eixos (de menor carga) foram somados entre si, de modo que atingissem a carga adotada para o eixo padrão.

Ao final da contagem foi estabelecida a média diária de aproximadamente 41 caminhões com três eixos simples de roda dupla, posteriormente este valor foi multiplicado pelo número de dias do ano, o que resultou em aproximadamente 15.000 caminhões, considerando que estes possuem três eixos padrão, multiplica-se

a média anual de caminhões pelo número de eixos (três), estabelecendo-se assim uma média anual de aproximadamente 45.000 solicitações do eixo padrão.

Primeiramente estima-se o número total de solicitações do eixo padrão para o período de doze meses (Futuro Tráfego Previsto). Em seguida determina-se o número de solicitações para cada estação do ano. Para este projeto foi utilizada a região climática II, de acordo com o Quadro 6. O valor para cada estação do ano é determinado a partir da divisão do número de solicitações por 12 (meses do ano) em seguida multiplica-se o valor encontrado pelo período de duração da estação do ano, conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Cálculo do tráfego sazonal.

Estação	Período I	Período II
Trafego Sazonal	$45000 \times (4/12) = 15000$	$45000 \times (8/12) = 30000$

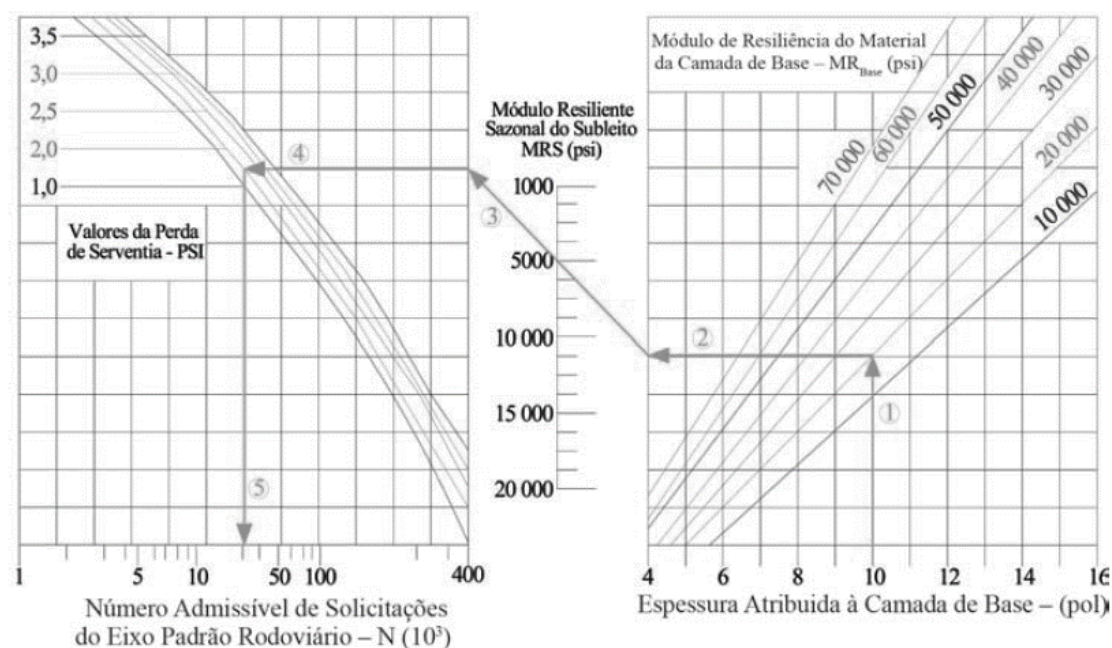
Fonte: Modificada de GUEDES, COUTINHO e FONSECA, 2014.

4.1.8 Estimativa de solicitações com base na perda de serventia (PS)

A partir da perda de serventia (PS) da superfície da rodovia, pode-se definir o número máximo de solicitações do eixo padrão (N) para cada período climático, antes mesmo da estrada precisar passar por novas atividades de reformas. A definição do $N_{\text{Admissível}}$ em função do parâmetro (PS) é encontrado fazendo-se a seguinte sequência a qual está representada no gráfico da Figura 7. De modo que as interpolações gráficas do presente trabalho para o fator PS, podem ser visualizadas no Anexo 1 ($MR_{\text{Subleito}} = 41,37 \text{ MPa} = 6.000 \text{ psi}$) e Anexo 2 ($MR_{\text{Subleito}} = 68,95 \text{ MPa} = 10.000 \text{ psi}$).

- 1) Espessura da camada de base;
- 2) Modulo de resiliência do material da camada de base (E_{Base});
- 3) Modulo de resiliência sazonal do subleito (MR_{Subleito});
- 4) Perda de serventia da superfície da estrada (PS);
- 5) Número de solicitação estimado antes da necessidade de manutenção.

Figura 7 – Gráfico para definição do número permitido de solicitações do eixo padrão em função do parâmetro perda de serventia (PS).



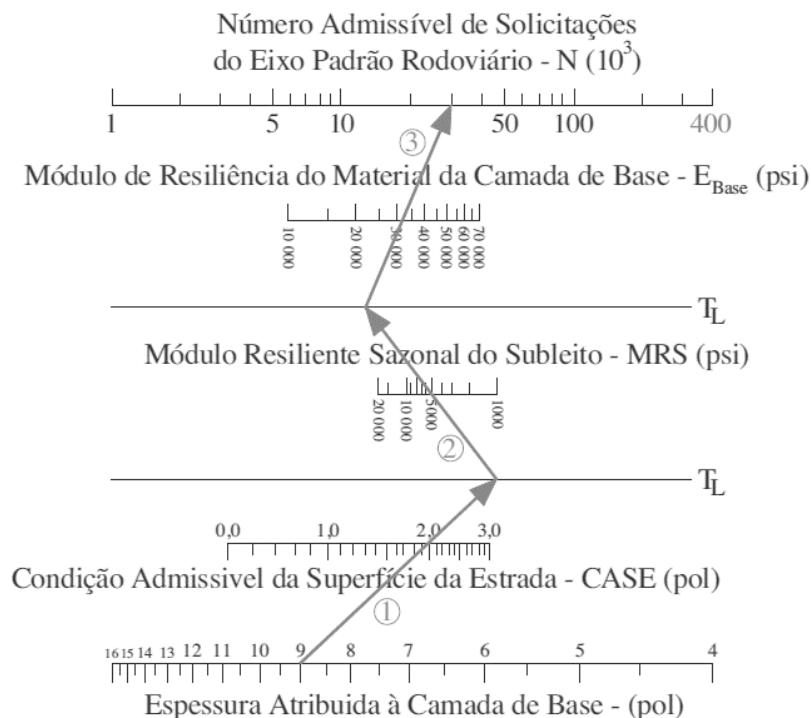
Fonte: SKORSETH e SELIM, 2000.

4.1.9 Estimativa de solicitações com base na profundidade das ondulações (CASE)

A partir da profundidade das ondulações existentes na superfície da estrada (CASE), pode-se definir o número de solicitações do eixo padrão (N) para cada período climático. A definição do $N_{\text{Admissível}}$ em função da profundidade das ondulações é encontrado fazendo-se a sequência a seguir, a qual está representada no gráfico da Figura 8. De modo que as interpolações gráficas do presente trabalho para o fator CASE, podem ser visualizadas no Anexo 3 ($MR_{\text{Subleito}} = 41,37 \text{ MPa} = 6.000 \text{ psi}$) e Anexo 4 ($MR_{\text{Subleito}} = 68,95 \text{ MPa} = 10.000 \text{ psi}$).

- 1) Espessura da camada de base;
- 2) Profundidade das ondulações (CASE);
- 3) Módulo de resiliência sazonal do subleito (MR_{Subleito});
- 4) Módulo de resiliência do material da camada de base (MR_{Base});
- 5) Número de solicitação (N) estimado antes da necessidade de manutenção.

Figura 8 – Gráfico para definição do número permitido de solicitações do eixo padrão em função da profundidade das ondulações (CASE).



Fonte: SKORSETH e SELIM, 2000.

4.1.10 Determinação do dano sazonal na superfície da estradas, considerando a perda de serventia (PS)

Nesta etapa tenta-se definir o dano da estrada para determinado período climático. Dessa forma, considerando do Quadro 10 ao Quadro 14, que estão expostos no item 7.1.2. Este cálculo consiste em dividir o tráfego sazonal de veículos (FTP) (Coluna 04) pelo tráfego admissível antes da reforma da rodovia (coluna 05). Assim, a coluna 06 do Quadro 10 ao Quadro 14 apresentam os resultados desta operação. Em seguida realiza-se a soma de todos os danos, que representa o dano total sofrido pela superfície da estrada ao longo do período de um ano.

4.1.11 Determinação do dano sazonal na superfície da estradas, considerando a profundidade das ondulações (CASE)

Nesta parte tenta-se definir o dano da estrada para determinado período climático, assim como na situação descrita anteriormente para perda de serventia (PS). Dessa forma, considerando do Quadro 10 ao Quadro 14, que estão expostos no item 7.1.2, este cálculo consiste em dividir o tráfego sazonal estimado de veículos (FTP), contido na coluna 04 pelo que necessita da atividade de manutenção, coluna 07. Assim, a coluna 08 do Quadro 10 ao Quadro 14 apresentam os resultados desta operação. Logo em seguida realiza-se a soma de todos os danos, que representa o dano total sofrido pela superfície da estrada ao longo do período de um ano.

4.2 Volume de material

4.2.1 Atividades de topografia

As atividades de topografia realizadas em campo, foram executadas seguindo as recomendações da NBR 13133, conforme os itens descritos anteriormente na Revisão da Literatura.

4.2.1.1 Materiais

- Estação total (Nikon NPL-632, precisão 2")
- Tripé
- Prisma
- Bastão para prisma
- Software TopoGraph 98 SE ®

4.2.1.2 Levantamento planialtimétrico

Tendo em vista que a finalidade do levantamento topográfico neste trabalho foi exclusivamente para determinação das dimensões da pista, bem como, suas variações de nível, para determinação do sólido gerado pela camada de

revestimento, dispensou-se o georreferenciamento dos pontos de controle, de modo que, estes tiveram suas coordenadas arbitradas.

Para realização do levantamento topográfico foi utilizado o método topográfico da irradiação, este consiste em estabelecer uma estação central em relação aos pontos de interesse, de modo que os mesmos sejam intervisíveis a partir da estação. O levantamento foi executado a partir da materialização de dois pontos (piquetes) na área de estudo, em seguida, com a estação instalada sobre um dos pontos arbitrou-se uma coordenada de estação bem como o azimute inicial. Com os parâmetros já estabelecidos iniciou-se o levantamento das seções transversais da pista bem como o eixo da mesma por uma extensão de aproximadamente quinhentos metros. A Figura 9 apresenta a atividade de levantamento topográfico da estrada, já a Figura 10 representa a estrada que liga o município de Itaqui a Alegrete no Rio Grande do Sul.

Figura 9 – Levantamento topográfico.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 10 – Estrada vicinal estudada.



Fonte: Autor, 2017.

4.2.2 Determinação do volume de material

Para determinar o volume de material necessário para a implantação do projeto, é necessário gerar duas superfícies; a primeira delas é a superfície física da pista ou superfície do terreno, esta coletada em campo por meio do levantamento topográfico utilizando estação total. A segunda superfície diz respeito a superfície de projeto, ou seja, a superfície da pista após implantação do revestimento. A geração da segunda superfície se dá via planilha eletrônica, de modo que, utilizando as coordenadas do levantamento topográfico altera-se a coluna das cotas, somando a cota do levantamento à espessura do revestimento dimensionado pelo método da SD-LTAP.

A determinação do volume de material foi realizada com o software TopoGraph, seguindo as seguintes etapas:

- 1) Carregar no software as duas planilhas (levantamento e projeto);
- 2) Gerar a malha triangular da superfície do levantamento;
- 3) Interpolar para gerar as curvas de nível (intervalo de 0,5 em 0,5 m);
- 4) Repetir os passos anteriores para a superfície de projeto;

- 5) Abrir novamente o desenho da superfície de levantamento;
- 6) Selecionar a opção volume no item MDT;
- 7) Na janela que se abre configurar: Tipo – Terreno x Terreno; Calcular – Aterro; Segundo desenho – Superfície de projeto.

Tendo em vista o alto índice de vazio do solo, logo após a deposição do material sobre a superfície da pista o mesmo necessita ser compactado, visando reduzir o volume de vazios do solo, melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

Para o presente trabalho adotou-se Grau de Compactação (GC) de 100% (GC conservador, visto que dificilmente se conseguirá chegar a este valor para a compactação do material), com isto o material tem seu volume reduzido pela metade, contudo, para que o material compactado ocupe o volume desejado, deve ser realizado o ajuste do mesmo, multiplicando por dois o volume obtido via software.

4.3 Custo de aterro

O custo do aterro para revestimento da estrada é dada pelas Equações 4 e 5, a partir da primeira (Equação 4) é possível determinar o custo de cada m³ de material utilizado no revestimento; a partir da segunda (Equação 5) é possível determinar o custo total de aterro utilizado na obra.

$$CT_{m^3} = CM + C_{km} \times KM \quad (4)$$

Onde:

CT_{m^3} : Custo total de cada m³ de material;

CM: Custo do material na jazida;

C_{km} : Custo de transporte para cada km;

KM: Distância que o material é transportado.

$$CT = CT_{m^3} \times M^3 \quad (5)$$

Onde:

CT: Custo total do aterro utilizado na obra;

CTm³: Custo total de cada m³ de material;

M³ = Volume total de material utilizado na obra (m³).

Substituindo a Equação 4 na Equação 5 obtém-se a Equação 6, na qual verificamos a presença do Momento de Transporte, Equação 7, visto que, KM representa a Distância Individual de Transporte e, M³ representa o Volume Individual de Transporte.

$$CT = CM + C_{km} \times KM \times M^3 \quad (6)$$

$$mi = KM \times M^3 \quad (7)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A definição da espessura do revestimento é essencial para prever o custo da obra. Neste caso, se o Grau de Degradação (GD) da pista constitui em valores inferiores a 100% ao longo do período de um ano, isto tem um significado de que o revestimento foi superdimensionado. Caracterizando a ausência de deterioração da superfície de rolamento da estrada, não exigindo manutenção ou reforma desta. Caso contrário, se o nível de degradação for superior a 100%, isto mostra que o revestimento foi subdimensionado, apresentando deterioração prematura da estrutura. Portanto, se for encontrado um valor igual a 100%, ou seja, GD igual a 1, esta indicação fornece a informação de que o dimensionamento foi realizado de maneira correta. Ou seja, o projeto possibilitou a degradação suficiente para que no final do período previsto (12 meses), a via possa receber uma nova reforma ou manutenção.

5.1 Dimensionamento da camada base

5.1.1 Dados para a determinação da espessura do revestimento

- Futuro Trafego Previsto: FTP = 45 000 solicitações do eixo padrão;
- Qualidade relativa do solo do subleito: MRS = Bom;
- Módulo de resiliência do material de base: $E_{Base} = 206,84$ MPa;
- Região climática em que a estrada se encontra: Região II.

5.1.2 Dano sazonal na superfície da estrada, considerando “PS” e “CASE”

Do Quadro 10 ao Quadro 14 é mostra o resultado dos danos sazonais da estrada tanto para o parâmetro Perda de Serventia (PS) quanto para Profundidade das Ondulações (CASE).

Quadro 10 – Resultado encontrado para espessura de 20,0 cm.

Espessura da Camada Base: 20,0 cm					Perda de Serventia (PS): 2,0		Condições Admissíveis da Superfície da Estrada (CASE): 5,0	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima	Condições do Subleito	MRS (MPa)	E _{Base}	FTP	Trafego Admissível	Danos Sazonais	Trafego Admissível	Danos Sazonais
Período I	Úmido	41,37	206,84	15.000	14.000	1,071	14.500	1,034
Período II	Seco	68,95	206,84	30.000	47.000	0,638	33.000	0,909
Trafego Total (FTP)				45.000	Somatório dos Danos	1,709	Somatório dos Danos	1,943

Quadro 11 – Resultado encontrado para espessura de 22,5 cm.

Espessura da Camada Base: 22,5 cm					Perda de Serventia (PS): 2,0		Condições Admissíveis da Superfície da Estrada (CASE): 5,0	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima	Condições do Subleito	MRS (MPa)	E _{Base}	FTP	Trafego Admissível	Danos Sazonais	Trafego Admissível	Danos Sazonais
Período I	Úmido	41,37	206,84	15.000	23.000	0,652	18.500	0,811
Período II	Seco	68,95	206,84	30.000	62.000	0,484	44.000	0,682
Trafego Total (FTP)				45.000	Somatório dos Danos	1,136	Somatório dos Danos	1,493

Quadro 12 – Resultado encontrado para espessura de 25,0 cm.

Espessura da Camada Base: 25,0 cm					Perda de Serventia (PS): 2,0		Condições Admissíveis da Superfície da Estrada (CASE): 5,0	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima	Condições do Subleito	MRS (MPa)	E _{Base}	FTP	Trafego Admissível	Danos Sazonais	Trafego Admissível	Danos Sazonais
Período I	Úmido	41,37	206,84	15.000	29.000	0,517	24.000	0,625
Período II	Seco	68,95	206,84	30.000	77.000	0,390	54.000	0,555
Trafego Total (FTP)				45.000	Somatório dos Danos	0,907	Somatório dos Danos	1,180

Quadro 13 – Resultado encontrado para espessura de 27,5 cm.

Espessura da Camada Base: 27,5 cm					Perda de Serventia (PS): 2,0		Condições Admissíveis da Superfície da Estrada (CASE): 5,0	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima	Condições do Subleito	MRS (MPa)	E _{Base}	FTP	Trafego Admissível	Danos Sazonais	Trafego Admissível	Danos Sazonais
Período I	Úmido	41,37	206,84	15.000	38.000	0,395	29.000	0,517
Período II	Seco	68,95	206,84	30.000	94.000	0,319	70.000	0,429
Trafego Total (FTP)				45.000	Somatório dos Danos	0,714	Somatório dos Danos	0,946

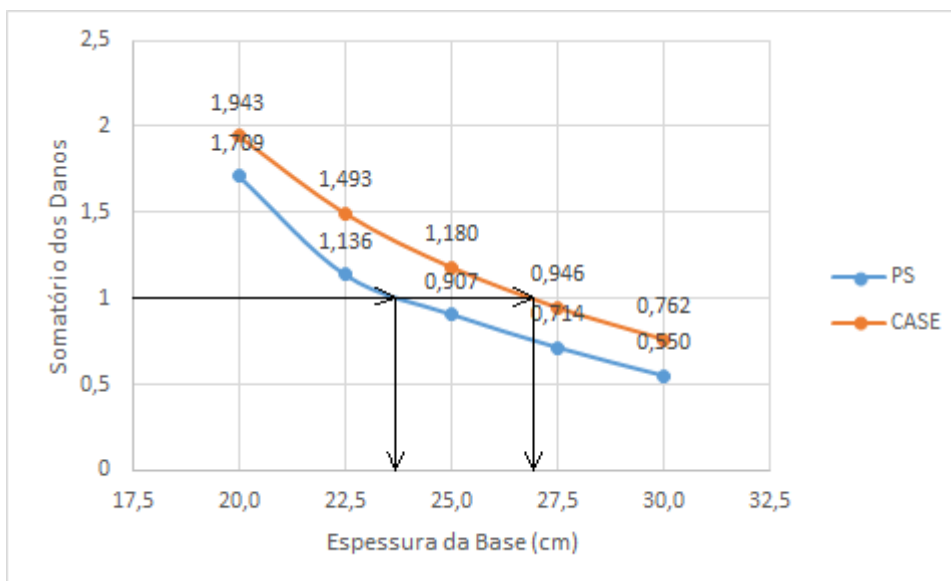
Quadro 14 – Resultado encontrado para espessura de 30,0 cm.

Espessura da Camada Base: 30,0 cm					Perda de Serventia (PS): 2,0		Condições Admissíveis da Superfície da Estrada (CASE): 5,0	
Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Clima	Condições do Subleito	MRS (MPa)	E _{Base}	FTP	Trafego Admissível	Danos Sazonais	Trafego Admissível	Danos Sazonais
Período I	Úmido	41,37	206,84	15.000	50.000	0,300	35.000	0,429
Período II	Seco	68,95	206,84	30.000	120.000	0,250	90.000	0,333
Trafego Total (FTP)				45.000	Somatório dos Danos	0,550	Somatório dos Danos	0,762

5.1.3 Espessura média da camada base considerando as condições estabelecidas

A partir dos resultados dos danos totais é obtida a espessura de projeto. Portanto, de acordo com a Figura 11, a curva em azul mostra a deterioração sofrida pela superfície da estrada, para que a mesma necessite de manutenção, considerando o parâmetro da Perda de Serventia (PS). Já a curva em laranja representa a mesma condição descrita anteriormente, porém, considerando o parâmetro da condição admissível da superfície da estrada (CASE). Logo, adotando o critério de danos totais igual a 1,0 (ou GD = 1,0), no presente estudo, obteve-se a espessura de 24,0 cm para o critério da Perda de Serventia (PS) e 27,0 cm para o critério de condição admissível, assim considera-se o maior valor encontrado, 27,0 cm.

Figura 11: Danos totais x espessura da base, critérios de serventia e deterioração.



5.1.4 Espessura final da base considerando a perda de agregado

Considerando a correção realizada com base na perda por desagregação do material da base, a espessura de projeto é obtida a partir da Equação 6, onde GL representa a perda de material.

$$h_{\text{Base_Corrigida}} = h_{\text{Base}} + 1,2 \times \text{GL} \quad (6)$$

$$h_{\text{Base_Corrigida}} = 27,0 + 1,2 \times 1 = 28,2 \text{ cm}$$

5.2 Volume de material e custo de aterro

A determinação do volume foi realizada conforme metodologia já descrita anteriormente. A seguir a Figura 12 representa a malha triangular gerada no TopoGraph, a partir dos pontos levantados. Já a Figura 13 representa o corte lateral de uma seção da pista. Para este trabalho considerou-se apenas a espessura da camada Base, dispensando a conversão de parte da espessura da Base em Sub-base.

Figura 12 – Segmento da malha triangular gerado no TopoGraph a partir dos pontos levantados.

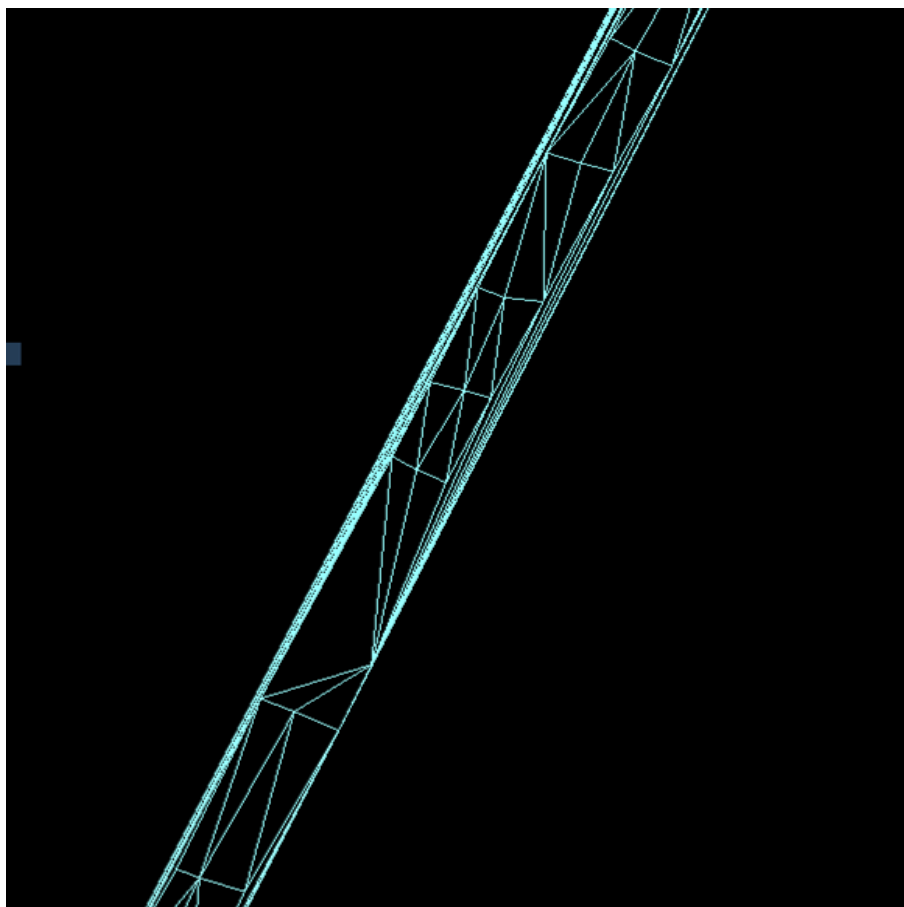
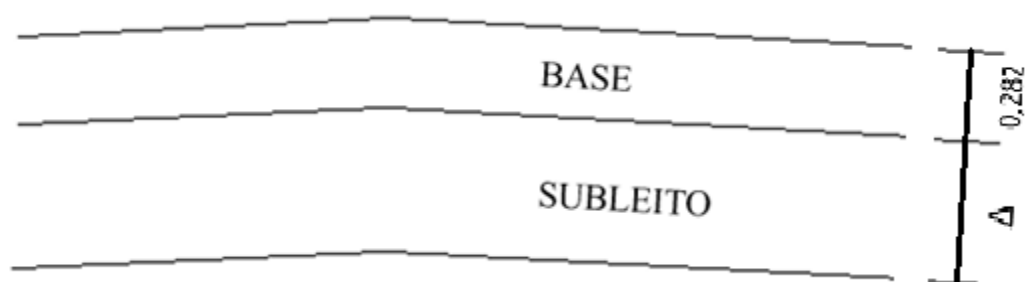


Figura 13 – Corte lateral da Base e do Subleito.



O levantamento compreendeu a extensão de 548,672 m com seções transversais levantadas a aproximadamente 15 m de espaçamento uma da outra. Assim, foi obtido o valor de 927,517 m³ no cálculo de volume de material, o Anexo 5 apresenta o relatório do cálculo de volume realizado no TopoGraph. Ao compactar o material no processo de pavimentação, o volume obtido no cálculo deve ser

dobrado, assim, o volume necessário para implantação do revestimento primário na seção de pista levantada é de 1855,034 m³.

A seguir o Quadro 15 apresenta a estimativa do volume de material necessário para implantação do revestimento em diferentes extensões da pista, considerando que esta apresente a mesma configuração da seção levantada.

Quadro 15 – Estimativa de volume para seções com diferentes extensões.

Comprimento da Seção (m)	Volume de Material Compactado (m ³)
1.000	3.380,952
2.500	8.452,381
5.000	16.904,762
10.000	33.809,244

5.2.1 Custo do material e de transporte

O valor unitário adotado para o m³ do material de aterro é de R\$ 2,71 e está contido no SICRO 2 (Sistema de Custos Rodoviários) – DAER (2003), este valor representa o custo do material de primeira categoria na jazida.

A seguir o Quadro 16 apresenta de acordo com o DAER–RS (2016), o custo de escavação, carga, descarga, espalhamento e transporte de material de 1ª categoria com caminhão, para diferentes distâncias.

Quadro 16 – Custo do transporte de material.

Distância Transportada (m)	Custo (R\$)
1.000	7,10
2.500	8,51
5.000	10,56

5.2.2 Custo total

A partir da Equação 4 é possível obter o custo total de cada m³ de aterro para diferentes distância, tais valores encontram-se expressos a seguir no Quadro 17.

Quadro 17 – Custo total para cada m³.

Distância Transportada (m)	Custo m ³ (R\$)
1.000	9,81
2.500	11,22
5.000	13,27

O custo total do aterro pode ser obtido aplicando-se a Equação 5 sobre os valores estabelecidos anteriormente, a seguir o Quadro 18, Quadro 19 e Quadro 20 apresentam tais valores para diferentes comprimento de seção, considerando as distâncias de transporte do material de 1.000m, 2.500m e 5.000m.

Quadro 18 – Custo total do aterro (Distância de transporte até 1.000m).

Comprimento da seção	Custo Total (R\$)
1.000	33.167,139
2.500	82.917,858
5.000	165.835,715
10.000	331.671,430

Quadro 19 – Custo total do aterro (Distância de transporte até 2.500m).

Comprimento da seção	Custo Total (R\$)
1.000	37.934,281
2.500	94.835,714
5.000	189.671,430
10.000	379.339,718

Quadro 20 – Custo total do aterro (Distância de transporte até 5.000m).

Comprimento da seção	Custo Total (R\$)
1.000	44.865,233
2.500	112.163,096
5.000	224.326,192
10.000	448.648,668

6 CONCLUSÃO

O presente estudo considerou toda a camada de revestimento como base, de modo que, esta não teve parte de sua espessura convertida para uma camada de sub-base, o que incumbiria em aumento da espessura do revestimento. Isto porquê a sub-base é constituída por material de qualidade inferior ao da base, apresentando módulo de resiliência menor, portanto, menor resistência às solicitações impostas pelo trafego.

A partir dos resultados encontrados para o dimensionamento do revestimento primário, verificou-se que o mesmo apresenta espessura elevada, tendo em vista os elevados esforços empregados pelo tráfego de veículos sobre a pista. Outro ponto a se considerar são as condições climáticas da região, observando a influência que este parâmetro tem sobre as condições mecânicas do subleito.

Com base em todas as condições já citadas, foi calculado que é necessário uma espessura de 28,2 cm para a camada base, a ser construída sobre o subleito, para que assim, a estrada possua superfície de rolamento trafegável durante o período estimado de doze meses.

Portanto, dependendo das condições de tráfego e climáticas da região o presente método pode requerer grande volume de material para sua implantação, incumbindo assim em altos custos para a implantação do projeto, considerando o custo de transporte do material, bem como o custo com materiais de boa qualidade utilizados no revestimento.

Com isto é imprescindível realizar previamente ao projeto um estudo para implantação e desenvolvimento do projeto, levando em conta: características do tráfego na região, efeitos das condições climáticas da região e, distância entre a obra e as jazidas de material, de modo que, dependendo dos resultados encontrados, pode haver inviabilização da obra.

Visto o grande volume de material necessário para implantação das obras e os altos custos que isto incumbe ao projeto de pavimentação, sugere-se: Realização de pesquisa na área de tecnologias de materiais, buscando materiais com baixo custo de produção e alta resistência. Recomenda-se a utilização de material estéril de mineração (caso exista nas proximidades da área de estudo), visto a abundância do mesmo e dificuldade de se dar uma destinação correta a este tipo de material. Devem ser realizados estudos sobre o comportamento mecânico do solo na região,

de acordo com as normas técnicas brasileiras, para aquisição dos parâmetros de resiliência do material pedológico.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. A. S. Apostila – **Topografia Prática**. UNIPAMPA, Caçapava do Sul, 2015. Disponível em:

BAESSO, D. P. E; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção**. Florianópolis, DER-SC, 2003.

BLITZKOW, D; FONSECA JR. E. S.; CINTRA, J. P.; NETTO, N. P. **Apostila PTR 2202 – Informações Espaciais**. PTR. LTG. USP. São Paulo. 2004.

BRAGA, F. L. N.; GUIMARÃES, G. R. **Avaliação de rodovias não pavimentadas: uma ferramenta Para o gerenciamento de malhas viárias**. Revista Pensar Engenharia, v. 2, n. 1, Belo Horizonte, jan. 2014.

CARDOSO, R. O. **O uso integrado de receptores GNSS e da Estação total na locação de edifícios**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – UFSM, Santa Maria. 2015.

DALOSTO, J. A. D.; COLTURATO, S. C.O.; PASQUALETTO, A. **Estradas vicinais de terra: estudo técnico da rodovia MT-336**. Enciclopédia Biosfera, v.13 n.23; p. 1637, 2016.

DAER – Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem. **Manual de Custos Rodoviário**. Vol. 2. Brasil, 2003.

DAER-RS – Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Rio Grande do sul. **Tabela de preços**. Rio Grande do Sul, 2016.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Manual de Pavimentação**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Brasil, 2006.

ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 1. Ed. Porto Alegre: Globo. 1965

FATTORI, B. J. **Manual para Manutenção de Estradas com Revestimento Primário**. Escola de Engenharia Civil – UFRGS. Porto Alegre, 2007.

GUEDES, S.; COUTINHO, R.; FONSECA, A. **Método de dimensionamento da espessura do revestimento das estradas de terra.** *Geotecnia*, Portugal, n.131; p. 113-134, Jul. 2014.

JÚNIOR, H. H. S.; FERREIRA, O. M. **Processos erosivos e perda de solo em estradas vicinais.** Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, Goiânia – GO, 2007.

JÚNIOR, J. M. C.; NETO, F. C. R.; ANDRADE, J. S. C. O. **Topografia Geral.** EDUFRPE. Recife, 2014.

LEE, S. H. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias.** Ed. 4. UFSC. Florianópolis, 2005.

LOCH, C. **Topografia contemporânea: planimetria.** 2. ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 2000.

MACEDO, E. L. **Noções de Topografia para Projetos Rodoviários.** 1. Ed. Cap. 18. Rio Grande. FURG, 2008.

MARQUES, G. L. O. **Notas de aula da disciplina de pavimentação.** Faculdade de Engenharia Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG, 2012.

MEDINA, J. & MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos.** 2a ed. Rio de Janeiro, 2005. 574 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos.** Rio de Janeiro, p. 8. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico.** Rio de Janeiro, p. 3. 1994.

NETO, F. S. D. **Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de antipó com emulsão de xisto.** 2004. 293 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

NUNES, T. V. L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso de redes neurais artificiais: Trecho de Aquiraz – CE.** Dissertação de Mestrado, UFC-CE, 2003. 118fls.

ODA, S. **Características de uma Rede Municipal de Estradas Não-pavimentadas**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP- SP, 1995.

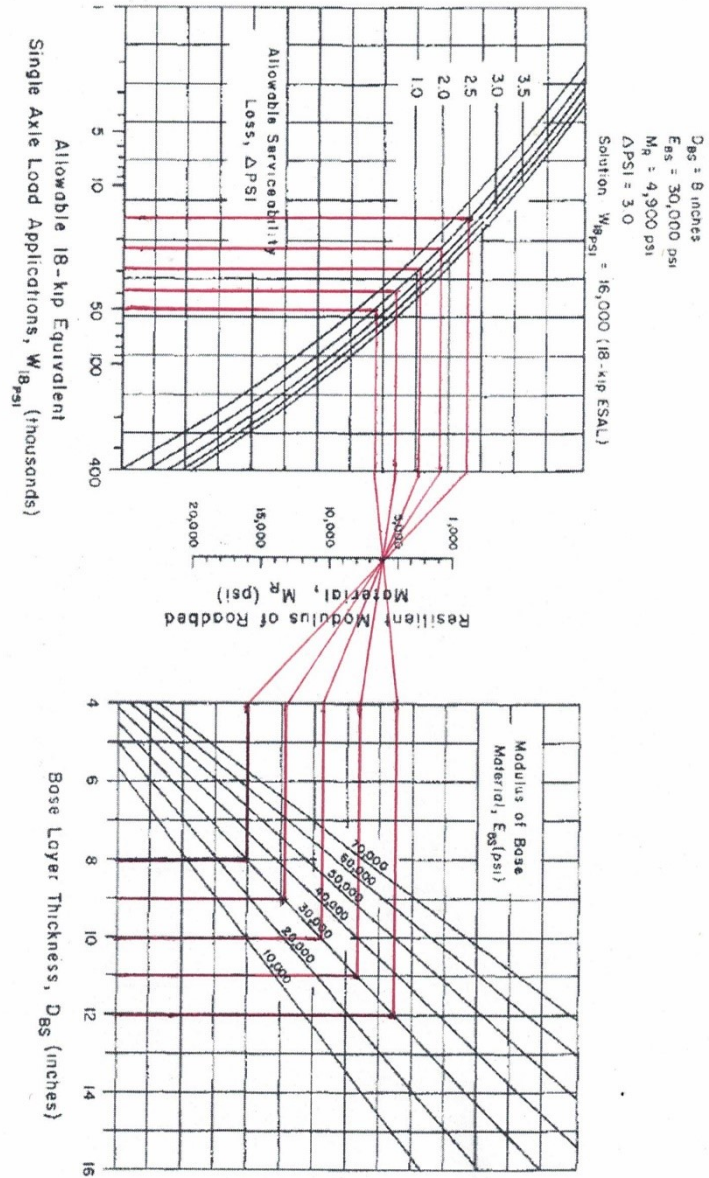
PRUSKY, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2ª edição. Editora UFV, 2009. 279p.

RODRIGUES, R. S. **Comparações entre coordenadas no plano topográfico local obtido a partir de topografia e de geodesia**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – UFSM, Santa Maria. 2015.

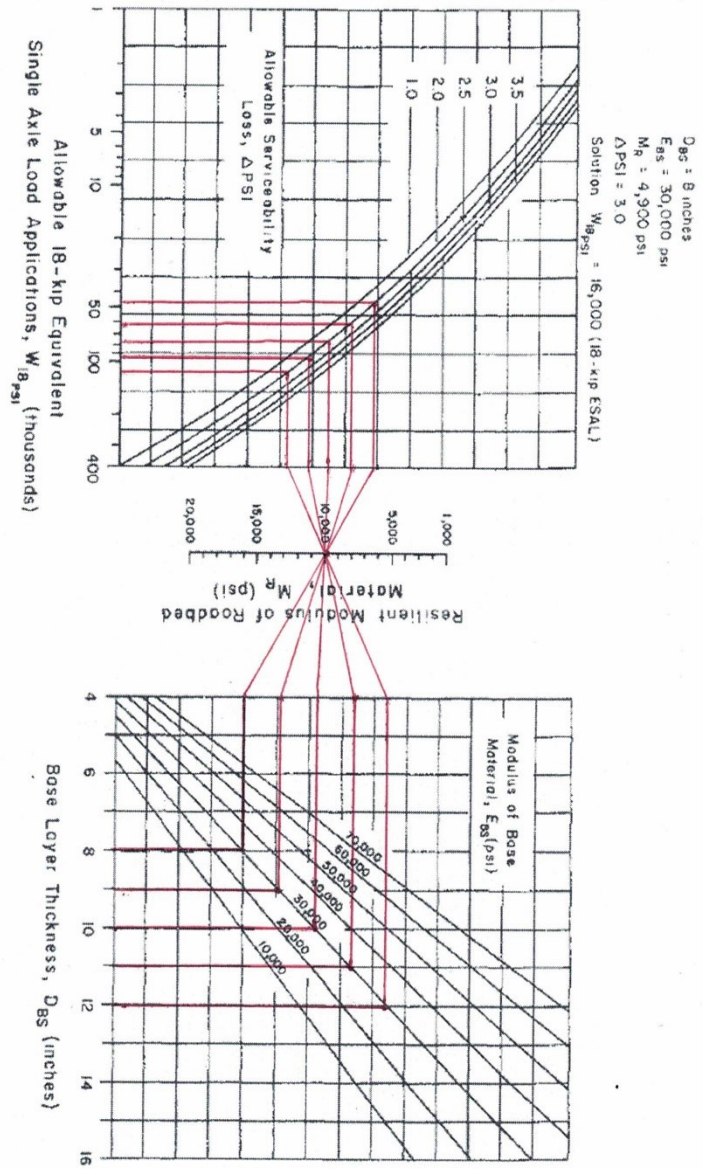
SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO, F. JR.; CUNHA, M. A. **Estradas Vicinais de Terra. Manual Técnico para Conservação e Recuperação**. 2ed, IPT- São Paulo, 1998.

SKORSETH, K.; SELIM, A. A. **Gravel roads: maintenance and design manual**. SD LTAP – US. Department of Transportation, Federal Highway Administration – FHWA, 2000.

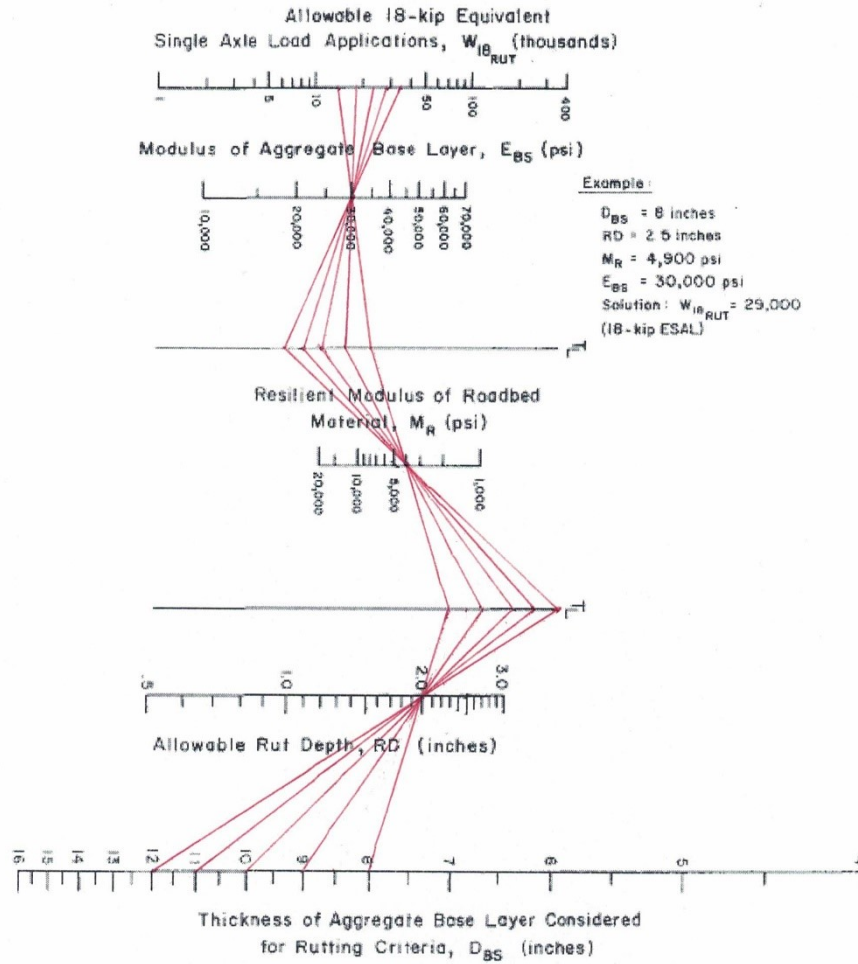
ANEXO 1 – INTERPOLAÇÃO GRÁFICA “PS” (MR_{Subleito} 6.000 MPa)



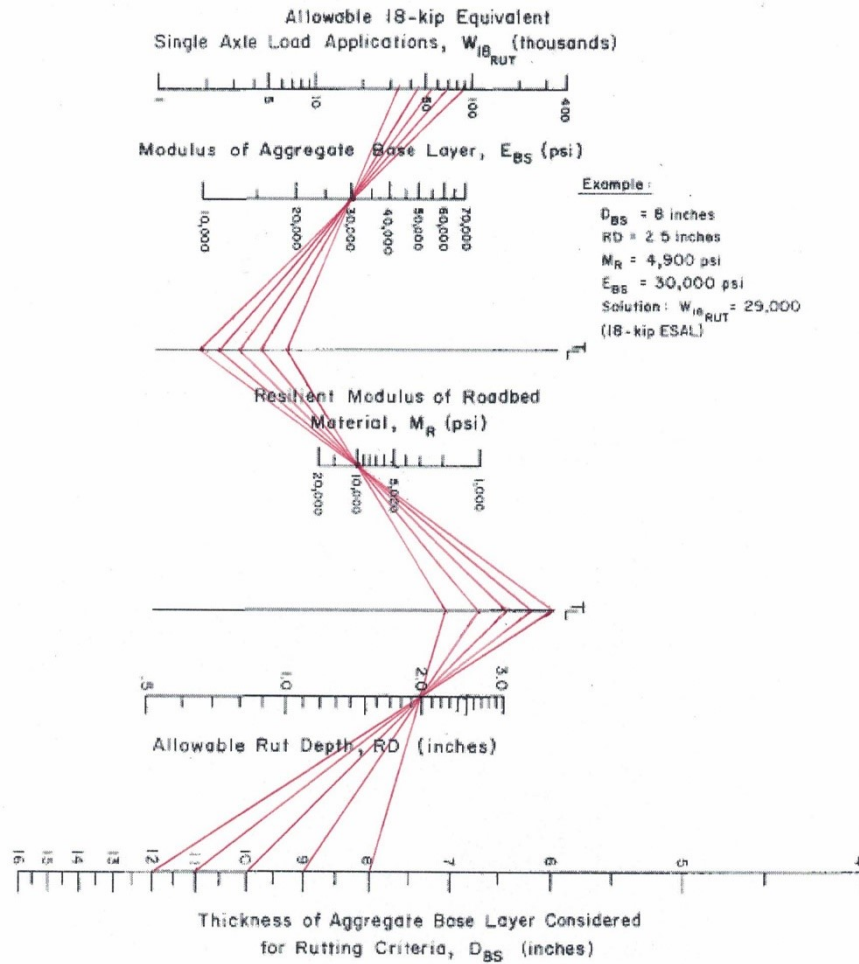
ANEXO 2 – INTERPOLAÇÃO GRÁFICA “PS” (MR_{Subleito} 10.000 MPa)



ANEXO 3 – INTERPOLAÇÃO GRÁFICA “CASE” ($M_{R_{Subleito}}$ 6.000 MPa)



ANEXO 4 – INTERPOLAÇÃO GRÁFICA “CASE” ($M_{R_{Subleito}} = 10.000 \text{ MPa}$)



APÊNDICE 1 – RELATÓRIO DO CÁLCULO DE VOLUME (TopoGraph)

Cópia de uso exclusivo de instituição de ensino. Não pode ser usada para fins comerciais. char *Pointer Informática
MDT: Cálculo do Volume

CÁLCULO SOBRE A MALHA RETANGULAR

ARQUIVO DE
DESENHO 1: levantamento PRIMEIRO MDT: TG
ARQUIVO DE
DESENHO 2: super_projeto SEGUNDO MDT: TG

PONTO 1	COORDENADA NORTE:	765,6272
	COORDENADA ESTE:	889,5686
PONTO 2	COORDENADA NORTE:	765,6272
	COORDENADA ESTE:	1.116,5686
PONTO 3	COORDENADA NORTE:	1.269,6272
	COORDENADA ESTE:	1.116,5686
PONTO 4	COORDENADA NORTE:	1.269,6272
	COORDENADA ESTE:	889,5686

COMPRIMENTO DO RETÂNGULO:	227,0000
LARGURA DO RETÂNGULO:	504,0000
AZIMUTE DO RETÂNGULO:	90°00'00"
INTERVALO DA MALHA:	1,0000

VOLUME DE ATERRO: 927,517 m3