

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

JEFFERSON BARBOSA PENA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA EXECUÇÃO DA
PAVIMENTAÇÃO DO TRECHO QUE LIGA A CIDADE DE BOA ESPERANÇA À
USINA TERMOQUÍMICA**

VARGINHA-MG

2020

JEFFERSON BARBOSA PENA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA EXECUÇÃO DA
PAVIMENTAÇÃO DO TRECHO QUE LIGA A CIDADE DE BOA ESPERANÇA À
USINA TERMOQUÍMICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção de grau bacharel, sob orientação da Profa. Ms. Tiely Zurlo Mognhol.

VARGINHA-MG

2020

JEFFERSON BARBOSA PENA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA EXECUÇÃO DA
PAVIMENTAÇÃO DO TRECHO QUE LIGA A CIDADE DE BOA ESPERANÇA À
USINA TERMOQUÍMICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção de grau bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Profa. Ms. Tiely Zurlo Mognhol

Profa. Laisa Cristina Carvalho

Prof. Felipe Pereira Melo

OBS:

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais Romildo de Oliveira e Lucimar Barbosa por serem minhas inspirações, não mediram esforços em ajudar para que conseguisse alcançar esta etapa. Dedico também aos meus avós Sebastião Barbosa, Nair Rodrigues e ao Tio Cezár Pena, que sempre me deram forças para que mantivesse firme ao longo de toda trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus pela grande e infinita misericórdia de ter preparado essa oportunidade, por ter me guardado e ajudado a todo instante, fazendo com que meus objetivos fossem alcançados com êxito. Sou grato por minha orientadora Tiely Zurlo Mognhol, por despertar em mim o interesse pela área de engenharia dos transportes, por acreditar em meu potencial e por contribuir para que este trabalho fosse concluído. Agradeço a minha família pelo apoio e compreensão, aos meus irmãos em Cristo que oraram por mim, meus amigos e todos aqueles que contribuíram de alguma forma, em especial minhas amigas Cinthia Barbosa, Joice Caetano e Tamires Silva. Continuo agradecendo a amizade e apoio incondicional da Júlia Moreira Almeida ao longo de todo período do curso.

“Porque eu, o Senhor teu Deus, te tomo pela tua
mão direita e te digo: Não temas, que eu te
ajudo.”

Isaías 41:13

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de viabilidade técnica e econômica para execução da pavimentação da estrada que liga a cidade de Boa Esperança - MG até Usina Termoquímica de Geração de Energia (UTGE). O estudo proposto se justifica pela necessidade de melhorar o pavimento da via, a fim de aumentar a qualidade do tráfego dos caminhões da coleta de resíduos e a segurança dos usuários. Para esse fim, foi elaborado um estudo preliminar no local envolvendo a análise das irregularidades do trecho e principais dificuldades para o tráfego de caminhões. Na sequência, foi determinado o volume médio diário (VMD) de veículos que trafegam pela via, adotando o método de contagem manual. Depois, com o VMD definido, foi possível definir a classificação da via pelo tipo de tráfego e calcular o número "N". Em posse desses resultados, foram dimensionadas as espessuras das camadas necessárias para a estrutura do pavimento, a seção transversal e longitudinal, considerando os efeitos de superlargura e superelevação, assim como estudos preliminares de drenagens e terraplenagem. Por fim, é apresentado o orçamento previsto para implantação da proposta.

Palavras-chave: Tráfego de veículos. Contagem volumétrica de veículos. Número "N". Pavimento flexível. Anteprojeto.

ABSTRACT

This work has as objective to present a study of the technical and economic viability to execute the road paving that connects the town of Boa Esperança – MG to the Thermo-Chemical Power Generation Plant (Brazilian initials UTGE – “Usina Termoquímica de Geração de Energia”). The proposed study is justified by the necessity of improving the road’s pavement, in order to increase the traffic quality for waste collecting trucks and the safety of the users. For that purpose, a preliminary study of the site has been elaborated, analyzing the main difficulties to the truck traffic in the road stretch. Following, the average of the daily volume (ADV) vehicles that traffic through the road was determined, with the manual counting method. Then, with a defined ADV, it was possible to define the classification of the road by the kind of traffic and to calculate the number “N. In possession of the results, the layer thickness was scaled to the pavement structure, the transversal and longitudinal section, considering the effect of super wide and super elevation, as the drainage and earthwork preliminary studies. Lastely, the proposal implementation budget is presented.

Keywords: *Vehicles traffic. Vehicles volumetric counting. Number “N”. Flexible pavement. Preliminary design.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Distribuição dos esforços nos pavimentos flexíveis e rígido	20
Figura 02 – Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas.....	20
Figura 03 – Classificação dos revestimentos.....	22
Figura 04 – Esquema de seção transversal do pavimento	24
Figura 05 – Critérios gerais básicos para o projeto altimétrico.....	26
Figura 06 – Tangentes longas concordadas com curva de raio pequeno.....	27
Figura 07 – Curvas de raio longo concordadas com tangentes curtas.....	28
Figura 08 – Esquema da concordância com curva circular simples.....	29
Figura 09 – Interpretação do sistema de superlargura em trechos curvos.....	31
Figura 10 – Forças atuantes em um veículo ao estar percorrendo trecho curvo	33
Figura 11 – Ficha de contagem volumétrica I.....	35
Figura 12 – Ficha de contagem volumétrica II.....	36
Figura 13 – Dimensionamento do pavimento.....	41
Figura 14 – Determinação das espessuras do pavimento	42
Figura 15 – Exemplo de trechos ascendentes	47
Figura 16 – Exemplo de trechos descendentes.....	47
Figura 17 – Seções transversais para determinação da largura das áreas de contribuição	51
Figura 18 – Traçado da estrada.....	54
Figura 19 – Percorso da estrada.....	58
Figura 20 – Espessuras finais das camadas	65
Figura 21 – Diagrama de Bruckner	67
Figura 22 – Seção transversal dos trechos em tangente	69
Figura 23 – Bacia de contribuição considerada para cálculos de sarjetas.....	72
Figura 24 – Sarjeta triangular de concreto (STC 01).....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Itens para apresentação de anteprojeto de engenharia.....	18
Quadro 02 – Rampas máximas.....	27
Quadro 03 – Valores máximos admissíveis de coeficiente de atrito transversal.....	32
Quadro 04 – Valores dos raios mínimos em função das taxas máximas de superelevação	33
Quadro 05 – Dispensação de superelevação.....	33
Quadro 06 – Espessura mínima de revestimento asfáltico em relação ao número "N"	36
Quadro 07 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego	38
Quadro 08 – Fator de Equivalência Total (e)	38
Quadro 09 – Coeficientes de equivalências estrutural.....	40
Quadro 10 – Espessuras mínimas de revestimento;	41
Quadro 11 – Classes de projeto para novos traçados de rodovias em áreas rurais.....	43
Quadro 12 – Características Técnicas para projeto de rodovias novas	44
Quadro 13 – Largura das faixas de rolamento.....	45
Quadro 14 – Coeficientes de escoamentos usuais em rodovias	50
Quadro 15 – Coeficiente de Rugosidade Manning.....	52
Quadro 16 – Problemas relatados no trecho estudado.....	56
Quadro 17 – Contagem volumétrica de veículos (Segunda-feira).	59
Quadro 18 – Contagem volumétrica de veículos (Terça-feira).....	60
Quadro 19 – Contagem volumétrica de veículos (Quarta-feira)	60
Quadro 20 – Contagem volumétrica de veículos (Quinta-feira)	60
Quadro 21 – Contagem volumétrica de veículos (Sexta-feira)	61
Quadro 22 – Extrapolação do Volume Hora para um dia (24 horas)	61
Quadro 23 – Classificação da via	62
Quadro 24 – Resultados ensaio do material do subleito.....	63
Quadro 25 – Espessuras mínimas para o revestimento de acordo com o número "N" encontrado	64
Quadro 26 – Características das curvas	66
Quadro 27 – Classificação da via de acordo com o número “N”	68
Quadro 28 – Taxa máxima de Superelevação admissível adotada.....	69
Quadro 29 – Valores das superlarguras das curvas 02 a curva 06	71
Quadro 30 – Orçamento	75

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

BGS – Brita graduada simples.

BGTC – Brita graduada tratada com cimento.

CAP – Cimento asfáltico de petróleo.

CBR – Índice de Suporte Califórnia.

CBRref – Índice de Suporte Califórnia do reforço do subleito.

CBRsb – Índice de Suporte Califórnia da sub-base.

CBRsl – Índice de Suporte Califórnia do subleito.

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes de Rodovias.

CM – Centímetros.

DEER/MG – Departamento de Edificação e Estradas de Rodagem de Minas Gerais.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte.

Ha – Hectares.

IP – Instrução de Projetos.

IP – Índice de plasticidade.

KB – Coeficiente da base.

Km – Quilometragem.

KR – Coeficiente do revestimento.

Kref – Coeficiente do reforço do subleito.

KS – Coeficiente da sub-base.

LL – Limite de liquidez.

M – Metros.

MG – Minas Gerais.

NBR – Normas técnicas.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Ton – Toneladas.

UNIT – Unitário.

UTGE – Usina Termoquímica de Geração de Energia.

VMD – Volume médio diário.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 JUSTIFICATIVA	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 Estudo de viabilidade técnica e econômica – Anteprojeto.....	17
4.1.1 Escopo do anteprojeto de engenharia	17
4.1.2 Parâmetros Técnicos.....	17
4.1.3 Diretrizes básicas	18
4.2 Pavimentação asfáltica	18
4.2.1 Particularidades e arranjos de pavimentos.....	19
4.2.2 Classificação dos pavimentos	19
4.3 Base e sub-base flexíveis.....	20
4.3.1 Bases e Sub-bases Granulares	20
4.3.1.1 Estabilização Granulométrica.....	20
4.3.1.2 Bases e Sub-bases Estabilizadas	21
4.3.2 Revestimentos.....	21
4.3.2.1 Revestimentos Flexíveis Betuminosos	22
4.3.2.1.1 Revestimentos Flexíveis Betuminosos por penetração	22
4.3.2.1.2 Revestimentos Flexíveis Betuminosos por mistura.....	22
4.3.2.2 Revestimentos Flexíveis por calçamento	23
4.3.2.3 Revestimentos Rígidos	23
4.4 Seção transversal	23
4.5 Alinhamento vertical	25
4.6 Curvas e tangentes.....	27
4.6.1 Estaqueamento.....	28
4.6.2 Concordância com curva circular simples.....	29
4.7 Superlargura	30
4.8 Superelevação	32
4.9 Dimensionamento pavimento flexível	34
4.9.1 Classificação das contagens.....	34
4.9.2 Contagem manual	34
4.9.3 Tráfego (Número “N”)	36
4.9.4 Ensaio CBR	38
4.9.5 Coeficientes estruturais.....	39
4.9.6 Determinação das espessuras das camadas	40
4.9.7 Espessura do acostamento	42
4.10 Classes de projetos.....	43
4.11 Largura da pista	44
4.12 Terraplenagem.....	45
4.12.1 Especificações Técnicas	45

4.12.2 Conceitos Básicos.....	46
4.12.3 Diagrama de massas ou diagrama de Bruckner.....	47
4.13 Drenagem	47
4.13.1 Sistema de Drenagem	48
4.13.2 Cálculos de sarjetas	49
5 METODOLOGIA.....	53
5.1 Classificação da pesquisa	53
5.2 Planejamento da pesquisa.....	53
5.3 Caracterização do estudo de caso	53
5.4 Etapas da pesquisa	54
6 DIAGNÓSTICOS	56
7 RESULTADO E DISCUSSÕES.....	59
7.1 Dimensionamento das camadas do pavimento flexíveis.....	59
7.1.1 Estudo de Contagem Volumétrica de Veículos.....	59
7.1.2 Determinação do número “N”	61
7.2 Determinação das espessuras das camadas.....	63
7.2.1 Determinação CBRs	63
7.2.2 Dimensionamento das camadas.....	64
7.2.3 Espessura adotadas para o acostamento	66
7.3 Seção longitudinal.....	66
7.3.1 Curvas e tangentes	66
7.4 Topografia do trecho	67
7.5 Seções transversais	68
7.5.1 Largura da pista de rolamento nos trechos de tangente.....	68
7.5.2 Largura do acostamento.....	69
7.5.3 Seção transversal dos trechos em tangente.....	69
7.5.4 Superelevação.....	69
7.5.5 Superlargura	70
7.6 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem.....	71
7.6.1 Cálculo da intensidade pluviométrica.....	71
7.6.2 Cálculo da vazão.....	72
7.6.3 Dimensionamento da sarjeta.....	73
7.7 Orçamento.....	74
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o conceito de pavimentação deu início do século XX, conhecido como macadamizar, referente a execução de camadas de macadame, entretanto veio sofrendo melhorias. Porém, no ponto de vista da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), em 2005, revelou que mais de 70 % do nosso sistema rodoviário é deficiente, com enfoque dos sucessivos do governo voltado para as melhorias na agropecuária. Associações de transportadores rodoviários, fizeram omissões para que se sensibilizassem com a necessidade de um plano de recuperação e administração da manutenção rodoviária, além da implantação de novas vias (BALBO, 2011).

O pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplenagem com objetivo de proporcionar aos usuários economia, conforto e segurança, visto que as condições apresentadas sobre uma via têm como principal finalidade apresentar uma melhor qualidade de rolamento, repassando para aos usuários uma condição de redução de custos operacionais dos veículos e redução do índice de acidentes (BERNUCCI, 2008).

De acordo com os problemas analisados, este trabalho foi elaborado com intuito de melhorias no trecho que liga a cidade de Boa Esperança – MG à futura Usina Termoquímica de Geração de Energia (UTGE), concluindo a necessidade de implantação da pavimentação.

Portanto, o trabalho visa apresentar um estudo para definição do anteprojeto do trecho citado, incluindo apresentação dos custos previstos para execução. O trabalho tem início no dimensionamento do pavimento, a partir da contagem volumétrica de veículos; definição do número “N”, pelo método da Prefeitura Municipal de São Paulo; e dimensionamento das espessuras necessárias para as camadas do pavimento, pelo método do DNIT. Para elaboração do anteprojeto geométrico, serão utilizados os princípios do traçado já existente e o Manual de Pavimentação do DNIT. Desta forma, será apresentado no anteprojeto, estudos preliminares de drenagens e empréstimos de terraplenagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esse trabalho tem como objetivo geral a definição de proposta de anteprojeto para a estrada que interliga a cidade de Boa Esperança – Minas Gerais até a Usina Termoquímica de Geração de Energia.

2.2 Objetivos específicos

Para a obtenção do objetivo geral, foram listados os seguintes objetivos específicos:

- Estudo de tráfego, identificando o número “N” pelo método da Prefeitura de São Paulo, tomando como base a contagem volumétrica de veículos de acordo com o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006);
 - Realizar ensaios de CBR, expansão e umidade ótima do material do subleito;
 - Dimensionar as espessuras necessárias para pavimento flexível, de acordo com Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER);
 - Elaborar os estudos de terraplenagem definindo a melhor configuração da geometria da via;
 - Analisar estudos de drenagem;
 - Apresentar o anteprojeto;
 - Apresentar o orçamento.

3 JUSTIFICATIVA

Nós, seres humanos, diariamente somos geradores de resíduos sólidos. Portanto, nas cidades, a gestão pública é responsável pelo recolhimento deste, assim como manter as vias públicas organizadas e sem poluição. Desta forma, o município tem que destinar estes resíduos há algum lugar específico, que não venha trazer danos para o meio ambiente.

Segundo o Artigo 9º da Lei 12305/2010 Art. 9º a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1. Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (JUSBRASIL, ART. 9º da Lei 12305/2010).

Diante deste impasse, Boa Esperança MG elaborou parceria com Furnas para a construção de um projeto experimental, que implica no desenvolvimento da Unidade de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos, no qual o município irá se adequar à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O processo de construção descritos no projeto, está na fase final, portanto a usina ainda não entrou em funcionamento, mas à data prevista para o término.

Atualmente, a UTGE ainda não está em operação, mas o local sempre foi utilizado para a destinação dos resíduos do município, formando o conhecido “lixão a céu aberto”. Assim, há trabalhadores que usufruem do lixo reciclável para tirar seus sustentos financeiros, trafegando neste trecho de motocicleta, bicicleta, etc. Não foi registrado nenhum acidente grave, mas caso permaneça nestas situações em que persiste o trecho, os riscos são grandes, pois os caminhões da coleta de lixo trafegam frequentemente.

Portanto, este trabalho se justifica na elaboração do anteprojeto de pavimentação da estrada que dá acesso a UTGE, visando melhorias nos aspectos de segurança, em atender as condições mínimas para tráfegos de veículos pesados, melhorando na economia da manutenção dos veículos. Nesta linhagem, visando também inibir a produção de pó (poeira) causados pelos veículos nas condições de clima seco, que afeta diretamente as pessoas que habitam próximo a estrada.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Estudo de viabilidade técnica e econômica – Anteprojeto

Para um projeto ser executado, é necessário passar por etapas. Em virtude destas, é essencial a elaboração do anteprojeto, local onde se organiza os estudos, fazendo-se responsável por descrever os critérios técnicos. Caso seja necessário um processo licitatório, o artigo 74 do Decreto de n. 7.581, de 11 de outubro de 2011, descreve que no anteprojeto serão necessários documentos técnicos como o escopo do anteprojeto de engenharia, os parâmetros técnicos e as diretrizes básicas.

4.1.1 Escopo do anteprojeto de engenharia

De acordo com o artigo 74 do Decreto de n. 7.581/2011, descreve que no anteprojeto, quando couber no todo ou em parte os seguintes documentos técnicos:

- Concepção da obra ou serviço de engenharia;
- Projetos anteriores ou estudos preliminares que embasaram a concepção adotada;
- Levantamento topográfico e cadastral;
- Pareceres de sondagem;
- Memorial descritivo dos elementos da edificação, dos componentes construtivos e dos materiais de construção, de forma a estabelecer padrões mínimos para a contratação.

4.1.2 Parâmetros técnicos

Segundo DNIT, para a concepção de Anteprojeto de Engenharia, necessitarão examinar os estudos de acordo com a obra em questão (duplicação, restauração ou implantação). Mediante isso, recomenda-se ser observados os seguintes parâmetros técnicos:

- Tráfego;
- Traçado;
- Topografia;
- Dados de sondagem do subleito, estudo de empréstimos para terraplenagem;
- Imagens do Sítio Google Earth;

- Identificação de áreas legalmente protegidas (Exemplo: Área de preservação permanente);
- Identificação de condicionantes de eventual licença ambiental emitida para o trecho estudado.

4.1.3 Diretrizes básicas

Para a apresentação do anteprojeto segundo o DNER (1999, IP 707, p. 17 e 18) “[...] será realizada de acordo com as recomendações das Instruções para Apresentação de Relatórios do DNER e constituir-se-á nos relatórios da fase preliminar e da fase definitiva.”

O quadro 01 demonstra o relatório final para a apresentação de anteprojetos de engenharia.

Quadro 01 – Itens para apresentação de anteprojeto de engenharia

Volume	Discriminação/ Materiais	Formato	
		Minuta	Impressão definitiva
1	Relatório de Estudo - Descrição sucinta das conclusões de resultados dos estudos e anteprojetos; -Relatório de Avaliação das Alternativas.	A4	A4
2	Anteprojeto de Engenharia - Quadro com características técnicas e operacionais; - Quadro de quantidades de serviço; - Anteprojetos.	A1	A3
3	Memória Justificativa - Estudos econômicos e de tráfego; - Estudos de anteprojetos e engenharia.	A4	A4
4	Orçamento -Custos dos serviços.	A4	A4

Fonte: Adaptado DNER (1999, IP 707, p. 18).

4.2 Pavimentação asfáltica

Segundo Balbo, a pavimentação são obras civis que visa o desenvolvimento operacional para o tráfego. Na construção, a superfície tende a ser plana para garantir o conforto no deslocamento dos veículos, sendo também menos ruidosa e mais aderente, visando a pista de rolamento com mais segurança e com melhor conforto (Balbo, 2011).

Deste modo, Balbo refere-se também na melhoria da pavimentação de uma determinada via, pois o usuário se desloca com maior velocidade, reduzindo o tempo de viagem e causando

uma redução expressiva nos valores operacionais, visando que os custos das manutenções dos veículos são diretamente proporcionais às condicionantes da via (Balbo, 2011).

4.2.1 Particularidades e arranjos de pavimentos

Pavimento é um conjunto de camadas que são constituídas sobre a terraplenagem (denominada subleito), que são destinadas a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança, resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT NBR 7207, 1982).

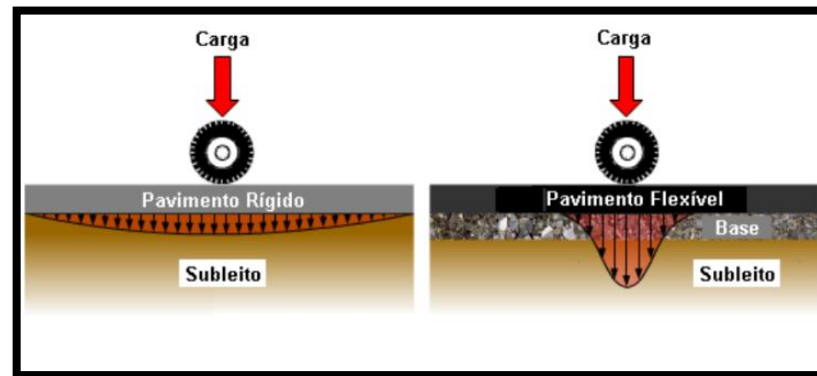
Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre semi-espaço, considerando teoricamente como infinito – a infraestrutura ou terreno de fundação a qual é designada subleito. O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas, é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato, resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego (DNIT, 2006, p. 95).

4.2.2 Classificação dos pavimentos

De acordo com DNIT (2006, p. 95), os tipos de pavimentos podem ser classificados em pavimentos flexíveis, semirrígidos e rígidos (diferença de esforços ilustrado na Figura 01).

- Flexível: é aquele em que as camadas sofrem deformações elásticas significativas sob o carregamento realizado, e assim, toda carga se distribui nas camadas de forma quase equivalente;
- Semirrígido: sua característica é sua base cimentada por um aglutinante, podendo ser exemplificada por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica;
- Rígido: tem uma elevada rigidez nas camadas inferiores, portanto, absorve todas as tensões provenientes do carregamento aplicado em sua superfície;

Figura 01 – Distribuição dos esforços nos pavimentos flexíveis e rígido

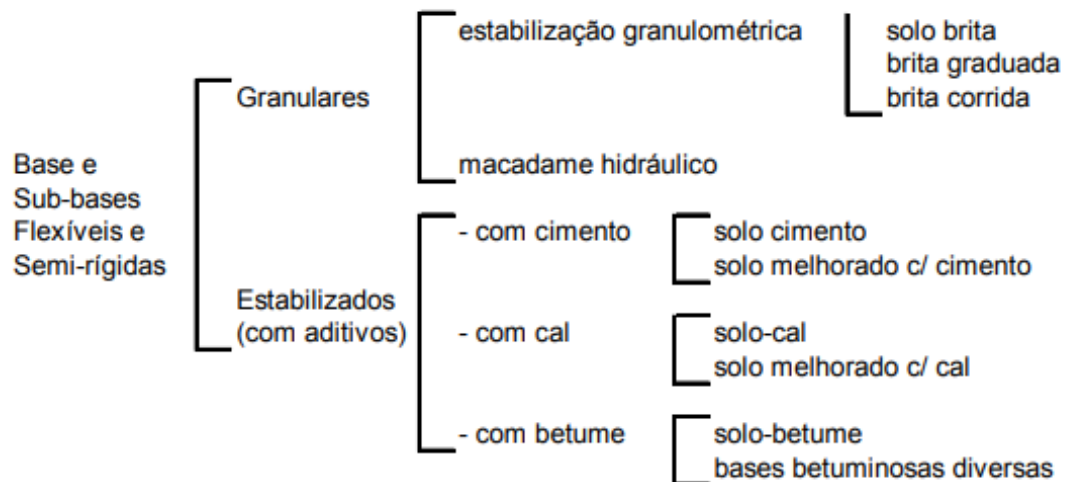


Fonte: Adaptado Balbo (2011, p.47).

4.3 Base e sub-base flexíveis

As bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas podem ser classificadas nos seguintes tipos (DNIT, 2006, pág. 96):

Figura 02– Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas



Fonte: DNIT, (2006, p.96).

4.3.1 Bases e sub-bases granulares

4.3.1.1 Estabilização granulométrica

São camadas granulares flexíveis que são consolidadas granulometricamente pela compactação do(s) material(ais) que apresentam granulometria adequada e índices geotécnicos

específicos. As camadas podem ser constituídas por britas de rochas, de escória de alto forno e solo, ou a combinação desses materiais (DNIT, 2006).

Materiais que são designados em jazidas, como “cascalho”, “saibros”, etc. podem sofrer beneficiamento prévio, como peneiramento e britagem, com vista ao enquadramento nas especificações. Esses materiais são denominados “materiais naturais” (solo in natura) (DNIT, 2006).

As bases e sub-bases de solo-brita, são aquelas elaboradas por misturas de materiais naturais e pedra britada e, quando são realizados com apenas produtos de britagem, considera-se base e sub-bases de brita corrida ou de brita graduada (DNIT, 2006).

4.3.1.2 Bases e Sub-bases estabilizadas

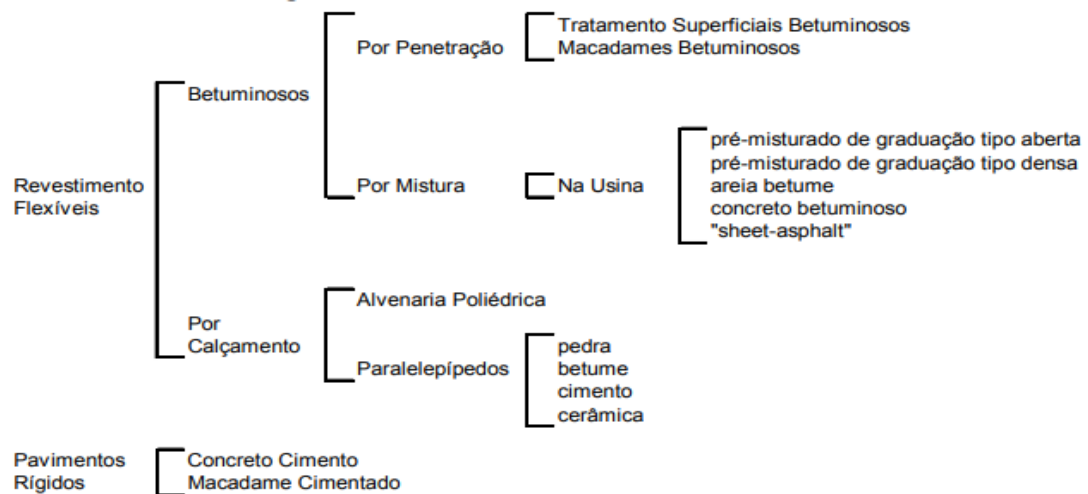
De acordo com DNIT, quase todas essas camadas têm processos tecnológicos e construtivos semelhantes às granulares por estabilização granulométrica, diferente apenas em alguns detalhes.

- Solo-cimento: Mistura de solo, cimento Portland e água, que devidamente compactadas devem cumprir certos requisitos de durabilidade, densidade e resistência. Usualmente, o teor de cimento adotado é da ordem de 6% a 10%.
- Solo Melhorado com Cimento: Elaborado com adição de pequenos teores de cimento (2% a 4%), obtendo o controle à modificação do solo no referido a sua plasticidade e sensibilidade à água.
- Solo-cal: Mistura de cal, água e solo, às vezes cinza volante, uma pozolona artificial.
- Solo melhorado com cal.
- Solo-betume: Mistura de material betuminoso com solo e água.
- Bases betumes diversas: Mesmos materiais e técnicas constituintes nos revestimentos betuminosos.

4.3.2 Revestimentos

Os revestimentos podem ser agrupados de acordo com o esquema apresentado a seguir (DNIT,2006):

Figura 03– Classificação dos revestimentos.



Fonte: DNIT (2006, p.98).

4.3.2.1 Revestimentos flexíveis betuminosos

São constituídos por agrupamentos de agregados e materiais betuminosos, podendo ser feita de duas maneiras: por penetração e por mistura (DNIT,2006).

4.3.2.1.1 Revestimentos flexíveis betuminosos por penetração

De acordo com o DNIT, esta modalidade envolve dois tipos distintos: por penetração invertida e por penetração direta.

- Por penetração invertida: Revestimento realizado com uma ou mais aplicações de material betuminoso, com objetivo primordial de impermeabilizar ou para alterar a textura existente, sendo denominado capa selante.
- Por penetração direta: Revestimentos “tipicamente” constituídos por Macadame Betuminoso, executado através do espalhamento, com compactação a cada camada de agregado, no qual eles com granulometria apropriada, sendo a última camada elaborada com agregado miúdo.

4.3.2.1.2 Revestimentos flexíveis betuminosos por mistura

O revestimento betuminoso desta modalidade, é elaborado de forma que, antes da compactação, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, podendo ser misturados

em usinas fixas ou feito na pista (Pré-misturado na Pista). Deste modo, nos seus respectivos processos construtivos, são adotadas ainda as seguintes designações (DNIT,2006):

- Pré-mistura a Frio: Quando os tipos de ligantes e agregados utilizados permitem que o espalhamento seja feito à temperatura ambiente.
- Pré-mistura a Quente: Quando os agregados juntamente com o ligante são espalhados na pista ainda quente.

4.3.2.2 Revestimentos flexíveis por calçamento

Na medida em que se intensificou a utilização de pavimentos asfálticos e de concreto, o uso deste tipo de revestimento ficou inviável economicamente. Porém, tem algumas vantagens no qual pode ser benéfico a sua utilização, tais como (DNIT, 2006):

- Em trechos de rampas mais íngremes;
- Em trechos urbanos, onde são necessários a manutenção frequente dos serviços de redes de água e esgotos;
- Em aterros recém-construídos e subleito sujeitos a recalques acentuados.

4.3.2.3 Revestimentos rígidos

Este tipo de revestimento funciona também como base, constituídos por “concreto”, com misturas rica em cimento Portland, areia, agregado graúdo e água (DNIT, 2006).

4.4 Seção transversal

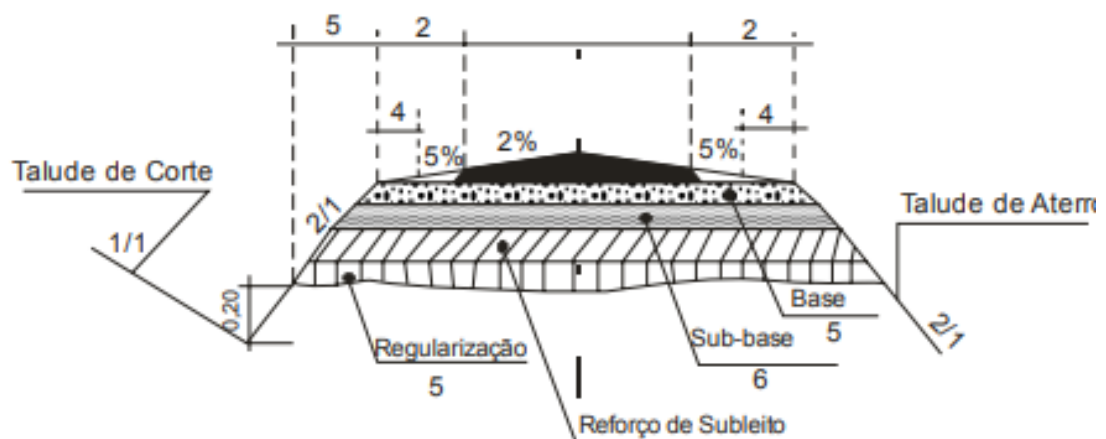
A seção transversal de rodovias, é representada ao alinhamento superficial que concede transversalmente, incluindo a pista de rolamento, acostamentos, taludes e plataformas, até a interseção com o terreno natural. Resulta também da interseção de um plano vertical perpendicular ao eixo com a superfície do corpo estradal, contido entre os limites da terraplenagem (DNER,1999).

De acordo com o (DNIT,2006) “a definição dos diversos constituintes do pavimento, em seção transversal, é a que segue”:

- Pavimento: é a estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente em seu conjunto:

- Resistir a distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego;
 - Melhorar as condições do rolamento quanto a comodidade e conforto;
 - Resistir aos esforços horizontais (desgastes), tornando mais durável a superfície de rolamento;
- Subleito: é o terreno de fundação do pavimento;
 - Leito: é a superfície obtida pela terraplenagem ou obra-de-arte e conformada ao seu greide e perfis transversais;
 - Greide do leito: é o perfil do eixo longitudinal do leito;
 - Regularização: é a camada posta sobre o leito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente de acordo com as especificações. A regularização, não constitui propriamente em cada pavimento, sendo, a rigor, uma operação que pode ser reduzida em corte do leito implantado ou em sobreposição a este, porém melhores que o material do subleito;
 - Sub-base: é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização;
 - Base: é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego, sobre a qual se constrói o revestimento;
 - Revestimento: é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinadas a melhorá-la, quanto á comodidade e segurança e a resistir ao desgaste.

Figura 04– Esquema de seção transversal do pavimento



Fonte: DNIT (2006, p. 106).

4.5 Alinhamento vertical

Da mesma forma que é importante a determinação do plano horizontal, é a determinação do plano vertical. As curvas devem ser dimensionadas respeitando as exigências mínimas funcionais nas mudanças de direção visualmente bruscas (DNER, 1996).

O que se leva em consideração, é as características geométricas no percurso do trecho, de modo que a atenção do motorista seja mantida frequentemente e que não seja perplexo por mudanças bruscas (DNER, 1999).

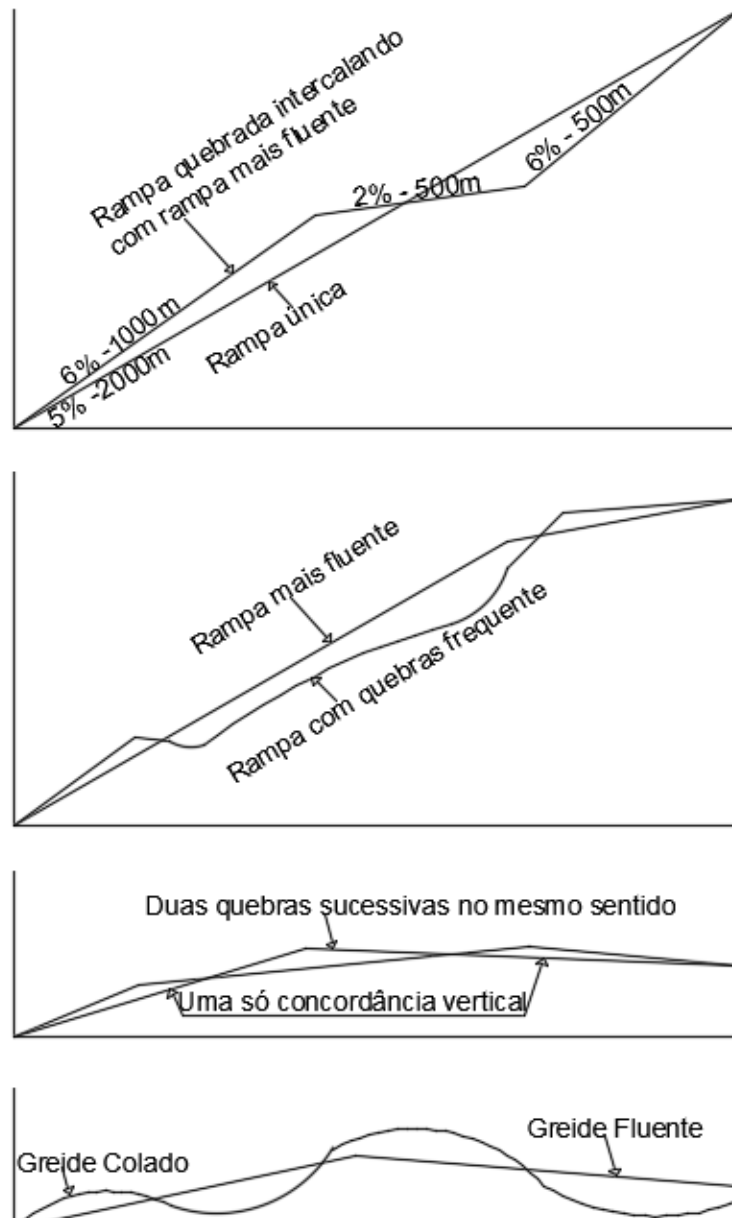
Tendo sempre em vista os custos e benefícios, visando sua fluência e aparência, os principais elementos fundamentais ao alinhamento vertical, são abordados na figura 05 e nos parágrafos a seguir (DNER, 1999):

a- Na elaboração do projeto, deve ser levado em consideração as frequentes alterações de menor vulto nos valores das rampas, sendo, quanto contínuas possíveis.

b- Para os trechos de rampas longas, são convenientes definir as rampas mais íngremes na parte inferior, suavizando no topo, visando aproveitar o impulso adquirido na parte plana ou descendente anterior à subida. No caso de trechos com rampas íngremes e rampas suaves, há possibilidades de intercalar, assim dispondo de valores poucos inferiores a rampas íngremes; rampas mais suaves, ao invés de dispor uma única rampa contínua.

c- Greides muito próximos, associados a traçados sensivelmente retos, são indesejáveis por motivos de segurança e estética, desde que essas situações levam aos usuários uma falsa impressão de brecha para ultrapassagem, proporcionando situações perigosas.

Figura 05– Critérios gerais básicos para o projeto altimétrico



Fonte: Adaptado DNER (1999, p. 123).

As rampas influenciam diretamente na capacidade das rodovias, como por exemplo, veículos comerciais em trechos de rampas íngremes em rodovias montanhosas, que podem representar em termos de capacidade o equivalente a algumas dezenas de automóveis (DNER,1999).

As rampas têm-se alinhar com as demais características técnicas e operacionais da rodovia. Portanto, na classificação do projeto, principalmente em rodovias de classes mais altas, deverão ser levadas em considerações as características técnicas descritas no quadro 02. Caso não se enquadre, o projeto será restringido (DNER,1999).

Os valores máximos recomendados para as rampas, de acordo com a classe de projeto, são descritos no quadro 02. Entretanto, é almejado evitar o máximo a utilização desses valores (DNER, 1999).

Quadro 02 – Rampas máximas

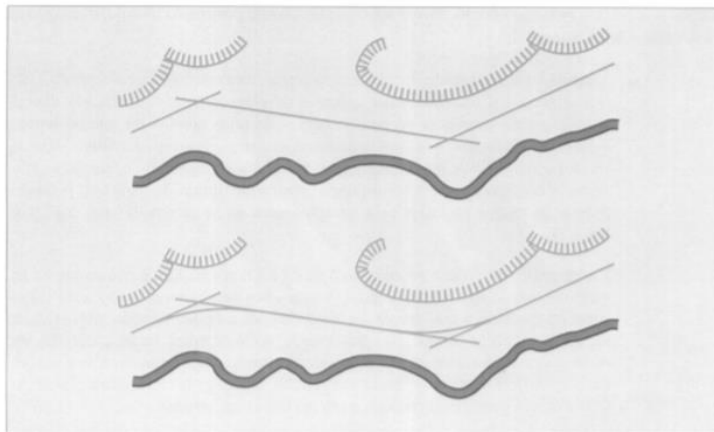
Classes de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,0%	4,0%	5,0%
Classe I	3,0%	4,5%	6,0%
Classe II	3,0%	5,0%	7,0%
Classe III	4,0%	6,0%	8,0%
Classe IV-A	4,0%	6,0%	8,0%
Classe IV-B	6,0%	8,0%	20,0%

Fonte: Adaptado DNER (1999, p. 124).

4.6 Curvas e tangentes

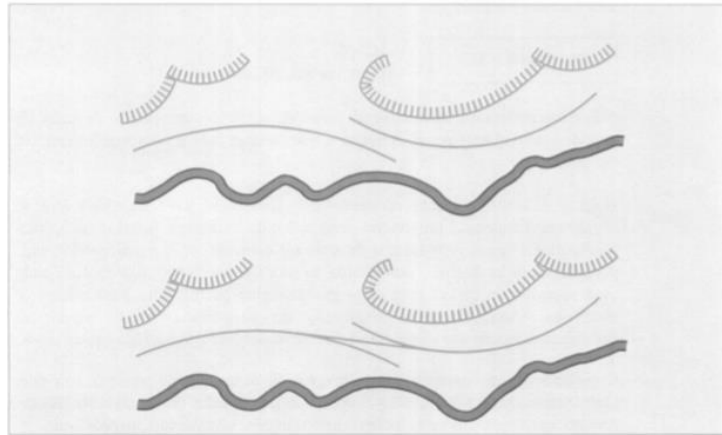
O tracejado de uma rodovia é composto alternadamente por trechos retos (chamados de tangentes) e trechos curvos (curvas horizontais). Desta forma, deve analisar a melhor condição (exemplificado nas figuras 06 e 07). Usualmente é estudado as características geotécnicas das áreas, as desapropriações, entre outros; elaborando estrategicamente o trajeto, alternando as duas condições para oferecer segurança ao usuário (DNER, 1999).

Figura 06 – Tangentes longas concordadas com curva de raio pequeno



Fonte: DNER (1999, p.64).

Figura 07– Curvas de raio longo concordadas com tangentes curtas



Fonte: DNER (1999, p.64).

Na interseção de dois trechos tangentes, há três tipos de curvas a serem analisadas, tais elas (DNER, 1999);

I. Curva horizontal circular simples: quando dois trechos em tangentes são ligados por um arco de círculo.

II. Curva horizontal circular composta: quando dois trechos em tangente são conectados por dois ou mais arcos de círculo de raios diferentes, sucessivamente tangente girando no mesmo sentido.

III. Curva horizontal composta com transição: combinação de curvas de raios variáveis com curva de raio constante. Nesse caso, a tangente é conectada com uma curva circular por meio de uma curva de raio variável (curva de transição).

4.6.1 Estaqueamento

Com a geometria previamente definida, com o propósito de caracterização dos elementos constituintes da rodovia, deverá ser sucessivamente separada por pontos ao longo do eixo, no qual ajudarão para fins posteriores a materialização do eixo projetado e também para os demais elementos constituintes da rodovia (LEE, 2017).

Estes pontos são denominados como estacas, marcados a cada 20,00 metros de distância a partir do início do trecho e enumerados sequencialmente a partir da estaca 0. As marcações das tangentes não oferecem dificuldades, porém nos trechos em curvas ocorre perdas de precisão por não acompanhar os arcos das curvas (LEE, 2017).

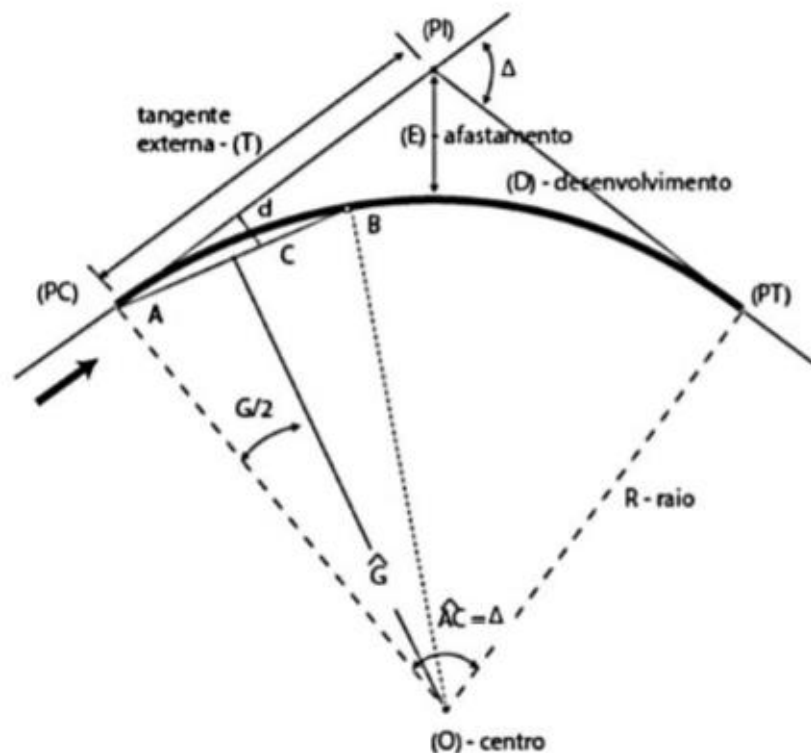
Nos trechos curvos, o DNIT determina a obrigatoriedade de marcar além das estacas “inteiras”, mas também outros pontos (correspondentes estacas intermediárias), para melhorar a precisão na caracterização do eixo (LEE, 2017).

4.6.2 Concordância com curva circular simples

As curvas circulares simples, são os trechos entre dois alinhamentos retos que se interceptam em um vértice. Para projeto geométrico de rodovias, a curva circular simples é sempre requerida, devido as boas propriedades que essa modalidade de curva oferece, tanto para o tráfego e os usuários, como para o projeto da curva nos processos de locação (LEE,2017).

O esquema de uma concordância com curva circular simples, é representado na figura 08. Para a facilidade de notação, convencionalmente são utilizados alguns elementos técnicos característicos descritos posteriormente.

Figura 08– Esquema da concordância com curva circular simples



Fonte: Adaptado DNIT (2006).

PC – Ponto de curva (ponto de início da curva, pode ser denominado PCE (esquerda) ou PCD (direita));

PT – Ponto de tangente (extremidade oposta ao PC);

T – Tangente (segmentos de reta que unem os Pontos de Curva (PC) e de Tangente (PT) ao Ponto de Interseção (PI)).

D – Desenvolvimento da curva (é o comprimento do arco de círculo, desde o PC até o PT.);

$\Delta = AC$ - Ângulo de deflexão (é o ângulo formado pelos raios que passam pelo PC e PT e que se interceptam no ponto O);

R – Raio da curva (é o raio do arco de círculo empregado na concordância, expresso em metros);

O – Centro da curva;

E – Afastamento (é a distância entre o PI e o ponto médio da curva.);

G – Grau da curva (é o ângulo central que corresponde a uma corda de comprimento c.);

d – Deflexão sobre a tangente (ângulo formado entre a tangente T e uma corda de comprimento c partindo do PC.);

C – Corda

4.7 Superlargura

As larguras da pista são determinadas de acordo com a velocidade e também pelos tipos de veículos que irão usufruí-las. Para a realização da largura mínima da pista, temos a expressão (DNIT, 2006):

$$L = U + 2C$$

Em que:

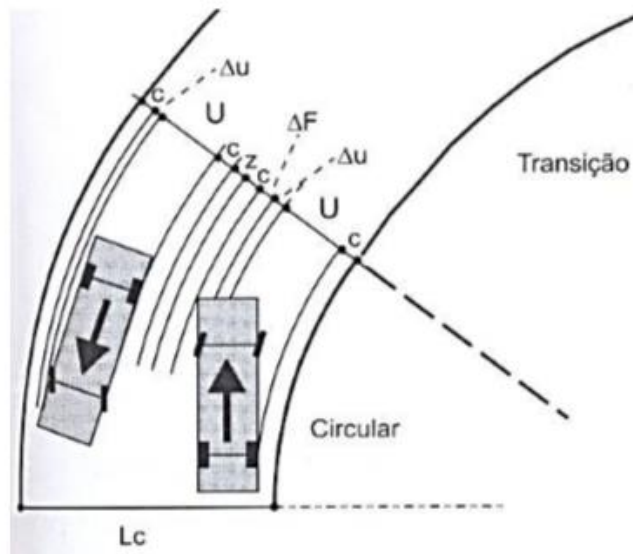
L: Faixa de tráfego de trânsito;

U: Largura do veículo (Para caminhões SR, $U=2,60\text{m}$);

C: Espaços de segurança (Para caminhões SR, $C=0,50\text{m}$);

Desta forma, em curvas acentuadas vem a necessidade de aumentar a largura, pois o veículo é rígido e não acompanha a curvatura, podendo não conseguir respeitar as distâncias mínimas dos demais veículos ou a distâncias necessárias entre o veículo e o bordo da pista, colocando em risco a segurança dos usuários (Figura 09). Portanto, por estes motivos tem a necessidade de calcular a superlargura (DNER, 1999).

Figura 09– Interpretação do sistema de superlargura em trechos curvos



Fonte: Adaptado DNER (2006, p.72).

O cálculo do alargamento da pista em trechos curvos é dado pela sequência de cálculo adaptada do DNER (DNER, 1999):

$$\Delta L = 2\Delta U + \Delta F + B + z$$

Onde:

- ΔL : Superlargura da estrada;
- ΔU : acréscimo da largura do veículo devido à diferença de trajetória entre as rodas dianteiras e traseiras;

$$\Delta U = R_c - \sqrt{(R_c^2 - S^2)}$$

Em que:

- R_c : Raio da Curva;
- S : distância entre eixos do veículo padrão;
- ΔF : acréscimo de largura devido à diferença de trajetória entre a borda externa do pneu e a frente do veículo;

$$\Delta F = \sqrt{R_c^2 + F(2S + F)} - R_c$$

Sendo:

- F: distância entre o eixo dianteiro e a frente do veículo padrão;
- B: distância entre a borda externa do pneu traseiro e a lateral do veículo;
- Z: espaço de segurança para compensar a maior dificuldade de operação do veículo nas curvas;

$$z = \frac{V_p \text{ (Velocidade de Projeto)}}{10 * \sqrt{Rc}}$$

4.8 Superelevação

A superelevação é a inclinação transversal necessária nas curvas, contendo a força centrífuga desenvolvida pelos veículos, para dificultar a derrapagem (Figura 10). Portanto, ela é calculada em torno do raio de curvatura e também da velocidade do veículo. De acordo com o DNER, o raio necessário mínimo das curvas é dado pela fórmula (DNER, 1999);

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 * (e_{\max} + f_{at,\max})}$$

Onde:

R_{\min} : Raio mínimo da curva (m)

V: Velocidade diretriz do projeto (km/h)

$f_{at,\max}$: Dado em função da velocidade diretriz, de acordo com o quadro 03.

Quadro 03 - Valores máximos admissíveis de coeficiente de atrito transversal

Velocidade Diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coeficiente de atrito transversal f_{\max}	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: Adaptado DNER (1999, p. 105).

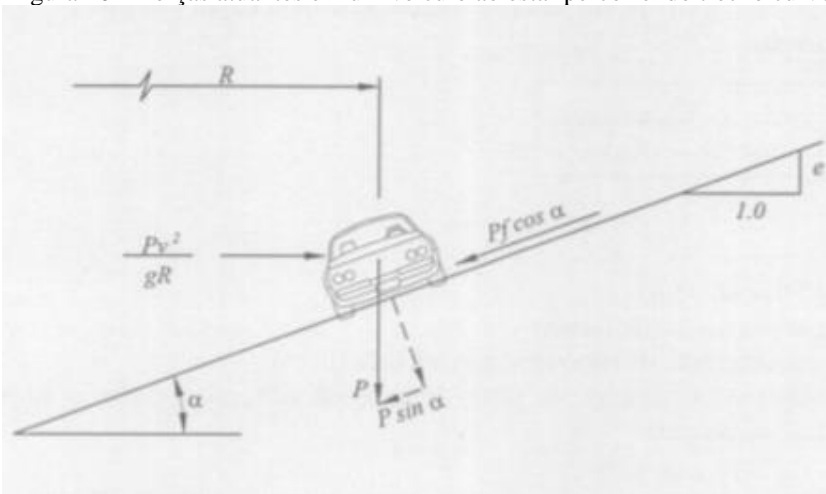
e_{\max} : taxa máxima de superelevação admissíveis, dada pelo Quadro 04.

Quadro 04 – Valores dos raios mínimos em função das taxas máximas de superelevação

$E_{m\acute{a}x}$	Casos de Emprego
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10%	Máximo normal. Adequado para fluxo interrompido. Adotar para regiões de Classe 0 e Classe I, em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior ao normal. Adotar para rodovias Classe I em regiões montanhosas e rodovias das demais classes de projeto.
6%	Valor inferior ao normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em que o tráfego está sujeito a reduções de velocidade.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa adjacente.

Fonte: Adaptado DNER (1999, p. 71).

Figura 10 – Forças atuantes em um veículo ao estar percorrendo trecho curvo



Fonte: DNER (1999, p. 72).

De acordo com o raio mínimo, a superelevação é dada pela equação:

$$e = e_{max} \times \left(\frac{2R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right)$$

Se aumentarmos o raio da curva, a força centrífuga diminui, sendo assim, o veículo é equilibrado unicamente com o atrito transversal, dispensando os efeitos de superelevação. O quadro 05 a seguir, demonstra quando esses efeitos podem ser desconsiderados (DNIT,2006).

Quadro 05 – Dispensação da superelevação

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥100
Raio (m)	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Fonte: Adaptado DNIT,2006.

4.9 Dimensionamento pavimento flexível

Para o dimensionamento do pavimento, a princípio é necessário conhecer a quantidade e os tipos de veículos que trafegam no trecho. Desta forma, o DNIT propõe as contagens volumétricas, que têm como objetivo determinar a quantidade, o sentido e a direção do fluxo de veículos, que passam por determinado trecho em uma certa unidade de tempo. Essas informações serão usadas no dimensionamento do pavimento, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, na análise de capacidade, nos projetos de canalização do tráfego, entre outras melhorias (DNIT, 2006).

4.9.1 Classificação das contagens

Conforme o Manual de Estudo de Tráfego, as contagens podem ser classificadas de acordo com a finalidade de estudo (DNIT,2006):

- Contagens Globais: São contagens de tráfego que independe o sentido do fluxo, ou seja, todos veículos que circulam pela via. É usual para preparação de mapas de fluxo, determinação de tendências de tráfegos e empregadas em cálculos de volumes diários (DNIT, 2006).
- Contagem Direcionais: São as contagens de tráfego que leva em consideração o sentido do fluxo. É usual para determinação de intervalos de sinais, justificação de controles de trânsitos, previsões de faixa adicional, estudos de acidentes, etc. (DNIT, 2006).
- Contagens Classificadoras: Este tipo de contagem é o mais completo, pois leva em consideração o sentido do fluxo e também os tipos e classes de veículos. É usual para dimensionamentos estruturais e projetos geométricos de rodovias, cálculo de benefícios aos usuários, cálculo de capacidade e determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas (DNIT, 2006).

4.9.2 Contagem manual

Há diferentes tipos de contagens de tráfego, mas as contagens volumétricas manuais são elaboradas por pesquisadores, com a ajuda de fichas e contadores manuais, com objetivo de ter a classificação dos veículos que trafegam. O processo usual, é manusear contadores manuais mecânicos juntamente com uma prancheta, na qual também estabelece a ficha de transição dos dados.

Figura 12 – Ficha de contagem volumétrica II

CONTAGEM VOLUMÉTRICA

The form includes fields for 'PROJETO', 'LOCAL', 'Linha', 'Tramo', and 'Cilindros'. The main grid has columns numbered 01 to 24 and a 'TOTAL' column. Rows are categorized by 'LARGURA DE PISTÃO' (01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24) and 'LARGURA DE VEÍCULO' (01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24). A small diagram of a road intersection is shown in the top right corner.

Fonte: DNIT, (2006, p.105).

4.9.3 Tráfego (Número “N”)

Mediante o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), o número “N” é o fator de dimensionamento para o pavimento flexível, se definindo como número teórico que os veículos trafegam na via. Portanto, é um padrão que leva a via em exaustão, estabelecido para representar características do tráfego, tendo seu valor por eixo padrão definido como 8,2 toneladas (18.000 lb ou 80 KN). Esse fator pode ser utilizado para indicar a espessura mínima de revestimento asfáltico para a via em questão, podendo ser identificado a partir do quadro 06 a seguir, que foi elaborado pelo DNIT para a simplificação dos cálculos.

Quadro 06 - Espessura mínima de revestimento asfáltico em relação ao número "N"

NÚMERO “N”	ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso 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 (2006).

Segundo a Instrução de Projetos IP 02/2004 (Classificação das Vias) – Prefeitura do Município de São Paulo, as vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas, para fins de dimensionamento de pavimento, de acordo com o tráfego previsto para as mesmas, das seguintes maneiras:

- Tráfego leve – ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número "N" típico de 10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de projeto de 10 anos;
- Tráfego médio – ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de 10 anos;
- Tráfego meio pesado – para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de 10 anos.
- Tráfego pesado – ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 301 a 1000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de 2×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de projeto de 10 anos a 12 anos;
- Tráfego muito pesado – ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por número "N" típico superior a 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de 12 anos.

O quadro 07 a seguir, desenvolvido pela Prefeitura do Município de São Paulo, mostra os parâmetros adotados para a classificação das vias.

Quadro 07 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/ Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,70 x 10 ⁴ a 1,40 x 10 ⁵	10 ⁵
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40x 10 ⁵ a 6,80x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 ⁵ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 ⁷ a 3,3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 ⁷ a 6,7 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 ⁶⁽¹⁾	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷

N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.

Notas:

(1) Majorado em função do tráfego (excesso de frenagem e partidas)

(2) Números de solicitações adotadas:

$$N = 365 \times 10 \times V_o \times 1,25 \times e = 4560.V_o.e$$

$$N = 365 \times 12 \times V_o \times 1,30 \times e = 5690.V_o.e$$

Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo (2004, p. 04).

Para o cálculo do número “N”, segundo a Instruções de Projetos IP 02/2004 (Classificação das vias) – Prefeitura do Município de São Paulo deve-se considerar um fator de equivalência total (e) usado na fórmula de número de solicitações adotadas, como mostra o quadro 08 a seguir.

Quadro 08 – Fator de Equivalência Total (e)

Valores Finais Adotados	Equivalências
Vias Urbanas Típicas (I)	e=1,50
Vias Urbanas com Indústrias e depósitos (II)	e=2,30
Vias com Ligação às Rodovias Marginais (III)	e=5,90

Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo (2004, p.12).

4.9.4 Ensaio CBR

É o primeiro método criado para pavimento flexível, embasado em bases estreitamente empíricas, com considerável número de avaliações experimentais e laboratoriais, levando em considerações o desempenho dos materiais de pavimentação. O engenheiro criador, O. J. Porter

do *California Division of Highways* (CDH), teve alguns critérios básicos de ruptura adotado, sendo aquele por cisalhamento do subleito e camadas granulares, que causariam o aparecimento de sulcos nas trilhas de rodas ou mesmo rupturas plásticas no subleito (BALBO, 2011).

A vários métodos de dimensionamento de pavimento flexível, sendo este método utilizando o ensaio de CBR. Mesmo levando em consideração várias correlações empíricas, ele é frequentemente usado, seguindo os parâmetros do critério normativo oficial para projeto de pavimentos asfálticos, por exemplo (BALBO, 2011).

O ensaio de CBR foi adotado inicialmente pelo CDH no final da década de 1920, quando testes em pista e ensaios laboratoriais em grande escala foram realizados com o objetivo de se fazer previsões sobre o desempenho dos materiais de pavimentação então utilizados. Os materiais britados, usados em bases, forneceram uma média de valor de resistência a penetração que, a partir de então, foi designado como CBR=100%. Os experimentos realizados objetivaram, também, a quantificação de espessuras de materiais mais nobres a serem colocadas sobre o subleito, tendo em vista o CBR desse solo de subleito, para que ficasse protegido contra efeitos de deformações e análises de materiais de subleito retirado de pistas de rolamento permitiram que fossem delineados alguns aspectos, na Califórnia, eram constituídos de cama de base brita ou pedregulho bem graduado sobre o subleito, com um delgado de revestimento asfáltico (BALBO, 2007, p. 377 - 378).

Portanto, para o dimensionamento do trecho rodoviário, é necessário conhecer o material do subleito para dimensionar as demais camadas. Assim, é indispensável o uso do ensaio do CBR, sendo o trecho dividido em segmentos homogêneos, visto também a necessidade dos CBR's dos materiais das demais camadas constituintes, para poder analisar se o material está convergente.

Os materiais empregados nas camadas dos pavimentos devem seguir as seguintes características (DNIT, 2006):

- Caso necessite do reforço do subleito, o mesmo deve apresentar CBR maior que o do subleito;
- Os materiais utilizados para a sub-base devem apresentar materiais com $CBR \geq 20\%$;
- Os materiais utilizados para a base devem apresentar $CBR \geq 80\%$.

4.9.5 Coeficientes estruturais

Há vários materiais constituintes para serem usados nas camadas dos pavimentos. Cada material tem sua peculiaridade, portanto, no seu dimensionamento são multiplicados por um

coeficiente, determinando a espessura equivalente de material que a camada deve constituir (DNIT, 2006).

Os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais constituintes das camadas de revestimento, base e sub-base, são definidos de acordo com o quadro 09 a seguir (DNIT, 2006):

Quadro 09 – Coeficientes de equivalências estrutural

Componentes do pavimento	Coefficiente 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 dia, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dia, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: Adaptado DNIT (2006, p.146).

No Manual de Pavimentação do DNIT, os coeficientes de equivalência estrutural nas inequações para cálculos das espessuras das camadas, se definem como:

- Revestimento – KR;
- Base – KB;
- Sub-base – KS.

4.9.6 Determinação da espessura das camadas

A camada de revestimento, pode ser constituída por diversos materiais, ficando a critério do projetista. Sempre é analisado a viabilidade dos materiais na região, desde que atenda as espessuras mínimas. O DNIT propõe o uso de materiais betuminosos com as respectivas camadas mínimas, de acordo com o quadro 10 (DNIT,2006):

Quadro 10 – Espessuras mínimas de revestimento

N	Espessuras Mínima de Revestimento Betuminoso
$10^6 \leq N$	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
$5 \times 10^7 \leq N$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Adaptado DNIT (2006, p. 147).

As espessuras das camadas do pavimento, são obtidas a partir das fórmulas elaboradas pelo Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT,2006).

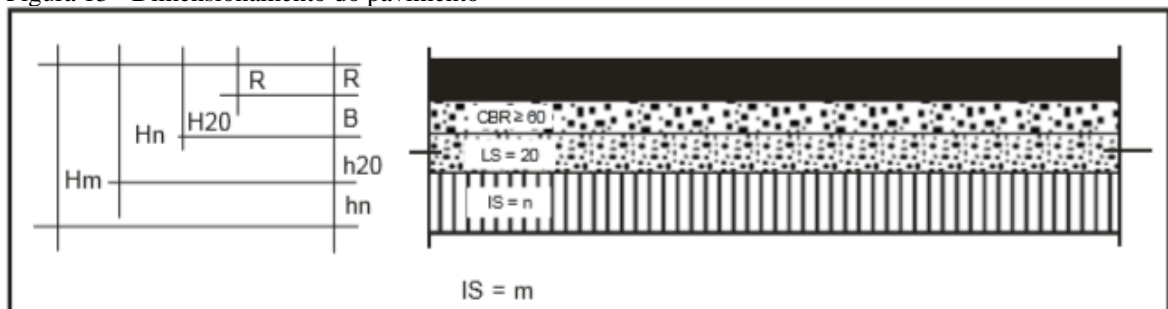
$$R_{Kr} + B_{Kb} \geq H_{20}$$

$$R_{Kr} + B_{Kb} + h_{20} \geq H_n$$

$$R_{Kr} + B_{Kb} + h_{20} + h_n \geq H_m$$

Os símbolos utilizados para determinação das espessuras do pavimento, apresentados na figura 13 encontra-se o “Hm”, definindo a espessura total do pavimento para proteger o material com CBR = m; “Hn”, definindo a espessura total do pavimento para proteger o material com CBR = n; “H20” e “h20”, definindo a espessura total do pavimento para proteger o material com CBR = 20%, uma vez que mesmo que o CBR da sub-base seja superior a 20%, a espessura do pavimento necessário para protege-la é determinada como se este valor fosse 20%. Os símbolos “B” e “R” representam as espessuras da base e revestimento, respectivamente. (PINTO, PREUSSLER, 2010). A figura 13 a seguir mostra a divisão das camadas do pavimento.

Figura 13 - Dimensionamento do pavimento

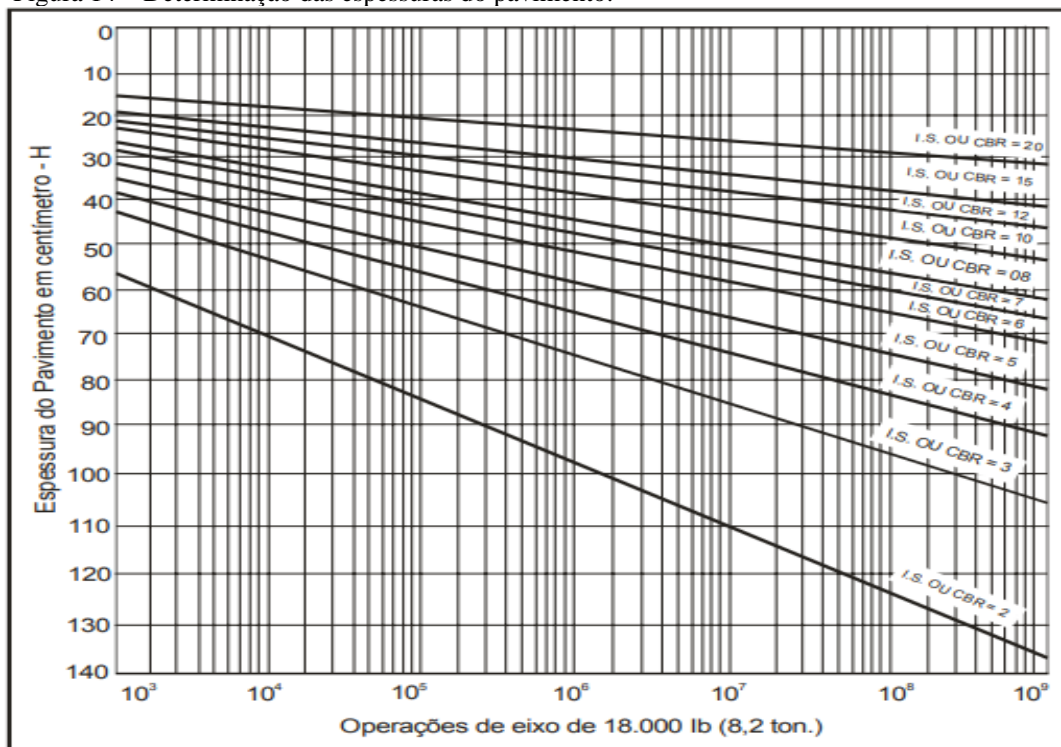


Fonte: DNIT (2006, p. 149).

Para o procedimento dos cálculos, encontramos as espessuras de H_m , H_n e H_{20} no Figura 14, que representa um ábaco disposto pelo DNIT, de acordo com o número “N”, avançando verticalmente até a reta com o valor do CBR, analisando horizontalmente até o valor da espessura do pavimento. Também pode ser encontrado de acordo com a fórmula a seguir, conforme consta no Manual de Pavimentação do DNIT (2006):

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0452} \times CBR^{-0,598}$$

Figura 14 – Determinação das espessuras do pavimento.



Fonte: DNIT (2006, p. 149).

No dimensionamento da base e sub-base, a espessura mínima para materiais granulares é de 15 cm. Caso calculada pelas inequações forem menores, por segurança devem adotar a mínima (DNIT, 2006).

4.9.7 Espessura do acostamento

Para o dimensionamento das espessuras dos acostamentos, não há maneira específica. No entanto, o acostamento está condicionado as mesmas espessuras das camadas da pista de rolamento. Por conseguinte, é usual adotá-las iguais. Todavia pode haver solicitações de cargas diferentes na camada de revestimento, podendo sofrer algumas alterações nesta camada (DNIT, 2006).

As semelhanças, nos acostamentos da mesma estrutura da pista de rolamento, resultam em efeitos favoráveis, simplificando os problemas de drenagens, mas quando a camada de base é de custo elevado, pode-se projetar outras soluções com menor custo (DNIT, 2006, p. 147).

4.10 Classes de Projetos

Para a introdução de projetos geométricos, há 5 classes técnicas para projetos de rodovias, no qual são elas (DNER, 1999):

- Classe 0 – Conhecida também como classe especial, possuindo as melhores características técnicas, com pista dupla com separação física entre as pistas, com controle total de acessos e com características de via expressa;
- Classe I – Subdividida em duas classes, IA e IB. A classe IA, se compreende em um projeto de pista dupla, com semelhanças distintas a classe especial, mas contendo controle parcial de acesso. A classe IB, é constituída por pista simples, com alguns limites inferiores e superiores;
- Classe II – Projeto de rodovia com pista simples, recomendada para volume médio diário entre 700 a 1400 veículos;
- Classe III – Constituem os projetos de rodovia em pista simples, proposto para volume médio diário entre 300 a 700 veículos;
- Classe IV – Subdividida nas classes IV-A e IV-B, ambas consideradas projetos mais nobres, sendo a classe IV-A adotado quando, no ano de adoção a demanda de abertura da rodovia com tráfego médio diário entre 50 a 200 veículos, e a classe IV-B são os casos em que essa demanda é inferior a um volume médio diário de 50 veículos.

O quadro 11 identifica os critérios adotados para cada tipo de projeto, conforme descrito anteriormente.

Quadro 11 – Classes de projeto para novos traçados de rodovias em áreas rurais

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICAS	VELOCIDADE DE PROJETO (Km/h)		
			Relevo Plano	Relevo Ond.	Relevo Mon.
0	Via expressa (controle total de acessos)	Decisão administrativa	120	100	80
I	A Pista dupla (controle parcial de acessos)	Quando o projeto em pista simples resulta em níveis de serviço inferiores ao aceitável.	100	80	60
	B Pista simples	Volume de tráfego projetado: >200 vmd ou >1400 vmd			
II	Pista Simples	Volume de tráfego projetado: 700 vmd a 1400 vmd	100	70	50

Continuação Quadro 11...

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICAS	VELOCIDADE DE PROJETO (Km/h)		
			Relevo Plano	Relevo Ond.	Relevo Mon.
III	Pista Simples	Volume de tráfego projetado: 300 vmd a 700 vmd	80	60	40
IV	A	Volume de tráfego projetado: 50 vmd a 200 vmd	60	40	30
	B	Volume de tráfego projetado: < 50 vmd			

4.11 Largura da pista

Após a classificação do projeto, de acordo com a classe distinta, são demonstrados no quadro 12 algumas características técnicas das classes III e IV importantes a serem consideradas (DNER, 1999).

Quadro 12 – Características Técnicas para projeto de rodovias novas

Descrição das Características Técnicas	Classe III			Classe IV A			Classe IV B			
	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	
Velocidade diretriz mínima (km/h)	80,00	60,00	40,00	60,00	40,00	30,00	60,00	40,00	30,00	
Distância mínima de visibilidade de parada (m)	Mín. Desejável	140,00	85,00	45,00	85,00	45,00	30,00	85,00	45,00	30,00
	Mín. Absoluto	110,00	75,00	45,00	75,00	45,00	30,00	75,00	45,00	30,00
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem (m)	560,00	420,00	270,00	420,00	270,00	180,00	420,00	270,00	180,00	
Raio mínimo de curva horizontal (p/Super. Máx.) (m)	230,00	125,00	50,00	125,00	50,00	25,00	125,00	50,00	25,00	
Taxa de superelevação máxima (%)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
Rampa máxima (%)	4,00	6,00	8,00	4,00	6,00	8,00	6,00	8,00	10,00	
Valor do K para curvas convexas: (m/%)	Mín. Desejável	48,00	18,00	5,00	18,00	5,00	2,00	18,00	5,00	2,00
	Mín. Absoluto	29,00	14,00	5,00	14,00	5,00	2,00	14,00	5,00	2,00
Valor do para curvas côncavas (m/%)	Mín. Desejável	32,00	17,00	7,00	17,00	7,00	4,00	17,00	7,00	4,00
	Mín. Absoluto	24,00	15,00	7,00	15,00	7,00	4,00	15,00	7,00	4,00
Largura da faixa de trânsito (m)	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	
Largura do acostamento externo (m)	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50	

Continuação Quadro 12...

Descrição das Características Técnicas		Classe III			Classe IV A			Classe IV B		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Largura da faixa de trânsito (m)		3,50	3,30	3,30	3,00	3,0	3,0	2,50	2,50	2,50
Largura do acostamento externo (m)		2,50	2,0	1,50	1,30	1,30	0,80	1,0	1,0	0,50
Gabarito Vertical (altura livre) (m)	Mín. desejável	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,51	5,50	5,50	5,50
	Mín. Absoluto	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,51	4,50	4,50	4,50
Afastamento mínimo da borda de acostamento (m)	Mín. desejável	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0	0,30	0,30	0,30
	Mín. Absoluto	0,50	0,50	0,30	0,50	0,50	0,51	0,50	0,50	0,50

Fonte: Adaptado DNER (1999, p. 161-168).

Os acostamentos externos podem ser adotados larguras de três metros, mesmo sendo insuficiente para caminhões de maior porte. Porém, para grande extensão ou com grandes vãos, visando economia, a largura do acostamento poderá sofrer reduções, respeitando-se o mínimo de dois metros (DNIT,2010).

As larguras básicas recomendadas para a faixa de rolamento em tangente de acordo com o quadro 13 (DNIT,2010):

Quadro 13 – Largura das faixas de rolamento

Categoria da via	Largura das faixas de rolamento (m)	
	Desejável	Mínimo
Vias Expressas	3,60	3,60
Vias arteriais Velocidade diretriz 60-80 km/h	3,60	3,60
Velocidade diretriz 50-60 km/h	3,50	3,30

Fonte: Adaptado DNIT (2010).

4.12 Terraplenagem

Para desenvolvimento projeto de terraplenagem, segue as principais especificações técnicas e alguns conceitos básicos.

4.12.1 Especificações Técnicas

- Norma DNER IPR 706/1999: Manual de Projeto Geométrico de rodovias rurais

- Norma DNIT IPR 726/2006: Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários: escopos básicos
- Norma DNIT 104/2009 – ES: Terraplenagem – Serviços preliminares
- Norma DNIT 105/2009 – ES: Terraplenagem – Caminhos de serviços • Norma DNIT 106/2009 – ES: Terraplenagem – Cortes
- Norma DNIT 107/2009 – ES: Terraplenagem – Empréstimos
- Norma DNIT 108/2009 – ES: Terraplenagem – Aterros
 - Manual de Procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária – Volume VI – Projeto Geométrico e de Terraplenagem

4.12.2 Conceitos Básicos

Dentre as especificações citadas, para realização do projeto de terraplenagem são empregados alguns conceitos básicos:

- Corte: os cortes são segmentos de rodovia em que envolve escavação do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto que definem o corpo estradal.
- Corte a céu aberto: Escavação realizada na superfície do solo.
- Corte a meia encosta: Escavação que atinge simplesmente uma parte de sua seção transversal para passagem da rodovia.
- Corte em caixão: Escavações dos taludes que estão praticamente na vertical.
- Plataforma da estrada: Superfície do terrapleno ou do terreno compreendido entres dois pés dos cortes.
- Talude: Superfície inclinada do terreno natural, de um aterro ou de corte.
- Faixa terraplenada: Faixa correspondente à dimensão de crista a crista do corte, no caso de seção plena em corte. É a área compreendida entre as linhas do “Off sets”.
- Material de 1ª categoria – Compreende aos solos residuais ou sedimentares, em seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 0,15 cm, com qualquer teor de umidade apresentado.
- Material de 2ª categoria – Compreende os solos de resistência ao desmonte mecânico inferior à rocha não alterada. Diâmetro de 0,15 a 1,00 m.
- Material de 3ª categoria – Compreende os materiais com resistência ao desmonte utilizando equipamentos de escavações, sendo o desmonte realizado por explosivos,

equivalente a rocha não alterada e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m ou volume igual ou superior a 2 m³.

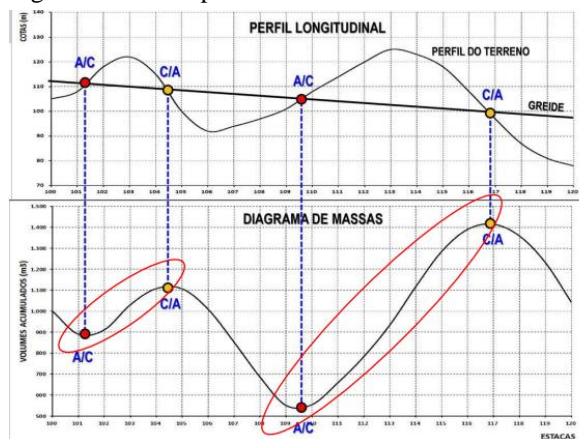
- Bota Fora: Material de escavação dos cortes, que não são aproveitados nos aterros, devido algum problema de qualidade, ou seu volume é de excessiva quantidade e não tem local próximo de aterro para aproveitá-lo.
- Manual de Procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária – Volume VI – Projeto Geométrico e de Terraplenagem.

4.12.3 Diagrama de massas ou diagrama de Bruckner

O diagrama de Bruckner, consiste em auxiliar na distribuição dos materiais a serem escavados e aterrados, dando origem e destino aos solos e rochas, obtendo classificações de volumes e distâncias médias de transporte (ANTAS,2010).

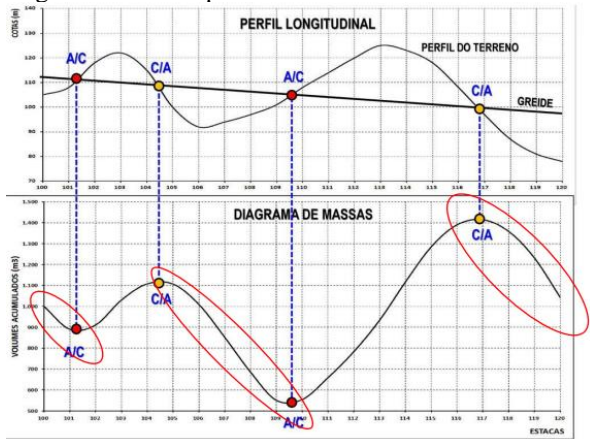
No diagrama de Bruckner, as linhas que tendem a ser na vertical demonstram grandes variações de solo, sendo os trechos ascendentes correspondem corte e os trechos descendentes correspondem aterro, a figura 15 e 16 é um exemplo do diagrama comparada ao perfil de um determinado terreno (ANTAS 2010).

Figura 15 – Exemplo de trechos ascendentes



Fonte: Adaptado ANTAS, 2010.

Figura 16 – Exemplo de trechos descendentes



Fonte: Adaptado ANTAS, 2010.

4.13 Drenagem

Os materiais empregados na pavimentação, sofrem variações nas estruturas físicas nas mudanças de teores de umidades. A respeito destes fatores, quando não planejado, vêm ocorrer as difíceis condições de trânsito, em que solos argilosos se tornam escorregadios,

escorregamentos de taludes, alagamentos de via e danificação nas camadas constituintes do pavimento (DNIT, 2006).

A água estabelece mudanças de comportamentos nos materiais de pavimentação, sendo constituída pelo ciclo hidrológico em movimentos entre a superfície e a atmosfera terrestre. Intenta-se com a drenagem, constituir através de dispositivos hidráulicos os caminhos para os cursos d'água. A drenagem executada incorretamente, pode provocar de maneira geral, os seguintes efeitos danosos nos pavimentos (DNIT, 2006):

- Redução da capacidade de suporte do solo de fundação (subleito), em virtude de sua saturação, podendo também, em maior ou menor grau, ser acompanhado de mudança de volume (expansão);
- Bombeamento de finos de solo do subleito e materiais granulares das demais camadas do pavimento, com perda de capacidade de suporte;
- Arrastamento de partículas dos solos e materiais granulares superficiais, em virtude da velocidade do fluxo das águas.

4.13.1 Sistema de Drenagem

Conforme o DNIT (2006, IP 719, p. 159) “entende-se por sistema de drenagem do pavimento de uma rodovia o conjunto de dispositivos, tanto de natureza superficial como de natureza subsuperficial ou profunda, construídos com a finalidade de desviar a água de sua plataforma.”

Os principais dispositivos de drenagem do pavimento, são respectivamente;

- Sarjetas de Corte: responsável por coletar a águas de chuva que correm pelos taludes e pelo leito estradal, encaminhando para Caixas Coletoras ou para fora do corte.
- Meio-Fio ou Banquetas de aterros: dispositivo construídos junto ao bordo da plataforma dos aterros, destinada a encaminhar a água de chuva para as saídas de água, impedindo recalques da plataforma da rodovia e dos taludes de aterros;
- Drenos Profundos: dispositivo encavados e enterrados em cortes ou em aterros mais profundos nos leitos estradais, tendo como objetivo coletar as águas, tanto de infiltração superior quanto dos lençóis subterrâneos.
- Camada Drenante: camada de Base ou Camada de Ligação do tipo Binder, responsável por destinar as águas que penetram através do revestimento do pavimento ou até o topo dos Drenos Profundos ou subsuperficiais.

Há demais elementos de drenagens que são construídos na implantação das rodovias, tais como: Caixas Coletoras, Descidas de Água, Valetas de Proteção de Pé-de-Aterro, Bueiro de Grade e Bueiro de fundo de Grota (DNIT, 2006).

4.13.2 Cálculos de sarjetas

Existem vários métodos destinados para o dimensionamento dos contribuintes de descargas, desde que seja levado em considerações os parâmetros coerentes ao uso na região a ser implantada (DNIT, 2006).

Desta forma, para cálculo da intensidade de chuvas no dimensionamento das sarjetas, poderá ficar a critério do projetista em analisar o método eficaz, mas a equação de chuva mais utilizada para essa finalidade é (DNIT, 2006):

$$i = \frac{KxTr^M}{(tc + b)^n}$$

Onde:

i = Precipitação pluviométrica, em mm/hora;

K = coeficiente

T = Período de recorrência, em anos;

m = coeficiente;

t = Duração da chuva, em minutos;

b = coeficiente;

n = coeficiente.

A determinação do tempo de recorrência, são denominados pelas Classes das rodovias, sendo elas: Classe Especial ou Classe I adota-se de 10 anos a 15 anos; Rodovias de Classe II e Classe III adota-se de 1 ano a 5 anos (DNIT, 2006).

Conforme o DNIT (2006, p. 160) “O cálculo de descarga, calculado para saber a contribuição para as sarjetas de Corte e Meio-Fio ou Banquetas de Aterro é efetuado pela Fórmula Racional”:

$$Q = \frac{C \times I_m \times A}{3,6}$$

Onde:

Q: Descarga, em m^3/s ;

C: Coeficiente de escoamento (Run-off) – (Quadro 14);

Im: Intensidade de precipitação, em mm/hora, para uma duração de $t = 5$ minutos (equivalente ao tempo de concentração de uma bacia pequena);

A: Área da bacia de contribuição, em km^2 .

Os coeficientes de run-off utilizados no escoamento de rodovias são (DNIT, 2006):

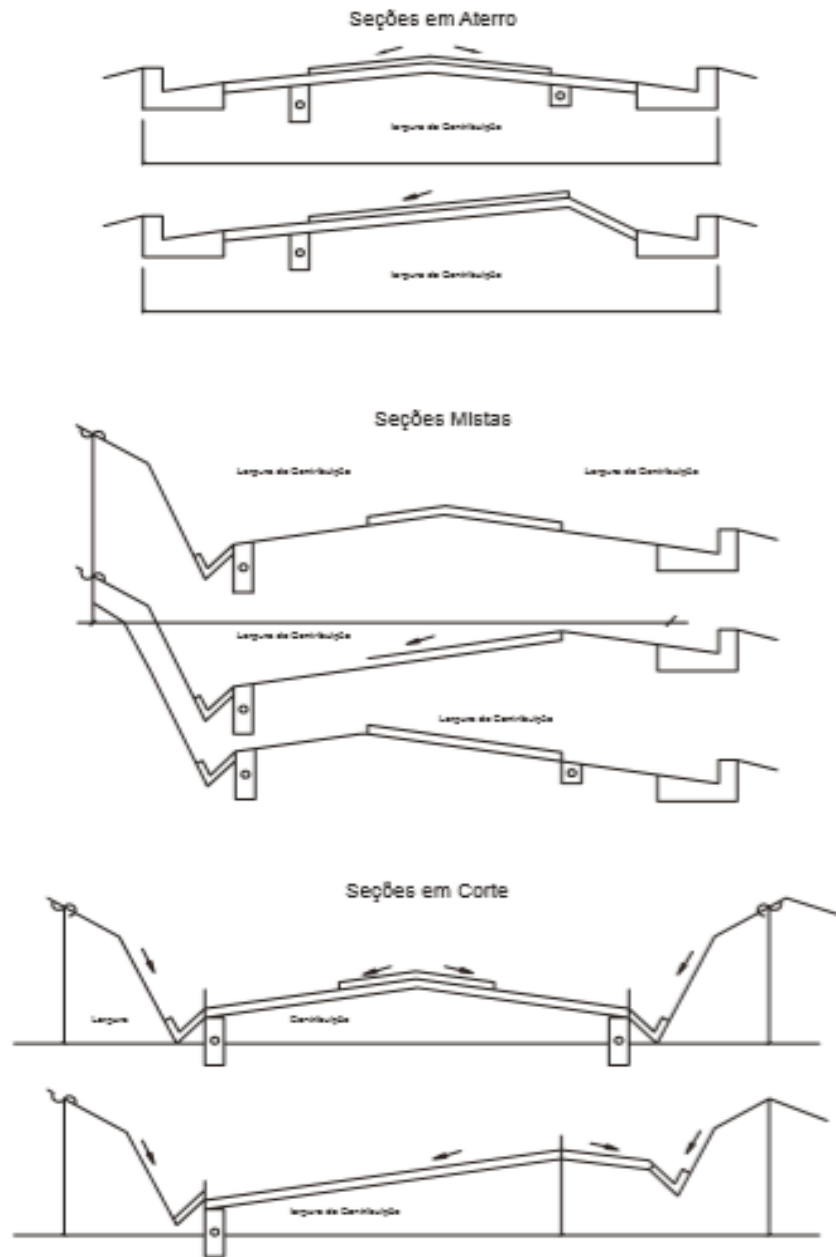
Quadro 14 – Coeficientes de escoamentos usuais em rodovias

Tipo de Cobertura da Área Drenada	Coeficiente C	
	Máximo	Mínimo
Pavimentos		
Revestimento de Concreto de Cimento ou Concreto Betuminoso	0,75	0,95
Revestimento de Macadame Betuminoso ou Tratamento	0,65	0,80
Superficial		
Revestimento Primária (cascalho ou macadame)	0,40	0,60
Solo com ou sem Cobertura Vegetal		
Solo Arenoso, vegetação cultivada ou leve	0,15	0,30
Solo Arenoso, mata ou vegetação rasteira densa	0,15	0,30
Cascalho, desprovido de vegetação ou vegetação rala	0,20	0,40
Cascalho, mata, vegetação densa	0,15	0,35
Solo argiloso, desprovido de vegetação ou vegetação rala	0,35	0,75
Solo Argiloso, mata ou vegetação densa	0,25	0,60
Canteiro central e valetas gramadas	0,20	0,35
Taludes enleivados, com declividade de 1:2	0,50	0,70

Fonte: DNIT (2006, p. 162).

Para o cálculo de vazões das sarjetas, é necessário dimensionar as larguras de contribuições de acordo com as seções transversais na figura 17.

Figura 17 – Seções transversais para determinação da largura das áreas de contribuição



Fonte: DNIT (2006, p. 161).

Portanto, a relação para calcular a vazão das sarjetas é proposta pela Fórmula de Manning modificada por Izzard:

$$qs = 0,375 * \left(\frac{Z}{n} * 8 * y^{\frac{8}{3}} \right) * i^{0,5}$$

Onde:

qs: capacidade de escoamento pela sarjeta (m³/s);

z: inverso da declividade transversal da sarjeta (m/m);

n: coeficiente de rugosidade (coeficiente de Manning) – (Quadro 15);

y: altura da lâmina de água junto ao meu fio (m);

i: Declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

Quadro 15 – Coeficiente de Rugosidade Manning

Natureza do Revestimento do Canal	Coeficientes				Vel. Limites m/s
	Ótimo	Bom	Regular	Mau	
Concreto de cimento e de Alvenaria	0,017	0,020	0,025	0,03	4,0
Pedras grandes e lisas	0,025	0,030	0,033	0,035	2,5
Pedras irregulares	0,025	0,030	0,033	0,035	2,5
Terra enleivada (com vegetação)	0,025	0,030	0,033	0,035	1,2 - 1,8
Terra emperrada	0,028	0,030	0,033	0,035	0,5 - 1,8

Fonte: DNIT (2006, p. 163).

5 METODOLOGIA

5.1 Classificação da Pesquisa

Este trabalho se classifica como estudo de caso, tomando como referência os processos e métodos padronizados pela norma Técnica para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos da ABNT, no qual são estabelecidos critérios para a obtenção de dados estudados em campo, além de uma base teórica em pesquisas bibliográficas retiradas de normas, livros, manuais e trabalhos científicos.

5.2 Planejamento da Pesquisa

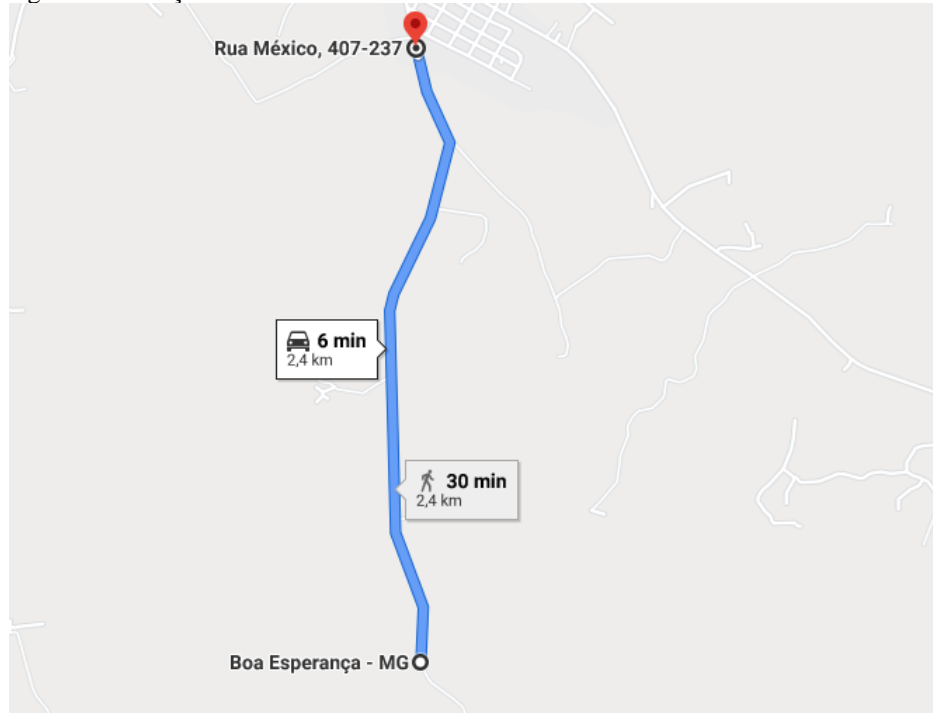
Este trabalho visa apresentar estudos obtidos por dados coletados em campo, que aliado a análises científicas, proporciona a obtenção de conhecimentos para determinar os parâmetros de dimensionamento para anteprojeto de pavimentação. Em específico, para elaboração deste trabalho, será tomado o estudo de caso para determinação das dimensões das camadas de um pavimento flexível na estrada que dá acesso de Boa Esperança a UTGE, dentre outros estudos necessários para execução da pavimentação.

5.3 Caracterização do estudo de caso

A estrada escolhida para estudo, existe em função da construção da UTGE. Segundo Furnas, o projeto de pesquisa e desenvolvimento da UTGE utiliza tecnologia 100% nacional, com um investimento de R\$ 32 milhões, sendo que cerca de R\$ 22 milhões já foram aplicados. Ressalta também Luciano Reis Infiesta, diretor técnico da Carbogás, que “É uma usina pioneira no Brasil, que vai pegar todo o resíduo (sólido) do município e transformar em energia elétrica com tecnologia nacional”.

Desta forma, segue na figura 18 o trecho a ser dimensionado no anteprojeto:

Figura 18 – Traçado da estrada



Fonte: Google Maps (2020).

Podendo observar que o percurso não contém curvas sinuosas, não obtendo grandes variações de elevação e não é obstruído por nenhum curso d'água.

5.4 Etapas da pesquisa

Para a elaboração do anteprojeto do trecho, este trabalho foi e será realizado de acordo com as seguintes etapas:

- 1º Etapa: Foi verificado a necessidade de pavimentação no trecho, a partir da identificação dos problemas enfrentados pelos usuários;
- 2º Etapa: Para a avaliação do tráfego, foi efetuado a contagem volumétrica de veículos, feita de modo manual, tomando como base o Manual de Estudo de Tráfego (DNIT,2006);
- 3º Etapa: Após análise do tráfego, verificou-se a classificação da via de acordo com o seu tráfego, tomando como base o método da Instrução de Projetos 02/2004 (Classificação das Vias) da Prefeitura do Município de São Paulo, para determinação do número "N";

- 4º Etapa: Foi coletado amostra do material do subleito e elaborado pela empresa Pavican análises do material do subleito, inclusive o CBR.
- 5º Etapa: Nessa etapa do trabalho, foram dimensionadas as camadas que necessitarão na estrutura do pavimento.
- 6º Etapa: Será elaborado o anteprojeto geométrico.
- 7º Etapa: Logo após definido o anteprojeto geométrico, serão abordados os estudos preliminares de terraplenagem e drenagem.
- 8º Etapa: Levantamento de custos de materiais.

6 DIAGNÓSTICO

Atualmente, a estrada não apresenta infraestrutura adequada, e que permita o tráfego de veículos de maneira segura. Ao contrário, o local apresenta vários problemas, dentre eles: ausência de drenagem, pista de rolamento com largura inadequada para o tráfego de caminhões, ausência de sinalizações e necessidade de manutenções frequentes. Esses problemas são ilustrados no quadro a seguir:

Quadro 16 – Problemas relatados no trecho estudado

Problemas de drenagens



Panelas ou Buracos



Poeira



Largura da pista



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

O percurso contém em seu perímetro algumas árvores de eucalipto e outras espécies variadas, não contendo nenhuma árvore que se enquadra como “madeira de Lei”. Não é intercedido por nenhum tipo de curso d’água e não há grande variação no relevo, conforme mostrado na figura 19.

Figura 19 – Percurso da estrada



Fonte: Google Earth (2020).

7 RESULTADO E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os estudos relacionados a contagem volumétrica dos veículos, utilizados para caracterização do número “N” e o dimensionando das camadas necessárias para o pavimento flexível. Também demonstrado os estudos sobre a seção longitudinal, propondo melhorias no nível do greide e no tracejado das curvas.

7.1 Dimensionamento das camadas do pavimento flexíveis

7.1.1 Estudo de contagem volumétrica de veículos

As contagens volumétricas de veículos, foram feitas no início do trecho onde se inicia a estrada de terra, saindo da cidade de Boa Esperança – MG. Elas foram elaboradas em um período de 5 dias sequenciais num intervalo entre a 13:00 hora às 17:00 horas.

Depois de definido o volume de veículos no período descrito, foi feita uma média semanal com a subdivisão das classes de veículos, extrapolando-se a média da semana do período de quatro horas para o período de vinte e quatro horas (um dia). Mesmo compreendendo que em certos horários do dia o volume de veículos difere do período de contagem, pois o tráfego principal são os caminhões da coleta de resíduos e os trabalhadores, a extrapolação dos dados subsidia a análise para fins de anteprojeto. Os quadros 17, 18, 19, 20, 21 e 22 demonstram os volumes médios diários finais de veículos na avenida, em cada um dos cinco dias analisados.

Quadro 17 - Contagem volumétrica de veículos (Segunda-feira).

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - CIDADE DE BOA ESPERANÇA-MG / FUTURA USINA TERMOQUÍMICA					
CONTADOR: JEFFERSON BARBOSA PENA			DATA: 20 DE ABRIL DE 2020		SENTIDO (X)← (X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	2	0	3	1	0
14:00 - 15:00	2	1	1	1	0
15:00 - 16:00	1	1	1	1	1
16:00 - 17:00	3	0	2	1	0
TOTAL DE VEÍCULOS	8	2	7	4	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quadro 18 - Contagem volumétrica de veículos (Terça-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - CIDADE DE BOA ESPERANÇA-MG / FUTURA USINA TERMOQUÍMICA					
CONTADOR: JEFFERSON BARBOSA PENA			DATA: 21 DE ABRIL DE 2020		SENTIDO (X)← (X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	1	1	2	1	0
14:00 - 15:00	0	0	1	1	0
15:00 - 16:00	2	0	0	1	0
16:00 - 17:00	3	1	4	1	0
TOTAL DE VEÍCULOS	6	2	7	4	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quadro 19 – Contagem volumétrica de veículos (Quarta-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - CIDADE DE BOA ESPERANÇA-MG / FUTURA USINA TERMOQUÍMICA					
CONTADOR: JEFFERSON BARBOSA PENA			DATA: 22 DE ABRIL DE 2020		SENTIDO (X)← (X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	0	0	0	1	0
14:00 - 15:00	2	0	2	2	0
15:00 - 16:00	3	0	3	1	0
16:00 - 17:00	5	2	1	0	0
TOTAL DE VEÍCULOS	10	2	6	4	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quadro 20 – Contagem volumétrica de veículos (Quinta-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - CIDADE DE BOA ESPERANÇA-MG / FUTURA USINA TERMOQUÍMICA					
CONTADOR: JEFFERSON BARBOSA PENA			DATA: 23 DE ABRIL DE 2020		SENTIDO (X)← (X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	1	0	3	0	0
14:00 - 15:00	0	0	3	0	0
15:00 - 16:00	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	2	0	2	0	1
TOTAL DE VEÍCULOS	3	0	8	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quadro 21 – Contagem volumétrica de veículos (Sexta-feira)

CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULO - CIDADE DE BOA ESPERANÇA-MG / FUTURA USINA TERMOQUÍMICA					
CONTADOR: JEFFERSON BARBOSA PENA			DATA: 24 DE ABRIL DE 2020		SENTIDO (X)← (X)→
CLASSE /PERÍODO	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
13:00 - 14:00	2	2	3	2	0
14:00 - 15:00	1	0	2	1	0
15:00 - 16:00	3	1	1	1	0
16:00 - 17:00	3	1	3	1	0
TOTAL DE VEÍCULOS	9	4	9	5	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quadro 22 – Extrapolação do Volume Hora para um dia (24 horas)

EXTRAPOLAÇÃO PARA 01 DIA (24 HORAS)					
CLASSE /DIA	CARRO	CAMIONETA	MOTO	CAMINHÃO TOCO	CAMINHÃO TRUCK
SEGUNDA-FEIRA	8	2	7	4	2
TERÇA-FEIRA	6	2	7	4	0
QUARTA-FEIRA	10	2	6	4	0
QUINTA-FEIRA	3	0	8	0	1
SEXTA-FEIRA	9	4	9	5	0
MÉDIA DA SEMANA	7	2	7	3	1
EXTRAPOLAÇÃO PARA 01 DIA	43	12	44	20	4
% DA EXTRAPOLAÇÃO	34,95%	10%	36%	16,50%	2,91%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Elaborando a somatória dos volumes médios diários dos veículos considerados pesados, chega-se a um total de 24 veículos/dia para o fluxo nos dois sentidos. Para fins de dimensionamento do pavimento, será considerado um VMD igual a 12 veículos, ou seja, 50% do tráfego ocorrerá em cada faixa da via.

7.1.2 Determinação do número “N”

Definido o volume médio de veículos pesados (12 veículos por dia) que trafegam no trecho, classificou, de acordo com Instrução de Projetos 02/2004 (Classificação das vias) –

Prefeitura do Município de São Paulo, enquadrando em tráfego leve, em que o número de passagens de caminhões e ônibus dessa classe é de 04 á 20 veículos por dia.

Quadro 23 – Classificação da via

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/ Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3×10^6 ⁽¹⁾	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.

Notas:

(1) Majorado em função do tráfego (excesso de frenagem e partidas)

(2) Números de solicitações adotadas:

$$N = 365 \times 10 \times V_o \times 1,25 \times e = 4560 \cdot V_o \cdot e$$

$$N = 365 \times 12 \times V_o \times 1,30 \times e = 5690 \cdot V_o \cdot e$$

Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo, (2004, p.4).

Utilizando o quadro 23 de classificação das vias e parâmetros de tráfego da IP-02/2004 (Prefeitura Municipal de São Paulo) e com base no número de veículos pesados que trafegam no trecho, encontra-se um “N” característico de 10^5 . Conforme definido na IP-02/2004, em função do excesso de frenagem e partidas, tem-se:

$$N = 4560 \times 12 \times 1,5$$

$$N = 8,208 \times 10^4$$

7.2 Determinação das espessuras das camadas

7.2.1 Determinação CBRs

Para o dimensionamento das camadas, há a necessidade de conhecer os CBRs dos materiais constituintes, incluindo o material do subleito. Desta forma, para a identificação do CBR do subleito foi elaborado ensaio pela empresa PAVICAN. O resultado desse ensaio é apresentado no Quadro 24.

Quadro 24 – Resultados dos ensaios do material do subleito

WBM	RESUMO DE ENSAIOS	
Data:	23/03/2019	
Obra:	ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PAVIMENTO BOA ESPERANÇA X USINA TERMOQUÍMICA	
Cliente:	JEFFERSON BARBOSA PENA	
Tipo estudo:	SUB LEITO	
Próctor:	NORMAL	
PENEIRAS (POLEGADAS) PENEIRAMENTO PASSANDO (%)		
Granulometria % Passando	# 2"	100,0%
	# 1"	100,0%
	# 3/8"	100,0%
	# N° 4	99,9%
	# N° 10	99,3%
	# N° 40	82,8%
	# N° 200	57,3%
CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA		
	L.L.	44,7%
	I.P.	16,4%
	I.G.	7,5
	Classif. T.R.B.	A -7 -6
	% Retido # 4	0,0%
	Pedregulho : Acima 4,8 mm	0,1
	Areia Grossa : Acima 4,8 - 2,0	0,6
	Areia Média : 2,0 - 0,42 mm	16,5
	Areia Fina : N° 40 - 200	25,6
	Passando N° 200	57,3
	Total	100,0
	Retido : N° 10 - 200	42,1
	Redução Solto x Compactado	
12 normal	Dens. Máx Laboratório	1,589
	Umid. Ótima Laboratório	21,9
	C.B.R.	9,5 %
	Expansão	0,20
RESUMO DA COMPOSIÇÃO DA MISTURA DOS AGREGADOS		
% DE PROJETO DE ARGILA LABORATORISTA		100%

Fonte: PAVICAN (2020).

Nas camadas de base e sub-base, para fins de anteprojeto, foram adotados materiais que constituem ao menos os CBRs mínimos dispostos pelo DNIT, 2006, p. 142.

- Base = CBR <80%;
- Sub-base = CBR <20%;

7.2.2 Dimensionamento das camadas

A determinação da espessura mínima de revestimento betuminoso para o trecho, de acordo com a manual do DNIT (2006), em que o número “N” de $8,208 \times 10^4$, equivale espessura a ser determinada para um tratamento superficial, conforme quadro 25.

Quadro 25 – Espessuras mínimas para o revestimento de acordo com o número "N" encontrado

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: Adaptado DNIT (2006, p.147).

Por meio de conhecimentos técnicos a respeito das espessuras mínimas das camadas de pavimentação, será adotada a espessura de 3,5 cm para a camada de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Em seguida, para as camadas de base e sub-base serão utilizados materiais granulares. Os coeficientes estruturais “K” para cada material foi extraído do quadro 08. Na sequência, foram calculadas as espessuras das camadas, por meio das inequações de cálculo do DNIT. Para o cálculo de H_{20} e H_m foi utilizada a equação que substitui o ábaco, ambas dispostas pelo DNIT.

- Cálculo da base

$$H_{20} = 77,67 \times N^{0,0452} \times \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_{20} = 77,67 \times (8,208 \times 10^4)^{0,0452} \times 20^{-0,598}$$

$$H_{20} = 21,6 \text{ cm}$$

Portanto, a dimensão da camada de base será:

$$Rk_R + Bk_B \geq H_{20}$$

$$(3,5 \times 2) + (B \times 1) \geq 21,6$$

$$B \geq 14,6 \text{ cm} \rightarrow \text{adotado espessura mínima de 15 cm}$$

- Cálculo da sub-base

$$H_m = 77,67 \times N^{0,0452} \times \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_m = 77,67 \times (8,208 \times 10^4)^{0,0452} \times 9,5^{-0,598}$$

$$H_m = 33,70 \rightarrow \text{adotado 34 cm}$$

Portanto, a dimensão da camada de sub-base será:

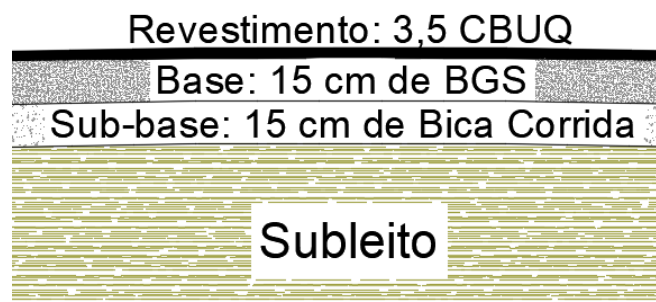
$$Rk_R + Rk_B + h_{20}k_S \geq H_m$$

$$(3,5 \times 2) + (15 \times 1) + (h_{20} \times 1) \geq 34$$

$$h_{20} \geq 12 \text{ cm} \rightarrow \text{adotado espessura mínima de 15 cm}$$

A figura 20 apresenta, de forma resumida, o disposto no Anexo C, ilustrando as espessuras das camadas para esse estudo. A primeira camada equivale ao revestimento de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), a segunda camada é de base em brita graduada simples (BGS) e a terceira camada é de sub-base em bica corrida.

Figura 20 – Espessuras finais das camadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ressalta-se que, para fins de execução, há necessidade de uma camada de imprimção para proteger a base. E, antes do revestimento, tem-se a necessidade de aplicação da pintura de ligação, com a finalidade de proporcionar a aderência necessária entre a camada de base imprimada e a camada de revestimento em CBUQ.

7.2.3 Espessuras adotadas para o acostamento

Para dimensionamento da espessura dos acostamentos, o DNIT dispõe de várias maneiras, entre elas, em que, o acostamento poderá ter as mesmas espessuras das camadas da pista de rolamento, sendo está, à adotada.

Mesmo adotando as mesmas camadas da pista de rolamento, não terá grande interferência na economia, desde que, as camadas da pista de rolamento foram adotadas com as espessuras mínimas. Havendo vantagens no lado prático da execução.

7.3 Seção Longitudinal

A seção longitudinal, será elaborado correções no traçado já existente, ressaltando que o mesmo é demarcado por divisões de propriedades, tratando-se de uma estrada particular, motivos que dificultam a imposição de um novo traçado, visando facilidade na aquisição da área de pavimentação.

No entanto, este trabalho propõe um traçado que visa o aumento da seção transversal, a fim de adequar as larguras mínimas do DNIT, deslocando o mínimo possível do traçado longitudinal existente.

7.3.1 Curvas e tangentes

Nas curvas e nas tangentes foram realizadas algumas correções. As curvas foram suavizadas para oferecer maior segurança aos usuários. O Anexo A apresenta a projeção em planta das curvas e das tangentes. O quadro 26 a seguir apresenta as características das curvas:

Quadro 26 – Características das curvas.

Curvas	Δ	R (m)	T (m)	E (PC)	E (PT)
1	09°	1288,09	109,32	1 + 12,5	11 + 9,5
2	34°	318,25	98,27	14	23
3	16°	837,45	120,92	46	58
4	26°	589,06	138,59	87	100 + 15
5	20°	418,03	73,17	104 + 15	112 + 5
6	21°	262,10	49,46	116 + 17	121 + 13

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

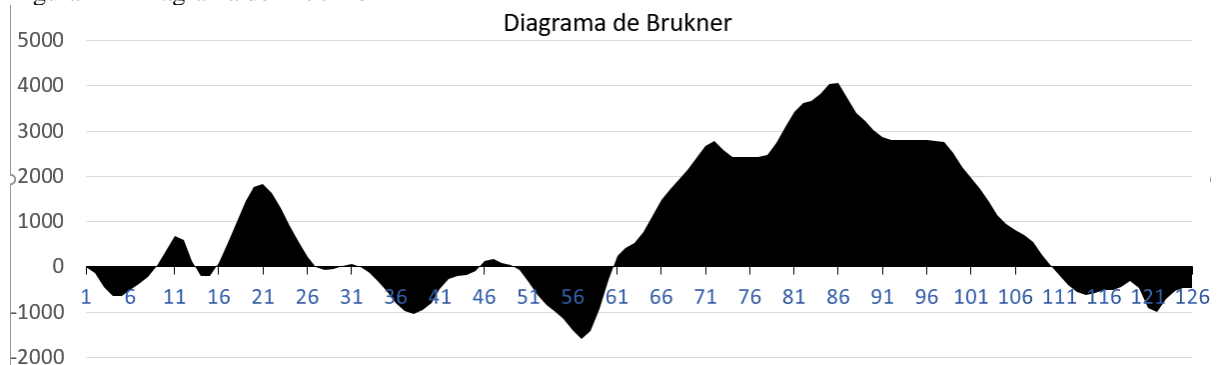
Deste modo, foi proposto para o anteprojeto, o traçado apresentado nos Anexos A e B.

7.4 Topografia do trecho

A topografia do trecho, para considerações de anteprojeto, foi retirada as curvas de níveis do software Google Earth e demarcado o estaqueamento, de acordo com o DNIT, estacas de 20 em 20 metros.

Com o estaqueamento e as curvas de níveis lançadas no software Autocad (Anexo B), foi elaborado o greide da pista, calculado através da tabela de Bruckner as compensações longitudinais. As compensações transversais foram desprezadas pela falta de precisão das curvas de níveis. Considerado o grau de empolamento do solo de 20%, segue na figura 21 o diagrama de Bruckner, demonstrando a compensação de solo na vertical e o distanciamento das estacas na horizontal.

Figura 21– Diagrama de Bruckner



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Portanto, para regularizar a pista longitudinalmente, de acordo com a tabela de compensação de solo de Bruckner, será necessário o empréstimo de 469 m³ de solo para executar a proposta do anteprojeto.

Vale ressaltar que para a execução da terraplenagem devem ser seguidas as recomendações descritas no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), aspectos como o grau de compactação ideal para as camadas, a umidade ótima, entre outros, a fim de garantir uma maior eficiência do pavimento.

7.5 Seções Transversais

7.5.1 Largura da pista de rolamento nos trechos de tangente

Definido o “N” característico pela Prefeitura de São Paulo, foi possível a classificação da via de acordo com a quadro 27.

Quadro 27 - Classificação da via de acordo com o número “N”

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICAS	VELOCIDADE DE PROJETO (Km/h)		
			Relevo Plano	Relevo Ond.	Relevo Mon.
0	Via expressa (controle total de acessos)	Decisão administrativa	120	100	80
I	A	Pista dupla (controle parcial de acessos)	100	80	60
	B	Pista simples			
II	Pista Simples	Volume de tráfego projetado: 700 vmd a 1400 vmd	100	70	50
III	Pista Simples	Volume de tráfego projetado: 300 vmd a 700 vmd	80	60	40
IV	A	Pista Simples	60	40	30
	B	Pista Simples			

Fonte: Adaptado DNER (1999).

A largura da pista de rolamento adotada será de 3,60 metros, respeitando a largura desejável descrita no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010, pág. 309) e oferecendo segurança nos espaçamentos entre caminhões da coleta de resíduos que trafegam na via, calculadas pela equação:

$$L = U + 2C$$

Onde para caminhões SR, de acordo com o DNIT a largura mínima prevista será:

$$L = 2,60 + 2 \times 0,50$$

$$L = 3,60 \text{ m}$$

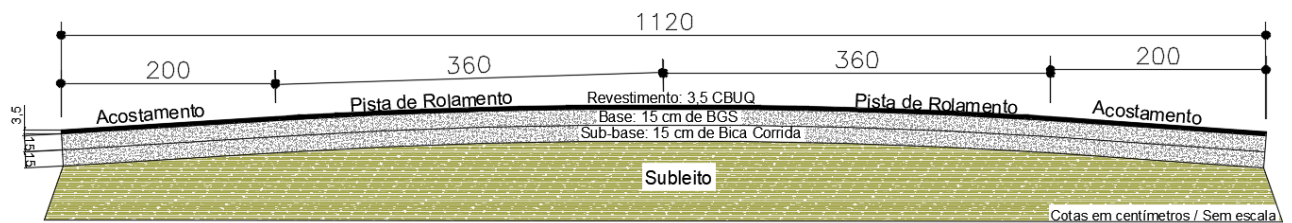
7.5.2 Largura do acostamento

Para a largura do acostamento, será adotado o valor mínimo de 2,00 metros, seguindo a conformidade do Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT,2010, p. 309).

7.5.3 Seção transversal dos trechos em tangente

A largura do trecho em tangente foi dimensionada de acordo com a figura 22:

Figura 22 - Seção transversal dos trechos em tangente



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

7.5.4 Superelevação

Para adotar a velocidade deste anteprojeto, foi levado em consideração a classificação da via, ela sendo da categoria IV, em região ondulada, de acordo com o quadro 28, a velocidade é de 40 km/h.

Segundo o quadro 05, as curvas 1 e 3 serão dispensadas pela dimensão do raio em relação a velocidade.

Para fins de cálculos de superelevação será considerado o valor de $E_{máx}$ a seguir:

Quadro 28 – Taxa máxima de Superelevação admissível adotada

$E_{máx}$	Casos de Emprego
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10%	Máximo normal. Adequado para fluxo interrompido. Adotar para regiões de Classe 0 e Classe I, em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior ao normal. Adotar para rodovias Classe I em regiões montanhosas e rodovias das demais classes de projeto.
6%	Valor inferior ao normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em que o tráfego está sujeito a reduções de velocidade.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa adjacente.

Fonte: Adaptado DNIT.

Também, segundo a velocidade de 60 km/h, é adotado 0,18 para o valor do coeficiente de atrito transversal ($F_{máx}$) para cálculo da superelevação.

Com a velocidade, a taxa máxima de superelevação, o coeficiente de atrito transversal adotado, é dado o R_{min} das curvas e calculada a superelevação necessária:

$$R_{min} = \frac{40^2}{127 * (0,08 + 0,18)} = 48,45 \text{ m}$$

- Superelevação Curva 02:

$$e = 0,08 * \left(\frac{2 * 48,45}{318,25} - \frac{48,45^2}{318,25^2} \right) = 0,0225 = 2,25\%$$

- Superelevação Curva 04:

$$e = 0,08 * \left(\frac{2 * 48,45}{589,06} - \frac{48,45^2}{589,06^2} \right) = 0,0126 = 1,26\%$$

- Superelevação Curva 05:

$$e = 0,08 * \left(\frac{2 * 48,45}{418,03} - \frac{48,45^2}{418,03^2} \right) = 0,0174 = 1,74\%$$

- Superelevação Curva 06:

$$e = 0,08 * \left(\frac{2 * 48,45}{262,10} - \frac{48,45^2}{262,10^2} \right) = 0,0268 = 2,68\%$$

7.5.5 Superlargura

Para cálculo da Superlargura foi utilizado como Velocidade de Projeto 40 km/h, e os dados de um caminhão SR.

- Curva 01
Espaço de Segurança (Folga dinâmica);

$$z = \frac{40}{10^2 \sqrt{1288}} = 0,11146$$

Acréscimo da largura do veículo devido à diferença de trajetória entre as rodas dianteiras e traseiras;

$$\Delta u = 1288 - \sqrt{1288^2 - 6,60^2} \rightarrow \Delta u = 0,01691$$

Acréscimo de largura devido à diferença de trajetória entre a borda externa do pneu e a frente do veículo;

$$\Delta f = \sqrt{1288^2 + 1,80 (2 * 6,10 + 1,80)} - 1288 \rightarrow \Delta f = 0,00978$$

Superlagura;

$$\Delta L = 2 * 0,01691 + 0,00978 + 0,15 + 0,11146 \rightarrow \Delta L = 0,30 \text{ cm}$$

De acordo com este processo de cálculo, foi elaborado para as demais curvas (quadro 29):

Quadro 29 – Valores das Superlaguras das Curvas 02 a Curva 06

Curva	Raio	Z	Δu	Δf	ΔL (cm)
02	318,25	0,2242	0,0684	0,0396	0,55
03	837,45	0,1382	0,0260	0,0150	0,36
04	589,06	0,1648	0,0370	0,0214	0,41
05	418,03	0,1956	0,0521	0,0301	0,48
06	262,1	0,2471	0,0831	0,0481	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Portanto, as Curvas 01 e 03, segundo o DNIT, podem ser desconsideradas os efeitos de superelevação, por terem raio extenso e superelevação menor que 40 cm.

7.6 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem

7.6.1 Cálculo da intensidade pluviométrica

Conforme a fórmula de intensidade pluviométrica proposta pelo DNIT, usando o software Plúvio para encontrar os coeficientes, M, b e n referentes a região de Boa Esperança-MG, têm-se:

$$i = \frac{4251,58 \times T r^{0,175}}{(tc + 31,733)^{1,025}}$$

De acordo com a classificação da rodovia, para as rodovias de Classes superiores a Classe II, pode ser adotada tempos de recorrência entre 1 a 5 anos. Desta forma, neste estudo foi adotado 3 anos (DNIT, 2006, IP 719, p. 160).

Para intensidade de precipitação, poderá ser utilizado um tempo de concentração igual a 5 minutos, sendo equivalente ao tempo de concentração de uma bacia hidrográfica pequena (DNIT, 2006, IP 719, p. 160).

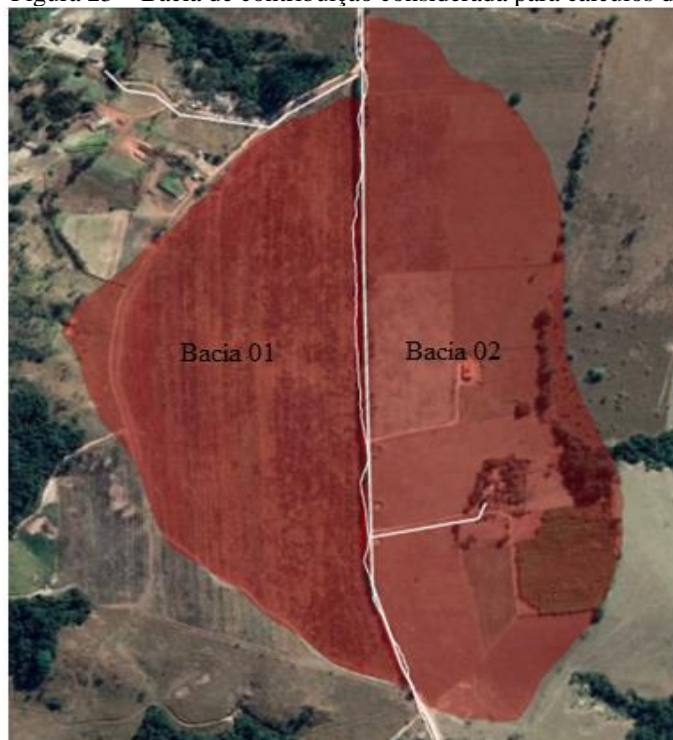
Portanto, a intensidade de precipitação será:

$$i = \frac{4251,58x3^{0,175}}{(5 + 31,733)^{1,025}} = 128,19 \text{ mm/h}$$

7.6.2 Cálculo da vazão

Para o cálculo de vazão, de acordo com o método racional, é considerado, para efeito de anteprojeto, a maior bacia de contribuição, de cada lado de contribuição, dimensionando a sarjeta para este trecho e adotando para os demais. A imagem 23, demonstra as bacias de contribuições utilizadas para o dimensionamento das sarjetas.

Figura 23 – Bacia de contribuição considerada para cálculos de sarjetas



Fonte: Google Earth, 2020.

No trecho, as bacias com maiores contribuições, são as demonstradas na figura 23, sendo a bacia 01 contém uma área de 1,15 km², e a bacia 02 uma área de 1,27 km². Para efeito de anteprojeto, visando compatibilização, é considerado a área de 1,27 km², contida em um dos lados do trecho.

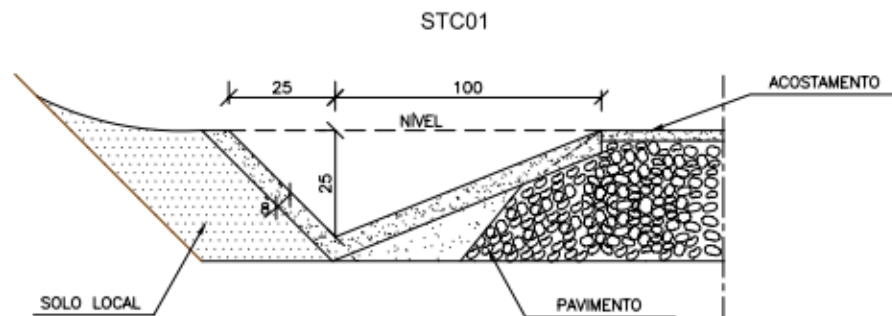
Portanto, considerando o coeficiente de Run-off, como área de mata ou vegetação rasteira densa, sendo o valor de C igual a 0,15, e com a intensidade já calculada anteriormente, pelo método racional, temos:

$$Q = \frac{0,15 \times 128,19 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times 1,27 \text{ km}^2}{3,6} = 6,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.6.3 Dimensionamento da sarjeta

Para a vazão de 6,78 m³/s, a sarjeta a ser verificada, é o modelo de sarjeta triangular de concreto, exposto pelo DNIT, de acordo com a imagem 24:

Figura 24 – Sarjeta triangular de concreto (STC 01)



Fonte: DNIT, 2006.

De acordo com o método de Izzard, temos a vazão teórica da sarjeta, considerando altura de lamina d'água de 23cm.

$$q_{st} = 0,375 * \left(\frac{1}{0,020} * 8 * 0,23^{\frac{8}{3}} \right) * 0,216^{0,5} + 0,375 * \left(\frac{1}{0,020} * 8 * 0,23^{\frac{8}{3}} \right) * 0,216^{0,5}$$

$$q_{st} = 1,38 + 5,54 = 6,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como $6,92\text{m}^3/\text{s} \geq 6,78 \text{ m}^3/\text{s}$, é adotado esta sarjeta para todo o trecho em ambos os lados. Desta forma, concluindo a seção transversal, segue detalhes no Anexo C.

7.7 Orçamento

Para realizar o orçamento do estudo proposto no anteprojeto, abordando algumas estimativas de valores, conforme descrito no quadro 30:

Quadro 30 – Orçamentos

QUADRO ORÇAMENTÁRIO					
	UNID.	QUANT.	CUSTO UNT.	CUSTO TOTAL	REFERÊNCIA
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE - CBUQ (EXECUÇÃO, INCLUINDO USINAGEM, APLICAÇÃO, ESPALHAMENTO E COMPACTAÇÃO, FORNECIMENTO DOS AGREGADOS E MATERIAL BETUMINOSO, EXCLUI TRANSPORTE DOS AGREGADOS E DO MATERIAL BETUMINOSO ATÉ USINA E DA MASSA PRONTA ATÉ APISTA)	ton	2295,552	R\$ 290,54	R\$ 666.949,68	DER-MG
PINTURA DE LIGAÇÃO (EXECUÇÃO E FORNECIMENTO DO MATERIAL BETUMINOSO, EXCLUSIVE TRANSPORTE DO MATERIAL BETUMINOSO)	m²	27328	R\$ 1,34	R\$ 36.619,52	DER-MG
IMPRIMAÇÃO (EXECUÇÃO E FORNECIMENTO DO MATERIAL BETUMINOSO, EXCLUSIVE TRANSPORTE DO MATERIAL BETUMINOSO)	m²	27328	R\$ 5,94	R\$ 162.328,32	DER-MG
BICA CORRIDA (EXECUÇÃO, INCLUINDO FORNECIMENTO DA BICA CORRIDA, ESCAVAÇÃO E CARGA DO MATERIAL DE JAZIDA, ESPALHAMENTO, UMIDECIMENTO, HOMOGENIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DA MISTURA;)	ton	6265,728	R\$ 26,00	R\$ 162.908,93	Vibrita Minig ¹
BGS (EXECUÇÃO, INCLUINDO FORNECIMENTO DA BICA CORRIDA, ESCAVAÇÃO E CARGA DO MATERIAL DE JAZIDA, ESPALHAMENTO, UMIDECIMENTO, HOMOGENIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DA MISTURA)	ton	6265,728	R\$ 26,00	R\$ 162.908,93	Vibrita Minig ¹
SOLO ARGILLO-ARENOSO PARA ATERRO (DENSIDADE MATERIAL SOLTO), CONSIDERANDO O TRANSPORTE ATÉ TRECHO.	ton	843,44	R\$ 60,00	R\$ 50.606,40	Clube da Casa Silvinho ²
DESMATAMENTO, DESTOCAMENTO E LIMPEZA DE ÁRVORES, ARBUSTOS E VEGETAÇÃO RASTEIRA. (EXECUÇÃO NA ESPESSURA DE ATÉ 30CM, INCLUINDO REMANEJAMENTO PARA FORA DA LINHA DE OFFSETS E ACERTO DO MATERIAL)	m²	34160	R\$ 0,27	R\$ 9.223,20	DER-MG
TRANSPORTE DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE DE 10,10 A 15,00 KM (DENSIDADE DE MATERIAL SOLTO)	m³/km	10563,3792	R\$ 0,97	R\$ 10.246,48	DER-MG / Google Maps
TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE >= 50,10 KM (MATERIAL DA BASE E SUB-BASE)	ton.km	745620,68	R\$ 0,45	R\$ 335.529,31	DER-MG/ Google Maps
ESCAVAÇÃO, CARGA, DESCARGA, ESPALHAMENTO E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 2ª. CATEGORIA COM CAMINHÃO. DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE DE 1.001 A 1.200 M	m³	12393	R\$ 5,59	R\$ 69.276,87	DER-MG
SARJETA DE CONCRETO EM CORTE TIPO DR.SCC	m	2440	R\$ 57,28	R\$ 139.763,20	DER-MG
AQUISIÇÃO DA ÁREA A SER UTILIZADA, CONSIDERANDO A ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL.	Ha	34,680	R\$ 8.000,00	R\$ 277.440,00	EMATER-MG
TOTAL				R\$ 2.083.800,83	
¹ Pedreira situada na cidade de Campo Belo, portadora do CNPJ: 07.249.377/0001-28, obtendo uma distância de 59,5 km do trecho estudado, cujo a cotação foi elaborada no dia 25 de out. 2020.					
² Clube da Casa do Silvinho, loja de materiais de construção, situada em Boa Esperança, portadora do CNPJ: 05.218.831/00003, cujo a cotação foi elaborada no dia 25 de out. 2020.					

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como demonstrado no quadro 30, concluímos para execução dessa proposta, que será necessário um aporte de aproximadamente, R\$ 2.083.800 reais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do diagnóstico realizado, ficou evidente que a estrada, objeto de estudo, não tem capacidade e/ou manutenção suficientes para atendimento da demanda solicitada. Essa condição exige que os veículos recebam manutenção com maior frequência e expõe os usuários a riscos de acidentes, além do desconforto causado pelos problemas de drenagem, em grande parte por se tratar de uma via não pavimentada.

Por meio do ensaio do CBR, realizado após coleta de material do subleito, conclui-se que o solo tem bom comportamento mecânico, apresentando características favoráveis para execução das camadas de pavimentação, desprezando a camada do reforço do subleito.

Pelas contagens volumétricas executados no local e considerando o período de projeto igual a 10 anos, determinou-se o número “N”. Com volume de tráfego pequeno, foi enquadrado na classe de rodovia IV-B.

De acordo com o número “N”, para a proposta do dimensionamento, segundo a classificação da via pelo valor do VMD, é necessário para a camada de revestimento, tratamentos superficiais. Levando em consideração os tipos de veículos que trafegarão na via, adotou-se 3,5 cm de CBUQ. Para as demais camadas, foram adotadas as espessuras mínimas de 15 cm para materiais granulares, em concordância com as premissas do manual de dimensionamento de pavimento flexível do DNIT.

Cabe destacar que as larguras para a seção transversal da via, seguindo as orientações da classificação da via, poderiam ser menores. Porém, não seria possível respeitar as distâncias mínimas entre veículos orientadas pelo DNIT, e este estudo já contempla essa premissa.

Para a seção longitudinal, suavizando os aclives e declives, assim, sendo necessário um trabalho de terraplenagem para regularização do perfil a ser implantado, considerando que irá ser necessário um empréstimo de 469 m³ de solo.

A análise de drenagens, para fim de anteprojeto, foi considerada apenas a maior bacia hidrográfica, calculando a vazão para um ponto de exutório, vazão essa, utilizada para calcular as sarjetas. Os demais dispositivos de drenagens foram desconsiderados.

Portanto, para execução da solução apresentada, estima-se um orçamento de R\$ 2.083.800,83 reais. Valor que, se aplicado, tende a proporcionar menor desgaste nos veículos, maior conforto e segurança para os usuários da via.

REFERÊNCIAS

ANTAS, P.M. et al. **Estradas: Projeto geométrico e de terraplenagem**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 7207/1982** – Terminologia e classificação de Pavimentação, Rio de Janeiro, 1982.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 377 e 378 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica** – Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BRASIL. CNT – Confederação Nacional de Transporte, **Malha Rodoviária Brasileira**, Brasília, 2018.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Rodovias. Volume Médio Diário Anual de Tráfego**. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf. Acesso em março de 2020.

DER –MG. DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES ESTRADAS E RODAGENS. **Tabela Referencial de preços**. Disponível em: http://www.deer.mg.gov.br/index.php?preview=1&option=com_dropfiles&format=&task=frontfile.download&catid=314&id=18810&Itemid=1000000000000. Acesso em outubro de 2020.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, **Manual de Estudo de Tráfego**, Rio de Janeiro, 2006.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Rodovias. Volume Médio Diário Anual de Tráfego**. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/EncontrosTecnicos/1encontroTecnico/TratamentosSuperficiais.pdf>. Acesso em fevereiro de 2020.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Rodovias. Volume Médio Diário Anual de Tráfego**. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/EncontrosTecnicos/1encontroTecnico/TratamentosSuperficiais.pdf>. Acesso em fevereiro de 2020.

EMATER – MG. **Valores de terra nua**,2020. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/doc/site/Valor%20Terra%20Nua/VALORES%20DE%20TERRA%20NUA%202020.pdf>> Acesso em novembro de 2020.

Google Maps, **Traçado da estrada**, Boa Esperança, 2020. Disponível em: www.google.com.br/maps >. Acesso em maio de 2020.

LEE, SCHUN HAN. **Introdução ao projeto geométrico**. 4 ed, 2017.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto Simões. **Pavimentação Rodoviária - Conceitos Fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Synergia: IBP, 2010.

PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo, **IP 02/2004 Classificação das Vias**, São Paulo, 2004.

MINING, VIBRITA. **Produtos de Mineração**. Disponível em: <http://vibrita.com.br/produtos/produtos/>. Acesso em outubro de 2020.

_____. **Decreto 7581 de 2011**. Artigo disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7581.htm. Acesso em maio de 2020.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Artigo disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 18 de junho de 2020.

_____. **Licitações DNIT**. Artigo disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/sala-de-imprensa/seminario-licitacoes-e-contratos.pdf>. Acesso em maio de 2020.

_____. **Normativas e instruções de serviços**. Artigo disponível em: www.dnit.gov.br/instrucoes-normativas/instrucoes-de-servicos/instrucoes-de-servico-por-ano/2016/instrucao-de-servico-no-09-2016-dg-anteprojeto-rdc.pdf. Acesso em maio de 2020.

_____. **Normas e Manuais para serviços**. Artigo disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit106_2009_es.pdf. Acesso em maio de 2020.