



Avaliação do comportamento mecânico e funcional de uma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada

William Eduardo Kolodi

Tese apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança (Portugal) em conjunto com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Brasil) para cumprir os requisitos do programa de Dupla Diplomação para obtenção do título de **Mestre em Engenharia da Construção**

Orientadores:

Professor Doutor António Miguel Verdelho Paula

Professor Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto

Professor Doutor Danilo Rinaldi Bisconsini

Bragança

Mai 2023



Avaliação do comportamento mecânico e funcional de uma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada

William Eduardo Kolodi

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPB para obtenção do título de Mestre em Engenharia da Construção no âmbito do acordo de Dupla Diplomação com a UTFPR. Este trabalho foi orientado pelo Professor Doutor António Miguel Verdelho Paula e Professor Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto, do IPB, e pelo Professor Doutor Danilo Rinaldi Bisconsini, da UTFPR.

Bragança
Maio 2023

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente o Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), pela oportunidade de realizar o mestrado em engenharia da construção em Portugal, mediante acordo de dupla-diplomação, que me proporcionou um grande desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus orientadores, Professor Doutor António Miguel Verdelho Paula e Professor Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto, pelo comprometimento que tiveram comigo, por disponibilizarem seus conhecimentos e auxiliarem na realização deste trabalho.

Agradeço a Hermínia e o Vitor, pela ajuda e disposição na realização das avaliações na estrada de Montesinho, sendo de excelente suporte e fundamentais para que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço a minha família: Fabiola, minha mãe, Eloir, meu pai, e Caroline, minha irmã, por me apoiarem e acreditarem nessa fase da minha vida, ela não seria possível sem o encorajamento e apoio de vocês. Muito obrigado por tudo.

Agradeço a Maria, minha namorada, por deixar essa fase da minha a melhor possível. Não mudaria nada de tudo o que vivenciamos até agora desde que nos conhecemos, você foi a melhor coisa que aconteceu na minha vida, te amo <3.

Agradeço aos meus amigos que vieram comigo nessa jornada, Nathan, Guilherme, Fernando e Wellington, obrigado por todos os momentos e lembranças que vou levar para sempre comigo.

Agradeço a todos do 4 esquerdo que compartilharam o mesmo teto comigo, Dalila, Maria Eduarda e Alana, por me acolherem e serem minha segunda família.

Por fim agradeço a todos que não foram citados aqui, mas que me apoiaram ou participaram desta importante etapa, obrigado.

Resumo

As estradas de baixo volume de tráfego não pavimentadas constituem, frequentemente, um meio importante de acesso a regiões com baixa densidade demográfica e zonas de montanha, assumindo grande importância por representarem porcentagens altas nas extensões das malhas rodoviárias de diversas nações. Perante sua relevância, faz-se necessário um processo de continua monitorização do estado das degradações dessas, para que indiquem a necessidade de intervenções sem que cheguem a um nível crítico e percam sua funcionalidade.

Durante muitos anos foram desenvolvidos métodos e ensaios para melhor descrever o nível de degradação destas estradas, que compõem as denominadas avaliações estruturais e funcionais. A avaliação estrutural serve para caracterizar a capacidade mecânica da estrada e é realizada por meio de ensaios de capacidade de carga. Neste tipo de avaliação, os ensaios de caráter dinâmico, o Light Weight Deflectometer (LWD) e o CBR dinâmico, assumem grande importância. Estes ensaios são relativamente recentes se comparados a outros no mercado e, por esse motivo, há uma carência de estudos sobre eles. A avaliação funcional se ocupa de conceituar a estrada da perspectiva do usuário e define o estado de degradação da via em relação ao conforto e segurança que ela proporciona a quem a utiliza. Diversas metodologias foram desenvolvidas com o objetivo de avaliar o estado funcional da estrada, onde todas remetem a uma nota ou conceito que expressa o grau de degradações das vias.

Neste trabalho estudou-se uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) não pavimentada, localizada no Parque Natural do Montesinho, no Conselho de Bragança. Foram realizadas campanhas de avaliações tanto funcionais, utilizando uma metodologia proposta por Cabette (2018), quanto estruturais, realizando ensaios dinâmicos. Estudos anteriores foram realizados na mesma estrada, utilizando a mesma metodologia e ensaios deste trabalho, e, por conta disso, foi possível comparar resultados de campanhas de avaliações de outros três autores ao longo de 6 anos. É realizado também um comparativo do estado funcional da estrada nos diferentes períodos de avaliação funcional, a fim de discutir sobre a evolução da estrada ao longo do período que foi avaliada.

A avaliação estrutural apresentou resultados consistentes para o LWD, mas o mesmo não pode ser dito para o CBR dinâmico. Quanto a avaliação funcional, os diversos registros apresentados por quatro avaliadores apontam a subjetividade do método, onde são demonstradas diferenças substanciais entre todas as campanhas de ensaio.

Abstract

Unpaved low-volume roads are often an important mean of access to regions with low population density and mountain areas, and are considerably important because they represent high percentages in the extension of the road networks of several nations. In view of their relevance, a process of continuous monitoring of the state of their degradation is necessary, so that they indicate the need for interventions without reaching a critical level and losing their functionality.

For many years, methods and tests have been developed to better describe the level of degradation of these roads, which are integrated in structural or functional evaluations. The structural evaluation serves to characterize the mechanical capacity of the road, and is done through load capacity tests. In this type of evaluation, there are dynamic tests, like the Light Weight Deflectometer (LWD) and the dynamic CBR. The dynamic tests are relatively new compared to others on the market, and for this reason there is a lack of studies on them. The functional evaluation is needed to evaluate the road from the user's perspective, and defines the state of degradation of the road in relation to the comfort and safety it provides to those who pass through it. Several methodologies were developed with the objective of evaluating the functional state of the road, where all refer to a note or concept that expresses the level of degradation of the roads.

In this work, an unpaved low-volume road (LVR) was studied, which is located within the Natural Park of Montesinho, in the Council of Bragança. Both, functional evaluation, using a methodology proposed by Cabette (2018), and structural evaluation, performing dynamic tests campaigns, were performed on the LVR. Previous studies were carried out on the same road, using the same methodology and tests that this work, and because of this, it was possible to compare results of evaluation campaigns by three other authors over 6 years. It also realized a comparison of the functional state of the road in the different periods of functional evaluation, in order to discuss the behavior of the road over the period that was evaluated.

Structural evaluation showed consistent results for LWD, but the same cannot be said for dynamic CBR. For the functional evaluation, the various records presented by four evaluators point to the subjectivity of the method, where substantial differences are demonstrated between all test campaigns.

Sumário

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Abreviações	xii
Lista de Símbolos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização da Dissertação	3
2 Revisão Bibliográfica	4
2.1 Sistema de Transporte	4
2.1.1 Modal rodoviário	5
2.2 Concepção de estradas	6
2.2.1 Estradas Pavimentadas	6
2.2.1.1 Pavimentos flexíveis	6
2.2.1.2 Pavimentos rígidos	8
2.2.1.3 Pavimentos semi-rígidos	9
2.2.2 Estradas não pavimentadas	9
2.2.3 Estradas de Baixo Volume de Tráfego (EBVTs)	12
2.3 Monitoramento de estradas não pavimentadas	15
2.3.1 Avaliação estrutural	16
2.3.1.1 Proctor (ensaio laboratorial)	16
2.3.1.2 CBR (ensaio laboratorial)	18
2.3.1.3 Ensaio de carga em placa - ECP (ensaio de campo)	19
2.3.1.4 <i>Falling Weight Deflectometer</i> - FWD (ensaio de campo)	20
2.3.1.5 <i>Light Weight Deflectometer</i> - LWD (ensaio de campo)	21
2.3.1.6 CBR dinâmico (ensaio de campo)	23
2.3.1.7 Correlação entre os ensaios	24
2.3.2 Degradações	26
2.3.2.1 Afundamentos (<i>Rutting</i>)	27

2.3.2.2 Ondulações (<i>Corrugations</i>)	28
2.3.2.3 Buracos (<i>Potholes</i>)	29
2.3.2.4 Agregado e cascalho solto (<i>Loose aggregate</i>).....	30
2.3.2.5 Erosão (<i>Scour</i>)	31
2.3.2.6 Poeira (<i>Dust</i>).....	32
2.3.2.7 Declividade inadequada do eixo central (<i>Crown</i>).....	32
2.3.2.8 Dispositivos de drenagem (<i>Drainage system</i>)	33
2.3.3 Avaliação funcional.....	35
2.3.3.1 <i>Road Condition Survey / Detailed Visual Inspection</i> - RCS / DVI	37
2.3.3.2 <i>Earth Road Condition Index</i> - ERCI	40
2.3.3.3 <i>Unsurfaced Road Condition Index</i> - URCI	41
2.3.3.4 <i>Road Surface Management System</i> - RSMS.....	44
2.3.3.5 Índice de gravidade individual e global - IGI / IGG - (Cabette, 2018).....	45
3 Metodologia.....	47
3.1 Objeto de estudo.....	47
3.2 Avaliação Estrutural.....	49
3.2.1 Método do ensaio - <i>Light Weight Deflectometer</i> (LWD).....	50
3.2.2 Método de ensaio - CBR dinâmico	53
3.3 Avaliação funcional	55
3.4 Método das diferenças acumuladas da AASHTO.....	57
4 Resultados e discussões.....	60
4.1 Discussões sobre a avaliação estrutural	60
4.1.1 Resultados dos ensaios <i>Light Weight Deflectometer</i> (LWD)	60
4.1.2 Resultados dos ensaios do CBR dinâmico	65
4.2 Discussão sobre a avaliação funcional.....	70
4.2.1 Análise sobre as subseções de 6 metros	70
4.2.2 Avaliação sobre as subseções de 10 metros	73
5 Conclusões	75
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	77
Referências Bibliográficas	78
APÊNDICES.....	83
Apêndice A - Informações sobre o segmento da estrada avaliada	83
Apêndice B - Cálculos para as seções homogêneas do LWD	84
Apêndice C - Pontos característicos do LWD.....	89
Apêndice D - Cálculo para as seções homogêneas do CBR dinâmico.....	94
Apêndice E - Pontos característicos do CBR dinâmico	98

Apêndice F - Informações sobre medição para avaliação funcional	102
Apêndice G - Degradações registradas na avaliação de junho 2022	111
Apêndice H - Degradações registradas na avaliação de abril 2023	124
Apêndice I - Folhas de cálculo do IGG (subseções de 6 m)	136
Apêndice J - Folhas de cálculo do IGG (subseções de 10 m)	141
ANEXOS	144
Anexo A - Informações relacionadas ao método RCS / DVI	144
Anexo B - Informações relacionadas ao método ERCI	149
Anexo C - Informações relacionadas ao método URCI	151
Anexo D - Informações relacionadas ao método RSMS	158
Anexo E - Informações relacionadas ao método aplicado por Cabette	159

Lista de Figuras

Figura 1 - Seção transversal usual de um pavimento flexível	7
Figura 2 - Seção transversal usual de um pavimento rígido.....	8
Figura 3 - Seção transversal usual de um pavimento semi-rígido.....	9
Figura 4 - Gráfico temporal da extensão da malha rodoviária dos Estados Unidos.....	10
Figura 5 - Gráfico temporal dos quilômetros da malha rodoviária do Brasil.....	11
Figura 6 - Seção transversal de composições usuais pra estradas não pavimentadas	11
Figura 7 - Influência do ambiente e do tráfego em relação ao número de eixos padrão.....	14
Figura 8 - Gráfico característico do ensaio Proctor.....	17
Figura 9 - Gráfico comparativo da curva do CBR da brita padrão e de outro material.....	18
Figura 10 - Representação esquemática do Falling Weight Deflectometer	21
Figura 11 - Representação esquemática do Light Weight Deflectometer	22
Figura 12 - Placa de confinamento (a) e pistão (b) utilizados para o ensaio do CBR dinâmico	24
Figura 13 - Ábaco de correlações entre os parâmetros dinâmicos e o módulo de deformabilidade	25
Figura 14 - Representação do processo de origem de afundamentos em estradas não pavimentadas ..	27
Figura 15 - Exemplo de afundamento presente na EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023.	28
Figura 16 - Fotografia de uma estrada não pavimentada com ondulações em sua superfície.....	29
Figura 17 - Fotografia de uma estrada não pavimentada com presença de buracos em sua superfície.	29
Figura 18 - Afundamento e buracos na EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023	30
Figura 19 - Fotografia de uma estrada não pavimentada com agregado solto em sua superfície	31
Figura 20 - Erosão transversal na EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023	31
Figura 21 - Perfis transversais e suas inclinações para uma estrada não pavimentada	33
Figura 22 - Água acumulada ao lado da EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023.....	34
Figura 23 - Representação gráfica de uma vala em relação a estrada	34
Figura 24 - Representação de galeria implementa em uma estrada	35
Figura 25 - Nomograma de afundamentos para o método URCI.....	42
Figura 26 - Nomograma para encontrar o URCI da subseção.....	43
Figura 27 - Localização do segmento da estrada objeto de estudo deste trabalho	47
Figura 28 - Perfil longitudinal do segmento da estrada objeto de estudo deste trabalho	48
Figura 29 - Componentes do ZFG 3.0 utilizados no ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD) ..	50
Figura 30 - ZFG 3.0 montado utilizado no Light Weight Deflectometer (LWD).....	52
Figura 31 - Componentes do ZFG 3.0 utilizados no ensaio do CBR dinâmico	53
Figura 32 - ZFG 3.0 montado utilizado no CBR dinâmico.....	54
Figura 33 - Representação visual das subseções de 6 metros e 10 metros da avaliação funcional	56

Figura 34 - Equipamentos utilizados para a avaliação funcional	56
Figura 35 - Módulo de deformabilidade para os diferentes conjuntos de ensaio ao longo da estrada ..	62
Figura 36 - Comportamento do módulo de deformabilidade da estrada para os diferentes períodos ...	62
Figura 37 - Seções homogêneas do módulo de deformabilidade de cada período	63
Figura 38 - Quadro comparativo das seções homogêneas do módulo de deformabilidade.....	64
Figura 39 - Quadro comparativo otimizado das seções homogêneas do módulo de deformabilidade..	65
Figura 40 - CBR dinâmico para os diferentes conjuntos de ensaio ao longo da estrada.....	67
Figura 41 - Comportamento do CBR dinâmico da estrada para os diferentes períodos.....	67
Figura 42 - Seções homogêneas do CBR dinâmico de cada período	68
Figura 43 - Quadro comparativo das seções homogêneas do CBR dinâmico.....	69
Figura 44 - Comparação de IGGs para subseções e 6 metros	71
Figura 45 - Comparação de IGGs das subseções de 10 metros.....	73

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparativo das características dos diversos materiais de estradas não pavimentadas	13
Tabela 2 - Comparativo das características de diversas metodologias de avaliação funcional.....	36
Tabela 3 - Degradações consideradas para análise nas diversas metodologias de avaliação funcional	37
Tabela 4 - Intervalos e respectivas classificações para o método RCS / DVI.....	39
Tabela 5 - Intervalos e respectivas classificações para o método ERCI.....	41
Tabela 6 - Intervalos e respectivas classificações para o método URCI.....	43
Tabela 7 - Intervalos e respectivas classificações para o método IGG	46
Tabela 8 - Distancias entre os pontos onde foram realizados os ensaios	49
Tabela 9 - Resultados das campanhas de ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD)	61
Tabela 10 - Pontos característicos das seções homogêneas do modulo de deformabilidade	64
Tabela 11 - Resultados das campanhas de ensaio do CBR dinâmico	66
Tabela 12 - Pontos característicos das seções homogêneas do CBR dinâmico.....	69
Tabela 13 - Frequência das degradações da superfície da estrada nas diferentes avaliações.....	72
Tabela 14 - Frequência das irregularidades do sistema de drenagem nas diferentes avaliações.....	72
Tabela 15 - Comparação do IGG das subseções de 6 m e 10 m.....	74
Tabela 16 - Comparação do número de degradações das subseções de 6 m e 10 m	74

Lista de Abreviações

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

AFNOR - *Association Française de Normalization*

ARRB – *Australian Road Research Board*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CBR – *California Bearing Ratio*

CEN - *European Committee for Standardization*

DNIT - *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*

EBVT – *Estrada de Baixo Volume de Tráfego*

ERA - *Ethiopian Road Authority*

FHWA - *Federal Highway Administration*

FWD – *Falling Weight Deflectometer*

IRF – *International Road Federation*

LNEC – *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

LWD – *Light Weight Deflectometer*

MTPW – *Ministry of Transportation and Public Works*

OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*

SATCC - *Southern African Transport and Communications Commission*

Lista de Símbolos

w – Teor de umidade

$w_{ót}$ – Teor de umidade ótimo

γ_d – Peso específico aparente

$\gamma_{d_{máx}}$ – Peso específico aparente máximo

E_{v2} – Módulo de deformabilidade

E_{vd} – Módulo de deformabilidade dinâmico

CBR – *California bearing ratio*

CBR_d – *California bearing ratio* dinâmico

Z_x – Valor que expressa a diferença entre as duas sequências acumuladas do método das diferenças acumuladas

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Os sistemas de transporte são de grande importância para qualquer nação, pois permitem o transporte de pessoas e mercadorias, aspectos essenciais para o desenvolvimento econômico do país e diretamente relacionados ao seu crescimento. Exemplos de benefícios de um bom sistema de transporte compreendem ligar as zonas produtoras e consumidoras, reduzir a distância entre zonas rurais e urbanas, gerar empregos e melhorar a qualidade de vida da população (Albano, 2016).

A locomoção de pessoas e mercadorias desde o ponto de partida ao destino pode ocorrer de várias formas, e uma delas é na modalidade rodoviária. O transporte por meio dessa modalidade se enquadra como sendo terrestre, o modo com mais expressão dentre outros, o que se deve a sua atratividade, pois é o mais econômico para pequenas e médias distâncias (Albano, 2016).

As vias de locomoção do modo rodoviário são denominadas estradas, onde dentre as diversas tipologias destas, há a estrada de baixo volume de tráfego – EBVT, nas quais se enquadram as estradas não pavimentadas. Este tipo de estrada é classificado dessa forma devido a sua constituição, a nível de estrutura, e ao nível de tráfego para o qual se dimensiona. As principais funções deste tipo de estrada são as de ligar áreas rurais de baixas densidades demográficas, com regiões urbanas, possibilitando o acesso e transporte de pessoas e mercadorias entre elas. Observando a extensão da malha rodoviária de um país, uma grande porcentagem é composta por este tipo de estrada, e, em países em desenvolvimento, os valores

chegam próximo da totalidade, por falta de recursos para serem investidos em infraestruturas melhores.

Diante da sua elevada difusão e o que elas significam para uma nação, é necessário que as EBVTs sejam mantidas no melhor estado possível, pois grande parte da população depende destas para poder trabalhar ou prover suas necessidades básicas. Para que manutenções sejam feitas quando necessárias, é importante que haja um contínuo processo de verificação do estado de degradação destas estradas. Essas averiguações podem ser realizadas de duas formas: avaliação estrutural (mecânica) e avaliação funcional.

A avaliação estrutural (de caráter mecânico) é realizada por meio de ensaios de capacidade de carga, para avaliar seu estado estrutural, um fator importante que reflete a capacidade da estrada de suportar as cargas inferidas a ela pela passagem de veículos. Há vários ensaios disponíveis para serem empregados nessa verificação, sendo dois deles o Light Weight Deflectometer e o CBR dinâmico. Esses dois ensaios foram desenvolvidos a partir de ensaios mais antigos, e são caracterizados por apresentarem rapidez e versatilidade na coleta de dados. Por serem ensaios relativamente novos, não há tantos estudos sobre eles que os validem e relacionem seus resultados com os de outros ensaios presentes no mercado.

As avaliações funcionais são realizadas de forma subjetiva, por meio de observações e respectivos registro das degradações da estrada, por comparação com base em um catálogo de degradações. Essa avaliação é importante pois avalia o nível da qualidade da estrada, que está diretamente relacionado com o conforto e segurança que o usuário sente ao passar por ela. Por ser subjetiva, apresenta grande variabilidade se performada por diversos avaliadores, mesmo usando uma mesma metodologia.

Neste trabalho, estudou-se uma EBVT não pavimentada, presente no parque natural de Montesinho, como intuito de prover melhorias em ambas as avaliações, estrutural e funcional, por meio de uma análise temporal que envolveu resultados de estudos precedentes realizados na mesma estrada. A análise é feita majoritariamente utilizando a metodologia das diferenças acumuladas desenvolvida pela Associação Norte-Americana de Especialistas Rodoviários e de Transporte – AASHTO (1993). A metodologia não apenas permite trabalhar grandes volumes de dados de forma mais abrangente, como também possibilita um comparativo do estado mecânico da estrada para os diferentes períodos de estudo, permitindo compreender o comportamento mecânico que essa apresenta em função dos parâmetros de capacidade e carga.

1.2 Objetivos

De modo a proporcionar melhorias na avaliação estrutural realizada por meio de ensaios dinâmicos (LWD e CBR dinâmico), bem como melhorar o método de avaliação proposto por Cabette (2018), os objetivos aos quais esse trabalho se propõe a cumprir são:

- ♦ Avaliar o estado mecânico da EBVT não pavimentada utilizando ambos os ensaios dinâmicos, LWD e CBR dinâmico;
- ♦ Avaliar funcionalmente a EBVT não pavimentada, com base nas degradações presentes na estrada, utilizando a metodologia proposta por Cabette (2018);
- ♦ Fazer um comparativo com os trabalhos passados, que também registraram tanto o estado mecânico como o funcional, utilizando os mesmos ensaios e metodologias;
- ♦ Discutir sobre correlações e divergências apontadas nos dois ensaios dinâmicos, após comparação temporal do estado mecânico da EBVT não pavimentada;
- ♦ Validar e propor modificações da metodologia proposta por Cabette (2018), relacionada as dimensões da subseção sugerida por Wolf (2021).

1.3 Organização da Dissertação

Este trabalho está subdividido em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Discussões, e Conclusões.

No capítulo 1 é enquadrado o tema, são definidos os objetivos a que este trabalho se propõe a cumprir, e é apresentada a estrutura da dissertação.

No capítulo 2, são fornecidas informações relevantes para o estudo, divididas em duas partes: a primeira aborda de forma geral o sistema de transporte, e afunila os conceitos até definir EBVTs e estradas não pavimentadas, que são as duas classificações em que a estrada em estudo se enquadra; a segunda conceitua as avaliações estrutural e funcional, apresentando diversos ensaios e metodologias utilizados para ela.

No capítulo 3, é descrita a EBVT não pavimentada objeto de estudo, e é apresentada uma descrição detalhada sobre todos os procedimentos realizados neste trabalho.

No capítulo 4 são feitas as discussões dos resultados da avaliação estrutural e funcional da estrada, juntamente com a análise temporal do comportamento desta.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões, juntamente com sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Sistema de Transporte

Para que uma sociedade se desenvolva economicamente, é imprescindível que seu sistema de transporte seja consistente, já que é ele que vai possibilitar o deslocamento e a acessibilidade de cargas e pessoas, importante para a sua competitividade e seu crescimento. Define-se transporte como uma atividade necessária à sociedade, que produz uma vasta variedade de benefícios, que possibilita a circulação de pessoas e de mercadorias utilizadas por elas, e, por consequência, a realização das atividades sociais e econômicas desejadas (Vasconcellos, 2006).

A qualidade de um sistema de transporte tem custos, onde é a sociedade que deve arcar com custos diretos, como os operacionais, de instalação e manutenção, e indiretos, como impactos ambientais e congestionamentos (Hoel *et al.*, 2012).

Para que seja considerado um sistema de transportes, deve ser constituído por algumas partes, que, em conjunto, interagem para que a mobilidade aconteça, sendo as principais: as vias, os veículos e os usuários (Albano, 2016). Estas partes são responsáveis por definirem a natureza do transporte, ou modalidade (modos), que tradicionalmente são: terrestre (rodoviário e ferroviário), aquático (marítimo e fluvial), aéreo e tubular.

Quando o deslocamento ocorre por meio de um modo apenas, o transporte é denominado unimodal, e quando passa por vários, denomina-se multimodal (Albano 2016). O objeto do presente trabalho, uma via classificada como estrada de baixo volume de tráfego - EBVT, não pavimentada, enquadra-se no modo de transporte rodoviário.

2.1.1 Modal rodoviário

O modo de transporte com o qual esta dissertação está relacionada é rodoviário, podendo-se afirmar que é o modo mais econômica para pequenas e médias distancias, já que o retorno dos investimentos em suas infraestruturas é mais rápido quando comparados com os outros modais de transporte (Albano, 2016).

Segundo a World Bank (2018), o modo rodoviário é responsável por cerca de 80% do transporte mundial de pessoas e de aproximadamente 70% das mercadorias. Já Albano (2016) refere que, no Brasil, 96% dos passageiros e 60,5% do volume de cargas são transportados por rodovias, devendo-se à flexibilidade, acessibilidade e economia do transporte rodoviário em comparação com outras modalidades de transporte. Além disso, o crescimento da população e centros urbanos contribuiu para o aumento da demanda por transporte rodoviário, principalmente nos países em desenvolvimento, onde outros modos de transporte podem ser limitados ou menos acessíveis.

O transporte em modalidade rodoviária efetiva-se pelo transporte terrestre, onde os veículos são a motor, sendo predominantemente movidos por combustão interna, mas cada vez mais vem crescendo o desenvolvimento e a procura por veículos de propulsão elétrica (Albano, 2016). Estes veículos podem ser classificados com base na finalidade do deslocamento, podendo ser de passageiros, como carros e ônibus, e de carga, como caminhões e camionetas. Independentemente da sua classificação, o veículo locomove-se sobre elementos denominados estradas.

O elemento pelos quais os veículos se deslocam, no modo rodoviário, é denominado estrada de rodagem, ou rodovia, que, por definição, é a via de transporte destinada principalmente à passagem de veículos automotores, e tem a finalidade de ligar diferentes lugares e facilitar a locomoção (Pimenta *et al.*, 2017).

As estradas podem ser classificadas em arteriais, coletoras e locais. As arteriais são estradas que comportam grandes volumes de tráfego, e sua função é de proporcionar mobilidade, atendendo ao tráfego de longa distância, com ligações municipais, estaduais ou interestaduais. As coletoras também tem como função proporcionar mobilidade, desta vez entre os centros geradores de tráfego e as rodovias de maior porte. Enfim, as locais, com principal função sendo a de proporcionar acesso de áreas rurais ou pequenas localidades para as rodovias mais importantes que comportam um maior volume de tráfego (Albano, 2016).

2.2 Concepção de estradas

A concepção da estrada pode ser considerada como sendo a etapa antes da construção ou reconstrução da estrutura, ou etapa de projeto. Nessa fase, é definido qual será o tipo de estrada (pavimentada ou não pavimentada), com quais materiais (composição das camadas), e a forma como ela será construída. A escolha do tipo de estrada deve ser definida em função de diferentes fatores, como o tráfego que a ela deverá suportar, as características e propriedades da fundação, condições climáticas do local, e por fim os materiais disponíveis nas proximidades da obra. Essas informações podem ser obtidas por meio de estudos prévios (CEPSA, 2014).

2.2.1 Estradas Pavimentadas

O DNIT¹ (2006) descreve a estrada pavimentada como sendo uma superestrutura composta por um conjunto de camadas de espessuras finitas, apoiadas sobre um semi-espaço considerado teoricamente infinito, denominado subleito ou fundação da estrada.

As camadas podem ser distintas em dois tipos: as camadas ligadas, as quais são compostas por materiais granulares, estes estabilizados com ligantes (hidrocarbonados ou hidráulicos), e são resistentes aos esforços de tração e compressão; e as camadas granulares, compostas por material granular inerte, estabilizado mecanicamente, e resistentes apenas à esforços de compressão (Branco *et al.*, 2016).

As camadas finitas, ou seja, as camadas que possuem uma espessura bem definida desde a etapa de projeto da estrada, definem o tipo de pavimento, que pode ser classificado, de forma geral, em pavimento flexível, semi-rígido e rígido.

2.2.1.1 Pavimentos flexíveis

A estrutura de camadas dos pavimentos flexíveis consiste em camadas superiores constituídas de misturas betuminosas, denominadas camada de desgaste e ligação (regularização), e camadas inferiores constituídas por materiais granulares não ligados, denominadas base granular e sub-base granular, assentadas sobre a fundação da estrada (Branco *et al.*, 2016). Estas camadas sobrepostas definem a estrutura do pavimento flexível, cuja seção transversal pode ser consultada na Figura 1.

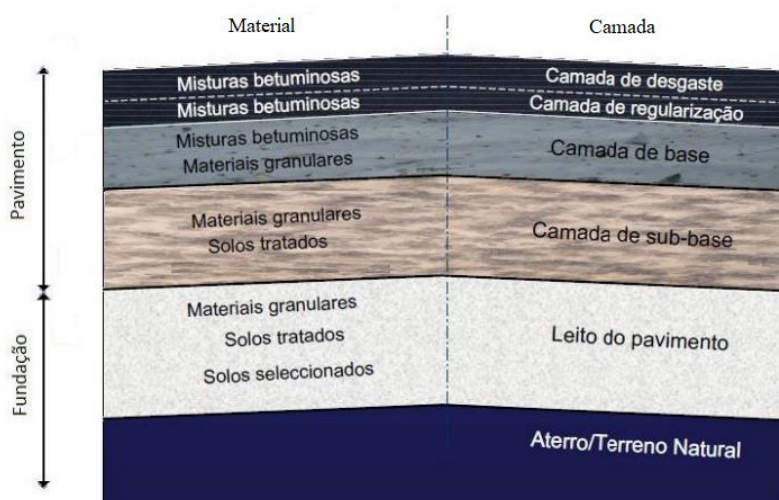


Figura 1 - Seção transversal usual de um pavimento flexível

Fonte: Adaptada de Antunes *et al.*, 2006.

Cada camada é descrita a seguir, partindo da superficial e descendo em profundidade:

- ♦ Camada de desgaste, tem função de resistir à ação direta do tráfego, vertical e tangencial, promovendo uma superfície de rolamento segura e confortável, além de impermeabilizar a estrada, impedindo que as ações climáticas degradem as camadas inferiores (Huang, 2004);

- ♦ Camada de regularização, a segunda camada composta por mistura betuminosa, com agregados de granulometria ligeiramente maior e teor de betume menor em relação à camada de desgaste. O fato de ser uma mistura menos seletiva em sua composição faz com que a camada de regularização seja frequentemente mais econômica e mais espessa em relação à sua superior (Huang, 2004);

- ♦ Base, camada granular composta por materiais duráveis e de boa qualidade que apresentam uma granulometria adequada, que são compactados mecanicamente para atingir a espessura e densidade desejadas. É responsável pela redução das tensões verticais, diminuindo as tensões de compressão na sub-base (DNIT¹, 2006; Huang, 2004). Situacionalmente, perante uma agressividade considerável do tráfego, são adicionados ligantes betuminosos a essa camada granular, mudando sua designação para base betuminosa;

- ♦ Sub-base, juntamente com a Base não ligada (granular), consistem nas camadas mais importantes da estrada do ponto de vista estrutural, já que, como principal função, devem distribuir as tensões de compressão originadas pela passagem ou paragem dos veículos para a fundação (SHELL, 2015). Não é necessário o uso do mesmo material empregado na camada de Base, materiais locais e mais baratos podem ser aplicados para diminuir o custo desta camada (Huang, 2004);

- ♦ Fundação, constituída pelo leito do pavimento e o solo natural. O leito do pavimento tem função de garantir homogeneidade nas propriedades mecânicas da fundação e, na fase de construção, permitir que as camadas superiores possam ser devidamente compactadas sem gerar deformações excessivas no solo natural. Em muitos casos, o subleito é melhorado por meio de compactação ou estabilização com materiais adicionais, como pedra britada, a fim de melhorar suas propriedades e capacidade de suporte (Huang, 2004). Já o solo natural deve ser capaz de suportar a estrutura toda da estrada, que compreende todas as camadas superiores a ela, bem como as cargas a ela transferidas. Deve ser resistente e estável o suficiente para evitar a deformação excessiva ou o colapso da estrutura (SHELL, 2015).

2.2.1.2 Pavimentos rígidos

O pavimento rígido é usualmente constituído por uma camada superior de concreto de cimento Portland, apresentando módulos de deformabilidade muito maiores que as camadas betuminosas. Pode ou não ser apoiada sobre uma segunda camada de concreto de menor qualidade, sobre uma camada granular, ou diretamente sobre a fundação (CEPSA, 2014), como pode ser visualizado na Figura 2.

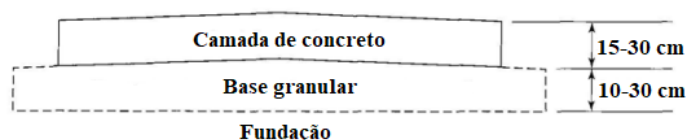


Figura 2 - Seção transversal usual de um pavimento rígido
Fonte: Adaptada de Huang, 2004.

As características e propriedades das camadas são descritas a seguir:

- ♦ Camada de concreto, constituída habitualmente por concreto de cimento Portland, desempenha simultaneamente a função de camada de desgaste, promovendo uma superfície regular e plana para passagem dos veículos, e função estrutural, já que é responsável por resistir aos esforços de tração e compressão a que a estrada está sendo solicitada (CEPSA, 2014);
- ♦ Base granular, possui mesma composição da camada de Base empregada em pavimentos flexíveis, servindo para garantir uma superfície de apoio para a camada de concreto (CEPSA, 2014). Segundo Hang (2014), outros motivos para aplicação desta camada podem ser o controle da ejeção de água que passa através de juntas e rachaduras da camada de concreto causadas pela elevada pressão de cargas pesadas, e para amenizar a ação do gelo, que em períodos de congelamento podem levantar a camada de concreto, e em períodos de degelo enfraquecem a fundação.

2.2.1.3 Pavimentos semi-rígidos

Este tipo de pavimento tem uma estrutura de camadas muito similar à do pavimento flexível, mas caracteriza-se por uma camada de base cimentada (DNIT¹, 2006). Essa composição, de camadas superiores de mistura betuminosa que promovem uma superfície segura e confortável, e a camada subsequente de concreto que promove uma base forte e resistente para a estrutura, resulta em um pavimento ideal com as características mais desejáveis. Devido a sua composição, também é o tipo de pavimento menos econômico dentre os citados anteriormente, sendo rara sua construção para novas estradas, mas sim habitualmente utilizado para reabilitações de pavimentos rígidos existentes (Hang, 2004). A seção transversal deste tipo de pavimento pode ser visualizada na Figura 3.

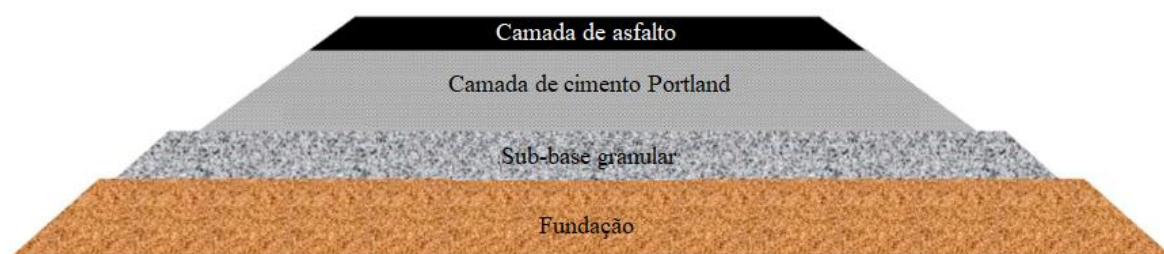


Figura 3 - Seção transversal usual de um pavimento semi-rígido
Fonte: Adaptada de Plati, 2019.

2.2.2 Estradas não pavimentadas

Estradas não pavimentadas constituem uma porção considerável se comparada a toda a malha rodoviária de cada país. Segundo Skorseth & Selim (2000), elas são o tipo de estrutura mais simples provido para a população, e costumam ser consideradas significativamente inferiores, em termos de durabilidade e capacidade de carga, a qualquer tipo de estrada pavimentada citada anteriormente. Ainda assim existem pelo fato de que em algumas regiões, principalmente rurais, o volume de tráfego é tão baixo que pavimentar e manter uma estrada pavimentada não é economicamente viável.

Em muitos casos, estradas não pavimentadas existem para fornecer um meio de transportar produtos agrícolas para dentro e fora de campos agrícolas, madeira de florestas ou como acesso a áreas remotas, como acampamentos e lagos, e muitas destas estradas também atendem aos residentes rurais (Skorseth & Selim, 2000). Grande parte dessas estradas permanecerão não pavimentadas devido ao volume de tráfego muito baixo e/ou falta de fundos para melhorar o subleito e a base antes de aplicar a(s) camada(s) de pavimento (Skorseth & Selim, 2000). Há também a possibilidade desse tipo de estradas serem as únicas possíveis de

existirem em parques ecológicos ou regiões protegidas, onde estradas pavimentadas não são permitidas por agredirem de certa forma o meio ambiente local.

Nos Estados Unidos da América, onde grandes e constantes investimentos são feitos no ramo das infraestruturas de transportes, as estradas pavimentadas constituíram em cerca de 47% do total da extensão de estradas do país no ano de 2000, enquanto 53% equivalem aproximadamente a 2,6 milhões de quilômetros de estradas não pavimentadas (Skorseth & Selim, 2000); informações mais recentes, retiradas do banco de dados da *International Road Federation – IRF* (2022) apontam que, neste mesmo país, no ano de 2020, o percentual de estradas não pavimentadas estava próximo a 32%, totalizando cerca de 2,1 milhões de quilômetros de estrada que existiam no momento, como pode ser visto na Figura 4.

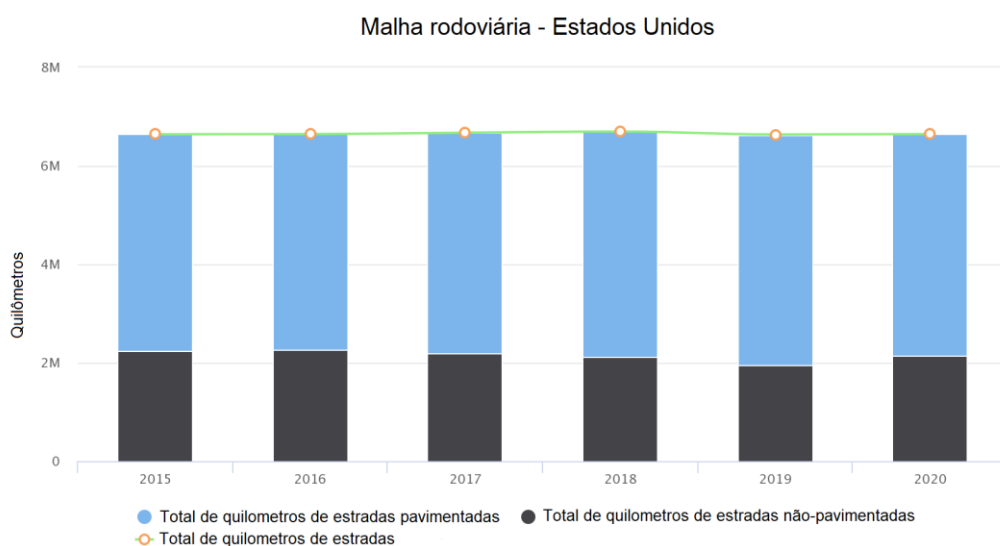


Figura 4 - Evolução temporal da extensão da malha rodoviária dos Estados Unidos
Fonte: Adaptada de IRF, 2022.

Já em países em desenvolvimento, o percentual de quilômetros de estrada não pavimentadas pode chegar a valores mais elevados, próximos da totalidade da rede rodoviária do país. Um exemplo é o Brasil, que, segundo os dados oficiais do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre - DNIT citados por Albano (2016), de um total de 1,57 milhões de quilômetros de estradas, compreendendo estradas federais, estaduais e municipais, aproximadamente 1,35 milhões de quilômetros eram estradas não pavimentadas. Isso equivale a cerca de 79% de toda a rede rodoviária do país em 2015. Informações mais atualizadas, retiradas do banco de dados do IRF (2022), demonstram que, em três anos, esses valores não mudaram significativamente, onde a malha de estradas em 2020 não teve grande evolução, mantendo sua extensão total próxima de 1,58 milhões de quilômetros, e cerca de 1,35 milhões de quilômetros sendo de estradas não pavimentadas, como mostra a Figura 5.

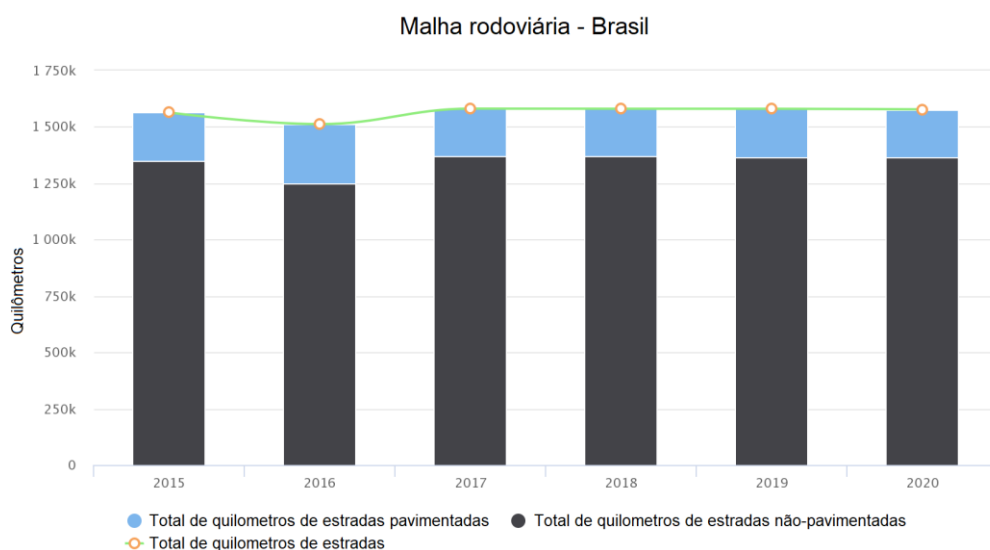


Figura 5 - Gráfico temporal dos quilômetros da malha rodoviária do Brasil
 Fonte: Adaptada de IRF, 2022.

Essas informações demonstram a importância que as estradas não pavimentadas apresentam para uma nação e, conseqüentemente, a importância da preservação, do seu acompanhamento por meio de avaliações periódicas, e reabilitação delas.

Quanto à popularidade deste tipo de estrada, não se tem uma distinção entre regiões quentes e frias, pois assim como no Brasil, um país quente, com grande parte da rede rodoviária não pavimentada, estradas com superfície de cascalho, ou seja, estradas não pavimentadas, são o tipo de estradas mais comuns em regiões frias também (Doré & Zubeck, 2009). As seções transversais usuais de uma estrada não pavimentada podem ser observadas na Figura 6.

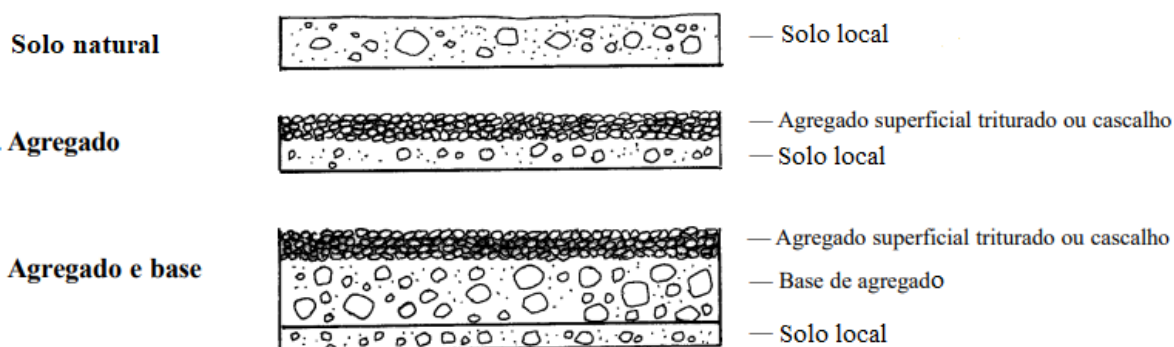


Figura 6 - Seção transversal de composições usuais pra estradas não pavimentadas
 Fonte: Keller & Sherar, 2003.

Estas estradas não possuem camadas de revestimento ligadas, e consistem tradicionalmente da fundação, que exerce a mesma função que nas estradas pavimentadas, e de até duas camadas granulares sobre essa, onde a superficial é denominada de superfície de

rolamento. Os materiais mais comuns empregues nesse tipo de estrada são solo natural, cascalho, pedra, empedrado e agregado triturado (Keller & Sherar, 2003).

2.2.3 Estradas de Baixo Volume de Tráfego (EBVTs)

São definidas estradas de baixo volume de tráfego (EBVTs) as estradas utilizadas para administrar recursos de zonas rurais ou conectar cidades e regiões de porte menor e com menos usuários utilizando-a, construídas para suportar volumes baixos de tráfego com cargas potencialmente extremas (Keller & Sherar, 2003).

Definições menos gerais e mais técnicas podem ser encontradas em diversos guias e manuais. Esses, incluem valor máximo de passagens de veículos (seja diário, anual, ou da vida útil da via), como parâmetro para que a estrada entre na categoria de “estrada de baixo volume de tráfego”, que é a tipologia de via em que objeto de estudo desta pesquisa se enquadra.

Em 2013, o *Ministry of Transport and Public Works - MTPW* (Ministério do Transporte e Obras Públicas) da República do Malawi, em seu manual de EBVTs, afirma que este tipo de via é caracterizada por duas condicionantes ligadas ao tráfego: a primeira é o valor máximo de veículos médios diários, definido como 300 passagens máximas por dia, e a segunda é de 1 milhão de passagens de eixos padrão equivalentes (de 80 kN) ao longo da vida útil da estrada.

Já a *Ethiopian Roads Authority – ERA*¹ (Autoridade Rodoviária da Etiópia), no seu manual de projeto de estradas de baixo volume de tráfego para as vias da Etiópia de 2016, afirma que este tipo de estradas são simplesmente as vias projetadas para conter volumes baixos de tráfego. O manual aponta que o nível de tráfego para uma definição é relativamente arbitrário, porque as características que definem uma estrada de baixo volume mudam gradualmente à medida que o tráfego de projeto aumenta. Ainda assim encontram-se informações sobre valores que parametrizam o tráfego para este tipo de via. O volume de tráfego mais comum, apresentado pelo manual, para classificar uma estrada como sendo uma EBVT, é o de um número acumulado de eixos padrão equivalentes (de 80 kN) sendo inferior a 1 milhão durante a vida útil de 15 anos da estrada. Também há um valor de veículos médios diários anual, de 300 (estes com 4 ou mais rodas), estimado para metade da vida útil da via (ERA, 2016).

Em 2003, a *Southern African Transport and Communications Commission - SATCC* (Comissão Sul-Africana de Comunicações e Transporte), responsável por dar apoio técnico às regiões da África do Sul, também desenvolveu um guia sobre os procedimentos a serem tomados para construção de estradas de baixo volume de tráfego. Este as define como as vias

onde o número máximo de veículos médios diários anual igual a 200, não mencionando um número característico de veículos acumulados de eixos padrão equivalentes par a vida útil, como nos demais guias e manuais citados anteriormente.

Por fim, na Oceania, encontram-se guias como o da Austroads (2009), organização que presta suporte para regiões como Austrália e Nova Zelândia, no âmbito de sistemas de transportes. A indicação é que EBVTs não pavimentadas são aquelas onde a taxa de veículos médios diários anual é inferior a 200, sem mencionar volume de eixos padrão máximos para vida útil da via.

Em países mais desenvolvidos, que possuem mais recursos para serem investidos no setor das infraestruturas de transporte, tem um percentual maior da rede rodoviária constituída por estradas pavimentadas. Por conta disso possuem manuais e guias onde esses não incluem informações detalhadas sobre as EBVTs, mas sim apenas uma abordagem geral é apresentada sobre o tema. As considerações de projeto para esta tipologia de via, são então tomadas partindo das dimensões mínimas das camadas dos pavimentos flexíveis, que são os mais econômicos dentre os tipos de pavimentos citados na seção anterior. Muitas vezes estas dimensões mínimas já são suficientes ou até superdimensionadas para a solicitação que o tráfego irá exercer na estrada.

Por outro lado, os manuais e guias mais detalhados, com estudos aprofundados sobre as EBVTs não pavimentadas, são mais comuns em países em desenvolvimento, como os citados anteriormente. Isso deve-se ao fato de necessitarem de um processo otimizado para esta tipologia de estrada, que é muito difundida na rede rodoviária destes países. Esses manuais sugerem os melhores materiais a serem empregados e com as melhores práticas sobre a execução de intervenções deste tipo de estrada, sejam elas pavimentadas ou não pavimentadas.

Na Tabela 1 estão resumidas as informações sobre as condições de tráfego das estradas de baixo volume de tráfego, com seus respectivos manuais e guias informativos.

Tabela 1 - Comparativo das características dos diversos materiais de estradas não pavimentadas

Manual	Região	Taxa média diária anual (TMDA)	Eixos padrão equivalentes (80 kN) ao longo da vida útil da estrada	Percentual de estradas não pavimentadas no ano de 2020
MTPW	República do Malawi	< 300	1.000.000	82,7%
ERA	Etiópia	< 300	1.000.000	88,5%
SATCC	África do Sul	< 200	Não definido	78,2%
Austroads	Austrália e N.Z.	< 200	Não definido	53,4%

Percebe-se que todas estas regiões possuem uma extensão ou percentual elevados sobre as estradas não pavimentadas que constituem sua rede rodoviária, o que demonstra a importância desta tipologia de estrada nestas regiões, mas nota-se que os valores que parametrizam uma estrada de baixo volume de tráfego não são unânimes.

O manual da ERA² (2016) aponta que, em baixos níveis de tráfego, os requisitos de engenharia estabelecidos na maioria das referências e especificações sugerem que o desempenho dela depende muito mais das influências ambientais do que do tráfego, como representado na Figura 7. Isso confirma que regiões diferentes não necessariamente compartilham de parâmetros idênticos, já que outros fatores como ambiente e clima, que também possuem influência considerável na tomada de decisão para escolha e construção deste tipo de estrada, variam de local para local.

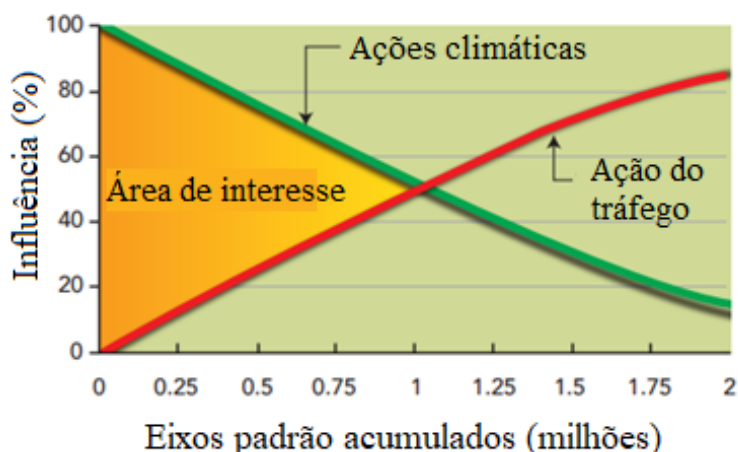


Figura 7 - Influência do ambiente e do tráfego em relação ao número de eixos padrão
Fonte: Adaptado de ERA¹, 2016.

No manual da ERA² (2016) também se encontra uma distinção entre fatores que implicam no resultado e performance da EBVT, subdividindo-os em dois grupos: os fatores controláveis e fatores incontroláveis.

No primeiro grupo estão fatores como tráfego, gestão da obra e gestão da manutenção da estrada, estes últimos conduzidos por meio de manuais como os citados anteriormente. Nos manuais estão contidas as boas práticas e uma gama de opções, relacionadas a esses fatores, que irão se adequar para as situações específicas. Isso dá maior liberdade e poder de escolha para os funcionários que serão os responsáveis seja para concepção e construção, que para posterior monitoramento da estrada.

No grupo dos fatores incontroláveis, temos condicionantes como clima, hidrologia superficial e do subleito, o tipo de solo que servirá de fundação, morfologia do terreno e até mesmos os materiais próximos para serem empregados na construção da estrada.

Sendo o ambiente o maior condicionante para o início da vida útil da estrada até uma passagem de 1 milhão de eixos padrão, como mostrado na Figura 7, torna-se de grande importância a escolha dos materiais e composição da estrada em sua concepção inicial. Isso permite que estes fatores incontroláveis tenham a menor atuação possível no nível de degradação da estrada. Também é importante que os procedimentos de acompanhamento após a obra e futuras intervenções de reabilitação estejam de acordo com as particularidades regionais a que estes fatores estão ligados, a fim de executar os processos mais econômicos e adequados para a estrada em questão.

2.3 Monitoramento de estradas não pavimentadas

Após a construção da estrada, é importante que seja feito um acompanhamento periódico da mesma, seja para estradas pavimentadas quer para estradas não pavimentadas.

No primeiro caso tem-se estruturas mais custosas e complexas, portanto sua preservação e acompanhamento deve ser feito a fim de intervir o quanto antes caso patologias e problemas na estrutura ou superfície ocorram. Para alguns casos iniciais de degradação neste tipo de estrada, as intervenções são simples, mas há casos em que as degradações são verificadas muito tarde, já em um estado possivelmente críticos, fazendo com que a estrutura necessite de reconstrução parcial ou total das camadas. Quando isso ocorre, as consequências são um processo de reabilitação mais dispendioso, que necessita de mais tempo para ser concluído e pode causar impacto negativo para o tráfego da via.

Para estradas não pavimentadas, controles periódicos são necessários, pois não apenas o tráfego, mas principalmente os agentes climáticos, têm grande ação na degradação destas (ERA, 2016). As camadas superficiais, sejam elas de cascalho ou simplesmente solo local, são fortemente impactadas com mudanças de estações, mudanças de temperatura e com as temporadas de chuva ou até mesmo precipitações pontuais mais intensas. Essas ações podem tornar impraticável a passagem dos veículos pelas estradas, fazendo com que perca sua função.

As avaliações das estradas, pavimentadas e não pavimentadas, dividem-se em duas tipologias, avaliações estruturais e avaliações funcionais. São responsáveis por fornecer informações necessárias que posteriormente serão utilizadas pra tomar decisões sobre a necessidade ou não de intervenções na estrada, e suas magnitudes.

2.3.1 Avaliação estrutural

A avaliação estrutural, também chamada de avaliação mecânica, abrange alguns ensaios geotécnicos e diversos ensaios de capacidade de carga, podendo estes serem realizados em laboratório ou no próprio local de estudo (ensaios de campo).

Ensaio laboratoriais são uteis para obter informação e determinar algumas propriedades do solo em estudo, sendo necessária a coleta de amostras desse solo, levando em conta todos os processos de amostragem, para que elas sejam representativas. Por mais que se tenha cuidado na coleta destas amostras, elas não representam o estado verdadeiro do solo no local, já que apenas este processo é suficiente para que sofram alterações, e, de consequência, apresentem resultados com algumas imprecisões (Marques, 2015). Ainda assim estes ensaios são capazes de fornecer dados e parâmetros importantes que podem ser relacionados entre si para entender melhor o objeto de estudo (Caputo & Caputo, 2022).

Já ensaios de campo, por terem a vantagem de serem executados diretamente no local de estudo, apresentam maior rapidez e precisão em seus resultados, pois o solo em estudo está nas próprias condições do local, não sofrendo modificações no processo de retirada de amostras.

Esta avaliação é caracterizada por ser objetiva, significando que os testes ou ensaios são feitos por meio de equipamentos precisos e procedimentos padronizados. Essa padronização, limita a variabilidade que os resultados podem ter, apresentando maior confiabilidade. Quando comparados resultados obtidos por diferentes avaliadores que realizaram ensaios deste tipo, a diferença é mínima ou nula.

Os dados desta avaliação não devem ser obtidos exclusivamente na fase de projeto da estrada, como valores relacionados à capacidade de carga solo fundação, por exemplo, mas tem grande utilidade na fase pós-construção da via. Em fases posteriores, permite avaliar o estado mecânico dela após determinado tempo em que foi sujeita à ação do tráfego e às condições climáticas, indicando seu grau de degradação.

2.3.1.1 Proctor (ensaio laboratorial)

As normas responsáveis por descrever o procedimento deste ensaio são a E197-1966 em Portugal, regulamentada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC (1966), e a NBR 7182/2016:2020 no Brasil, regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2016). O Proctor é um ensaio de compactação, e consiste em um procedimento laboratorial o qual objetivo é determinar a relação entre teor de umidade e massa específica aparente.

A compactação do solo tem efeito positivo considerável na estabilização de maciços terrosos, e nas estradas também. Um solo da fundação devidamente compactado tem um incremento significativo na sua resistência, aumentando sua estabilidade. O incremento da qualidade das características físicas diminui a permeabilidade, compressibilidade e absorção d'água do solo, atributos desejáveis para suporte de estradas (Caputo & Caputo, 2022).

O ensaio Proctor permite obter a curva de compactação do solo em estudo, onde, por meio dela, é possível encontrar o teor de umidade ótima ($w_{ót}$), que corresponde a um grau de saturação entre 80% e 90% para a maioria dos solos (Murrieta, 2018). O teor de umidade ótima nada mais é do que o teor d'água que corresponde ao pico da curva de compactação. Simboliza o teor de umidade para o qual o peso específico aparente seco do solo (γ_d) é máximo, representado na Figura 8 (ABNT, 2017; Murrieta, 2018).

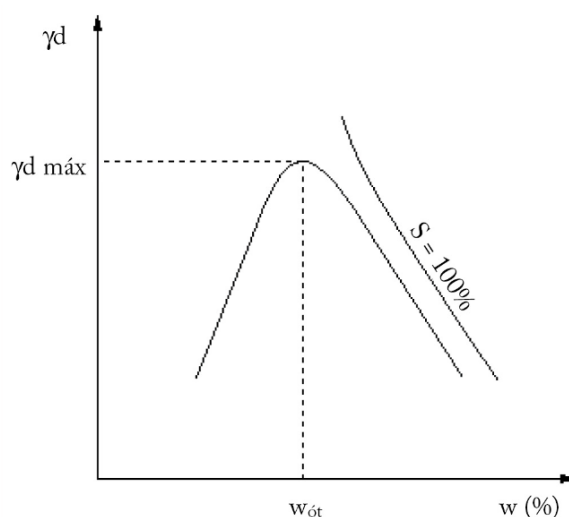


Figura 8 - Gráfico característico do ensaio Proctor
Fonte: Murrieta, 2018.

O procedimento do ensaio encontra-se nas normas E197-1966 e NBR 7182:2020, sendo um processo semelhante entre os documentos. Em síntese, o ensaio consiste em compactar uma amostra representativa do solo, coletada a partir do local de estudo, em cilindros normalizados (cilindros de Proctor), essa com um teor de umidade inicial próximo do teor de umidade ótima. Após completar o cilindro com o solo amostral, separa-se uma porção para encontrar os valores de umidade, massa específica e massa específica aparente seca. Este procedimento é repetido diversas vezes, mas com teores de umidade crescentes, na ordem de 2%, para que assim seja possível plotar a curva de compactação por meio dos diversos valores obtidos, e encontrar o teor de umidade ótima (ABNT, 2016; LNEC, 1966).

2.3.1.2 CBR (ensaio laboratorial)

O ensaio do *California Bearing Ratio* - CBR (Índice de Suporte California), é padronizado em Portugal pela norma E198-1967 (LNEC, 1967), e no Brasil pela norma técnica NBR 9895/2016 (ABNT, 2017), corrigida em 2017. Para encontrar indiretamente a resistência mecânica de determinado solo, frequentemente é utilizado este ensaio, por seu procedimento ser simples e seu parâmetro ser amplamente utilizado na área de engenharia de pavimentos.

É um ensaio similar ao do Proctor, mas com algumas variações e procedimentos adicionais que permitem encontrar outros índices físicos além da umidade ótima e peso específico máximo, como, por exemplo, as propriedades expansiva do solo e o próprio CBR. Esse último nada mais é do que uma porcentagem que exprime a relação entre o valor da penetração de um cilindro normalizado em uma brita padrão graduada, e a penetração do mesmo cilindro na amostra de solo em estudo (Caputo & Caputo, 2022; Pelaquim, 2021). Na Figura 9 podem ser visualizadas as duas curvas que relacionam a carga do cilindro com a penetração da brita padrão e de outro material qualquer.

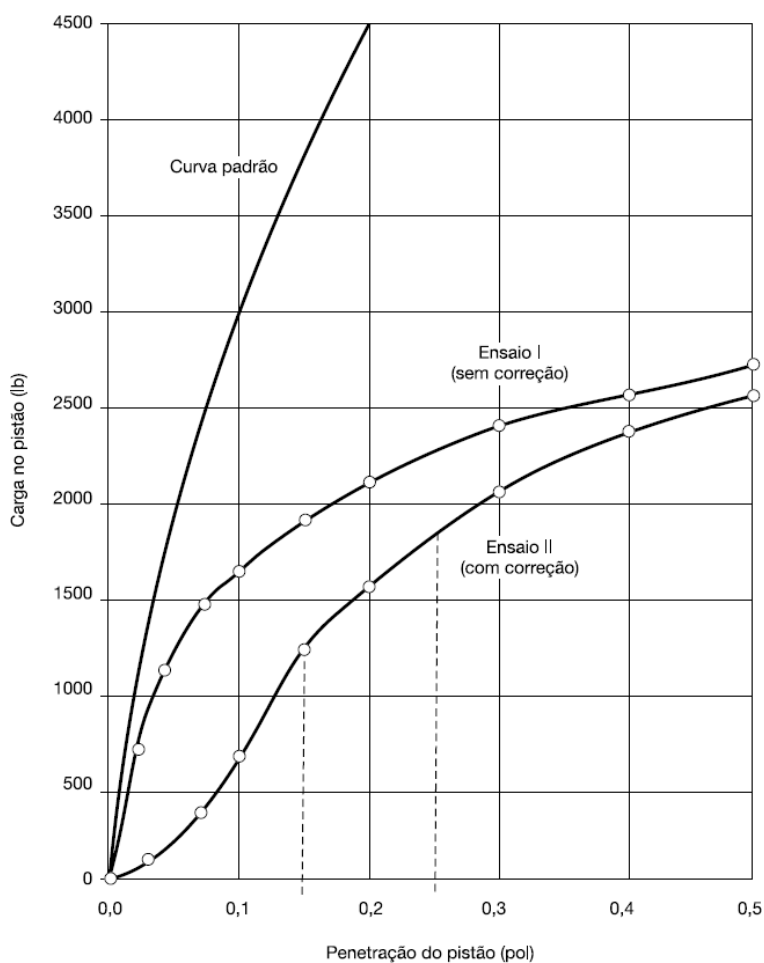


Figura 9 - Gráfico comparativo da curva do CBR da brita padrão e de outro material
Fonte: Caputo & Caputo, 2022.

Em síntese, o ensaio consiste em um primeiro momento em determinar a umidade ótima e o peso específico seco, de forma similar ao Proctor. Em seguida, determinam-se as propriedades expansivas do material e o próprio CBR. Para este último, é feita a relação entre a tensão resultante do ensaio e a tensão da brita padrão normalizada, por meio da Equação 1 (ABNT, 2016; LNEC, 1967). Normalmente, adotam-se os valores das duas pressões que correspondem a penetração de 2,54 mm (0,1 pol) para projetos de pavimentos flexíveis.

$$CBR (\%) = \frac{Tensão\ na\ amostra}{Tensão\ na\ brita\ padrão} * 100 \quad [1]$$

O procedimento detalhado pode ser consultados nas duas normas que o padronizam.

2.3.1.3 Ensaio de carga em placa - ECP (ensaio de campo)

O ensaio de carga em placa foi inicialmente desenvolvido para analisar as respostas do solo sujeito a aplicação de cargas pesadas que simulam as condições reais de carregamento da fundação de construções. Porém, acabou se estendendo para diversos ramos da engenharia civil, e tornou-se um ensaio popular para caracterização em estradas, principalmente do solo fundação, mas podendo ser aplicado nas demais camadas granulares (Kraemer *et al.*, 2004).

Uma das normas que padronizam esse ensaio é a francesa NFP94-117-1 (AFNOR, 2000), onde a mesma descreve o objetivo do ensaio como sendo o de determinar o módulo de deformabilidade do solo por meio de um carregamento estático aplicado com uma placa.

O procedimento de ensaio consiste na instalação do equipamento no local, onde é posicionado o veículo acima do ponto onde o ensaio vai ocorrer, e é montado o sistema que vai transmitir as tensões geradas pelo peso do veículo, por meio de um macaco hidráulico, no próprio ponto, onde está posicionada uma placa rígida. Em seguida, são realizados dois carregamentos e um descarregamento, onde são registradas as respectivas deformações.

Se uma certa pressão for aplicada no solo, uma estabilização da deformação irá ocorrer em pouco tempo, mas quando houver o descarregamento, parte da deformação será recuperada (deformação elástica). Por esta razão, neste ensaio são realizados dois ciclos de carga, com um descarregamento entre eles (Kraemer *et al.*, 2004).

Após a sequência de carregamentos, anota-se o valor da deformação que será utilizado posteriormente. Com essas deformações, faz-se uso da fórmula de Boussinesq (Equação 2), relacionando a tensão vertical, diâmetro da placa e deformação média, para encontrar o módulo

de elasticidade, que neste caso denomina-se módulo de deformabilidade (E_{v2}), por não considerar comportamento elástico do solo (Kraemer *et al.*, 2004).

$$E_{v2} \text{ (MPa)} = 0,75 * d * \frac{q}{s} \quad [2]$$

Onde:

d - Diâmetro da placa metálica (m)

q - Tensão vertical aplicada (MPa)

s - Deformação média(m)

A maior limitação deste ensaio está diretamente ligada com o sistema de reação, já que veículos pesados que tenham massa suficiente para exercer o carregamento almejado no solo são muitas vezes um limitante para sua execução. Tanto a tarefa de conseguir este tipo de veículo que atenda às necessidades do ensaio, quando o próprio espaço que ele necessita para sua execução no local, são características que podem fazer com que outras opções de ensaio sejam consideradas, descartando a possibilidade da aplicação deste (Kraemer *et al.*, 2004).

O valor do módulo de deformabilidade está diretamente associado com a capacidade de suporte que a fundação possui até uma certa profundidade, que compreende o bulbo de pressão. Por esse motivo ele é de extrema relevância para encontrara capacidade de carga da fundação da estrada.

2.3.1.4 *Falling Weight Deflectometer* - FWD (ensaio de campo)

A determinação do módulo de deformabilidade por meio do ensaio de carga em placa (ECP) é um processo consideravelmente lento, e para contornar isso, existe o *Falling Weight Deflectometer* - FWD (Deflectômetro de Impacto), que é um ensaio mais rápido se comparado ao seu similar, já que o equipamento não necessita de sistema de reação e é de fácil transporte por ser um reboque acoplado a um veículo automotor (Kraemer *et al.*, 2004).

O ensaio consiste na queda livre de uma massa sobre uma placa posta na superfície do solo, e, em seguida, é registrada a deformação por meio de sensores (Riedl, 2009).

Este ensaio tem, por objetivo, simular o carregamento do eixo de um veículo pesado, e medir a resposta da camada onde foi efetuada a solicitação. Com a carga imposta, a resposta do solo perante a tensão aplicada, e a constituição do material, podem-se deduzir as tensões e deformações em cada ponto onde os sensores estão postos (Kraemer *et al.*, 2004; Riedl, 2009).

Esse ensaio é padronizado pela norma D4694-09 (ASTM, 2013). O procedimento consiste na aplicação, por meio de queda livre de uma massa, de um impacto na superfície do solo. Esse impacto é transmitido ao solo por meio de uma placa devidamente assentada na superfície, de diâmetro de 30 cm. Essa massa exerce um esforço entre 10 e 250 kN, embora valores superiores a 200 kN sejam empregados em aeroportos. No mesmo instante que ocorre o impacto no solo, sensores (geofones ou transdutores) registram a resposta deste, traduzindo-a em deformações sofridas pela camada. Uma representação do equipamento pode ser vista na Figura 10. É usual que sejam posicionados de quatro a nove sensores, todos alinhados na mesma reta, onde o primeiro está no centro da placa, e o último não mais distante do que 2,5 m (Kraemer *et al.*, 2004).

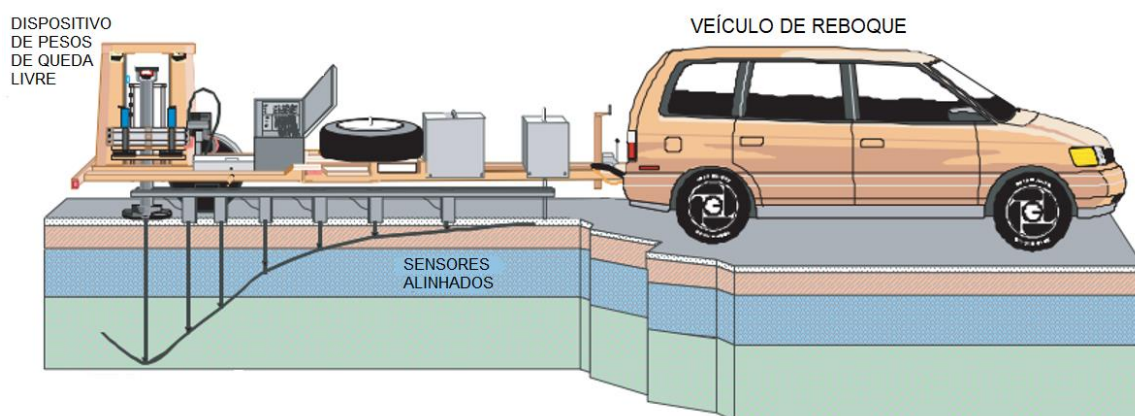


Figura 10 - Representação esquemática do Falling Weight Deflectometer
 Fonte: Adaptada de Nazzal *et al.*, 2007.

2.3.1.5 *Light Weight Deflectometer* - LWD (ensaio de campo)

Com o objetivo de avaliar e efetuar ensaios de caracterização mecânica, do solo ou pavimento, de forma mais ágil e rápida que os ensaios apresentados anteriormente, em 1981 foi desenvolvido o *Light Weight Deflectometer* - LWD (Deflectômetro de Impacto Portátil), em Magdeburg, na Alemanha, pelo Instituto Federal de Pesquisa Rodoviária juntamente com a HMP Company (Elhakim *et al.*, 2014). O principal ponto positivo deste ensaio está relacionado com a pouca quantidade de recursos e especificações de que necessita para operar, que os ensaios apresentados anteriormente não oferecem.

O equipamento utilizado é portátil, e por esta razão, a análise e recolha de dados é feita de forma mais ágil e rápida, economizando tempo e recursos, como a necessidade um sistema de reação necessário no ECP. Por ser um equipamento portátil, também tem vantagem relativamente a outros ensaios por sua versatilidade, já que não possui limites quanto a locais, cobrindo grande parte das situações de obra onde outros ensaios não são exequíveis, por conta

da falta de espaço. Isso o torna consideravelmente mais competitivo para a avaliação estrutural do local em estudo (Nazza *et al.*, 2007). Por fim, outro ponto positivo está na possibilidade deste equipamento ser operado por apenas uma pessoa.

O procedimento e a padronização do ensaio relacionado ao LWD, pode ser encontrado na norma americana ASTM E2835-11 (2011). Consiste na determinação do módulo de deformabilidade dinâmico (E_{vd}) por meio de leituras de deformações do solo, estas decorrentes de impulsos gerados por cargas dinâmicas, da mesma forma descrita para o ensaio FWD.

É utilizado principalmente em estudos do solo fundação da estrada, mas também podendo ser aplicado nas demais camadas granulares (ASTM, 2011). A Figura 11 é uma representação do LWD, com seus principais componentes.

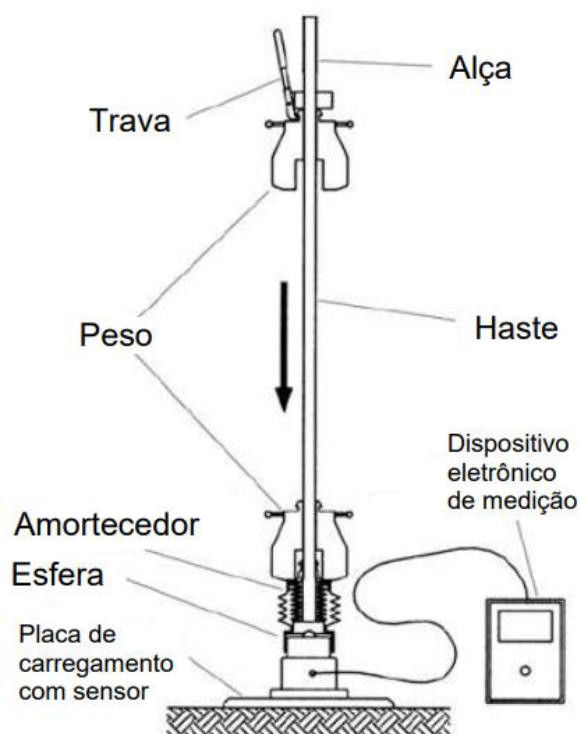


Figura 11 - Representação esquemática do Light Weight Deflectometer
Fonte: Adaptada de Adam & Adam, 2003.

O equipamento é composto por três partes principais:

- ♦ O dispositivo de carregamento, conjunto responsável por aplicar a solicitação ao solo. Compreende o peso em queda livre, também denominado martelo; a haste pela qual o peso passa, servindo de guia; a trava, responsável por segurar o peso na altura padrão e despencá-lo; a alça, que possui um nível de bolha, de modo a permitir o operador verticalizar a haste para que a solicitação do peso seja 100% efetiva, sem componentes horizontais; e o amortecedor, que funciona como uma mola para o peso, fazendo-o exercer uma pressão pontual no solo;

- ♦ O dispositivo de medição, composto pela esfera e a placa metálica de carregamento com sensor, que em conjunto fazem a leitura da deformação do solo na hora do impacto do peso;
- ♦ O dispositivo de processamento da leitura, que inclui o cabo e o dispositivo eletrônico de medição. Essa parte responsável por processar a deformação lida pelos sensores no instante do impacto, e calcular o módulo de deformabilidade dinâmico (E_{vd}), por meio do software que considera as informações fixas como o diâmetro da placa metálica, a massa, altura de queda, aceleração e por consequência velocidade na hora do impacto do peso.

2.3.1.6 CBR dinâmico (ensaio de campo)

O equipamento do LWD, referido no subcapítulo anterior, também permite realizar o ensaio do CBR dinâmico, após ser devidamente adaptado e ajustado. Este ensaio de natureza dinâmica também permite caracterizar mecanicamente o solo em estudo assim como o LWD, mas trata-se de um parâmetro diferente do módulo de deformabilidade dinâmico (E_{vd}) por estar associado a compactação do solo e não ser expresso em MPa. O CBR dinâmico (CBR_d), que é semelhante ao CBR laboratorial, já que também é expresso por meio de uma porcentagem, mas a diferença está no tipo de carga aplicada ao pistão, na frequência e no tempo de aplicação.

A carga para o ensaio do CBR dinâmico é uma carga dinâmica, que, por meio da gravidade, gerar um impacto no pistão a uma determinada velocidade. A aplicação desta carga difere do CBR laboratorial por conta de que, no CBR dinâmico, o solo sofre apenas um impacto, ao contrário do seu similar, onde são dados diversos golpes a uma determinada frequência na amostra. Também difere do CBR estático, que é um ensaio de campo que tem sua carga aplicada de forma similar ao ensaio ECP, por meio de um macaco hidráulico e de forma gradual, utilizando um sistema de reação, enquanto este aplica um impacto que dura um instante.

O impacto decorrente da queda livre do peso irá provocar um deslocamento no solo em contato com a base de um pistão característico do equipamento, e este deslocamento será registrado por um acelerômetro, de forma similar ao ensaio do LWD.

Para realização do CBR dinâmico, o equipamento do LWD é adaptado. Uma segunda placa é utilizada, está de confinamento do pistão (Figura 12 a), juntamente com o pistão do CBR dinâmico (Figura 12 b), inserido nela. Este pistão possui um sensor do tipo acelerômetro, responsável pela leitura do deslocamento decorrente do impacto.



a) b)
 Figura 12 - Placa de confinamento (a) e pistão (b) utilizados para o ensaio do CBR dinâmico
 Fonte: Wolf *et al.*, 2021.

O CBR_d é calculado a partir da Equação 3. A equação pode ser encontrada no manual da extensão do LWD para o CBR dinâmico, fornecida pela própria empresa que desenvolveu e fabricou o equipamento, a ZORN.

$$CBR_d (\%) = \frac{87,3}{s^{0,59}} * 100 \quad [3]$$

Onde “s” é o deslocamento registrado pelo sensor da placa no instante do impacto.

2.3.1.7 Correlação entre os ensaios

Um aspecto fundamental de todos os ensaios apresentados anteriormente é a necessidade de encontrar correlações entre eles, por meio de relações físicas e matemáticas, ou por meio de experimentação. As correlações permitem globalizar os parâmetros do solo. Consentem ao pesquisador, operador, técnico, ou empresa responsáveis pelas investigações, que em determinada situação disponibilizam somente de um dos equipamentos mostrados anteriormente, de transformar os dados recolhidos em outras grandezas ou unidades. Isso possibilita a utilização de métodos de dimensionamento de estradas que antes não eram considerados pelo fato de dependerem de diferentes parâmetros que os proporcionados pelos ensaios disponíveis. Isso vale não apenas para os diferentes métodos de dimensionamento, mas para qualquer outro parâmetro, metodologia, e prática que seja dependente do resultado destes ensaios.

Diversas pesquisas e trabalhos relacionam parâmetros como CBR e módulo de deformabilidade (E_{v2}), que são mais populares entre os métodos de dimensionamento, servindo de base para tomada e decisão do responsável de obras de estradas e rodovias. Uma equação

que tenta expressar uma equivalência entre estes dois valores em solos de fundação pode ser encontrada na *Interim Advice Note - IAN* (Nota de Conselho Provisório), um documento atualizado de tempos em tempos por organizações e agências do Reino Unido (Highways Agency *et al.*, 2009). A Equação 4 está apresentada abaixo, comprovada para valores de CBR entre 2% e 12%:

$$E_{v2} \text{ (MPa)} = 17,6 * (\text{CBR})^{0,64} \quad [4]$$

Já uma relação mais simples é apresentada no método da Shell (Kraemer *et al.*, 2004), esse muito difundido e consagrado no meio de infraestrutura de transportes para dimensionamento de estradas, que expressa o módulo de deformabilidade do solo (E_{v2}) dependente do valor do CBR na Equação 5:

$$E_{v2} \text{ (MPa)} = 10 * \text{CBR} \quad [4]$$

O CBR dinâmico (CBR_d) e o módulo de deformabilidade dinâmico (E_{vd}), por serem ensaios com procedimentos e equipamentos mais recentes, possuem escassez de estudos e pesquisas relacionados a seus resultados. Ainda assim o manual do equipamento LWD, da ZORN (2016), indica correlações entre o módulo de deformabilidade (E_{v2}), e os dois parâmetros que podem ser obtidos por esse equipamento, o módulo e deformabilidade dinâmico (E_{vd}) e o CBR dinâmico (CBR_d), fazendo uso do ábaco representado na Figura 13.

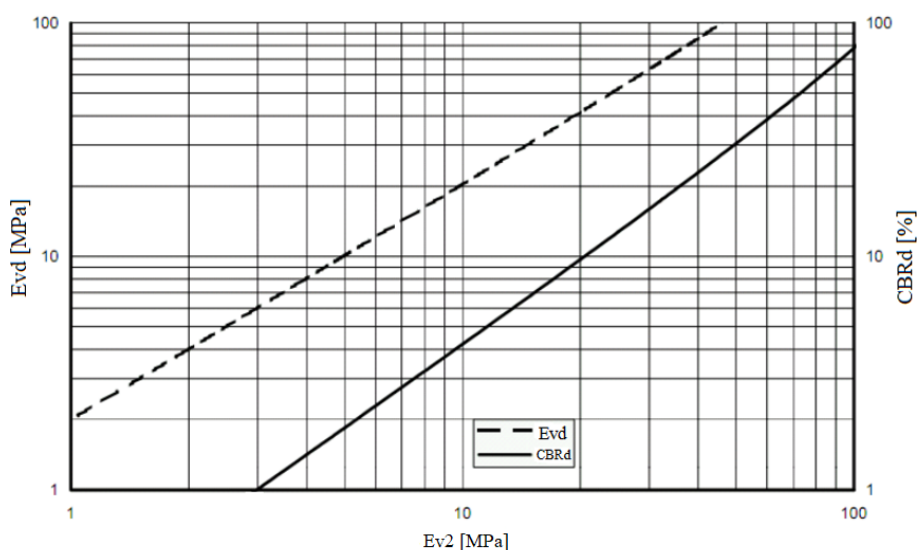


Figura 13 - Ábaco de correlações entre os parâmetros dinâmicos e o módulo de deformabilidade
Fonte: Adaptado de ZORN¹, 2016.

Essas informações presentes no manual são suscetíveis a mudança, como indica a empresa, isso dá-se ao fato dos solos em geral possuírem granulometrias diversificadas e graus de compactação que divergem das condições ideais, índices esses diretamente relacionados com os parâmetros. Isso pode adicionar alguma variação a mais nos resultados registrados pelo equipamento, gerando variações indesejadas que podem prejudicar a observação do solo do local.

2.3.2 Degradações

A segunda forma de avaliar tanto estradas pavimentadas quanto não pavimentadas, é a avaliação funcional, ou seja, uma avaliação do estado da superfície da estrada, bem como da sua capacidade de drenagem, que o influencia. Essas, em conjunto com a capacidade de carga e os aspectos mecânicos, obtidos na avaliação estrutural descrita anteriormente, determinam o nível de degradação da estrada. A avaliação funcional procura mensurar o estado superficial da estrada (onde a maioria das patologias residem) por meio de observações visuais, baseadas em notas ou conceitos, a fim de identificar a condição desta, do ponto de vista do usuário, em sua passagem com o veículo. A experiência da utilização da via está diretamente relacionada com as degradações e o grau de severidade destas (Bernucci *et al.*, 2006).

O estado da superfície da estrada é algo de direto interesse do usuário, não apenas no que diz respeito ao conforto em sua passagem pela via com o veículo, mas também pelo fato de que as degradações e irregularidades solicitam mais intensamente o próprio veículo. Estradas em pior estado refletem na necessidade de reposição de peças com maior frequência (sistema de suspensão, por exemplo) do veículo que passa por ela. Também proporciona maior gasto de combustível e de pneus, como também o próprio tempo de viagem empregado a mais por não ter uma superfície regular e homogênea para sua passagem. Todos estes fatores incidem no aumento do custo operacional do veículo, que seria o custo imputado ao usuário para circular. Isso demonstra que o estado da estrada se relaciona sim com o conforto e rapidez da viagem, mas também com a própria economia do sistema de transporte. As condições das estradas podem interferir até mesmo no poder de compra da população, já que o aumento do custo operacional do veículo que transporta determinada mercadoria, por exemplo, será refletido no próprio custo dela (Bernucci *et al.*, 2006).

Em seguida serão abordados os diversos tipos de degradações e patologias que podem ser identificados em uma estrada não pavimentada. Os defeitos e degradações característicos que podem ocorrer em uma estrada não pavimentada (que fazem parte das EBVTs)

compreendem: afundamentos, buracos, agregado e cascalho solto, erosão, ondulações, declividade inadequada, falta ou insuficiência dos dispositivos de drenagem, poeira, dentre outros.

2.3.2.1 Afundamentos (*Rutting*)

Os afundamentos, também conhecidos como rodeiras, são descritos por Alzubaidi (1999) como irregularidades longitudinais em relação ao sentido da estrada, causadas pela passagem das rodas ao longo da superfície, formando caminhos de roda na camada superior da via. O processo de formação dos afundamentos pode ser visto na Figura 14.

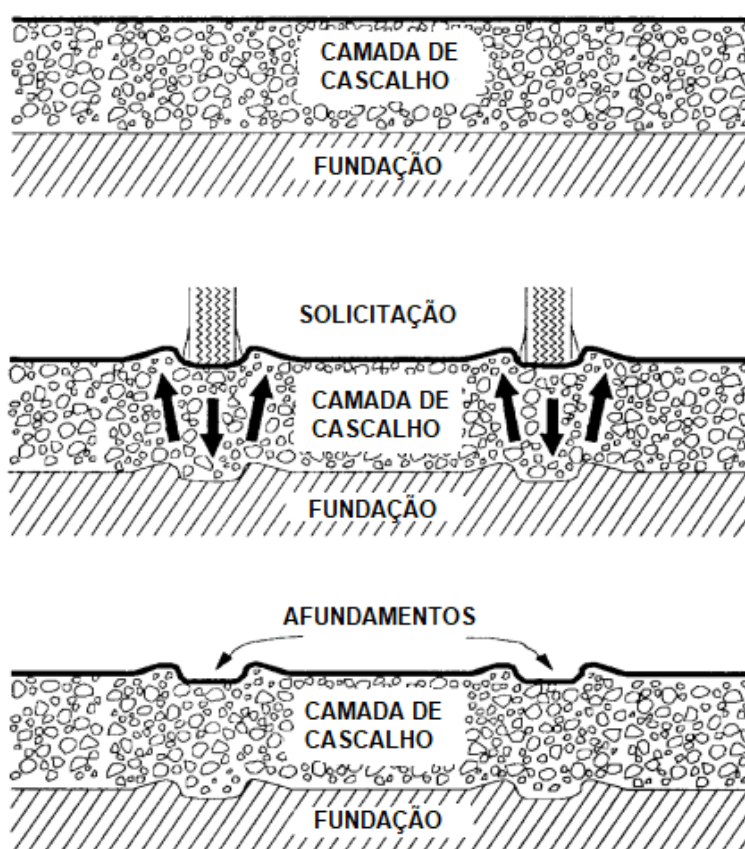


Figura 14 - Representação do processo de origem de afundamentos em estradas não pavimentadas
Fonte: Adaptado de Alzubaidi, 1999.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT² (2003) descreve esta irregularidade de forma similar, definindo esta patologia como sendo uma deformação decorrente do deslocamento plástico dos materiais granulares, de uma ou mais camadas da estrutura, devido às tensões aplicadas a superfície pela roda do veículo. Essa ação origina uma deformação superficial permanente que pode ou não ser acompanhada de elevações nas extremidades laterais do caminho mais profundo (Figura 15).



Figura 15 - Exemplo de afundamento presente na EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023

Seu tratamento é de extrema relevância pois este tipo de degradação pode facilmente originar outras patologias, já que não permitem que a água das precipitações, seja escoada para o sistema de drenagem das estradas, como valas e bueiros. Isso pode formar poças, que podem se tornar buracos. É uma deformação que, após sua origem, força veículos a passarem cada vez mais por ela, agravando-a de forma não-linear (Alzubaidi, 1999).

2.3.2.2 Ondulações (*Corrugations*)

As ondulações são também deformações da superfície originadas pela ação do tráfego, onde a passagem de veículos pela estrada pode mover o agregado solto superficial formando sulcos, mas desta vez no sentido transversal da via. Ocorrem com frequência mais elevada em vias e intersecções com tráfego intenso, ou em áreas onde os veículos tendem a acelerar e desacelerar repetidamente, desgastando, no processo, a camada granular superficial (DNIT², 2003; Paser, 2002).

O guia da Austroads (2009) descreve que a origem desta degradação está ligada com a ação do pneu da roda durante sua passagem, que, com determinada velocidade e massa do veículo, desloca o material solto da superfície da estrada, formando assim ondas perpendiculares à direção do tráfego. As ondas podem variar de 0,5 m a 1,0 m de extensão, somando uma crista e um vale, e pode atingir 15 cm de profundidade, como pode ser observado na Figura 16.



Figura 16 - Fotografia de uma estrada não pavimentada com ondulações em sua superfície
Fonte: Austroads, 2009.

Estradas mais suscetíveis a este tipo de deformação são aquelas em que sua superfície é caracterizada por uma camada de material granular de dimensão menor que 5 mm, com baixa plasticidade e escassez de materiais finos, ou que tem predisposição para a perda de finos pela ação do tráfego (Austroads, 2009).

2.3.2.3 Buracos (*Potholes*)

Os buracos são deformações localizadas, de pequeno ou grande raio, originados pela remoção do material da superfície e a infiltração da água, onde os sólidos suspensos são removidos com facilidade pela ação da roda a passagem do veículo. É uma degradação progressiva à medida que a água penetra na superfície (representados na Figura 17). As dimensões dessa irregularidade podem variar de 0,25 m a 1,5 m de diâmetro, e de 5 cm a 7,5 cm de profundidade (Austroads 2009; DNIT², 2003).



Figura 17 - Fotografia de uma estrada não pavimentada com presença de buracos em sua superfície
Fonte: ARRB, 2009.

Este tipo de degradação é a que mais gera desconforto para o motorista na ação da passagem como veículo e tem grande parcela de incidência na baixa qualidade do percurso. Pode causar severos danos, com gravidade em função da profundidade dos buracos e seu grau de desenvolvimento, aos veículos que os traspassam (Austroads, 2009). São comuns de ocorrerem em estradas com seções transversais planas ou juntamente com afundamentos e ondulações, todos casos em que há possibilidade de empoçamento de água, como pode ser visto na Figura 18 (Austroads, 2009; Paser, 2002).



Figura 18 - Afundamento e buracos na EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023

2.3.2.4 Agregado e cascalho solto (*Loose aggregate*)

O tipo de degradação agregado ou cascalho solto pode ser constatado na superfície de uma estrada em decorrência da perda de finos da camada superficial, em decorrência de erosão ou não. Quando existe falta de finos, o material mais grosso que está solto pode ser deslocado pela ação da roda como visto em todas as irregularidades superficiais descritas anteriormente, e este material vai ser movimentado do caminho das rodas para o centro da pista ou nas bordas desta (Figura 19), mas também ocorre em locais com frenagem frequente do veículo (Paser, 2002).

Esse material solto na superfície da estrada é um problema significativo de segurança, já que muitos acidentes de veículos individuais ocorrem pelo acúmulo deste material que causa a perda da estabilidade e controle do veículo. O aumento da interferência deste material na estabilidade está diretamente relacionado com a velocidade do veículo. Além da segurança, outros problemas desta degradação podem ser danos aos para-brisas, aumento do consumo de combustível dos veículos e o desencadeamento de outras irregularidades relacionadas com o acúmulo deste material no sistema de drenagem (ARRB, 2009; Austroads, 2009).



Figura 19 - Fotografia de uma estrada não pavimentada com agregado solto em sua superfície
Fonte: ARRB, 2009.

2.3.2.5 Erosão (*Scour*)

A erosão é um processo de origens totalmente naturais, e não tem relação com a ação do tráfego. Consiste na perda de material da superfície como consequência de um fluxo de água que pode ser sobre a estrada, ou ao longo dela. Pode ser resultante de quantidades excessivas de cascalho, agregado solto ou vegetação nos sistemas de drenagem, impedindo a água de escorrer para as valas, mas também pode ter relações com falta de compactação, onde os grãos podem ser levados com mais facilidade pela ação da água, ou pelo desnível longitudinal excessivo, que faz com que a água atinja velocidades maiores quando direcionada para valas, levando consigo grãos da superfície (ARRB, 2009; Austroads, 2009).

Pode haver erosões transversais e longitudinais, onde a primeira ocorre em casos em que o nível de compactação é menor, e avança em direção ao acostamento da estrada, ou quando há obstrução das valas, obrigando a água a mudar seu fluxo como apontado anteriormente (Figura 20). Os casos de erosão longitudinal ocorrem quando a inclinação predominante é a inclinação no sentido da estrada, com declives verticais acentuados, induzindo a água a fluir ao longo da estrada e não para as valas laterais (ARRB, 2009; Austroads, 2009)



Figura 20 - Erosão transversal na EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023

2.3.2.6 Poeira (*Dust*)

A formação de nuvens de poeira na passagem de veículos pela estrada é uma consequência de duas ocorrências: a primeira é o desprendimento das partículas finas (diâmetros menores que 0,425 milímetros) da camada superficial, e a segunda é a própria perturbação que o veículo ou as ações climáticas causam na superfície (Austroads, 2009).

Para uma estrada não pavimentada, o primeiro sinal de desgaste é a perda dos finos presentes na camada superficial, manifestando na ação da passagem dos veículos nuvens de poeira e ruído, refletindo na granulometria da superfície, que não apresentará uma curva granulométrica heterogênea e bem graduada, mas passara a conter em sua curva granulométrica apenas grãos de solo mais grosso (Austroads, 2009).

Essa degradação está diretamente ligada com a saúde e segurança dos usuários da estrada, pois em níveis avançados com graus de severidade altos, nuvens de fumaça podem obstruir a visão do condutor caso haja dois ou mais veículos em sequência, e possivelmente desencadear acidentes, além das próprias partículas levantadas que são nocivas para o sistema respiratório ou podem gerar desconforto aos olhos de quem é exposto a ela (ERA, 2016).

2.3.2.7 Declividade inadequada do eixo central (*Crown*)

Para que a água advinda de precipitações ou proximidades não tenha influência significativa na origem ou agravamento das degradações citadas anteriores, é importante que a estrada possua um perfil transversal adequado, isso significa que possui uma inclinação que permita que esta água presente na superfície seja rapidamente encaminhada para os sistemas de drenagem nas lateais dela (Paser, 2002).

O perfil transversal ideal pressupõe que o centro da estrada seja mais elevado em relação as extremidades lateais dela, como representado na Figura 21 pelo “Perfil modificado em A”, com uma inclinação que varia de 4% a 7% segundo o manual da ERA² (2016), e de 4% a 6% segundo o guia da Austroads (2009) e o manual do Paser (2002). Uma estrada que não possui essa declividade está sujeita a reter a água em sua superfície de rolamento, onde essa irá penetrar na fundação da estrada, diminuindo sua capacidade de carga e resistência mecânica, além de auxiliar no agravamento das deformações e irregularidades já presentes na superfície como afundamentos, ondulações, buracos e erosão (Paser, 2002).

Em casos mais graves, o eixo central está abaixo das bordas laterais da estrada, caso do “Perfil com inclinação invertida”, um dos perfis dentre os representados na Figura 21. Isso faz com que toda a água permaneça no perímetro da superfície de rolamento, degradando com

maior incidência seu centro, mas agravando a condição da estrada como um todo, e de forma mais severa perante a possível atividade intensa do tráfego (Paser, 2002).

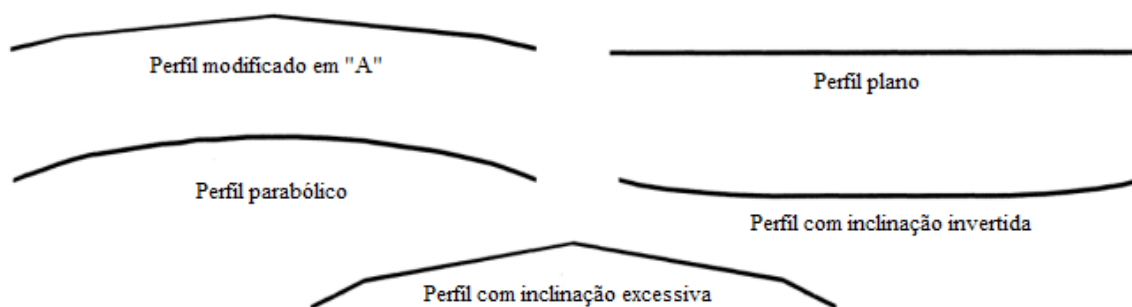


Figura 21 - Perfis transversais e suas inclinações para uma estrada não pavimentada
Fonte: Adaptado de FHWA, 1998.

Mesmo o formato do perfil transversal com a inclinação ideal desgasta-se com o tempo perdendo sua forma e funcionalidade. Essa deficiência pode ser causada pelo desprendimento dos finos que por consequência desagregam o material superficial, esse que pode ser movido pelo tráfego de veículos ou ações climáticas. Também pode ocorrer pela própria falta de compactação ou baixa capacidade de carga, onde os veículos que transitam pela estrada modificam seu perfil por meio de tensões e esforços aplicados a estrutura da estrada (Alzubaidi, 1999)

2.3.2.8 Dispositivos de drenagem (*Drainage system*)

Os principais dispositivos de drenagem que podem ser encontrados ao longo de uma estrada são valas, bueiros e galerias, e é por meio destes dispositivos que a água, responsável por parte das degradações que podem ocorrer em uma estrada apresentadas anteriormente, é coletada e escoada de forma a não comprometer a estrutura da via. Portanto, é imprescindível o correto funcionamento deles para que seja preservada a integridade, não apenas de uma estrada não pavimentada, mas também para estradas pavimentadas.

As valas são os componentes que acompanham a estrada longitudinalmente, recebendo e canalizando a água presente na superfície de rolamento que tende a escoar para as laterais da via por meio da inclinação transversal. Muitas vezes, apenas este dispositivo é suficiente para suprir a necessidade de conduzir a água sem afetar a estrada, mas há casos em que são necessários outros dispositivos como bueiros e galerias posicionados em pontos estratégicos que requerem maior esforço para canalização desta água, situações que podem ser vistas na Figura 22 (Ferreira, 2004).



Figura 22 - Água acumulada ao lado da EBVT não pavimentada de Montesinho em 2023

Para que ocorra da melhor forma o funcionamento da vala, é importante que sejam feitas manutenções e observações de modo a controlar e intervir caso haja acúmulo de detritos ou crescimento da vegetação no fundo destas. Vale ressaltar que, principalmente em taludes, a presença de vegetação logo acima das valas auxilia este dispositivo, diminuindo a velocidade com que a água advinda do talude chega à vala, e para barrar total ou parcialmente os detritos que também vem da superfície inclinada do terreno e caíram no dispositivo de drenagem.

Na Figura 23 pode ser visualizada a seção transversal de uma vala.

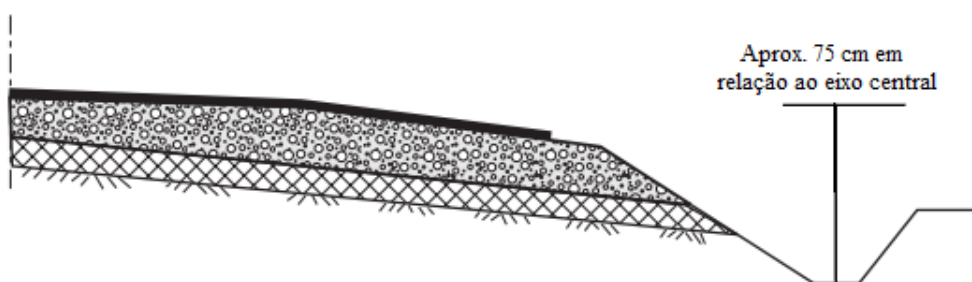


Figura 23 - Representação gráfica de uma vala em relação a estrada

Fonte: SATCC, 2003.

O formato da base para este tipo de dispositivo de drenagem representado na Figura 23 é o de fundo plano, utilizado em diversas estradas por ser o formato que possui maior capacidade de vasão. Há também valas em formato de “V”, “V arredondado”, “U”, dentre outros, e cada um possui suas vantagens e desvantagens características.

Outro dispositivo de drenagem amplamente utilizado em locais onde há a presença de córregos ou situações em que volumes prejudiciais de água podem ser acumulados nas proximidades da estrada são as galerias e bueiros. Consistem em ductos responsáveis por canalizar água de determinado local para outro. Um exemplo de galerias pode ser visualizado na Figura 24, esse que resolveria o problema da água acumulada apontado na Figura 22.

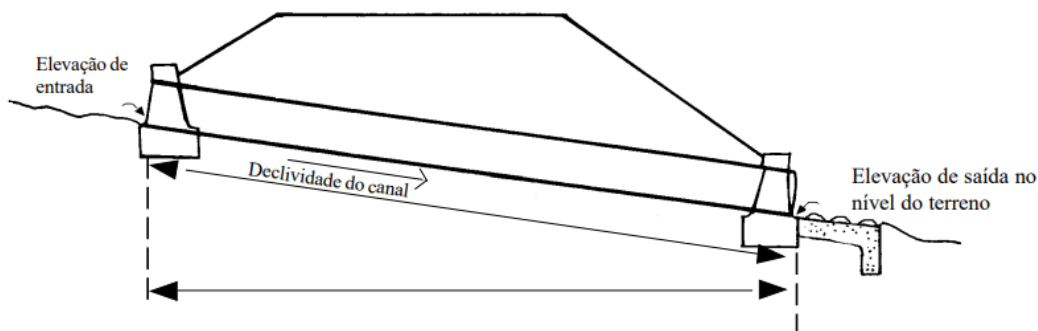


Figura 24 - Representação de galeria implementada em uma estrada
Fonte: Adaptado de Keller & Sherar, 2003.

2.3.3 Avaliação funcional

Para efetuar o monitoramento das condições e degradações da superfície da estrada e sistema de drenagem, é empregada a avaliação funcional. Esse tipo de avaliação é subjetiva, pelo fato dela ser feita inteiramente pelo avaliador, sem a utilização de equipamentos precisos como a avaliação estrutural.

A avaliação consiste em observações onde o avaliador pode estar ou no interior do veículo, onde o conceito da condição da estrada dependerá do conforto que ele estiver sentindo na ação da passagem pelo segmento da estrada em estudo, ou com observações visuais e mais detalhada das degradações e irregularidades presentes na estrada.

Um grande problema dessa tipologia de avaliação reside na elevada possibilidade da ocorrência de divergências entre dois ou mais avaliadores para os registros da condição de uma mesma estrada. As considerações feitas por um podem não ser feitas por outros, gerando inconsistência nos registros e tornando difícil obter uma sequência de dados comparáveis entre um avaliador e outro (Wolf, 2021).

Dentro do que comporta a avaliação funcional, observações, com a finalidade de mensurar e registrar cada tipologia de degradação, são realizadas por avaliadores treinados, diminuindo a variabilidade que pode resultar entre dois avaliadores. Isso ocorre quando se há um processo bem definido que possui um padrão de execução. A instrumentação para este tipo

de análise compreende ferramentas usuais como régua, fita métrica e nível de bolha, entre outros.

Há diversos métodos desenvolvidos por estudos ou por organizações atualmente, esses que tem por objetivo avaliar o estado da superfície da estrada e o sistema de drenagem presente nela, de forma a tenta mitigar ao seu máximo a variabilidade que poderia ocorrer caso diferentes avaliadores a utilizassem para determinar o estado da mesma estrada do mesmo período.

Todas estas metodologias baseiam suas avaliações em notas ou conceitos, essas dadas à própria estrada após uma observação do avaliador preparado, que vai reconhecer e registrar, segundo as indicações da metodologia específica que está utilizando, as várias degradações e irregularidades, dentre as quais estão presentes as explicadas na sessão anterior.

Dentre as diversas metodologias para avaliação do estado superficial de uma estrada não pavimentada, algumas serão apresentadas a seguir, sendo elas designadas pelas siglas RCS/DVI, ERCI, URCI e RSMS. Suas diferenças estão nos próprios parâmetros de avaliação, como conceitos, notas, a forma como são atribuídas estas com base na degradação, as seções ou as distâncias que cada uma considera de ponto a ponto avaliado, as subseções ou área (em m²) onde são consideradas as irregularidades, e por fim as degradações que cada uma delas abrange em suas análises. A Tabela 2 resume todas essas informações, fazendo um comparativo entre os parâmetros dessas metodologias, e a Tabela 3 diferencia elas apontando quais patologias são consideradas para cada uma dentre as 4 citadas anteriormente.

Tabela 2 - Comparativo das características de diversas metodologias de avaliação funcional

Métodos	RCS / DVI	ERCI	URCI	RSMS
Origem	Europa	Egito	Estados Unidos	Estados Unidos
Seções	Mínimo de 5 subseções	Mínimo de 1 milha (1,6 km)	Mínimo de 2 subseções p/ 1,6 km	Trecho de estrada analisada inteira
Subseções	0,5 a 5 km	10% da seção	135 a 300 m ²	Mínimo 60 m
Níveis de severidade	Baixo Médio Alto	Suave Grave	Baixo Médio Alto	Baixo Médio Alto
Densidade da degradação	< 10% 10% a 50% > 50%	Ocasional Frequente Extenso	Nomogramas	< 10% 10% a 30% > 30%
Escala	5 a 1	0 a 100	0 a 100	0 a 100

Fonte: Adaptada de Ferreira, 2004.

Tabela 3 - Degradações consideradas para análise nas diversas metodologias de avaliação funcional

Tipo e degradação	RCS / DVI	ERCI	URCI	RSMS
Seção transversal inadequada	X	X	X	X
Buracos	X	X	X	X
Afundamentos	X	X	X	X
Ondulações	X		X	X
Dispositivo de drenagem inadequado			X	X
Agregado solto	X		X	X
Poeira	X		X	X
Espessura de cascalho	X			
Superfície saturada		X		
Erosão		X		
Falha no muro de contenção		X		
Altura da superfície		X		
Estrutura ilegal de irrigação		X		
Plantas na superfície da estrada		X		
Ocupação da superfície da estrada		X		

Fonte: Adaptada de Ferreira, 2004.

É importante ressaltar que há outros métodos além destes para avaliar funcionalmente uma estrada não pavimentada, e alguns desses são baseados em outras metodologias que foram desenvolvidas para serem aplicadas em estradas pavimentadas.

É o caso da avaliação feita por Cabette (2018) na EBVT não pavimentada de Montesinho, onde a própria autora adaptou um processo avaliativo baseando-se na norma brasileira 006/2003 do DNIT³, que é empregada em avaliações da condição da superfície de pavimentos flexíveis, juntamente com uma metodologia subjetiva de Beckemeyer (1995) fundamentada no método do manual PASER. Em seguida, Wolf (2021) propôs algumas alterações com a finalidade de melhorar o método, que serão abordadas em seções adiantes.

2.3.3.1 Road Condition Survey / Detailed Visual Inspection - RCS / DVI

A *Organization for Economic Cooperation and Development* - OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), com 38 países membros, tem por objetivo incentivar o avanço econômico principalmente dos países em desenvolvimento, e uma das formas foi desenvolver um manual que contivesse informações sobre as estradas pavimentadas e não pavimentadas, como detalhes sobre suas degradações e um método para avaliar funcionalmente estas estradas, o RCS / DVI.

Este método pode ser dividido em duas partes, o *Road Condition Survey* - RCS (Observação da Condição da Estrada), e *Detailed Visual Inspection* - DVI (Inspeção Visual Detalhada), sendo a segunda consequência da primeira (OECD, 1990):

- ♦ RCS - descrito no manual como sendo uma avaliação para conceituar a condição da estrada de forma geral e realizada anualmente, vale tanto para estradas pavimentadas quanto para não pavimentadas. Este método divide a estrada em seções diariamente avaliadas que em média possuem extensões de 30 a 50 km, e subseções de no mínimo 0,5 km e máximo 5 km. Esta avaliação consiste em duas passagens sobre a via, onde a primeira é feita ao longo de todo o trecho analisado, por meio de um veículo, onde vai estar pelo menos um avaliador como passageiro, e outro como sendo o motorista. O intuito dessa primeira etapa é definir de forma geral a condição superficial da estrada, além de encontrar a velocidade na qual os avaliadores sentem conforto em passar por ela, ou a velocidade limite para a qual acreditam que o veículo não esteja sofrendo danos causados pelas degradações. A segunda etapa é também feita pelos avaliadores no interior do veículo, mas a uma velocidade baixa (média de 15 km/h), onde desta vez serão analisados os estados dos elementos de drenagem presentes na lateral da estrada, a sinalização ao longo da via e eventuais estruturas pontuais, totalizando assim quatro grupos de itens a serem observados (OECD, 1990). Um exemplo de ficha pode ser visto na Figura A.1 do Anexo A.

A primeira passagem está relacionada ao primeiro grupo, que foca no estado da superfície de rolamento, onde os avaliadores irão estabelecer uma nota entre o intervalo de 1 a 5 para cada subseção, com base no conforto vivenciado dentro do veículo na ação da passagem pela estrada auscultada, bem como a velocidade definida para que esse veículo não sofra dano ao passar pela via. É importante que os avaliadores também prestem atenção nas ocorrências de degradações na superfície de rolamento, já que essas, juntamente com as outras duas informações resultante desse processo, serão úteis para comparar as seções da estrada em análise com outras cinco “estradas modelo”, onde cada uma destas está relacionada a um conceito de 1 a 5, que podem ser vistas na Tabela A.1 do Anexo A (OECD, 1990).

O segundo grupo compreende os itens relacionados as laterais da estrada, estes principalmente relacionados ao sistema de drenagem, mas compreendem também crescimento de vegetação e obstrução de valas ou detritos. O conceito a ser definido para este grupo vai de 1 a 3, sendo 1 para condição excelente e 3 para péssimo (OECD, 1990).

No terceiro grupo avalia-se a sinalização da estrada e seu estado de funcionamento, também no intervalo de notas de 1 a 3. Essa é uma categoria que não depende dos aspectos

funcionais ou mecânicos da estada, nem eles dependem desta categoria, mas é de extrema importância quanto a segurança dos usuários, orientações e obrigações (OECD, 1990).

Por fim o quarto grupo, que possui uma ficha de inspeção própria, representada na Figura A.2 do Anexo A. Aqui serão avaliados os aspectos ligados a pequenas estruturas como bueiros e pontes, e as degradações a elas pertinentes, separando-as em funcionais, como processos de erosão ou obstrução, e em mecânicas, como trincas e colapsos, essas também conceituadas pelo avaliador com notas de 1 a 3, da mesma forma que os outros grupos (OECD, 1990).

♦ DVI - Com as notas definidas para todas as subseções do primeiro grupo das degradações do RCS, ou seja, aquelas relacionadas ao estado superficial da estrada, é feita uma média, e caso o valor resultante seja maior que 3, significa que há necessidade de realizar o DVI. Esta parte do método é mais detalhista, pois sua premissa é de identificar o tipo de defeito, bem como sua severidade e densidade, o que irá ajudar a pessoa ou empresa responsável da estrada a encontrar a melhor solução para a reabilitação da estrada em questão. Para isso, o avaliador vai preencher uma ficha de inspeção específica desta parte do método, que pode ser visualizada na Figura A.3 do Anexo A, com base nos critérios definidos pela metodologia para cada degradação que ela compreende, estes critérios também podem ser visualizados na Tabela A.2 do Anexo A. As notas variam de 0 a 5, e são dadas para cada degradação de cada subseção. Em seguida, é feita uma média das notas de todas as degradações para encontrar um valor único que define o estado da subseção em particular. Por último, é feita a média dos conceitos de todas as subseções para finalmente encontrar o valor da nota da seção, que vai representar o estado de degradação daquela seção específica, pela pontuação da Tabela 4 (OECD, 1990).

Tabela 4 - Intervalos e respectivas classificações para o método RCS / DVI

Intervalo	Condição
0 a 1	Excelente
1 a 2	Bom
2 a 3	Regular
3 a 4	Ruim
4 a 5	Péssimo

Fonte: Adaptada de OEDC, 1990.

2.3.3.2 Earth Road Condition Index - ERCI

O *Earth Road Condition Index* - ERCI (Índice da Condição da Estrada de Terra) é uma metodologia de avaliação visual a qual abordagem está ligada com a gravidade da degradação encontrada na estrada e sua ponderação perante a densidade e o tipo de patologia.

O primeiro passo para se avaliar funcionalmente uma estrada por meio este método é o de dividir e subdividir a via em seções menores, estas que apresentam um estado similar de degradações em sua superfície. Primeiramente a estrada é separada em trechos denominados pelo método como seções homogêneas, definidas a partir da homogeneidade da sua superfície em função das degradações. Em seguida, essa seção é por sua vez subdividida em subseções de no mínimo 10% de seu comprimento total, de modo a ter extensão suficiente para ser representativa da seção da qual faz parte. Subseções também podem ocorrer quando se há uma intersecção, início e fim da estrada ou alguma mudança significativa de seu curso (Abdelraham & Sharaf, 1991).

Após feita a subdivisão da estrada, é realizada a avaliação visual na subseção representativa de cada seção homogênea, que consiste no preenchimento do avaliador da ficha de inspeção, essa que pode ser visualizada na Figura B.1 do Anexo B. O registro é feito para cada tipo de degradação que a metodologia considera, definindo o peso do defeito de forma subjetiva. O peso é dado por meio de critérios, classificando-o como leve ou grave para severidade, e como ocasional, frequente ou grande escala para densidade. Os critérios podem ser visualizados na Tabela B.1 do Anexo B, bem como os fatores de ponderação associados as diversas severidades e densidades, presentes na Figura B.2 do mesmo Anexo.

Após a coleta das informações sobre as degradações, é feita a multiplicação do peso de cada irregularidade separadamente pelos coeficientes relacionados a ela (de severidade e densidade), e por fim somam-se os valores de todas as degradações individuais, resultando em um total para todas elas. O ERCI da seção por sua vez será é o resultado do valor 100 ao qual se subtrai o total das degradações de uma subseção. Para encontrar o valor do ERCI da estrada inteira, basta fazer a média dos valores de cada seção. O resultado é em seguida comparado com os intervalos da Tabela 5, para definir a classificação em que a estrada se encaixa (Abdelraham & Sharaf, 1991).

Tabela 5 - Intervalos e respectivas classificações para o método ERCI

Intervalo ERCI	Classificação
100 a 90	Excelente
90 a 80	Bom
80 a 65	Regular
65 a 40	Ruim
40 a 0	Péssimo

Fonte: Adaptada de Abdelraham & Sharaf, 1991.

2.3.3.3 *Unsurfaced Road Condition Index - URCI*

O *Unsurface Road Condition Index - URCI* (Índice da Condição da Estrada Não Pavimentada) é uma metodologia que foi desenvolvida por Eaton e Beaucham em 1992, com o intuito de definir a condição da estrada baseando seu método em medições das degradações, que depois adotam um valor baseado em nomogramas.

As degradações avaliadas por esse processo são: seção transversal inadequada, afundamentos, buracos, ondulações, agregado solto, dispositivo de drenagem inadequado e poeira, como pode ser visto na Tabela 3. Cada uma dessas degradações possui um nomograma específico, onde esses foram concebidos a partir de diversas avaliações feitas na época de desenvolvimento do método. Estes foram constantemente atualizados para que a representação dos comportamentos de densidades e gravidades das degradações fosse o mais confiável possível, sendo fundamentados em um grande banco de dados constituído por grandes quantidades de avaliações e registros de campo (Eaton & Beaucham, 1992). Os nomogramas para cada degradação podem ser encontrados no Anexo C, juntamente com os respectivos critérios para determinação da gravidade.

O processo dessa avaliação inicia com a separação da estrada em seções, onde não há um consenso sobre seus comprimentos, mas aconselha-se que tenham pelo menos duas seções a cada 1,6 km (1 milha). Caso tenha alguma parte desta que apresente um nível de degradação superior ao resto da extensão, que não condiz com o comportamento da seção, então essa parte pode ser tratada separadamente como uma seção especial (Eaton & Beaucham, 1992).

Após definidas essas, é importante delimitar as subseções, ou seja, uma pequena fração da seção, esta parametrizada por uma área usualmente de 135 a 300 m². Isso significa que o comprimento será dado em função das dimensões da estrada, onde para uma largura de 10 metros, a extensão deve ser aproximadamente 15 metros (Eaton & Beaucham, 1992).

As áreas das subseções delimitam a superfície onde será feita a análise do URCI, em que o avaliador deverá contabilizar e medir todas as degradações que este método comporta, uma por vez. Nesse passo, o responsável pela avaliação vai definir a gravidade da degradação, por meio de critérios já estabelecidos pelo método, e vai calcular a proporção de superfície que esta degradação ocupa, ou densidade da degradação.

Para exemplificar: supõe-se que em determinada subseção de 150 m^2 , estão presentes dois afundamentos de mesmas medidas, onde a profundidade é de 5 cm, largura de 60 cm e comprimento de 15 metros. Com a profundidade, pode-se determinar a gravidade destas degradações, que para o exemplo enquadram-se em “gravidade média”. Para a densidade, deve-se encontrar a área que estes afundamentos ocupam, multiplicando suas dimensões, que para o caso são 0,6 m de largura vezes 15 m de extensão, resultando em 9 m^2 , e multiplicado novamente por 2 para considerar os dois afundamentos, totalizando 18 m^2 e ocupação. Em sequência, é feita a relação entre a área total da subseção e a área total da degradação para encontrar a porcentagem, dividindo 18 m^2 por 150 m^2 , o que dá um total de 12% de ocupação total. Com a gravidade será determinada qual a curva dentre as três presentes no nomograma de afundamentos da Figura 25 a ser levada em consideração para a análise, neste caso a do meio. Após definida a curva, será pego o Valor Dedutivo - VD correspondente aquela ocupação encontrada anteriormente da degradação em relação a área total da subseção, que para este exemplo é de aproximadamente 18. Esse processo é repetido para cada tipo de degradação que este método comporta, e por fim é feita a soma de todos os valores dedutivos, resultando em um único número que representa o total de valores dedutivos - VDT. Ainda deve-se definir um parâmetro “q”, esse que é igual ao número de degradações que possui valor dedutivo - VD maior que 5, dentre as 7 patologias observadas pelo método.

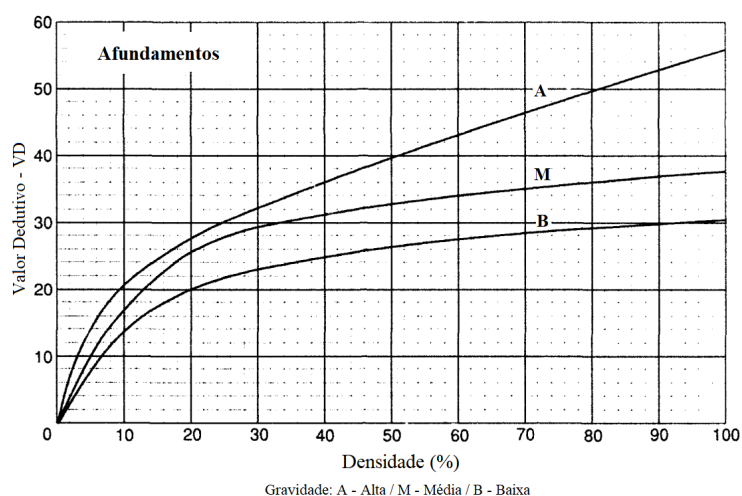


Figura 25 - Nomograma de afundamentos para o método URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

Por fim, analogamente a forma como foi encontrado o valor dedutivo de cada degradação, utiliza-se um último nomograma (Figura 26), onde o parâmetro “q” vai determinar qual das curvas deve ser adotada para a análise, e encontrar o URCI relacionado com o Total de Valores Dedutivos - TVD ao qual está associado.

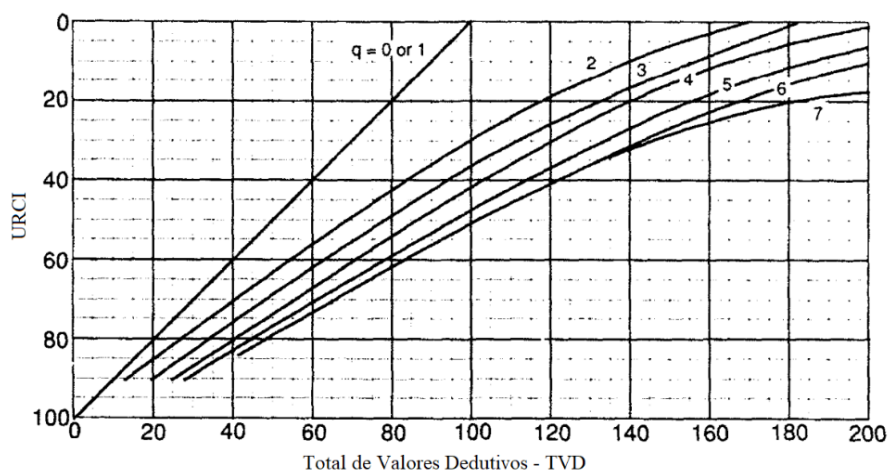


Figura 26 - Nomograma para encontrar o URCI da subseção
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

Vale lembrar que esse é o valor do URCI apenas para a subseção, e para encontrar o URCI que representa o estado da estrada inteira, é feita uma média aritmética simples entre os valores de todas as subseções contidas no trecho de estrada analisada (Eaton & Beaucham, 1992). Os intervalos para valores URCI do método e seus respectivos conceitos podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Intervalos e respectivas classificações para o método URCI

Intervalo URCI	Classificação
100 a 85	Excelente
85 a 70	Muito Bom
70 a 55	Bom
55 a 40	Regular
40 a 25	Ruim
25 a 10	Muito Ruim
10 a 0	Péssimo

Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

2.3.3.4 Road Surface Management System - RSMS

O *Road Surface Management System* - RSMS (Sistema de Gerenciamento da Superfície da Estrada) é um software que foi desenvolvido com a finalidade de avaliar a superfície da estrada e, em seguida, fornecer opções e soluções para a possível reabilitação desta com base nas degradações registradas (Goodspeed *et al.*, 1994).

A metodologia do RSMS é fundamentada em um processo subdividido em cinco passos, sendo eles: o banco de dados, a observação da condição superficial da estrada, a análise de prioridade, a definição do tipo de reabilitação e a execução da intervenção selecionada.

O banco de dados nada mais é do que um inventário que contém informações sobre a estrada a ser analisada que o programa necessita para seu funcionamento (tipo de estrada, número de pistas, última vez que foi analisada, etc.) e é nesta etapa onde a estrada será subdividida em seções que comportam degradações de gravidade similar. Esta subdivisão é feita pouco tempo antes da avaliação de campo, e a estrada pode ser dividida em um número ilimitado de subseções, onde se para a determinada irregularidade tiverem diversos episódios de ocorrência com gravidades diferentes, apenas um nível será considerado, e por esse motivo prioriza-se a subdivisão da estrada em segmentos com graus de degradação similares (Goodspeed *et al.*, 1994).

Na etapa de observação da condição superficial da estrada são analisadas sete irregularidades para estradas não pavimentadas, as mesmas levadas em consideração pelo método anterior, o URCI. Para facilitar a coleta de dados, podem ser utilizadas escalas baseadas em descrições do estado da superfície ao invés e critérios numéricos, isso permite que funcionários menos treinados e com pouca experiência possam aplicar a metodologia. Adicionalmente, o uso de critérios descritivos facilita o entendimento do que se trata para pessoas que não tem conhecimento profundo sobre o tema, além de gerar relatórios mais consistentes. Os critérios utilizados para cada tipo de degradação podem ser encontrados na Tabela D.1 do Anexo D (Goodspeed *et al.*, 1994).

A etapa de análise de prioridade que vem em seguida serve para categorizar cada seção da estrada, com base nos resultados de campo, e vai determinar qual será a melhor estratégia para reparação da estrada, calculando um parâmetro de prioridade que servirá para definir quais os trechos mais necessitados de intervenção (Goodspeed *et al.*, 1994).

As últimas duas etapas, que envolvem definição do tipo de reabilitação, e a execução desta, são etapas ligadas diretamente com a manutenção da estrada, onde o programa tem a possibilidade de apresentar soluções em base nos resultados obtidos de campo, com os

respectivos custos a ela relacionados e uma planificação da atividade, baseando-se no parâmetro de prioridade citado no parágrafo anterior (Goodspeed *et al.*, 1994).

2.3.3.5 Índice de gravidade individual e global - IGI / IGG - (Cabette, 2018)

Esta é a metodologia aplicada por Cabette (2018) na mesma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada de Montesinho que é objeto de estudo deste trabalho.

Ela é uma adaptação ao método descrito na norma 006/2003 do DNIT³ (2003), que foi concebido inicialmente para a avaliação das estradas pavimentadas e não possuía níveis de gravidade para as diferentes degradações. Para contornar essa limitação, Cabette (2018) recorreu a conceitos de outra metodologia, essa desenvolvida por Beckemeyer (1995), que é baseada em uma metodologia subjetiva, essa de avaliação de estradas de cascalho do manual PASER. O método aplicado por Cabette (2018) fundamenta então suas avaliações em modelos de estrada pré-determinados da metodologia de Beckemeyer (1995) para encontrar a gravidade de cada defeito dentre os contemplados na sua análise.

As degradações consideradas são seis para a condição da superfície e cinco para o sistema de drenagem, sendo do primeiro grupo ondulações, buracos, afundamentos, percurso de erosão, agregado solto e poeira, e do segundo grupo inclinação transversal inadequada, acostamentos elevados, necessidade de bueiros, existência de valas e obstrução das valas por vegetação e detritos. As degradações e suas gravidades podem ser visualizadas, separadas nos dois grupos, na Tabela E.1 e E.2 do Anexo E.

O processo de avaliação é feito em de forma descontínua, isso significa que não é realizado ao longo e toda a extensão da estrada, mas sim em subseções menores, de 6 metros de comprimento, que pretendem representar o estado superficial e de sistema de drenagem de seções com aproximadamente 100 metros de comprimento (Cabette, 2018). Foi proposta uma modificação das subseções por Wolf (2021), defendendo que uma extensão de 10 m, ao invés de 6, seria mais representativa por considerar aproximadamente 10% de cada seção.

O processo de registro é fundamentado na contagem das degradações, onde é tomada nota da quantidade de defeitos do mesmo tipo presentes na subseção de 6 metros, subdividindo-as em níveis de gravidade. Em seguida, a quantidade de ocorrências de cada gravidade da degradação será multiplicada por um fator de ponderação, resultando assim em um valor que é dado e função da frequência do defeito da gravidade deste na seção de 6 metros, esse denominado Índice de Gravidade Individual - IGI.

Após calcular todos os IGI, faz-se a soma destes para encontrar o Índice de Gravidade Global - IGG, que representa o estado de deterioração da estrada também em função das frequências de todas as degradações e suas respectivas gravidades. As planilhas de cálculo modelo, com os fatores de ponderação de cada degradação, pode ser vistas na Tabela E.3 e E.4 do Anexo E. Por fim o valor do Índice de Gravidade Global - IGG é comparado com os intervalos presentes na Tabela 7, para classificar o estado da condição da estrada não pavimentada (Cabette, 2018).

Tabela 7 - Intervalos e respectivas classificações para o método IGG

Intervalo IGG	Classificação
> 160	Péssimo
80 a 160	Ruim
40 a 80	Regular
20 a 40	Bom
0 a 20	Ótimo

Fonte: Cabette, 2018.

Capítulo 3

3 Metodologia

3.1 Objeto de estudo

As atividades relacionadas a coleta dos dados de campo necessários para a análise a que esta pesquisa se propõe, que compreendem os ensaios e observações para as avaliações, estrutural e funcional, foram realizadas em uma estrada de baixo volume de tráfego - EBVT não pavimentada. Essa estrada faz parte do município de Bragança, Portugal, e está localizada no parque natural de Montesinho, em uma região montanhosa a uma altitude de aproximadamente 1250 m. É responsável por ligar duas barragens presentes na região, a barragem de Veiguinhas e a de Serra Serrada, estas que se ocupam pelo abastecimento de água de aldeias próximas e da própria cidade de Bragança, como mostrado na Figura 27.

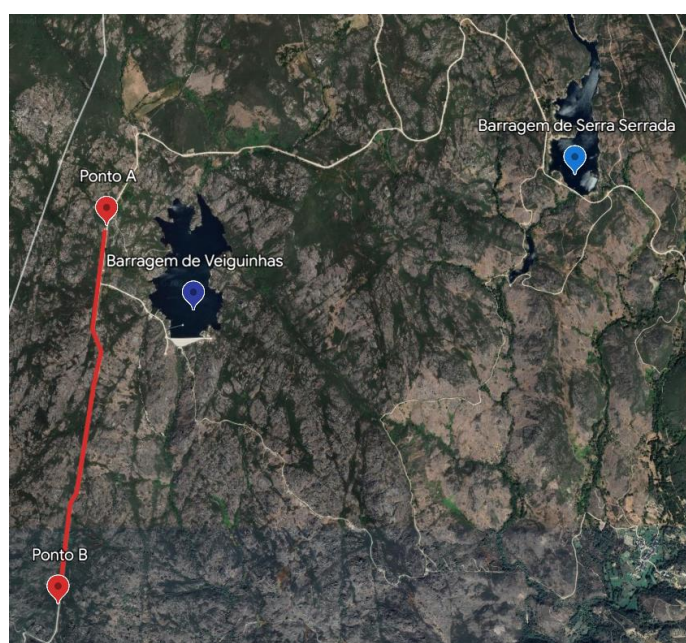


Figura 27 - Localização do segmento da estrada objeto de estudo deste trabalho

Desta estrada, o segmento avaliado tem extensão total de 3016 m e largura de 5 m, sendo uma via simples com a coordenada do seu ponto inicial no sistema ETRS89-TM06 sendo M: 109862.46 P:255612.42, e coordenadas do ponto final sendo M: 109400.55 P:252673.3. A localização deste trecho em relação as barragens e a própria estrada pode ser visualizada na Figura 27, com a delimitação do ponto inicial (ponto A) e final (ponto B).

A decisão de investigar especificamente essa estrada está relacionada a dois fatores. O primeiro é o próprio perfil deste segmento, onde sua altitude varia de 1249 m em seu ponto mais alto (que coincide com o inicial) a 1222 m em seu ponto mais baixo (coincidindo com o ponto final), significando uma variação de 2%. Esse perfil longitudinal próximo do plano, representado na Figura 28 com respectivos valores, é ideal para a execução das atividades de campo necessárias. O segundo fator determinante para a escolha desta porção da estrada é o fato de que outros estudos foram realizados no passado exatamente neste mesmo trecho. Sendo um dos objetivos desta pesquisa analisar o comportamento da estrada ao longo de períodos consideravelmente longos, viu-se a necessidade de aproveitar destes estudos anteriores, nomeadamente feitos por Cabette (2018), Freitas (2019) e Wolf (2021), que utilizaram de avaliações similares no mesmo local, para que essa análise fosse mais representativa possível.

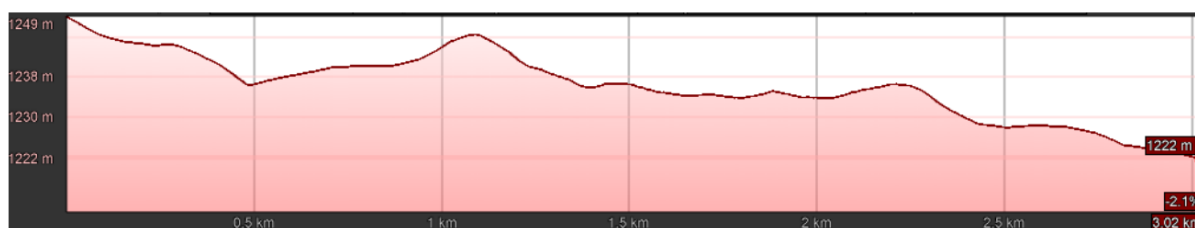


Figura 28 - Perfil longitudinal do segmento da estrada objeto de estudo deste trabalho
Fonte: Google earth, 2023.

Para esse trabalho, foram efetuados ensaios de capacidade de carga dinâmicos, o Light Weight Deflectometer (LWD) e CBR dinâmico, para a avaliação estrutural da estrada. Para a avaliação funcional foram efetuadas observações com o objetivo de registrar as degradações da superfície, e com estes registros poder aplicar a metodologia proposta por Cabette (2018) para a classificação da estrada no quesito conforto e estado de defeitos da superfície. Enquanto os ensaios de carga dinâmica foram realizados em 30 pontos ao longo do segmento indicado anteriormente, as observações contaram com 31 pontos. A média da distância entre dois pontos é de aproximadamente 100 m. Estes pontos são exatamente os mesmos onde Cabette (2018), Freitas (2019) e Wolf (2021) realizaram os ensaios e avaliações no passado para suas respectivas pesquisas, de modo a ter uma sequência cronológica de valores de capacidade de carga e estados definidos nos mesmos pontos ao longo de 5 anos. As coordenadas no sistema

ETRS89-TM06 dos 30 pontos para a avaliação estrutural podem ser encontradas na Tabela A.1 do Apêndice A. A configuração dos pontos foi definida por Cabette (2018), de modo a alocar eles predominantemente a cada 100 m, mas alternadamente do lado esquerdo e direito da estrada, onde coincidem com o local em que os rodados de um veículo padrão de 2,6 metros de largura passariam, de modo a medir a capacidade de carga em porções da estrada onde estas são realmente solicitadas pelo tráfego.

3.2 Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural do segmento estudado foi efetuada por meio de dois ensaios de capacidade de carga dinâmicos de campo, em 30 pontos georreferenciados. A distância exata de cada um dos pontos para seu subsequente está apresentada na Tabela 8. Os ensaios realizados são o *Light Weight Deflectometer* (LWD) e o CBR dinâmico, ambos realizados em duas datas ao longo do ano, sendo a primeira campanha de ensaios em 18 de maio de 2022, e a segunda dia 18 de abril de 2023, uma diferença de quase um ano.

Tabela 8 - Distancias entre os pontos onde foram realizados os ensaios

Segmento	Extensão (m)	Segmento	Extensão (m)	Segmento	Extensão (m)
1 a 2	102,05	11 a 12	99,83	21 a 22	100,75
2 a 3	101,18	12 a 13	102,36	22 a 23	94,9
3 a 4	103,71	13 a 14	98,60	23 a 24	104,17
4 a 5	99,27	14 a 15	108,82	24 a 25	100,28
5 a 6	101,39	15 a 16	88,64	25 a 26	101,24
6 a 7	105,59	16 a 17	109,06	26 a 27	100,25
7 a 8	30,13	17 a 18	195,14	27 a 28	101,14
8 a 9	67,47	18 a 19	99,40	28 a 29	108,08
9 a 10	202,24	19 a 20	104,05	29 a 30	88,87
10 a 11	101,23	20 a 21	96,78	Total 1 a 30	3016,62 m

Tomou-se o cuidado para realizar estes ensaios em dias onde não houvesse a ocorrência de ações climáticas que pudessem prejudicar os resultados, como precipitações ou presença de gelo na estrada, escolhendo a data em que pelo menos até uma semana antes não tivesse alguma ocorrência do gênero. Desta forma tentou-se minimizar a variabilidade advinda de agentes não controláveis, de modo a conseguir dados mais representativos possíveis da capacidade mecânica e condição da estrada sem possíveis variações causadas por intempéries.

3.2.1 Método do ensaio - *Light Weight Deflectometer (LWD)*

O ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD) foi realizado utilizando o equipamento do laboratório de geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) modelo ZFG 3.0 fabricado e vendido pela empresa ZORN. As especificações deste equipamento são: uma massa total de 20 kg, subdividida em 15 kg do peso ou martelo, responsável por aplicar a solicitação na superfície da estrada com uma altura de queda de 0,67 m, e 5 kg para o restante do dispositivo de carregamento, que compreende a haste, a alça, a trava e o amortecedor; a placa de carregamento com o sensor responsável por detectar o deslocamento pós solicitação, esta com um diâmetro de 0,3 m; e o dispositivo eletrônico de medição, com cartão SD inserido e o cabo que o liga a placa de carregamento, de modo a registrar os dados na hora dos ensaios, e em seguida poder ser feita a extração destes por meio de um programa fornecido pela própria ZORN em formato Excel (.xlsx). Todos os componentes elencados anteriormente do equipamento ZFG 3.0 do laboratório de geotecnia, utilizados para o ensaio Light Weight Deflectometer (LWD), podem ser visualizados na Figura 29.



Figura 29 - Componentes do ZFG 3.0 utilizados no ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD)

O procedimento do ensaio pode ser dividido em duas partes, sendo a primeira o conjunto de ações para garantir a correta instalação do equipamento no ponto onde será feito o ensaio e posteriormente ocorre a segunda parte, que compreende os passos necessários para a efetuação do próprio ensaio de modo a estimar o módulo de deformabilidade (E_{vd}) referente ao ponto

testado. O processo de ensaio está normalizado pela ASTM E2835 (2011) e CEN CWA 15846 (2008), mas a descrição do ensaio pode ser também encontrada no próprio manual da desenvolvedora do equipamento, a ZORN² (2016). Para a correta instalação do equipamento, o procedimento se resume ao posicionamento da placa de carregamento, e em seguida a montagem dos restantes componentes, na sequência de passos descrita a seguir:

- ♦ Primeiramente identificar a localização geográfica exatas do ponto onde deve ser feito o ensaio. No caso desta pesquisa, a localização ocorreu por meio do uso de equipamentos de topografia como estação total, identificando sua localização na superfície da estrada por meio das coordenadas de cada ponto presente no Anexo A como especificado anteriormente.

- ♦ Em sequência, deve ser devidamente posicionada a placa de carregamento com sensor. Para isso, faz-se uma breve regularização da superfície da estrada onde a placa será posicionada, retirando manualmente material granular solto ou grãos maiores que possam prejudicar o assentamento desta da forma correta, ou seja, sem folga ou espaços entre a placa e a superfície.

- ♦ Após limpeza da área de contato, posiciona-se a placa sobre o ponto de ensaio, e fazem-se movimentos de rotação de 45° no sentido horário e anti-horário, alternadamente, de modo a homogeneizar a superfície e garantir que a totalidade da área da placa esteja em contato com o solo, de forma horizontal. Nesse passo alguns cuidados devem ser tomados, como por exemplo garantir que não haja presença de pedras, rochas, ou até mesmo vazios entre a superfície de contato e a área da placa de carregamento, já que prejudicaria a leitura do deslocamento pelo sensor, e nestes casos deve-se reposicionar a placa o mais próximo possível da posição original.

- ♦ Com a placa assentada, podem ser instalados os outros componentes do equipamento. Começando pelo dispositivo de carregamento, que compreende a haste e o peso, onde este deverá estar em posição de repouso, ou seja, travado na extremidade inferior da haste por meio de uma trava própria. O dispositivo de carregamento é então encaixado na placa de carregamento, e em sequência, pode-se destravar o peso e subi-lo até a extremidade superior da haste, onde será novamente travado por uma segunda trava. Por último, é feita a instalação do dispositivo eletrônico de medição, ligando um cabo próprio que sai deste dispositivo, e encaixa-se na própria placa de carregamento. O equipamento montado e com o peso travado na extremidade inferior pode ser visualizado na Figura 30.



Figura 30 - ZFG 3.0 montado utilizado no Light Weight Deflectometer (LWD)

Com o equipamento devidamente posicionado e instalado pode-se dar início a própria execução do teste, procedimento descrito nos passos a seguir, respeitando o manual da ZORN:

- ♦ Primeiramente, deve ser ligado e devidamente configurado o dispositivo de medição eletrônico, selecionando o correto tipo de ensaio, que para este caso foi o Light Falling Weight (LWD) “300 mm / 15 kg”, parâmetros estes que refletem o diâmetro da placa de carregamento e a massa do peso que foram definidos para o ensaio. Esta configuração costuma ser feita apenas no primeiro ponto, e nos pontos seguintes o dispositivo mantém a configuração desejada até que ela seja mudada manualmente para realização do mesmo ensaio com diâmetros da placa ou pesos diferentes, ou mudança para o teste do CBR dinâmico, como será visto na próxima seção.

- ♦ Com o dispositivo eletrônico configurado corretamente, pode-se partir para a efetuação do ensaio, pressionando “OK”, e aguardando até que um sinal sonoro seja emitido. O bipe significa que o equipamento está pronto para ler o deslocamento provocado pelo impacto do peso. Antes de liberar o peso em queda livre, mas após o sinal sonoro, deve ser feita a verticalização da haste por meio de um nível de bolha presente na alça, de modo a não criar componentes horizontais na queda da massa. Com a haste verticalizada e o dispositivo pronto para leitura, pode-se liberar o peso destravando-o por meio de uma trava também presente na alça, fazendo com que o peso atinja o amortecedor presente na extremidade inferior da haste. No ato do impacto, é importante que o operador apanhe o peso logo após seu contato com a base inferior, de modo que ele não atinja novamente o amortecedor e prejudique a leitura do sensor da placa. Após o impacto, o peso é acompanhado novamente em sua posição inicial de teste, ou seja, travado na extremidade superior da haste e pronto para o próximo impacto.

- ♦ O passo anterior deve ser realizado seis vezes em um mesmo ponto, totalizando seis impactos. Os três primeiros são responsáveis por calibrar o aparelho, e os três últimos serão os levados em conta para o cálculo do módulo de deformabilidade (E_{vd}) do ponto. Será feita, pelo dispositivo eletrônico, uma média simples dos três deslocamentos registados para os últimos três impactos, e com deslocamento médio é assim calculado o módulo do ponto. Todos estes dados são salvos no cartão de memória para poderem ser extraídos posteriormente.

- ♦ Finalizados os impactos necessários, o peso é então travado novamente na extremidade inferior e é desmontado o equipamento todo para que possa ser transportado em segurança para o próximo ponto em que deve ser efetuado o ensaio seguinte.

3.2.2 Método de ensaio - CBR dinâmico

Para o ensaio do CBR dinâmico, também foi utilizado o ZFG 3.0, mesmo equipamento do laboratório de geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) da ZORN empregado para o ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD), mas com algumas adaptações de peças necessárias para a execução do teste. As especificações do equipamento são: massa total de 15 kg, subdividida em 10 kg do peso, e 5 kg para o restante do dispositivo de carregamento, mantendo a altura de queda de 0,67 m; a principal mudança está na placa de carregamento com sensor, que para este ensaio deve ser substituída por um segundo conjunto de peças, nomeadamente a placa de confinamento, com 300 mm de diâmetro, e o pistão com o mesmo sensor (podem ser visualizados na Figura 12) desenvolvidos pela empresa especificamente para o CBR dinâmico. O dispositivo eletrônico é mantido da mesma forma que no outro ensaio.

Uma foto de todos os componentes do equipamento ZFG 3.0 utilizados para o ensaio, desta vez, do CBR dinâmico do laboratório de geotecnia pode ser vista na Figura 31.



Figura 31 - Componentes do ZFG 3.0 utilizados no ensaio do CBR dinâmico

Por ser um ensaio mais recente, não há uma norma especificando o procedimento do CBR dinâmico, mas apenas as instruções do manual da ZORN¹ (2016), que foram seguidas para a realização deste ensaio neste trabalho. O procedimento geral é similar ao descrito para o ensaio anterior, onde tem-se inicialmente ações para instalar o equipamento no ponto, e em seguida a mensuração é feita, onde tem-se alguns passos diferentes que serão descritos a seguir.

No que diz respeito a instalação do equipamento, o procedimento é:

- ♦ Primeiramente assentar a placa, que desta vez não é de carregamento, mas sim de confinamento, da mesma forma descrita para o ensaio anterior, com o procedimento igual e tendo o mesmo cuidado em relação a superfície de contato entre o solo e a área da placa.
- ♦ Em seguida devem ser montados os restantes componentes, onde a única mudança está no fato de que o dispositivo de carregamento (peso mais haste) não é diretamente encaixado na placa, mas sim no pistão com sensor, este que deve ser previamente inserido na placa de confinamento após essa ser assentada. O peso é mantido travado na extremidade inferior da haste da mesma forma que para o ensaio anterior, e só será liberado para ser travado novamente na extremidade superior da haste quando o equipamento estiver completamente montado.

O equipamento montado e pronto para o ensaio pode ser visualizado na Figura 32.



Figura 32 - ZFG 3.0 montado utilizado no CBR dinâmico

Com o equipamento devidamente instalado, pode-se iniciar o processo de medição do CBR dinâmico (CBR_d), seguindo os seguintes passos:

- ♦ Em um primeiro momento, a configuração do dispositivo eletrônico deve ser feita, da mesma forma que o ensaio anterior, mas desta vez a opção do tipo de ensaio “CBR” deve ser selecionada. Essa impostação deve ser feita apenas no primeiro ponto, analogamente ao ensaio

do Light Weight Deflectometer (LWD), não sendo necessária a configuração do dispositivo em cada um dos 31 pontos onde o ensaio deve ser feito.

- ♦ Com o dispositivo configurado, a sequência dos passos é muito similar ao outro ensaio, onde deve-se iniciar o teste pressionando o botão “OK” do dispositivo eletrônico e aguardar a emissão do sinal sonoro, seguir as recomendações sobre a trava dos pesos, verticalizar a haste para o destravamento do peso, e apanhar ele imediatamente após o impacto.

- ♦ A principal variante entre os dois ensaios está no número de impactos, já que, diferente dos múltiplos golpes necessários para o Light Weight Deflectometer (LWD), é requerido que seja feito todo o processo relacionado ao impacto apenas uma vez para o CBR dinâmico, totalizando um impacto para cada ponto, esse suficiente para que o dispositivo de medição eletrônico calcule o próprio CBR dinâmico (CBR_d).

- ♦ Após o término do ensaio, deve-se travar o peso na extremidade inferior da haste da mesma maneira que o outro ensaio, por motivos de segurança e facilidade no transporte.

3.3 Avaliação funcional

Para conseguir recolher informações sobre o estado da superfície da estrada não pavimentada de Montesinho, foram feitas observações com o intuito de registrar e quantificar as degradações e defeitos presentes ao longo dessa. Ao longo de todo o período em que este trabalho foi desenvolvido, foram feitas duas observações, com datas próximas as das avaliações estruturais, sendo a primeira feita dia 25 de julho de 2022, e a segunda dia 20 de abril de 2023. A avaliação funcional consistiu em registrar as irregularidades da superfície nos mesmos pontos onde foram feitos os ensaios de capacidade mecânica, e, adicionalmente, um ponto no final do segmento, com as distancias entre um ponto e outro sendo iguais às apresentadas na Tabela 8. Quanto a área respectiva de cada ponto a ser considerada para o registro dos defeitos, seguiu-se a mesma regra adotada pelos autores precedentes, isso é, analisar uma área que se resume a toda a largura da via, que são 5 m, e uma extensão de 3 m afrente e 3 m atrás do ponto, totalizando 6 m de comprimento, e conseqüentemente 30 m² de superfície analisada. Em seguida, faz-se uma análise complementar, onde variou-se a dimensão da subseção, mantendo a largura total de 5 m, mas uma extensão de 5 m afrente e 5 m atrás, como sugerido por Wolf (2021), por ser uma subseção mais representativa de toda a seção entre dois pontos, totalizando 50 m² de superfície avaliada. Na Figura 33 pode ser visualizado com uma maior clareza a definição das subseções para as duas observações. Vale lembrar que a análise é a mesma, a única variante é a dimensão da subseção, sendo assim, o registro dos defeitos para a subseção

maior foi apenas adicionar as irregularidades presentes na área adicional comparativamente a área de 30 m². Obteveram-se registros de subseções de 6 m e 10 m de extensão para as duas datas citadas anteriormente, para fins comparativos com os registros dos autores precedentes.

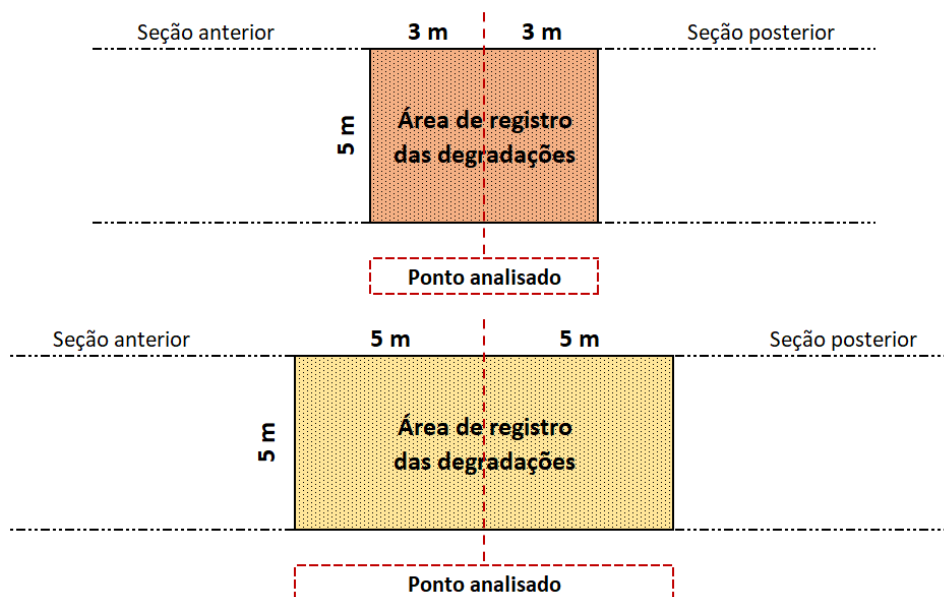


Figura 33 - Representação visual das subseções de 6 metros e 10 metros da avaliação funcional

Quanto à forma que foi mensurada e registrada cada degradação, seguiu-se o catálogo proposto por Wolf (2021), de modo a diminuir ao máximo a subjetividade da avaliação, e fazer as mesmas considerações feitas pelos autores precedentes, isso para poder comparar os dados obtidos com mesmos critérios entre os diferentes períodos. As especificações dos registros para cada degradação podem ser consultadas na Tabela 1 do Apêndice F. Quanto a instrumentação utilizada para a avaliação funcional, empregou-se os seguintes equipamentos: régua contraída, nível de bolha, roda métrica, e fita métrica, dispostos da esquerda para a direita na Figura 34.



Figura 34 - Equipamentos utilizados para a avaliação funcional

A metodologia adotada para a definição do nível de degradação da estrada foi o método aplicado por Cabette, que envolve o cálculo do IGI e IGG para dois grupos de degradações (degradações superficiais e irregularidades do sistema de drenagem). A forma como foram registrados os defeitos foi pensada para satisfazer as exigências dos métodos, portanto, na hora da avaliação, apenas foram mensuradas e contabilizadas as degradações. Com os registros em mãos, aplicou-se posteriormente a respectiva metodologia, com os dados coletados para as degradações que o método considera, a fim de definir o estado da superfície da estrada. As fichas utilizadas para o registro de cada degradação podem ser encontradas no Apêndice F (Tabelas F.2 a F.9).

3.4 Método das diferenças acumuladas da AASHTO

Para observar o comportamento da estrada não pavimentada de Montesinho ao longo do período de estudos nesta, desde os primeiros ensaios realizados por Cabette em 2018, até o ano atual de 2023, aplicou-se a metodologia das diferenças acumuladas desenvolvida pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* - AASHTO (1993) (Associação Norte-Americana de Especialistas Rodoviários e de Transporte).

Esta metodologia permite fazer uma análise da estrada que coincide perfeitamente com o propósito deste trabalho, que é o de analisar o comportamento mecânico da estrada por meio de extensões longas, e não pontos individualizados.

Estradas não pavimentadas tendem a não apresentar um comportamento homogêneo quanto se espera de uma estrada pavimentada, por conta da variabilidade que o seu material pode apresentar ao longo de sua extensão, assumindo diferentes granulometrias, graus de compactação, entre outros parâmetros geotécnicos. Todos esses aspectos variam minimamente em uma estrada com camadas ligadas (pavimentos), por serem construídos com materiais selecionados e bem definidos, com procedimentos construtivos padronizados, que resultam na construção de vias com comportamentos mais homogêneos.

O método das diferenças acumuladas da AASHTO (1993), consiste na divisão da estrada em estudo em segmentos menores, denominados seções homogêneas. Essas seções contêm pontos em sequência com comportamento semelhante, e pode ser aplicado com todos os parâmetros de capacidade de carga resultantes de ensaios.

A metodologia foi concebida para permitir uma análise do comportamento de estradas extensas de forma estruturada, já que, gera, a partir de uma quantidade excessiva de valores,

um único valor representativo para segmentos dessa mesma estrada que possuem comportamento semelhante.

O método consiste na elaboração gráfica de duas sequências acumuladas de valores, que serão comparadas, e o que será observada será diferença entre elas por meio de um gráfico.

A primeira sequência de valores é dada pelo somatório das medidas individuais de cada ponto, multiplicados pela sua extensão, ou área, de influência (Tabela 8). A área de influência de um ponto é igual a metade da seção que o antecede e metade da seção seguinte. Se analisarmos, por exemplo, o ponto 2, ele terá uma área de influência como sendo metade da extensão do segmento entre os pontos 1 e 2, e metade da extensão do segmento entre 2 e 3.

A segunda sequência de valores é dada pela somatória do valor médio da propriedade adotada (módulo de deformabilidade, CBR dinâmico, ou outro) de todos os pontos, multiplicados pela mesma extensão/área de influência.

Ambas as sequencias são acumulativas, portanto, quanto mais é feito o avanço na extensão da estrada, mais alto será o valor em determinado ponto para as duas sequências.

Graficamente, isso gera duas curvas: a curva que representa ponto a ponto, possuindo aspecto de uma função crescente, mas variável, e outra, que representa o valor médio, definida por uma reta crescente. Pode se dizer que a segunda série representa o comportamento médio da estrada, enquanto a primeira contém o comportamento de cada ponto individualmente. Matematicamente, a diferença destas duas sequências, nomeada “ Z_x ”, pode ser definida pela Equação 6.

$$Z_x = \sum_{i=1}^n \frac{(r_{i-1} + r_i) * x_i}{2} - \frac{\sum_{i=1}^n (r_{i-1} + r_i) * x_i}{L_p} * \sum_{i=1}^n x_i \quad [6]$$

Onde:

Z_x - diferença entre as duas sequencias em um determinado ponto

n - número do ensaio dentro o conjunto

r_{i-1} - resultado do ensaio ou observação no ponto “i-1”;

r_i - resultado do ensaio ou observação no ponto “i”;

x_i - distância entre o ponto de ensaio e seu anterior;

L_p - distância total do trecho em análise.

O estabelecimento de seções homogêneas é realizado com base na evolução de (Z_x) ao longo da extensão da estrada. Para tal, é elaborado um gráfico com os valores de Z_x em cada ponto, em função da extensão total da estrada. Neste gráfico, consideram-se seções homogêneas, isso é, segmentos da estrada que apresentam o mesmo comportamento, as extensões onde a função Z_x mantenha a mesma inclinação. Cada vez que o sinal desta função sofrer mudança, de crescente para decrescente ou vice-versa, marca-se o fim de uma seção homogênea e o início de outra.

Com as seções homogêneas determinadas, encontra-se o valor característico estimado de cada seção, que será o valor representativo de toda a extensão desta. Esse valor está associado a uma probabilidade de ocorrência de 85%, calculado por meio a equação 7.

$$r_k = \bar{r} - 1,04 * \sigma_r \quad [7]$$

Onde:

r_k - valor característico estimado da seção

\bar{r} - valor médio de todos os resultados da seção

σ_r - desvio padrão

Após ter calculado os valores característicos hipotéticos ou teóricos que representam cada seção, verifica-se dentre todos os que a seção compreende, qual o mais próximo do valor característico, que será aquele definido a partir da menor diferença absoluta do valor característico teórico.

Capítulo 4

4 Resultados e discussões

4.1 Discussões sobre a avaliação estrutural

Com o intuito de tentar definir se há ou não um padrão no comportamento das propriedades mecânicas da EBVT não pavimentada, foi aplicada a metodologia das diferenças acumuladas em todas as campanhas de ensaio que obtiveram resultados em termos de módulo de deformabilidade (E_{vd}), com o *Light Weight Deflectometer* (LWD), e do CBR dinâmico (CBR_d) com o CBR dinâmico. Sendo assim, a única campanha de ensaio que foi desconsiderada, por não ser feita da mesma forma que as outras, foi a de Cabette (2018), que também registrou o estado mecânico da estrada, porém por outro ensaio, o de carga em placa. Os ensaios de capacidade de carga utilizados nesse trabalho foram os mesmos utilizado por Freitas (2019) e Wolf (2021), facilitando a comparação dos resultados obtidos.

4.1.1 Resultados dos ensaios Light Weight Deflectometer (LWD)

A análise do comportamento mecânico da estrada pelo módulo de deformabilidade (E_{vd}), foi realizada levando em conta cinco campanhas de ensaios, obtidas em três estudos diferentes, elencadas a seguir com a respectiva data e avaliador:

- ◆ 05/2019 - Freitas (2019) - Primeira avaliação
- ◆ 12/2020 - Wolf (2021) - Segunda avaliação
- ◆ 03/2021 - Wolf (2021) - Terceira avaliação
- ◆ 05/2022 - Quarta avaliação
- ◆ 04/2023 - Quinta avaliação

Os valores do módulo de deformabilidade (E_{vd}) dos 30 pontos de cada uma das cinco campanhas estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados das campanhas de ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD)

Módulo de deformabilidade - E_{vd} (MPa)					
Ponto	Mai 2019	Dezembro 2020	Março 2021	Mai 2022	Abril 2023
1	48,42	31,63	18,61	35,19	38,05
2	20,29	22,58	23,04	28,43	26,43
3	20,27	22,59	13,52	31,8	25,41
4	29,73	22,31	25,61	24,33	25,74
5	29,71	24,15	10,36	58,49	25,68
6	49,9	33,28	21,21	30,08	54,97
7	25,66	32,77	39,94	29,32	35,98
8	41,19	52,82	23,5	32,42	37,38
9	24,85	27,37	49,78	18,27	56,25
10	25,42	18,83	26,41	31,72	30,19
11	24,16	26,26	17,77	22,85	28,55
12	21,9	21,52	12,96	16,26	31,22
13	49,1	28,53	31,13	27,06	50,07
14	39,35	24,21	37,71	21,76	28,2
15	21,98	23,54	24,56	30,21	24,51
16	42,39	44,35	9,26	23,23	39,71
17	20,11	21,66	40,52	8,14	25,3
18	19,91	11,66	13,42	12,4	15,43
19	10,85	11,75	12,52	24,44	12,05
20	7,72	20,91	19,91	22,49	29,09
21	25,54	18,35	20,49	18,42	14,2
22	22,8	19,27	15,95	11,86	24,71
23	22,43	32,48	18,68	27,2	16,64
24	12,44	24,32	19,32	37,75	34,79
25	25,21	25,32	18,81	9,15	32,96
26	23,72	14,43	10,47	13,5	14,87
27	22,14	18,13	43,21	23,87	23,54
28	21,56	25,47	12,35	36,41	35,94
29	34,32	42,61	23,83	14,00	48,77
30	22,19	16,62	10,16	17,49	16,32

Em um primeiro momento não é perceptível uma sequência lógica, quando observados os valores de um mesmo ponto, nas diferentes campanhas realizados. Para melhor visualizar a faixa de atuação que compreende esses valores, foi feita uma representação gráfica que relaciona o módulo de deformabilidade com a extensão da estrada (Figura 35), onde cada linha indica os valores do parâmetro registrado em cada ponto, em campanhas de ensaio de diferentes períodos.

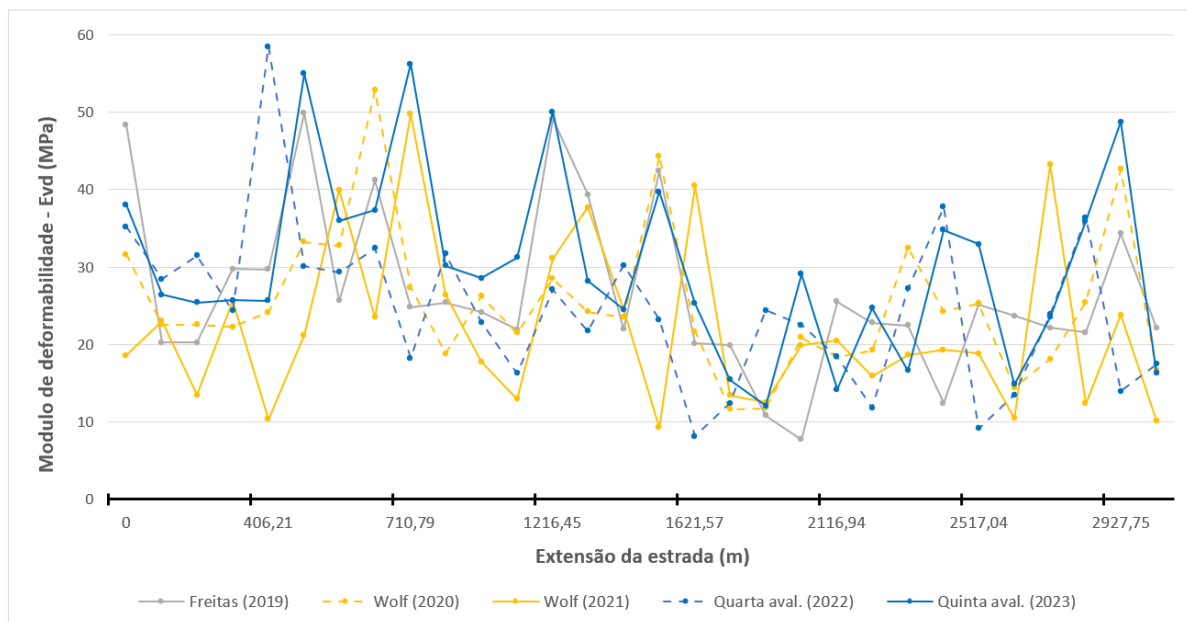


Figura 35 - Módulo de deformabilidade para os diferentes conjuntos de ensaio ao longo da estrada

Esta faixa não é suficiente para fundamentar conclusões a respeito do comportamento mecânico da estrada e, por esse motivo, aplicou-se a metodologia das diferenças acumuladas nos resultados das cinco campanhas de ensaio, para analisar a estrada de forma estruturada.

É calculado o valor “ Z_x ” em função o módulo de deformabilidade (E_{vd}), como descrito no capítulo anterior, resultando no que pode ser visualizado na Figura 36. As folhas de cálculo para os valores de Z_x de todos os ensaios feitos podem ser consultadas no Apêndice B (Tabela B.1 a B.5).

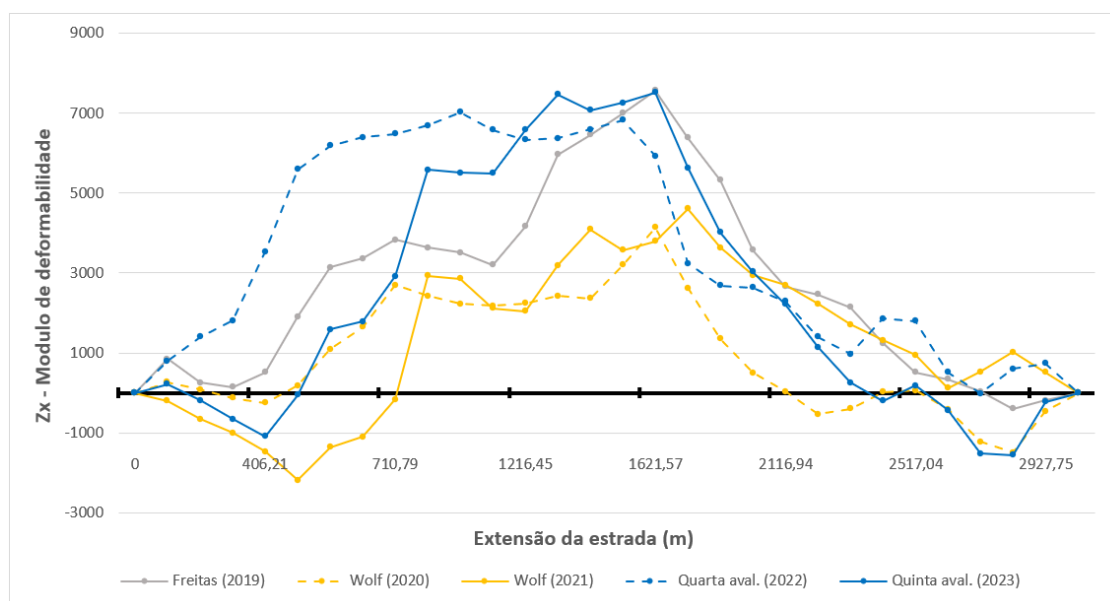


Figura 36 - Comportamento do módulo de deformabilidade da estrada para os diferentes períodos

Observando o gráfico, nota-se um comportamento similar dos valores de Z_x para as várias campanhas de ensaio, com função crescente na primeira metade do segmento de 3 km, e comportamento decrescente presente na segunda metade desse. É necessário fazer uma análise mais aprofundada de cada campanha separadamente para definir as seções homogêneas resultantes em cada período de estudo, que podem ser visualizados na Figura 37.

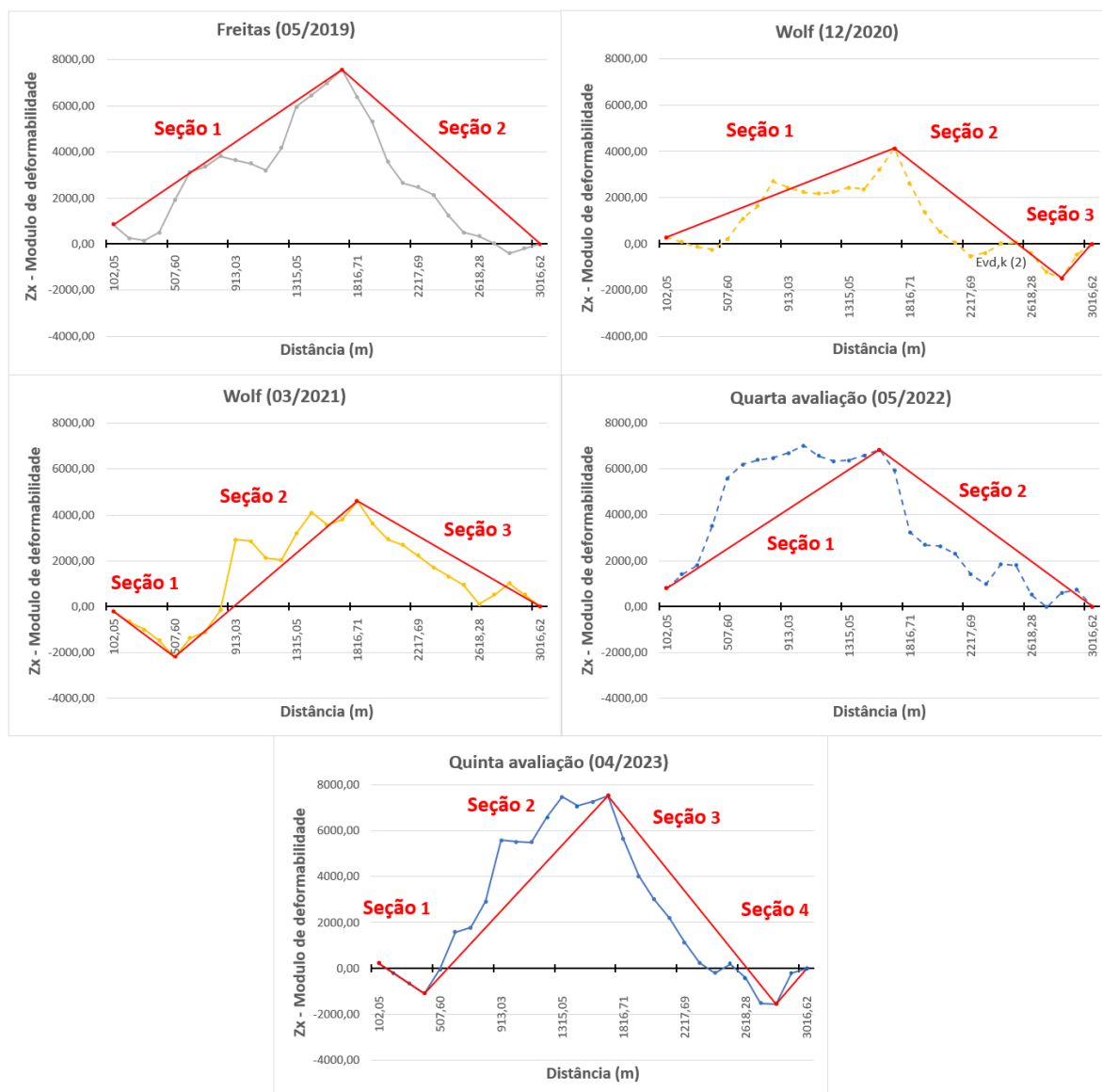


Figura 37 - Seções homogêneas do modulo de deformabilidade de cada período

É importante destacar que, para a definição das seções homogêneas nos diversos gráficos da Figura 37, foi utilizado como critério considerar seções como sendo intervalos de pontos em sequência com valor crescente ou decrescente que somassem 1000 unidades ou mais para Z_x . Caso se usasse uma análise mais conservadora, resultaria um número maior de seções, afastando-se do objetivo da metodologia das diferenças acumuladas de definir e tratar trechos longos por possuírem comportamentos semelhantes.

Identifica-se com clareza a predominância de duas seções principais que dividem o segmento de 3 km aproximadamente ao meio, o primeiro com aspecto crescente e o segundo decrescente. A seção ser crescente significa que os pontos contidos nela possuem valores, em sua maioria, acima da média. Analogamente, decrescente significa que os módulos resultantes de ensaios nesses pontos são inferiores à média do segmento todo.

Em sequência, calculou-se, como descrito no capítulo anterior, o valor característico do módulo dessa seção. Esse valor é teórico, e representa uma porcentagem de ocorrência de exatamente 85% na seção homogênea inteira. Para efeitos de comparação, são adotados valores do módulo registrados na seção homogênea que mais e aproximam do valor estimado. Cada seção tem um valor característico, onde esses podem ser consultados na Tabela 10.

Tabela 10 - Pontos característicos das seções homogêneas do módulo de deformabilidade

Avaliação	Seção homogênea	$E_{vd,k}$ estimado (MPa)	$E_{vd,k}$ real (MPa)	Ponto
Freitas (2019)	1	20,30	20,29	2
	2	14,06	12,44	24
Wolf (2020)	1	19,20	18,83	10
	2	13,96	14,43	26
	3	14,49	16,62	30
Wolf (2021)	1	12,67	13,52	3
	2	13,93	13,42	18
	3	9,81	10,16	30
Quarta aval. (2022)	1	19,22	18,27	9
	2	10,89	11,86	22
Quinta aval. (2023)	1	22,56	25,41	3
	2	24,34	24,51	15
	3	14,74	14,87	26
	4	19,80	16,32	30

Com seções homogêneas e valores característicos definidos, é então feita a comparação da situação da estrada nos diferentes períodos, resultando na ilustração apresentada na Figura 38. Na figura, podem ser visualizadas com mais clareza as seções homogêneas e seus módulos de deformabilidade (E_{vd}) característicos, em MPa, para cada campanha e ensaio.

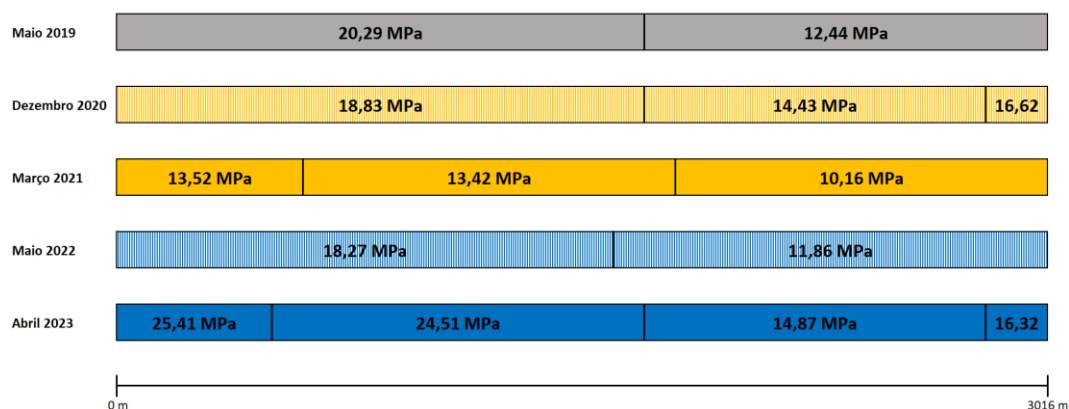


Figura 38 - Quadro comparativo das seções homogêneas do módulo de deformabilidade

De forma a otimizar a comparação, é então feita uma ponderação para os valores de modulo de deformabilidade entre as seções externas mais curtas e suas seções vizinhas. Isso só foi possível pelo fato de serem valores característicos próximos. A ilustração da Figura 39 define em síntese, a situação da estrada nos diferentes períodos em termos de modulo de deformabilidade (E_{vd})

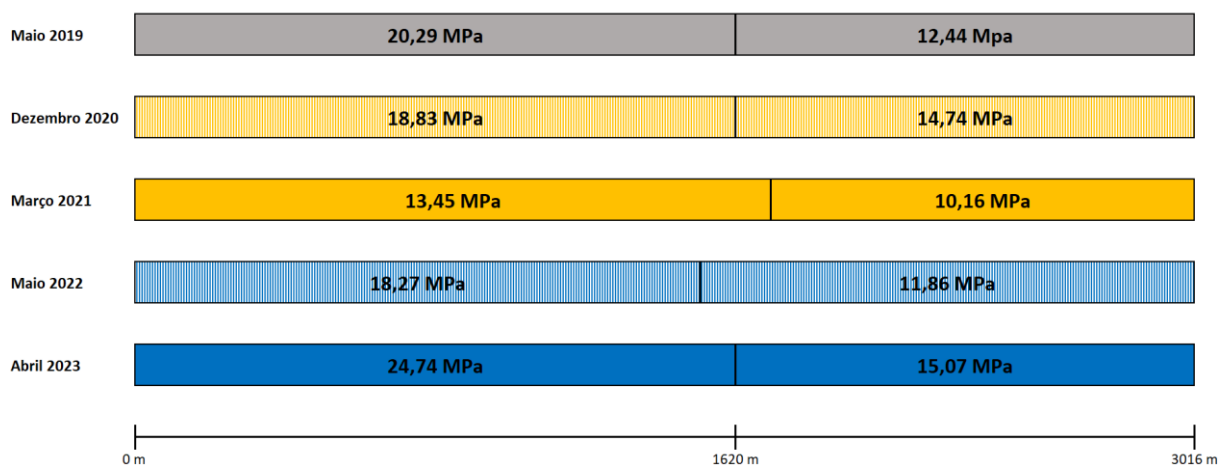


Figura 39 - Quadro comparativo otimizado das seções homogêneas do modulo de deformabilidade

É nítida a aparição de duas seções homogêneas, essas dispostas de forma semelhante e com pontos de transição próximos, em torno dos 1620 m. A EBVT não pavimentada apresentou variações em sua capacidade de carga ao longo de cinco anos, mas essa diferença ocorreu sempre em dois segmentos da estrada, demonstrando que o modulo de deformabilidade (E_{vd}) varia de forma similar em conjuntos de pontos.

4.1.2 Resultados dos ensaios do CBR dinâmico

De modo análogo, é feita a sequência dos passos da análise anterior para os dados obtidos com o ensaio do CBR dinâmico. Ao todo, tem-se quatro campanhas de ensaio, em dois estudos. Seguem elencados com respectivas datas e avaliadores:

- ◆ 12/2020 - Wolf (2021) - Primeira avaliação
- ◆ 03/2021 - Wolf (2021) - Segunda avaliação
- ◆ 05/2022 - Terceira avaliação
- ◆ 04/2023 - Quarta avaliação

Os valores do CBR dinâmico (CBR_d) obtidos em cada um dos 30 pontos, separados pelo período das quatro campanhas de ensaio, podem ser consultados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados das campanhas de ensaio do CBR dinâmico

CBR dinâmico - CBR _d (%)				
Ponto	Dezembro 2020	Março 2021	Mai 2022	Abril 2023
1	42,00	31,00	50,00	58,00
2	36,00	36,00	29,00	41,00
3	34,00	29,00	42,00	36,00
4	42,00	47,00	42,00	47,00
5	49,00	24,00	68,00	26,00
6	45,00	23,00	51,00	35,00
7	52,00	39,00	43,00	22,00
8	51,00	54,00	38,00	25,00
9	44,00	32,00	27,00	38,00
10	34,00	42,00	42,00	40,00
11	38,00	26,00	36,00	41,00
12	45,00	50,00	25,00	45,00
13	42,00	26,00	32,00	40,00
14	28,00	48,00	34,00	37,00
15	49,00	34,00	33,00	35,00
16	43,00	35,00	28,00	33,00
17	43,00	27,00	25,00	27,00
18	30,00	24,00	29,00	22,00
19	28,00	38,00	33,00	23,00
20	40,00	26,00	35,00	35,00
21	34,00	28,00	25,00	19,00
22	35,00	26,00	28,00	27,00
23	73,00	36,00	33,00	25,00
24	41,00	29,00	38,00	43,00
25	41,00	34,00	22,00	28,00
26	28,00	20,00	23,00	26,00
27	32,00	17,00	30,00	28,00
28	33,00	37,00	36,00	40,00
29	48,00	22,00	26,00	64,00
30	29,00	38,00	24,00	42,00

Se forem observados apenas os dados como estão, o comportamento aleatório se repete, onde não é possível concluir nada a respeito. Para melhor visualizar a faixa de atuação que abrange esses valores, e entender se ela se comporta da mesma forma a do módulo de deformabilidade (E_{vd}), foram dispostos no gráfico da Figura 40 os dados do CBR dinâmico em função da extensão, onde cada linha representa uma campanha de ensaio.

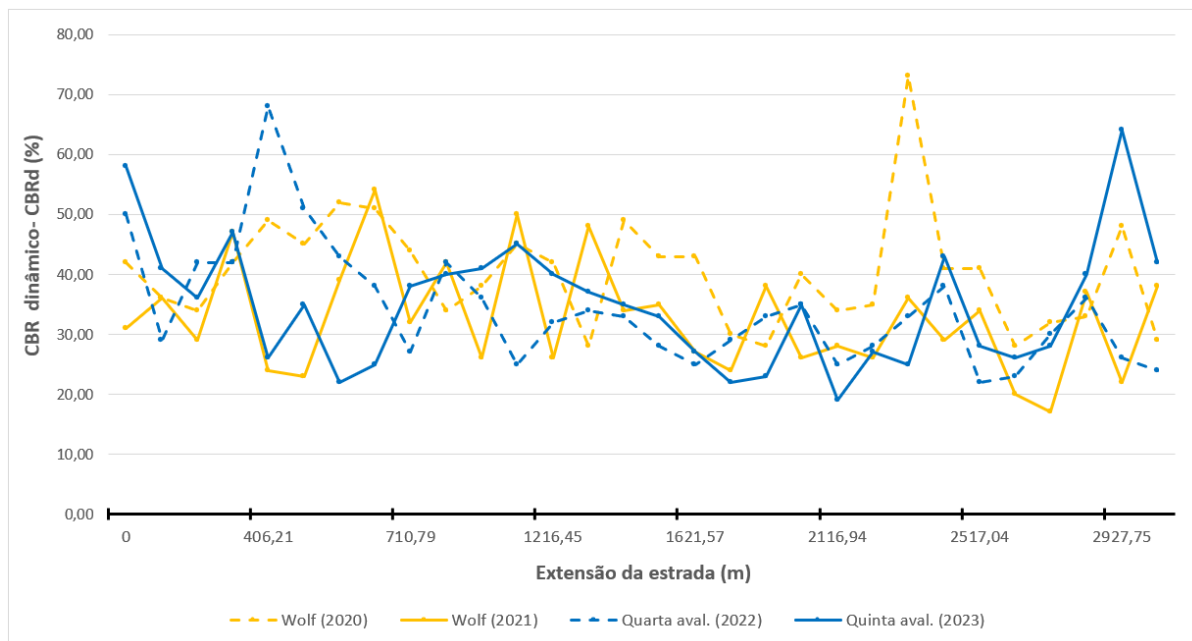


Figura 40 - CBR dinâmico para os diferentes conjuntos de ensaio ao longo da estrada

É visível pela Figura 40 que a faixa onde os dados se encontram é mais estreita se comparada com a dos resultados do módulo de deformabilidade, mas com alguns picos pontuais, representando pontos isolados com porcentagens mais elevadas.

Em sequência, foi calculado o valor de Z_x de todos os pontos, para as quatro campanhas de ensaio, resultando no gráfico que pode ser observado na Figura 41.

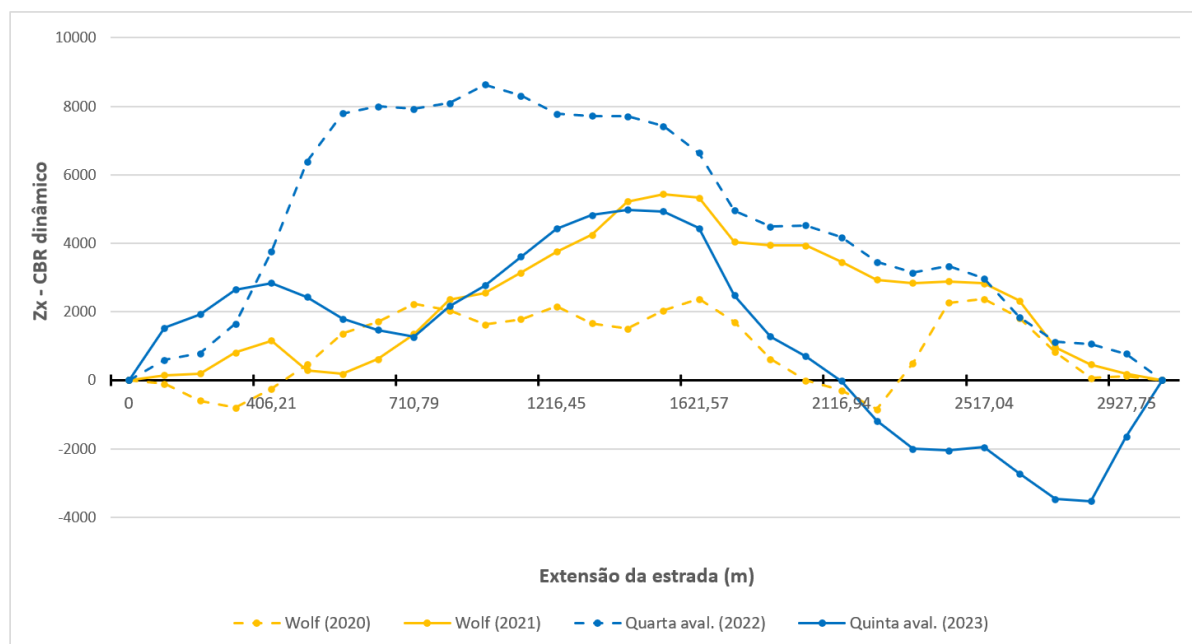


Figura 41 - Comportamento do CBR dinâmico da estrada para os diferentes períodos

Em um primeiro momento o comportamento da capacidade mecânica em termos de CBR dinâmico (CBR_d) não apresenta visualmente o nível de similaridade apontado pelas campanhas do modulo de deformabilidade.

São então definidas as seções homogêneas de modo a visualizar o comportamento do CBR dinâmico nas diferentes avaliações, como mostra a Figura 42.

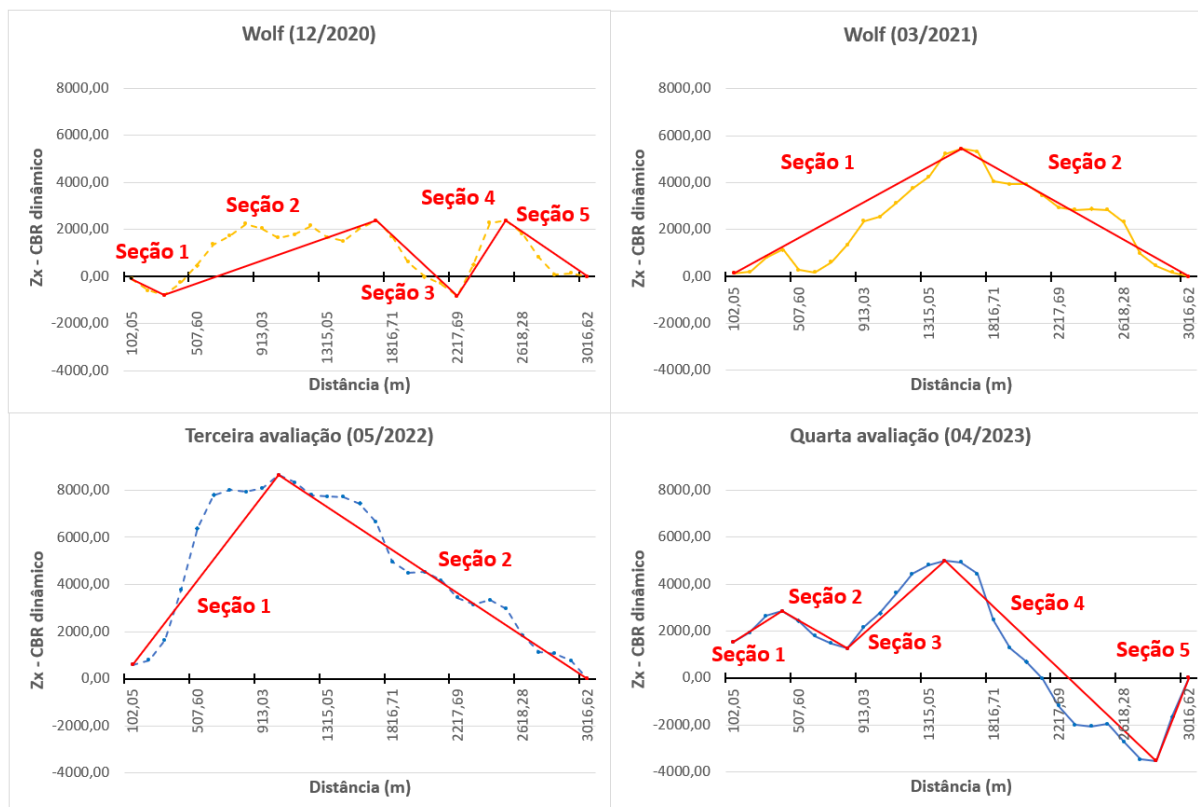


Figura 42 - Seções homogêneas do CBR dinâmico de cada período

As seções homogêneas para o CBR dinâmico (CBR_d) foram definidas da mesma forma que o modulo de deformabilidade (E_{vd}), utilizando o critério de 1000 unidades de Z_x como sendo o mínimo para considerar uma sequência de pontos como sendo uma seção.

Observando o quadro da Figura 42, as seções emergentes da análise demonstram que os resultados para esse ensaio não apresentam grandes relações de afinidade entre os diversos períodos, onde, para dezembro de 2020 e abril de 2023, são contabilizadas cinco seções homogêneas, enquanto março de 2021 e maio de 2022, apenas duas.

São então definidos os valores característicos estimados, e em seguida seleciona-se o valor do ponto, dentre os contidos em determinada seção, que mais se aproxima do valor teórico. A Tabela 12 apresenta os valores característicos respectivos de cada seção homogênea resultante nas quatro campanhas de ensaios do CBR dinâmico.

Tabela 12 - Pontos característicos das seções homogêneas do CBR dinâmico

Avaliação	Seção homogênea	CBR _{d,k} estimado (%)	CBR _{d,k} real (%)	Ponto
Wolf (2020)	1	33,80	34,00	3
	2	35,82	34,00	10
	3	29,56	30,00	18
	4	31,98	35,00	22
	5	27,78	28,00	26
Wolf (2021)	1	26,14	26,00	11 e 13
	2	22,25	22,00	29
Quarta aval. (2022)	1	31,39	29,00	2
	2	24,47	24,00	30
Quinta aval. (2023)	1	30,46	26,00	5
	2	22,78	22,00	7
	3	36,34	37,00	14
	4	22,42	22,00	18
	5	37,36	40,00	28

Com as seções homogêneas e os pontos característicos reais definidos, faz-se a comparação entre os quatro períodos, apresentada no quadro da Figura 43, relacionando as seções com os valores do CBR dinâmico (CBR_d), em porcentagem, que as representam.

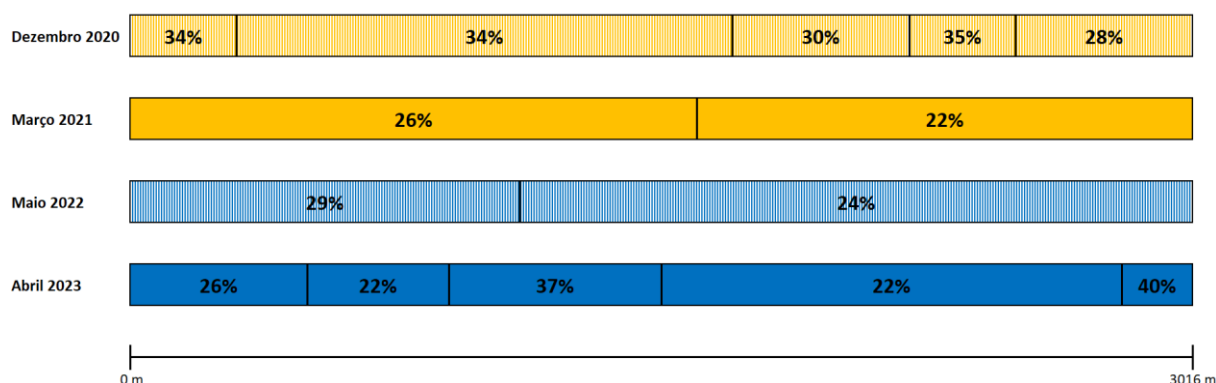


Figura 43 - Quadro comparativo das seções homogêneas do CBR dinâmico

A Figura 43 demonstra um comportamento mecânico da estrada, em termos de CBR dinâmico (CBR_d), que não é nada semelhante se compararmos as quatro campanhas de ensaio. Essa divergência está presente tanto no número das seções homogêneas resultante de cada avaliação, como os pontos de transição destas. Quanto ao valor característico do CBR dinâmico (CBR_d), também houve uma variação considerável dentre os vários períodos, não permitindo concluir nada a respeito do comportamento mecânico da estrada registrado por este ensaio.

Se comparados esses resultados com os do módulo de deformabilidade, também não apresentam correlações ou progressão a progressão vista anteriormente para o LWD.

4.2 Discussão sobre a avaliação funcional

Com o intuito de identificar o comportamento funcional da EBVT não pavimentada de Montesinho, bem como comparar o surgimento das degradações em diferentes anos, uma análise comparativa foi realizada para seu estado funcional, de forma similar à discutida na seção anterior para o comportamento mecânico.

A metodologia adaptada e proposta por Cabette (2018), foi empregada em todas as avaliações funcionais feitas em trabalhos antecedentes a esse. Devido a isso, para poder comparar os resultados nos diferentes períodos, a mesma metodologia foi empregada para as avaliações funcionais deste trabalho da mesma forma.

4.2.1 Análise sobre as subseções de 6 metros

Para as seções de 6 m de extensão, todos os autores que efetuaram seus estudos sobre a estrada de Montesinho realizaram uma avaliação funcional cada, com exceção deste trabalho onde foram feitas duas avaliações. Todas as avaliações comportam dois valores do índice de gravidade global (IGG), um para degradações superficiais, e um para o sistema de drenagem (folhas de cálculo de todos os períodos podem ser consultadas no Apêndice I) . Os resultados disponíveis para comparação, em ordem cronológica, são os seguintes:

- ◆ 07/2018 - Cabette (2018) - Primeira avaliação
- ◆ 06/2019 - Freitas (2019) - Segunda avaliação
- ◆ 06/2021 - Wolf (2021) - Terceira avaliação
- ◆ 06/2022 - Quarta avaliação
- ◆ 04/2023 - Quinta avaliação

Os registros das degradações relacionados a quarta e quinta avaliação, realizadas nesse trabalho, podem ser consultadas no Apêndice G e H.

Todas as observações foram feitas em épocas próxima do fim da primavera e início do verão, com exceção da quinta avaliação, que foi realizada na metade de abril. Houve uma reabilitação na estrada por parte da câmara municipal de Bragança, entre a avaliação realizada por Cabette (2018) e Freitas (2019). Desde então, a estrada não recebeu algum tipo de intervenção, sendo exposta as ações climáticas e do tráfego por aproximadamente 4 anos consecutivos.

Na Figura 44 podem ser visualizados os valores do Índice de Gravidade Global dos diferentes avaliadores, separados pelos dois grupos de degradações.

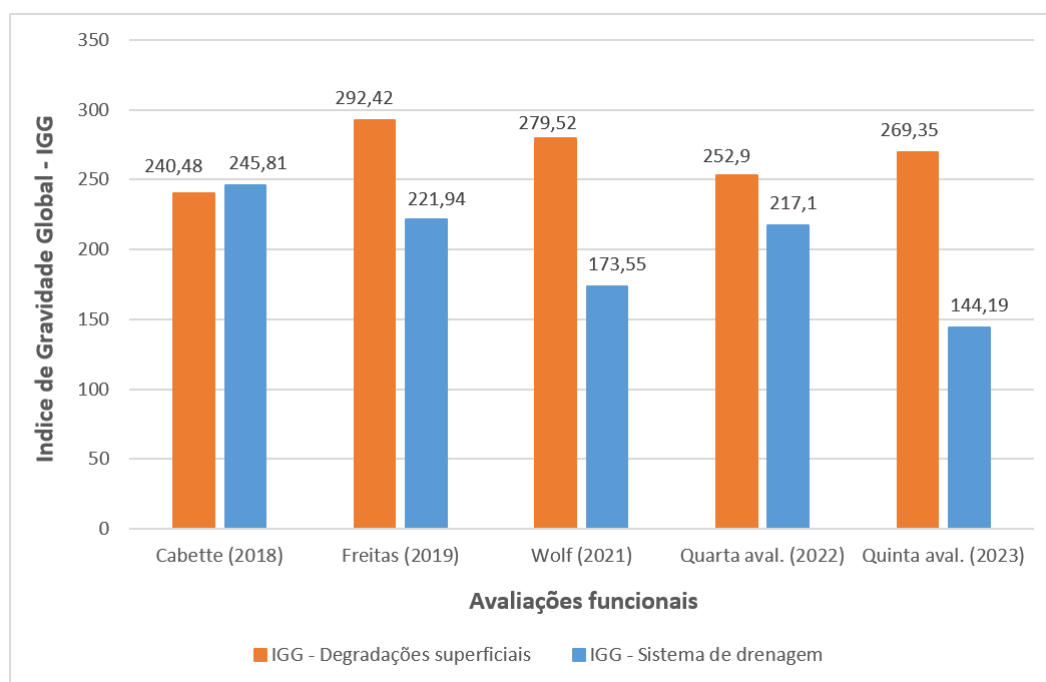


Figura 44 - Comparação de IGGs para subseções e 6 metros

Os IGGs do estado da superfície da estrada de todas as avaliações funcionais a enquadram na categoria “péssima”. A diferença entre o valor máximo e mínimo é de aproximadamente 50 pontos, entre Cabette (2018) e Freitas (2019).

Quanto ao sistema de drenagem, quatro dos cinco IGGs tem valores maiores que 160, indicando que a estrada está em péssimo estado. A última avaliação foi a única que apresentou um IGG mais baixo, enquadrando o estado da via como sendo “ruim”. Para o sistema de drenagem a variação das notas também é considerável, sendo a maior diferença entre Cabette (2018) e a quinta avaliação (2023), de aproximadamente 100 pontos.

Tanto para o estado superficial da estrada, como para o sistema de drenagem, não foi relevada uma diferença substancial de melhora, entre a avaliação de Cabette (2018) e Freitas (2019), onde entre elas ocorreu a intervenção da câmara municipal.

Para analisar com mais detalhe as diferenças entre as várias avaliações, é feito um comparativo do número de mesmas degradações que cada avaliador registrou nas respectivas avaliações, separadas por gravidade. A Tabela 13 apresenta a quantidade de defeito do grupo das degradações superficiais apontados em cada avaliação funcional.

Tabela 13 - Frequência das degradações da superfície da estrada nas diferentes avaliações

Degradação	Gravidade	Avaliações				
		1ª (2018)	2ª (2019)	3ª (2021)	4ª (2022)	5ª (2023)
Afundamentos	Baixo	21	9	53	12	5
	Médio	12	12	29	32	52
	Elevado	3	9	1	6	6
Buracos	Baixo	18	20	3	0	0
	Médio	6	14	1	5	1
	Elevado	4	16	0	3	7
Agregado solto	Baixo	7	5	29	56	26
	Médio	0	4	3	0	0
	Elevado	2	1	0	0	0
Ondulações	Baixo	2	1	2	0	0
	Médio	1	1	0	1	0
	Elevado	2	1	0	0	0
Erosão	Baixo	18	10	4	1	1
	Médio	0	4	0	0	5
	Elevado	3	4	0	0	4

A única degradação que se fez pouco presente na superfície da estrada são as ondulações, com a maior frequência sendo de cinco ocorrências registradas por Cabette (2018).

Nos registros dos últimos três anos, a partir da terceira avaliação (Wolf em 2021), nota-se um comportamento similar entre as degradações registradas para a superfície da estrada. Nessas três observações, as degradações mais frequentes foram afundamentos e agregado solto. Considerando esse cenário, uma possível intervenção na estrada poderia ser a reposição de uma camada superficial com material bem graduado, para minimizar a perda de finos. Também se faz necessária uma boa compactação do solo superficial, de modo a diminuir a sua deformabilidade com a passagem de veículos.

Tabela 14 - Frequência das irregularidades do sistema de drenagem nas diferentes avaliações

Irregularidade	Gravidade	Avaliações				
		1ª (2018)	2ª (2019)	3ª (2021)	4ª (2022)	5ª (2023)
Inclinação transversal incorreta	Não há	8	27	7	12	13
Acostamento elevado	Baixo	10	11	12	0	0
	Médio	16	2	0	2	1
	Elevado	5	5	0	6	2
Necessidade de bueiros e galerias	Não há	1	1	10	0	1
Ausência de valas	Não há	10	19	26	11	8
Obstrução de valas por vegetação e detritos	Baixo	17	24	6	2	37
	Médio	13	3	2	24	2
	Elevado	30	4	3	22	0

A Tabela 14 apresenta as quantidades de cada irregularidade do sistema de drenagem registradas nas cinco avaliações. Aqui nota-se uma manifestação ainda maior da subjetividade da metodologia. Não foram apresentados registros similares para qualquer uma das irregularidades, e um possível motivo é o fato de três delas não apresentarem níveis de gravidade. Isso faz com que o avaliador, que considera quatro possibilidades para as degradações (Não há, bom, médio e elevado), tenha que definir, para essas irregularidades do sistema de drenagem, apenas a ocorrência ou não dela, limitando suas chances de avaliar melhor o defeito.

4.2.2 Avaliação sobre as subseções de 10 metros

Wolf (2021) propôs melhorias para o método empregado por Cabette (2018), introduzindo o conceito de mudança das dimensões das subseções, que inicialmente eram apenas de 6 m de extensão. A extensão a ser considerada para as subseções deveria ser de 10 m segundo o autor, de modo a abranger mais degradações, e aumentar a representatividade das subseções. Para seções aproximadamente de 100 m, que é o caso da subdivisão da estrada, subseções de 6 m representam apenas 6% do total, mas são consideradas para refletir o estado de degradação da seção toda. Aumentar as dimensões da subseção pode refletir de forma mais representativa no estado de deterioração da seção. As folhas de cálculo do IGG para as subseções de 10 m podem ser consultadas no Apêndice J.

Na Figura 45 estão apresentados os valores do Índice de Gravidade Global separados pelos dois grupos de degradações, para as campanhas que adotaram subseções de 10 m.

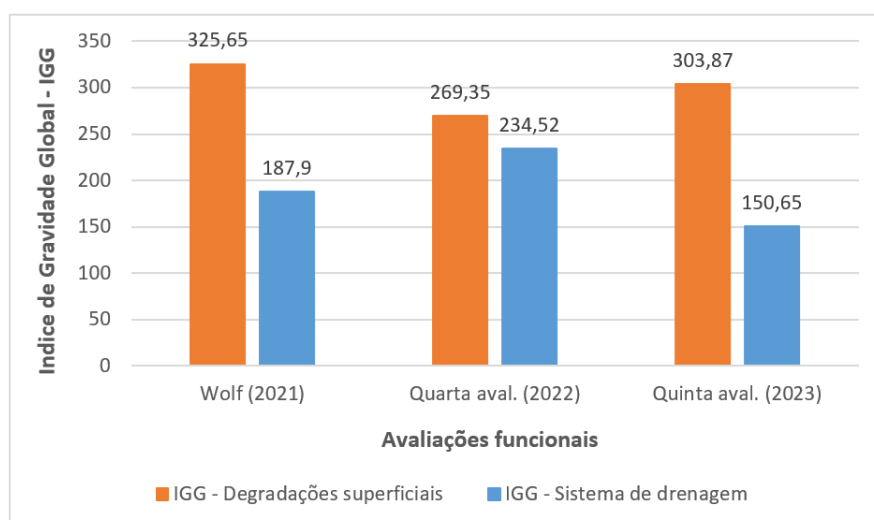


Figura 45 - Comparação de IGGs das subseções de 10 metros

Na Tabela 15 podem ser consultadas as diferenças entre os IGGs das subseções de 6 m e 10 m para as degradações superficiais e o estado do sistema de drenagem.

Tabela 15 - Comparação do IGG das subseções de 6 m e 10 m

Grupo de degradações	Subseção	Avaliações		
		3 ^a (2021)	4 ^a (2022)	5 ^a (2023)
Degradações superficiais	6 m	279,52	252,9	269,35
	10 m	325,65	269,35	303,87
Sistema de drenagem	6 m	173,55	217,1	144,19
	10 m	187,9	234,52	150,65

Com as novas dimensões das subseções, o Índice de Gravidade Global em todos os casos classifica o estado da estrada como sendo “péssimo”, para ambos os grupos defeitos.

Para as degradações superficiais, a maior diferença foi relatada por Wolf (2021), com uma variação de aproximadamente 45 pontos. Já para o sistema de drenagem, a variação foi menor, com diferença máxima de aproximadamente 15 pontos.

A tabela 16 apresenta o número total de degradações para subseções de 6 m e 10 m.

Tabela 16 - Comparação do número de degradações das subseções de 6 m e 10 m

Grupo de degradações	Subseção	Avaliações		
		3 ^a (2021)	4 ^a (2022)	5 ^a (2023)
Degradações superficiais	6 m	125	116	107
	10 m	144	122	118
Sistema de drenagem	6 m	66	79	64
	10 m	72	87	66

Se for feita a comparação entre as subseções de 6 m e 10 m, em todos os casos, nem uma avaliação apresentou diferenças significativas. O aumento da área da subseção, de cerca de 66%, não foi correspondido proporcionalmente com o aumento do número das degradações registadas, nem na própria nota, indicando que a modificação não agrega valor a metodologia da avaliação funcional.

Capítulo 5

5 Conclusões

Com os resultados das avaliações estruturais ao longo de cinco anos, e funcionais ao longo de seis, realizadas em quatro estudos diferentes, foi possível entender melhor o comportamento da EBVT não pavimentada que faz parte do parque natural de Montesinho a nível de degradação, seja de capacidade de carga, ou dos aspectos que envolvem sua funcionalidade.

Enquanto estradas pavimentadas são estruturas construídas por camadas com espessuras bem definidas e constantes ao longo da extensão da via, as não pavimentadas são tipicamente constituídas por solo natural ou materiais de granulometrias maiores, como cascalho. O fato desse tipo de estrada não ser constituída por camadas superficiais ligadas, proporciona um comportamento menos homogeneizado ao longo de sua extensão, onde pontos individualizados dificilmente representam o estado de degradação da estrada em seu todo.

Por meio da análise das avaliações estruturais realizadas pelos diferentes autores ao longo de cinco anos, utilizando os ensaios do Light Weight Deflectometer (LWD) e CBR dinâmico para caracterizar a capacidade mecânica da estrada, foi possível identificar dois aspectos principais: um com relação ao próprio comportamento da EBVT não pavimentada, e outro relacionado aos ensaios empregados na avaliação.

Os resultados de ensaio do Light Weight Deflectometer (LWD) demonstraram que pode haver um comportamento recorrente da capacidade mecânica deste tipo de estrada, mesmo com sua heterogeneidade citada anteriormente. A metodologia das diferenças acumuladas aplicada aos resultados do módulo de deformabilidade (E_{vd}) indicou a presença de duas seções homogêneas em todas as avaliações estruturais feitas na estrada. Essas duas seções se repetem com extensões aproximadamente iguais em todas as campanhas realizadas até o momento. O

valor característico do módulo de deformabilidade em todas as campanhas de ensaio, mostrou-se ser superior na primeira seção da estrada, se comparado com a segunda.

O mesmo não foi demonstrado para análise do CBR dinâmico (CBR_d), que apresentou em algumas avaliações apenas duas seções homogêneas, e em outras cinco, apresentando grande variabilidade entre os diversos períodos em que as campanhas de ensaio foram realizadas. Supõe-se que uma causa provável para tanta divergência nos resultados deste ensaio está atrelada com o seu próprio procedimento. Enquanto o Light Falling Weight (LWD) necessita de seis impactos para poder fornecer o módulo de deformabilidade (E_{vd}), o CBR dinâmico é realizado com apenas um. Em superfícies menos compactadas, com pouca ação do tráfego, como é o caso da EBVT não pavimentada de Montesinho, ensaios como o CBR dinâmico podem tornar-se imprecisos, pois a falta de compactação pode afetar diretamente na deformação devida ao único impacto do ensaio.

Quanto a avaliação funcional, as degradações da superfície da estrada e as irregularidades do sistema de drenagem, registradas nas avaliações funcionais ao longo de seis anos pelo método proposto por Cabette (2018), apresentaram divergências consistentes entre os avaliadores, ressaltando a subjetividade que esse tipo de avaliação incorpora.

Analisando as subseções de seis metros, os Índices de Gravidade Globais relacionados ao sistema de drenagem foram os que mais apresentaram variações, aproximadamente 100 pontos. Uma possível causa pode estar relacionada com a forma como são registrados esses defeitos: em três de cinco irregularidades para o sistema de drenagem, o avaliador deve registrar a ocorrência com uma resposta binária, sim ou não. A falta de uma gama maior de gravidades para essas degradações pode causar grande diferença quando a avaliação for realizada por mais pessoas.

Quanto aos registros das degradações superficiais, os Índices de Gravidade Globais demonstraram-se mais próximos comparando as diversas avaliações funcionais, com uma diferença máxima de 50 pontos. As degradações registradas apresentaram maior semelhança nos registros de Wolf (2021), a quarta (2022) e a quinta avaliação (2023), onde as três apontaram a predominância de afundamentos e agregado solto ao longo da estrada. Supõe-se que a semelhança é devida ao fato do uso de um catálogo de degradações, proposto por Wolf (2021), e adotado para a quarta e quinta avaliação. Esse catálogo detalha como devem ser registrada a ocorrência da degradação na estrada, e de certa forma limita, mas não anula, a subjetividade que a avaliação funcional apresenta.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados ensaios dinâmicos em outras estradas, que apresente níveis de compactação maiores, para fazer um comparativo os resultados obtidos entre o LWD e o CBR dinâmico, de modo a permitir que correlações sejam encontradas para estes dois ensaios.

Realizar campanhas de ensaio a cada mudança de estação, para entender o comportamento mecânico da estrada frente as ações climáticas ocorridas em cada uma destas, permitindo entender qual a variabilidade do seu estado estrutural, e em quais período ele carece e tem seu pico.

Para a avaliação funcional, sugere-se que as irregularidades do catálogo relacionadas ao sistema de drenagem, que permitem apenas respostas “Há” ou “Não há”, sejam revistas, introduzindo mais possibilidades para o avaliador registrar a gravidade destas.

Utilizar o método em outras estradas, preferivelmente com solicitações maiores por parte do tráfego, a fim de comparar com os resultados registrados na EBVT não pavimentada de Montesinho, onde o volume de tráfego é mínimo.

Referências Bibliográficas

ABDELRAHMAN, M.; SHARAF, E. Use of Field Data in Calculating Cost of Earth Road Maintenance. **Transportation Research Record**, Washington, D.C, p. 32-37, 1991.

ADAM, C. & ADAM, D. Modelling of the dynamic load plate test with the Light Falling Weight Device. **Asian Journal of Civil Engineering**, Vienna, n. 4, p. 73-89, 2003.

ALBANO, J. F. **Vias de Transporte**. Porto Alegre: Bookman, 2016.

ALZUBAIDI, H. **Operation and maintenance of gravel roads: a literature study**. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute, 1999.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Guide for Design of Pavement Structures**. Washington D.C, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D4694 - 09: Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device**. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E2835 - 11: Standard Test Method for Measuring Deflections using a Portable Impulse Plate Load Test Device**. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2011.

ANTUNES, M. L.; BAPTISTA, F.; FONTUL, S.; DOMINGOS, P. **Elementos bibliográficos de apoio ao curso: Conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários**. Lisboa, 2006.

AUSTRALIAN ROAD RESEARCH BOARD. **Unsealed roads manual: guidelines to good practice**. Vermont South, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Ensaio**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **NF P94-117-1: Sols: reconnaissance et essais. Portance des plates-formes. Partie 1: Module sous chargement statique à la plaque (E_{v2})**”. Paris, 2000.

AUSTROADS. **Guide to Pavement Technology Part 6-Unsealed Pavements**. Australia: Sydney, 79 p., 2009.

BECKEMEYER, C. **Rural Road Condition Survey Guide**. Estados Unidos: Pierre, SD, 81 p., 1995.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. DA.; CERATTI, J. A. P. & SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petróleo Brasileiro S.A: Rio de Janeiro, 2006.

BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L. P. **Pavimentos Rodoviários**. Volume único. Coimbra: Almedina, 2016.

CABETTE, M. M. **Caracterização geotécnica de estradas não pavimentadas de baixo volume de tráfego: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado – Instituto Politécnico de Bragança, 86p, 2018.

CAPUTO, H. P., & CAPUTO, A. N. **Mecânica dos Solos: Teoria e Aplicações**. Oitava edição. Grupo Editorial Nacional. Rio de Janeiro, 2022.

CEPSA PORTUGUESA PETRÓLEOS. **Manual de Pavimentação**. Portugal: Lisboa, 179p, 2014.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **CWA 15846**: Measuring method for Dynamic Compactness & Bearing Capacity with SP-LFWD (Small - plate Light Falling Weight Deflectometer). Management Centre, Bélgica: Bruxelas, 30 p., 2008.

DORÉ, G., & ZUBECK, H. K. **Cold regions pavement engineering**. Reston: ASCE Press, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES¹. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES². **NORMA DNIT 005/2003 - TER Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e semi-rígidos: Terminologia**. Rio de Janeiro, 12 p., 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES³. **NORMA DNIT 006/2003 - PRO Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Procedimento**. Rio de Janeiro, 10 p., 2003.

EATON, R.A.; BEAUCHAM, R.E. **Unsurfaced Road Maintenance Management: Report 92-95**. U.S Army Corps of Engineers, 1992. 21 p.

ELHAKIM, A. F.; ELBAZ, K. E AMER, M. I. The use of light weight deflectometer for in situ evaluation of sand degree of compaction. **Jornal HBRC**. Volume 10. Cairo, 2014.

ETHIOPIAN ROADS AUTHORITY¹. **Design Manual for Low Volume Roads - Part A: Introduction to Low Volume Road Design**. Design of Low Volume Roads. Etiópia, 2016.

ETHIOPIAN ROADS AUTHORITY². **Design Manual for Low Volume Roads - Part B: Design of Low Volume Roads**. Etiópia, 2016.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION¹. **Problems Associated with Gravel Roads**. Washington D.C, 1998.

FERREIRA, F. M. **Uma Aplicação Comparativa de Métodos de Avaliação das Condições Superficiais de Estrada Não-Pavimentada**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

FREITAS, B. T. DE. **Avaliação e caracterização geotécnica de uma estrada de baixo volume de tráfego**. Dissertação de Mestrado – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2019.

GOODSPEED, C. H., SCHMECKPEPER, E. R., & LEMIEUX, R. L. **Road Surface Management System**. Third International Conference on Managing Pavements. New Hampshire, 1994.

HIGHWAYS AGENCY, SCOTTISH EXECUTIVE, WELSH ASSEMBLY GOVERNMENT, DEPARTMENT FOR REGIONAL DEVELOPMENT NORTHERN IRELAND. **Design Guidance for Road Pavement Foundations**. London, 2009.

HOEL, L. A., GARBER, N. J., & SADEK, A. W. **Transportation Infrastructure Engineering: a Multimodal Integration**. Edição SI. Cengage Learning. Stamford, 2012.

HUANG, Y. H. **Pavement analysis and design**. Segunda edição. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, 2004.

INTERNATIONAL ROAD FEDERATION. **World Road Statistics**. Disponível em: <https://datawarehouse.worldroadstatistics.org/charts>. Acessado 15/12/2022.

KELLER, G., & SHERAR, J. **Low-volume roads engineering: best management practices field guide**. Virginia, 2003.

KRAEMER, C., PARDILLO, J., ROCCI, S., ROMANA, M., & SÁNCHEZ, B. **Ingeniería de Carreteras**. Volume 2. McGraw/Hill. Madrid, 2004.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **E197 Solos**: Ensaio de Compactação. Lisboa, 1966.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **E198 Solos**: Determinação do CBR. Lisboa, 1967.

MARQUES, D. M. A. C. **Controlo de Qualidade de Estradas de Baixo Volume de Tráfego**. Dissertação de Mestrado – Universidade nova de Lisboa. Lisboa, 2015.

MINISTRY OF TRANSPORT AND PUBLIC WORKS. **Design manual for Low Volume Sealed Roads Using the DCP Design Method**. Malawi, 2013.

MURRIETA, P. “Mecânica dos Solos”. Rio de Janeiro, 2018.

NAZZAL, M. D. *et al.* **Evaluating the Light Falling Weight Deflectometer Device for In Situ Measurement of Elastic Modulus of Pavement Layers**. Washington D.C, 2007.

ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Road Monitoring for Maintenance Management - Manual for Developing Countries**. Volume 2. World Bank Office. Paris, 1990.

PASER. **Pavement Surface Evaluation and Rating - Gravel Roads**. Wisconsin, 2002.

PIMENTA, C. R. *et al.* **Projeto Geométrico de Rodovias**. Grupo editora nacional. Rio de Janeiro, 2017.

PELAQUIM, F.G. P. **Mecânica dos solos aplicada à geotecnia**. Primeira edição. Editora Saraiva. Londrina, 2021.

PLATI, C. **Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review**. Atenas, 2019.

RIEDL, S. **Dynamic Approach for the Evaluation of the Load Carrying Capacity and Stability of Flexible Pavements with the Falling Weight Deflectometer**. Erfurt, 2009.

SHELL. **The shell bitumen handbook**. Sexta Edição. Shell International Petroleum Company. Londres, 2015.

SKORSETH, K. & SELIM A. A. **Gravel roads: maintenance and design manual**. South Dakota, 2000.

SOUTHERN AFRICA TRANSPORT AND COMMUNICATIONS COMMISSION. **Guideline Low-Volume Sealed Roads**. Botswana, 2003.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. Volume 1. Annablume Editora. São Paulo, 2006.

Wolf, M. P. **Observação da qualidade de uma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada**. Dissertação de Mestrado – Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2021.

Wolf, M. P. *et al.* Mechanical Analysis of an Unpaved Road by Dynamic Bearing Capacity Test. **XVII Congresso nacional de geotecnia**. Lisboa, 2021.

WORLD BANK, 2018. **Estatísticas mundiais**. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>. Acessado em 10/11/2022.

ZORN¹. **Manual suplementar do usuário para a extensão de CBR dinâmico**. Stendal, 2016.

ZORN². **Manual do usuário para o Light Weight Deflectometer (LWD) ZFG 3.0**. Stendal, 2016.

APÊNDICES

Apêndice A - Informações sobre o segmento da estrada avaliada

Tabela A.1 - Coordenadas dos 31 pontos do segmento onde foram efetuados os ensaios e observações

Pontos	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
1	109862,463	255612,423	1247,51
2	109811,095	255524,378	1242,661
3	109761,833	255436,009	1241,198
4	109711,787	255345,186	1242,563
5	109694,346	255247,564	1238,141
6	109680,923	255147,11	1235,179
7	109670,901	255042,002	1236,273
8	109666,935	255012,151	1237,192
9	109658,559	254945,207	1236,303
10	109635,035	254744,375	1239,873
11	109624,528	254643,704	1241,291
12	109613,307	254544,595	1245,579
13	109650,41	254449,238	1242,612
14	109658,761	254351,194	1236,346
15	109640,191	254244,043	1232,497
16	109615,512	254158,916	1231,627
17	109601,349	254050,783	1230,407
18	109573,074	253857,709	1232,023
19	109557,442	253759,554	1232,888
20	109543,816	253656,436	1230,278
21	109528,999	253560,833	1232,84
22	109510,918	253461,735	1234,609
23	109476,572	253373,343	1231,09
24	109466,799	253269,851	1224,387
25	109455,028	253170,263	1224,283
26	109445,045	253069,523	1225,419
27	109432,681	252970,039	1225,602
28	109422,765	252869,43	1222,748
29	109410,251	252762,078	1222,057
30	109400,596	252673,758	1219,801
31	109400,550	252673,370	1219,801
Base1	109693,158	255312,609	1243,99
Base2	109517,478	253472,385	1234,942

Fonte: Wolf, 2021.

Apêndice B - Cálculos para as seções homogêneas do LWD

Tabela B.1 - Cálculo do Z_x para os resultados de Freitas (2019) para o LWD

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	E_{vd} (MPa)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z_x LWD
1	1	0	0,00	48,42	48,42	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	20,29	34,36	3505,93	3505,93	845,06
2>3	3	101,18	203,23	20,27	20,28	2051,93	5557,86	258,82
3>4	4	103,71	306,94	29,73	25,00	2592,75	8150,61	147,42
4>5	5	99,27	406,21	29,71	29,72	2950,30	11100,91	509,35
5>6	6	101,39	507,60	49,90	39,81	4035,83	15136,74	1901,52
6>7	7	105,59	613,19	25,66	37,78	3989,19	19125,93	3137,54
7>8	8	30,13	643,32	41,19	33,43	1007,10	20133,03	3359,03
8>9	9	67,47	710,79	24,85	33,02	2227,86	22360,89	3827,67
9>10	10	202,24	913,03	25,42	25,14	5083,30	27444,19	3637,74
10>11	11	101,23	1014,26	24,16	24,79	2509,49	29953,68	3507,75
11>12	12	99,83	1114,09	21,90	23,03	2299,08	32252,77	3203,85
12>13	13	102,36	1216,45	49,10	35,50	3633,78	35886,55	4168,69
13>14	14	98,60	1315,05	39,35	44,23	4360,59	40247,13	5958,36
14>15	15	108,82	1423,87	21,98	30,67	3336,97	43584,10	6457,94
15>16	16	88,64	1512,51	42,39	32,19	2852,88	46436,97	6999,61
16>17	17	109,06	1621,57	20,11	31,25	3408,13	49845,10	7564,10
17>18	18	195,14	1816,71	19,91	20,01	3904,75	53749,85	6380,74
18>19	19	99,40	1916,11	10,85	15,38	1528,77	55278,62	5317,75
19>20	20	104,05	2020,16	7,72	9,29	966,10	56244,73	3570,84
20>21	21	96,78	2116,94	25,54	16,63	1609,45	57854,18	2656,84
21>22	22	100,75	2217,69	22,80	24,17	2435,13	60289,31	2465,00
22>23	23	94,90	2312,59	22,43	22,62	2146,16	62435,47	2136,73
23>24	24	104,17	2416,76	12,44	17,44	1816,20	64251,67	1236,79
24>25	25	100,28	2517,04	25,21	18,83	1887,77	66139,44	509,85
25>26	26	101,24	2618,28	23,72	24,47	2476,84	68616,28	346,94
26>27	27	100,25	2718,53	22,14	22,93	2298,73	70915,01	31,75
27>28	28	101,14	2819,67	21,56	21,85	2209,91	73124,92	-395,48
28>29	29	108,08	2927,75	34,32	27,94	3019,76	76144,68	-193,82
29>30	30	88,87	3016,62	22,19	28,26	2511,02	78655,70	0,00

Tabela B.2 - Cálculo do Z_x para os resultados de Wolf (2020) para o LWD

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	E_{vd} (MPa)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z_x LWD
1	1	0	0,00	31,63	31,63	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	22,58	27,11	2766,07	2766,07	270,91
2>3	3	101,18	203,23	22,59	22,59	2285,15	5051,22	82,19
3>4	4	103,71	306,94	22,31	22,45	2328,29	7379,51	-125,26
4>5	5	99,27	406,21	24,15	23,23	2306,04	9685,55	-246,40
5>6	6	101,39	507,60	33,28	28,72	2911,41	12596,96	186,00
6>7	7	105,59	613,19	32,77	33,03	3487,11	16084,07	1091,41
7>8	8	30,13	643,32	52,82	42,80	1289,41	17373,48	1644,13
8>9	9	67,47	710,79	27,37	40,10	2705,21	20078,69	2699,68
9>10	10	202,24	913,03	18,83	23,10	4671,74	24750,44	2426,60
10>11	11	101,23	1014,26	26,26	22,55	2282,23	27032,67	2233,73
11>12	12	99,83	1114,09	21,52	23,89	2384,94	29417,61	2177,80
12>13	13	102,36	1216,45	28,53	25,03	2561,56	31979,17	2236,63
13>14	14	98,60	1315,05	24,21	26,37	2600,08	34579,25	2425,91
14>15	15	108,82	1423,87	23,54	23,88	2598,08	37177,33	2363,31
15>16	16	88,64	1512,51	44,35	33,95	3008,88	40186,21	3204,92
16>17	17	109,06	1621,57	21,66	33,01	3599,53	43785,74	4137,90
17>18	18	195,14	1816,71	11,66	16,66	3251,03	47036,77	2617,71
18>19	19	99,40	1916,11	11,75	11,71	1163,48	48200,24	1350,83
19>20	20	104,05	2020,16	20,91	16,33	1699,14	49899,38	505,91
20>21	21	96,78	2116,94	18,35	19,63	1899,79	51799,17	39,41
21>22	22	100,75	2217,69	19,27	18,81	1895,11	53694,28	-528,85
22>23	23	94,90	2312,59	32,48	25,88	2455,54	56149,82	-393,65
23>24	24	104,17	2416,76	24,32	28,40	2958,43	59108,25	17,80
24>25	25	100,28	2517,04	25,32	24,82	2488,95	61597,20	54,87
25>26	26	101,24	2618,28	14,43	19,88	2012,15	63609,34	-408,33
26>27	27	100,25	2718,53	18,13	16,28	1632,07	65241,41	-1227,40
27>28	28	101,14	2819,67	25,47	21,80	2204,85	67446,26	-1495,45
28>29	29	108,08	2927,75	42,61	34,04	3679,04	71125,31	-458,99
29>30	30	88,87	3016,62	16,62	29,62	2631,89	73757,19	0,00

Tabela B.3 - Cálculo do Z_x para os resultados de Wolf (2021) para o LWD

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	E_{vd} (MPa)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z_x LWD
1	1	0	0,00	18,61	18,61	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	23,04	20,83	2125,19	2125,19	-201,73
2>3	3	101,18	203,23	13,52	18,28	1849,57	3974,76	-659,25
3>4	4	103,71	306,94	25,61	19,57	2029,09	6003,85	-994,94
4>5	5	99,27	406,21	10,36	17,99	1785,37	7789,22	-1473,10
5>6	6	101,39	507,60	21,21	15,79	1600,44	9389,66	-2184,54
6>7	7	105,59	613,19	39,94	30,58	3228,41	12618,07	-1363,77
7>8	8	30,13	643,32	23,50	31,72	955,72	13573,80	-1095,06
8>9	9	67,47	710,79	49,78	36,64	2472,10	16045,90	-161,40
9>10	10	202,24	913,03	26,41	38,10	7704,33	23750,23	2931,50
10>11	11	101,23	1014,26	17,77	22,09	2236,17	25986,40	2859,44
11>12	12	99,83	1114,09	12,96	15,37	1533,89	27520,29	2117,02
12>13	13	102,36	1216,45	31,13	22,05	2256,53	29776,82	2039,56
13>14	14	98,60	1315,05	37,71	34,42	3393,81	33170,63	3185,11
14>15	15	108,82	1423,87	24,56	31,14	3388,11	36558,74	4091,93
15>16	16	88,64	1512,51	9,26	16,91	1498,90	38057,64	3569,68
16>17	17	109,06	1621,57	40,52	24,89	2714,50	40772,14	3797,42
17>18	18	195,14	1816,71	13,42	26,97	5262,93	46035,07	4610,80
18>19	19	99,40	1916,11	12,52	12,97	1289,22	47324,29	3633,52
19>20	20	104,05	2020,16	19,91	16,22	1687,17	49011,46	2948,16
20>21	21	96,78	2116,94	20,49	20,20	1954,96	50966,42	2696,36
21>22	22	100,75	2217,69	15,95	18,22	1835,67	52802,08	2234,74
22>23	23	94,90	2312,59	18,68	17,32	1643,19	54445,27	1714,04
23>24	24	104,17	2416,76	19,32	19,00	1979,23	56424,50	1318,01
24>25	25	100,28	2517,04	18,81	19,07	1911,84	58336,34	943,28
25>26	26	101,24	2618,28	10,47	14,64	1482,15	59818,50	116,98
26>27	27	100,25	2718,53	43,21	26,84	2690,71	62509,21	521,81
27>28	28	101,14	2819,67	12,35	27,78	2809,67	65318,87	1025,30
28>29	29	108,08	2927,75	23,83	18,09	1955,17	67274,04	516,05
29>30	30	88,87	3016,62	10,16	17,00	1510,35	68784,39	0,00

Tabela B.4 - Cálculo do Z_x para os resultados da quarta avaliação (2022) para o LWD

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	E_{vd} (MPa)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z_x LWD
1	1	0	0,00	35,19	35,19	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	28,43	31,81	3246,21	3246,21	796,67
2>3	3	101,18	203,23	31,48	29,96	3030,85	6277,06	1398,86
3>4	4	103,71	306,94	24,33	27,91	2894,03	9171,08	1803,50
4>5	5	99,27	406,21	58,49	41,41	4110,77	13281,86	3531,46
5>6	6	101,39	507,60	30,08	44,29	4490,06	17771,91	5587,82
6>7	7	105,59	613,19	29,32	29,70	3136,02	20907,93	6189,33
7>8	8	30,13	643,32	32,42	30,87	930,11	21838,05	6396,22
8>9	9	67,47	710,79	18,27	25,35	1710,03	23548,08	6486,75
9>10	10	202,24	913,03	31,72	25,00	5054,99	28603,06	6687,30
10>11	11	101,23	1014,26	22,85	27,29	2762,06	31365,12	7019,51
11>12	12	99,83	1114,09	16,26	19,56	1952,18	33317,30	6575,43
12>13	13	102,36	1216,45	27,06	21,66	2217,12	35534,42	6335,57
13>14	14	98,60	1315,05	21,76	24,41	2406,83	37941,24	6375,66
14>15	15	108,82	1423,87	30,21	25,99	2827,69	40768,93	6591,31
15>16	16	88,64	1512,51	23,23	26,72	2368,46	43137,39	6832,11
16>17	17	109,06	1621,57	8,14	15,69	1710,61	44848,00	5924,92
17>18	18	195,14	1816,71	12,40	10,27	2004,09	46852,09	3244,99
18>19	19	99,40	1916,11	24,44	18,42	1830,95	48683,03	2690,01
19>20	20	104,05	2020,16	22,49	23,47	2441,53	51124,57	2634,00
20>21	21	96,78	2116,94	18,42	20,46	1979,63	53104,20	2290,59
21>22	22	100,75	2217,69	11,86	15,14	1525,36	54629,56	1397,61
22>23	23	94,90	2312,59	27,20	19,53	1853,40	56482,95	973,09
23>24	24	104,17	2416,76	37,75	32,48	3382,92	59865,87	1855,58
24>25	25	100,28	2517,04	9,15	23,45	2351,57	62217,44	1800,10
25>26	26	101,24	2618,28	13,50	11,33	1146,54	63363,98	516,54
26>27	27	100,25	2718,53	23,87	18,69	1873,17	65237,16	-16,62
27>28	28	101,14	2819,67	36,41	30,14	3048,36	68285,51	604,04
28>29	29	108,08	2927,75	14,00	25,21	2724,16	71009,67	733,92
29>30	30	88,87	3016,62	17,49	15,75	1399,26	72408,93	0,00

Tabela B.5 - Cálculo do Z_x para os resultados de 2023 para o LWD

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	E_{vd} (MPa)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z_x LWD
1	1	0	0,00	38,05	38,05	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	26,43	32,24	3290,09	3290,09	223,67
2>3	3	101,18	203,23	25,41	25,92	2622,59	5912,68	-194,03
3>4	4	103,71	306,94	25,74	25,58	2652,38	8565,06	-657,95
4>5	5	99,27	406,21	25,68	25,71	2552,23	11117,29	-1088,60
5>6	6	101,39	507,60	54,97	40,33	4088,55	15205,84	-46,64
6>7	7	105,59	613,19	35,98	45,48	4801,71	20007,55	1582,27
7>8	8	30,13	643,32	37,38	36,68	1105,17	21112,72	1782,09
8>9	9	67,47	710,79	56,25	46,82	3158,61	24271,33	2913,34
9>10	10	202,24	913,03	30,19	43,22	8740,81	33012,14	5577,20
10>11	11	101,23	1014,26	28,55	29,37	2973,13	35985,26	5508,54
11>12	12	99,83	1114,09	31,22	29,89	2983,42	38968,68	5492,24
12>13	13	102,36	1216,45	50,07	40,65	4160,42	43129,11	6576,93
13>14	14	98,60	1315,05	28,2	39,14	3858,71	46987,82	7472,88
14>15	15	108,82	1423,87	24,51	26,36	2867,95	49855,77	7070,98
15>16	16	88,64	1512,51	39,71	32,11	2846,23	52702,00	7253,74
16>17	17	109,06	1621,57	25,3	32,51	3545,00	56246,99	7521,67
17>18	18	195,14	1816,71	15,43	20,37	3974,03	60221,02	5632,09
18>19	19	99,40	1916,11	12,05	13,74	1365,76	61586,78	4011,05
19>20	20	104,05	2020,16	29,09	20,57	2140,31	63727,08	3024,84
20>21	21	96,78	2116,94	14,2	21,65	2094,80	65821,89	2211,57
21>22	22	100,75	2217,69	24,71	19,46	1960,09	67781,98	1144,30
22>23	23	94,90	2312,59	16,64	20,68	1962,06	69744,04	254,78
23>24	24	104,17	2416,76	34,79	25,72	2678,73	72422,77	-196,61
24>25	25	100,28	2517,04	32,96	33,88	3396,99	75819,75	187,14
25>26	26	101,24	2618,28	14,87	23,92	2421,15	78240,91	-433,79
26>27	27	100,25	2718,53	23,54	19,21	1925,30	80166,21	-1520,83
27>28	28	101,14	2819,67	35,94	29,74	3007,90	83174,11	-1552,00
28>29	29	108,08	2927,75	48,77	42,36	4577,73	87751,84	-221,89
29>30	30	88,87	3016,62	16,32	32,55	2892,27	90644,11	0,00

Apêndice C - Pontos característicos do LWD

Tabela C.1 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de Freitas (2019) para o LWD

Seção homogênea 1			Seção homogênea 2		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença	Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
1	48,42	28,12	17	20,11	6,05
2	20,29	0,01	18	19,91	5,85
3	20,27	0,03	19	10,85	3,21
4	29,73	9,43	20	7,72	6,34
5	29,71	9,41	21	25,54	11,48
6	49,90	29,60	22	22,80	8,74
7	25,66	5,36	23	22,43	8,37
8	41,19	20,89	24	12,44	1,62
9	24,85	4,55	25	25,21	11,15
10	25,42	5,12	26	23,72	9,66
11	24,16	3,86	27	22,14	8,08
12	21,90	1,60	28	21,56	7,50
13	49,10	28,80	29	34,32	20,26
14	39,35	19,05	30	22,19	8,13
15	21,98	1,68			
16	42,39	22,09			
17	20,11	0,19			

Média	31,44
Des. Padrão	10,71
$E_{vd,k}$ (MPa)	20,30

Média	20,78
Des. Padrão	6,47
$E_{vd,k}$ (MPa)	14,06

Tabela C.2 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de Wolf (2020) para o LWD

Seção homogênea 1		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
1	31,63	12,43
2	22,58	3,38
3	22,59	3,39
4	22,31	3,11
5	24,15	4,95
6	33,28	14,08
7	32,77	13,57
8	52,82	33,62
9	27,37	8,17
10	18,83	0,37
11	26,26	7,06
12	21,52	2,32
13	28,53	9,33
14	24,21	5,01
15	23,54	4,34
16	44,35	25,15
17	21,66	2,46

Média	28,14
Des. Padrão	8,60
$E_{vd,k}$ (MPa)	19,20

Seção homogênea 2		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
17	21,66	7,70
18	11,66	2,30
19	11,75	2,21
20	20,91	6,95
21	18,35	4,39
22	19,27	5,31
23	32,48	18,52
24	24,32	10,36
25	25,32	11,36
26	14,43	0,47
27	18,13	4,17
28	25,47	11,51

Média	20,31
Des. Padrão	6,11
$E_{vd,k}$ (MPa)	13,96

Seção homogênea 3		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
28	25,47	10,98
29	42,61	28,12
30	16,62	2,13

Média	28,23
Des. Padrão	13,21
$E_{vd,k}$ (MPa)	14,49

Tabela C.3 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de Wolf (2021) para o LWD

Seção homogênea 1		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
1	18,61	5,94
2	23,04	10,37
3	13,52	0,85
4	25,61	12,94
5	10,36	2,31
6	21,21	8,54

Média	18,73
Des. Padrão	5,82
$E_{vd,k}$ (MPa)	12,67

Seção homogênea 3		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
18	13,42	3,61
19	12,52	2,71
20	19,91	10,10
21	20,49	10,68
22	15,95	6,14
23	18,68	8,87
24	19,32	9,51
25	18,81	9,00
26	10,47	0,66
27	43,21	33,40
28	12,35	2,54
29	23,83	14,02
30	10,16	0,35

Média	18,39
Des. Padrão	8,25
$E_{vd,k}$ (MPa)	9,81

Seção homogênea 2		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
6	21,21	7,28
7	39,94	26,01
8	23,50	9,57
9	49,78	35,85
10	26,41	12,48
11	17,77	3,84
12	12,96	0,97
13	31,13	17,20
14	37,71	23,78
15	24,56	10,63
16	9,26	4,67
17	40,52	26,59
18	13,42	0,51

Média	26,78
Des. Padrão	12,36
$E_{vd,k}$ (MPa)	13,93

Tabela C.4 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de 2022 para o LWD

Seção homogênea 1		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
1	35,19	15,97
2	28,43	9,21
3	31,48	12,26
4	24,33	5,11
5	58,49	39,27
6	30,08	10,86
7	29,32	10,10
8	32,42	13,20
9	18,27	0,95
10	31,72	12,50
11	22,85	3,63
12	16,26	2,96
13	27,06	7,84
14	21,76	2,54
15	30,21	10,99
16	23,23	4,01

Média	28,82
Des. Padrão	9,23
$E_{vd,k}$ (MPa)	19,22

Seção homogênea 2		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
16	23,23	12,34
17	8,14	2,75
18	12,40	1,51
19	24,44	13,55
20	22,49	11,60
21	18,42	7,53
22	11,86	0,97
23	27,20	16,31
24	37,75	26,86
25	9,15	1,74
26	13,50	2,61
27	23,87	12,98
28	36,41	25,52
29	14,00	3,11
30	17,49	6,60

Média	20,02
Des. Padrão	8,78
$E_{vd,k}$ (MPa)	10,89

Tabela C.5 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de 2022 para o LWD

Seção homogênea 1		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
1	38,05	15,49
2	26,43	3,87
3	25,41	2,85
4	25,74	3,18
5	25,68	3,12

Média	28,26
Des. Padrão	5,48
$E_{vd,k}$ (MPa)	22,56

Seção homogênea 2		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
5	25,68	1,34
6	54,97	30,63
7	35,98	11,64
8	37,38	13,04
9	56,25	31,91
10	30,19	5,85
11	28,55	4,21
12	31,22	6,88
13	50,07	25,73
14	28,2	3,86
15	24,51	0,17
16	39,71	15,37
17	25,3	0,96

Média	36,00
Des. Padrão	11,22
$E_{vd,k}$ (MPa)	24,34

Seção homogênea 3		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
17	25,30	10,56
18	15,43	0,69
19	12,05	2,69
20	29,09	14,35
21	14,2	0,54
22	24,71	9,97
23	16,64	1,90
24	34,79	20,05
25	32,96	18,22
26	14,87	0,13
27	23,54	8,80
28	35,94	4,09

Média	23,29
Des. Padrão	8,22
$E_{vd,k}$ (MPa)	14,74

Seção homogênea 4		
Ponto	E_{vd} (MPa)	Diferença
28	35,94	16,14
29	48,77	28,97
30	16,32	3,48

Média	33,68
Des. Padrão	13,34
$E_{vd,k}$ (MPa)	19,80

Apêndice D - Cálculo para as seções homogêneas do CBR dinâmico

Tabela D.1 - Cálculo do Z_x para os resultados de Wolf (2020) para o CBR dinâmico

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	CBR _d (%)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z _x LWD
1	1	0	0,00	42,00	42,00	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	36,00	39,00	3979,95	3979,95	-97,03
2>3	3	101,18	203,23	34,00	35,00	3541,30	7521,25	-597,95
3>4	4	103,71	306,94	42,00	38,00	3940,98	11462,23	-800,26
4>5	5	99,27	406,21	49,00	45,50	4516,79	15979,02	-249,39
5>6	6	101,39	507,60	45,00	47,00	4765,33	20744,35	465,33
6>7	7	105,59	613,19	52,00	48,50	5121,12	25865,46	1368,05
7>8	8	30,13	643,32	51,00	51,50	1551,70	27417,16	1716,02
8>9	9	67,47	710,79	44,00	47,50	3204,83	30621,98	2225,37
9>10	10	202,24	913,03	34,00	39,00	7887,36	38509,34	2033,09
10>11	11	101,23	1014,26	38,00	36,00	3644,28	42153,62	1633,15
11>12	12	99,83	1114,09	45,00	41,50	4142,95	46296,57	1787,81
12>13	13	102,36	1216,45	42,00	43,50	4452,66	50749,23	2151,11
13>14	14	98,60	1315,05	28,00	35,00	3451,00	54200,23	1662,96
14>15	15	108,82	1423,87	49,00	38,50	4189,57	58389,80	1505,09
15>16	16	88,64	1512,51	43,00	46,00	4077,44	62467,24	2041,29
16>17	17	109,06	1621,57	43,00	43,00	4689,58	67156,82	2373,84
17>18	18	195,14	1816,71	30,00	36,50	7122,61	74279,43	1700,46
18>19	19	99,40	1916,11	28,00	29,00	2882,60	77162,03	611,95
19>20	20	104,05	2020,16	40,00	34,00	3537,70	80699,73	-7,22
20>21	21	96,78	2116,94	34,00	37,00	3580,86	84280,59	-292,80
21>22	22	100,75	2217,69	35,00	34,50	3475,88	87756,46	-841,97
22>23	23	94,90	2312,59	73,00	54,00	5124,60	92881,06	491,31
23>24	24	104,17	2416,76	41,00	57,00	5937,69	98818,75	2267,32
24>25	25	100,28	2517,04	41,00	41,00	4111,48	102930,23	2372,54
25>26	26	101,24	2618,28	28,00	34,50	3492,78	106423,01	1820,71
26>27	27	100,25	2718,53	32,00	30,00	3007,50	109430,51	823,14
27>28	28	101,14	2819,67	33,00	32,50	3287,05	112717,56	69,57
28>29	29	108,08	2927,75	48,00	40,50	4377,24	117094,80	128,93
29>30	30	88,87	3016,62	29,00	38,50	3421,50	120516,30	0,00

Tabela D.2 - Cálculo do Z_x para os resultados de Wolf (2021) para o CBR dinâmico

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	CBR _d (%)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z _x LWD
1	1	0	0,00	31,00	31,00	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	36,00	33,50	3418,68	3418,68	148,50
2>3	3	101,18	203,23	29,00	32,50	3288,35	6707,03	194,56
3>4	4	103,71	306,94	47,00	38,00	3940,98	10648,01	812,18
4>5	5	99,27	406,21	24,00	35,50	3524,09	14172,09	1155,18
5>6	6	101,39	507,60	23,00	23,50	2382,67	16554,76	288,82
6>7	7	105,59	613,19	39,00	31,00	3273,29	19828,05	178,50
7>8	8	30,13	643,32	54,00	46,50	1401,05	21229,09	614,04
8>9	9	67,47	710,79	32,00	43,00	2901,21	24130,30	1353,18
9>10	10	202,24	913,03	42,00	37,00	7482,88	31613,18	2355,33
10>11	11	101,23	1014,26	26,00	34,00	3441,82	35055,00	2553,25
11>12	12	99,83	1114,09	50,00	38,00	3793,54	38848,54	3147,76
12>13	13	102,36	1216,45	26,00	38,00	3889,68	42738,22	3757,34
13>14	14	98,60	1315,05	48,00	37,00	3648,20	46386,42	4245,92
14>15	15	108,82	1423,87	34,00	41,00	4461,62	50848,04	5220,43
15>16	16	88,64	1512,51	35,00	34,50	3058,08	53906,12	5438,06
16>17	17	109,06	1621,57	27,00	31,00	3380,86	57286,98	5324,11
17>18	18	195,14	1816,71	24,00	25,50	4976,07	62263,05	4046,96
18>19	19	99,40	1916,11	38,00	31,00	3081,40	65344,45	3943,11
19>20	20	104,05	2020,16	26,00	32,00	3329,60	68674,05	3938,45
20>21	21	96,78	2116,94	28,00	27,00	2613,06	71287,11	3450,22
21>22	22	100,75	2217,69	26,00	27,00	2720,25	74007,36	2941,95
22>23	23	94,90	2312,59	36,00	31,00	2941,90	76949,26	2842,80
23>24	24	104,17	2416,76	29,00	32,50	3385,53	80334,79	2890,22
24>25	25	100,28	2517,04	34,00	31,50	3158,82	83493,61	2835,59
25>26	26	101,24	2618,28	20,00	27,00	2733,48	86227,09	2324,86
26>27	27	100,25	2718,53	17,00	18,50	1854,63	88081,71	966,99
27>28	28	101,14	2819,67	37,00	27,00	2730,78	90812,49	456,76
28>29	29	108,08	2927,75	22,00	29,50	3188,36	94000,85	181,72
29>30	30	88,87	3016,62	38,00	30,00	2666,10	96666,95	0,00

Tabela D.3 - Cálculo do Z_x para os resultados de 2022 para o CBR dinâmico

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	CBR _d (%)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z _x LWD
1	1	0	0,00	50,00	50,00	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	29,00	39,50	4030,98	4030,98	595,80
2>3	3	101,18	203,23	42,00	35,50	3591,89	7622,87	781,80
3>4	4	103,71	306,94	42,00	42,00	4355,82	11978,69	1646,56
4>5	5	99,27	406,21	68,00	55,00	5459,85	17438,54	3764,82
5>6	6	101,39	507,60	51,00	59,50	6032,71	23471,24	6384,56
6>7	7	105,59	613,19	43,00	47,00	4962,73	28433,97	7792,95
7>8	8	30,13	643,32	38,00	40,50	1220,27	29654,24	7998,99
8>9	9	67,47	710,79	27,00	32,50	2192,78	31847,01	7920,61
9>10	10	202,24	913,03	42,00	34,50	6977,28	38824,29	8090,15
10>11	11	101,23	1014,26	36,00	39,00	3947,97	42772,26	8630,55
11>12	12	99,83	1114,09	25,00	30,50	3044,82	45817,08	8314,91
12>13	13	102,36	1216,45	32,00	28,50	2917,26	48734,34	7786,56
13>14	14	98,60	1315,05	34,00	33,00	3253,80	51988,14	7721,32
14>15	15	108,82	1423,87	33,00	33,50	3645,47	55633,61	7703,72
15>16	16	88,64	1512,51	28,00	30,50	2703,52	58337,13	7423,47
16>17	17	109,06	1621,57	25,00	26,50	2890,09	61227,22	6642,42
17>18	18	195,14	1816,71	25,00	25,00	4878,50	66105,72	4952,17
18>19	19	99,40	1916,11	33,00	29,00	2882,60	68988,32	4488,80
19>20	20	104,05	2020,16	35,00	34,00	3537,70	72526,02	4524,00
20>21	21	96,78	2116,94	25,00	30,00	2903,40	75429,42	4169,62
21>22	22	100,75	2217,69	28,00	26,50	2669,88	78099,29	3448,08
22>23	23	94,90	2312,59	33,00	30,50	2894,45	80993,74	3148,03
23>24	24	104,17	2416,76	38,00	35,50	3698,04	84691,78	3339,53
24>25	25	100,28	2517,04	22,00	30,00	3008,40	87700,18	2972,34
25>26	26	101,24	2618,28	23,00	22,50	2277,90	89978,08	1842,33
26>27	27	100,25	2718,53	30,00	26,50	2656,63	92634,70	1124,37
27>28	28	101,14	2819,67	36,00	33,00	3337,62	95972,32	1057,44
28>29	29	108,08	2927,75	26,00	31,00	3350,48	99322,80	769,77
29>30	30	88,87	3016,62	24,00	25,00	2221,75	101544,55	0,00

Tabela D.4 - Cálculo do Z_x para os resultados de 2023 para o CBR dinâmico

SEGMENTO	PONTO	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA ACUMULADA (m)	CBR _d (%)	INTERVALO MÉDIO	ÁREA INTERVALO (m ²)	ÁREA ACUM. (m ²)	Z _x LWD
1	1	0	0,00	58	58,00	0,00	0	0,00
1>2	2	102,05	102,05	41	49,50	5051,48	5051,48	1527,07
2>3	3	101,18	203,23	36	38,50	3895,43	8946,91	1928,14
3>4	4	103,71	306,94	47	41,50	4303,97	13250,87	2650,37
4>5	5	99,27	406,21	26	36,50	3623,36	16874,23	2845,33
5>6	6	101,39	507,60	35	30,50	3092,40	19966,62	2436,11
6>7	7	105,59	613,19	22	28,50	3009,32	22975,94	1798,76
7>8	8	30,13	643,32	25	23,50	708,06	23683,99	1466,24
8>9	9	67,47	710,79	38	31,50	2125,31	25809,30	1261,40
9>10	10	202,24	913,03	40	39,00	7887,36	33696,66	2164,18
10>11	11	101,23	1014,26	41	40,50	4099,82	37796,47	2767,91
11>12	12	99,83	1114,09	45	43,00	4292,69	42089,16	3612,87
12>13	13	102,36	1216,45	40	42,50	4350,30	46439,46	4428,05
13>14	14	98,60	1315,05	37	38,50	3796,10	50235,56	4818,90
14>15	15	108,82	1423,87	35	36,00	3917,52	54153,08	4978,20
15>16	16	88,64	1512,51	33	34,00	3013,76	57166,84	4930,68
16>17	17	109,06	1621,57	27	30,00	3271,80	60438,64	4435,98
17>18	18	195,14	1816,71	22	24,50	4780,93	65219,57	2477,54
18>19	19	99,40	1916,11	23	22,50	2236,50	67456,07	1281,15
19>20	20	104,05	2020,16	35	29,00	3017,45	70473,52	705,13
20>21	21	96,78	2116,94	19	27,00	2613,06	73086,58	-24,22
21>22	22	100,75	2217,69	27	23,00	2317,25	75403,83	-1186,47
22>23	23	94,90	2312,59	25	26,00	2467,40	77871,23	-1996,55
23>24	24	104,17	2416,76	43	34,00	3541,78	81413,01	-2052,39
24>25	25	100,28	2517,04	28	35,50	3559,94	84972,95	-1955,73
25>26	26	101,24	2618,28	26	27,00	2733,48	87706,43	-2718,68
26>27	27	100,25	2718,53	28	27,00	2706,75	90413,18	-3474,17
27>28	28	101,14	2819,67	40	34,00	3438,76	93851,94	-3528,39
28>29	29	108,08	2927,75	64	52,00	5620,16	99472,10	-1640,89
29>30	30	88,87	3016,62	42	53,00	4710,11	104182,21	0,00

Apêndice E - Pontos característicos do CBR dinâmico

Tabela E.1 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de Wolf (2020) para o CBR dinâmico

Seção homogênea 1		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
1	42,00	8,20
2	36,00	2,20
3	34,00	0,20

Média	37,33
Des. Padrão	3,40
CBR _{d,k} (%)	33,80

Seção homogênea 2		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
3	34,00	1,82
4	42,00	6,18
5	49,00	13,18
6	45,00	9,18
7	52,00	16,18
8	51,00	15,18
9	44,00	8,18
10	34,00	1,82
11	38,00	2,18
12	45,00	9,18
13	42,00	6,18
14	28,00	7,82
15	49,00	13,18
16	43,00	7,18
17	43,00	7,18

Média	42,60
Des. Padrão	6,52
CBR _{d,k} (%)	35,82

Seção homogênea 3		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
17	43,00	13,44
18	30,00	0,44
19	28,00	1,56
20	40,00	10,44
21	34,00	4,44
22	35,00	5,44

Média	35,00
Des. Padrão	5,23
CBR _{d,k} (%)	29,56

Seção homogênea 4		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
22	35,00	3,02
23	73,00	41,02
24	41,00	9,02
25	41,00	9,02

Média	47,50
Des. Padrão	14,92
CBR _d (%)	31,98

Seção homogênea 5		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
25	41,00	13,22
26	28,00	0,22
27	32,00	4,22
28	33,00	5,22
29	48,00	20,22
30	29,00	1,22

Média	35,17
Des. Padrão	7,10
CBR _{d,k} (%)	27,78

Tabela E.2 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de Wolf (2021) para o CBR dinâmico

Seção homogênea 1		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
1	31,00	4,86
2	36,00	9,86
3	29,00	2,86
4	47,00	20,86
5	24,00	2,14
6	23,00	3,14
7	39,00	12,86
8	54,00	27,86
9	32,00	5,86
10	42,00	15,86
11	26,00	0,14
12	50,00	23,86
13	26,00	0,14
14	48,00	21,86
15	34,00	7,86
16	35,00	8,86

Média	36,00
Des. Padrão	9,48
CBR _{d,k} (%)	26,14

Seção homogênea 2		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
16	35,00	12,75
17	27,00	4,75
18	24,00	1,75
19	38,00	15,75
20	26,00	3,75
21	28,00	5,75
22	26,00	3,75
23	36,00	13,75
24	29,00	6,75
25	34,00	11,75
26	20,00	2,25
27	17,00	5,25
28	37,00	14,75
29	22,00	0,25
30	38,00	15,75

Média	29,13
Des. Padrão	6,62
CBR _{d,k} (%)	22,25

Tabela E.3 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de 2022 para o CBR dinâmico

Seção homogênea 1		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
1	50,00	18,61
2	29,00	2,39
3	42,00	10,61
4	42,00	10,61
5	68,00	36,61
6	51,00	19,61
7	43,00	11,61
8	38,00	6,61
9	27,00	4,39
10	42,00	10,61
11	36,00	4,61

Média	42,55
Des. Padrão	10,72
CBR _{d,k} (%)	31,39

Seção homogênea 2		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
11	36,00	11,53
12	25,00	0,53
13	32,00	7,53
14	34,00	9,53
15	33,00	8,53
16	28,00	3,53
17	25,00	0,53
18	25,00	0,53
19	33,00	8,53
20	35,00	10,53
21	25,00	0,53
22	28,00	3,53
23	33,00	8,53
24	38,00	13,53
25	22,00	2,47
26	23,00	1,47
27	30,00	5,53
28	36,00	11,53
29	26,00	1,53
30	24,00	0,47

Média	29,55
Des. Padrão	4,88
CBR _{d,k} (%)	24,47

Tabela E.4 - Pontos característicos dos resultados de ensaio de 2023 para o CBR dinâmico

Seção homogênea 1		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
1	58,00	27,54
2	41,00	10,54
3	36,00	5,54
4	47,00	16,54
5	26,00	4,46

Média	41,60
Des. Padrão	10,71
CBR _{d,k} (%)	30,46

Seção homogênea 2		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
5	26,00	3,22
6	35,00	12,22
7	22,00	0,78
8	25,00	2,22
9	38,00	15,22

Média	29,20
Des. Padrão	6,18
CBR _{d,k} (%)	22,78

Seção homogênea 3		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
9	38,00	1,66
10	40,00	3,66
11	41,00	4,66
12	45,00	8,66
13	40,00	3,66
14	37,00	0,66
15	35,00	1,34

Média	39,43
Des. Padrão	2,97
CBR _{d,k} (%)	36,34

Seção homogênea 4		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
15	35,00	12,58
16	33,00	10,58
17	27,00	4,58
18	22,00	0,42
19	23,00	0,58
20	35,00	12,58
21	19,00	3,42
22	27,00	4,58
23	25,00	2,58
24	43,00	20,58
25	28,00	5,58
26	26,00	10,30
27	28,00	5,58
28	40,00	17,58

Média	29,36
Des. Padrão	6,67
CBR _{d,k} (%)	22,42

Seção homogênea 5		
Ponto	CBR _d (%)	Diferença
28	40,00	2,64
29	64,00	26,64
30	42,00	17,97

Média	48,67
Des. Padrão	10,87
CBR _{d,k} (%)	37,36

Apêndice F - Informações sobre medição para avaliação funcional

Tabela F.1 - Orientações para registro de todas as degradações observadas na estrada não pavimentada

Tipo de degradação	Medição	Nota
Afundamento	- Profundidade: máxima ao longo da degradação. - Comprimento: no sentido longitudinal da estrada. - Largura: sentido transversal da estrada.	Cada afundamento deve ser contado na subseção, e tem valor de 1 na frequência absoluta.
Buracos	- Profundidade: máxima na área da degradação. - Diâmetro: maior distância entre as extremidades.	Cada buraco deve ser contado na subseção, e tem valor de 1 na frequência absoluta
Cascalho e agregado solto	- Profundidade: máxima atingida pela degradação. - Comprimento: no sentido longitudinal da estrada. - Largura: sentido transversal da estrada.	Cada ocorrência dessa degradação, seja faixa contínua, seja ponto localizado, deve ser contada e tem valor 1 na frequência absoluta
Erosão	- Profundidade: máxima atingida pela degradação. - Comprimento: no sentido longitudinal da estrada. - Largura: sentido transversal da estrada.	Cada ocorrência de erosão deve ser contada na subseção, e tem valor de 1 na frequência absoluta.
Ondulações	- Profundidade: máxima atingida pela degradação. - Comprimento: no sentido longitudinal da estrada. - Largura: sentido transversal da estrada.	As ondulações são contadas como sequências de cristas e ondas, e não seus elementos individuais. Cada sequência tem valor 1 na frequência absoluta.
Acostamento elevado	- Elevação máxima em relação a superfície da estrada.	Cada lado da via com acostamento elevado deve ser contado e tem valor 1 na frequência absoluta.
Ausência de valas	- Observação da presença ou não de valas em ambos os lados da estrada.	Cada lado da via com ausência de valas deve ser contado e tem valor 1 na frequência absoluta.
Inclinação transversal inadequada	- Observação do eixo central, deve estar mais elevado que as laterais da estrada.	Se em determinado ponto, a estrada estiver com inclinação incorreta, deve ser contado e tem valor 1 na frequência absoluta.
Necessidade de bueiros e galerias	- Observação nas laterais de alagamentos além das valas	Cada ocorrência deve ser contada e tem valor 1 na frequência absoluta.
Crescimento de vegetação	- Ponto mais alto de detritos ou vegetação que bloqueia a vala a partir da sua base	Cada lado da via com vegetação bloqueando a valas deve ser contado e tem valor 1 na frequência absoluta.

Tabela F.2 - Ficha utilizada para registrar afundamentos

AFUNDAMENTOS - 6 m					AFUNDAMENTOS - 10 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)	Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)
	1					1			
	2					2			
	3					3			
	4					4			
	5					5			
	6					6			
	7					7			
	8					8			
	9					9			
	10					10			
	11					11			
	12					12			
	13					13			
	14					14			
	15					15			
	16					16			
	17					17			
	18					18			
	19					19			
	20					20			
	21					21			
	22					22			
	23					23			
	24					24			
	25					25			
	26					26			
	27					27			
	28					28			
	29					29			
	30					30			
	31					31			
	32					32			
	33					33			
	34					34			
	35					35			
	36					36			
	37					37			
	38					38			
	39					39			
	40					40			

Tabela F.3 - Ficha utilizada para registrar buracos

BURACOS - 6 m				BURACOS - 10 m			
Ponto	Número	Prof. (cm)	Diâm. (m)	Ponto	Número	Prof. (cm)	Diâm. (m)
	1				1		
	2				2		
	3				3		
	4				4		
	5				5		
	6				6		
	7				7		
	8				8		
	9				9		
	10				10		
	11				11		
	12				12		
	13				13		
	14				14		
	15				15		
	16				16		
	17				17		
	18				18		
	19				19		
	20				20		
	21				21		
	22				22		
	23				23		
	24				24		
	25				25		
	26				26		
	27				27		
	28				28		
	29				29		
	30				30		
	31				31		
	32				32		
	33				33		
	34				34		
	35				35		
	36				36		
	37				37		
	38				38		
	39				39		
	40				40		

Tabela F.4 - Ficha utilizada para registrar cascalho e agregado solto

CASALHO E AGREGADO SOLTO - 6 m					CASALHO E AGREGADO SOLTO - 10 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)	Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)
	1					1			
	2					2			
	3					3			
	4					4			
	5					5			
	6					6			
	7					7			
	8					8			
	9					9			
	10					10			
	11					11			
	12					12			
	13					13			
	14					14			
	15					15			
	16					16			
	17					17			
	18					18			
	19					19			
	20					20			
	21					21			
	22					22			
	23					23			
	24					24			
	25					25			
	26					26			
	27					27			
	28					28			
	29					29			
	30					30			
	31					31			
	32					32			
	33					33			
	34					34			
	35					35			
	36					36			
	37					37			
	38					38			
	39					39			
	40					40			

Tabela F.5 - Ficha utilizada para registrar erosão

EROSÃO - 6 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			
	32			
	33			
	34			
	35			
	36			
	37			
	38			
	39			
	40			

EROSÃO - 10 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			
	32			
	33			
	34			
	35			
	36			
	37			
	38			
	39			
	40			

Tabela F.6 - Ficha utilizada para registrar ondulação

ONDULAÇÃO - 6 m					ONDULAÇÃO - 10 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)	Ponto	Número	Prof. (cm)	Comp. (m)	Larg. (cm)
	1					1			
	2					2			
	3					3			
	4					4			
	5					5			
	6					6			
	7					7			
	8					8			
	9					9			
	10					10			
	11					11			
	12					12			
	13					13			
	14					14			
	15					15			
	16					16			
	17					17			
	18					18			
	19					19			
	20					20			
	21					21			
	22					22			
	23					23			
	24					24			
	25					25			
	26					26			
	27					27			
	28					28			
	29					29			
	30					30			
	31					31			
	32					32			
	33					33			
	34					34			
	35					35			
	36					36			
	37					37			
	38					38			
	39					39			
	40					40			

Tabela F.7 - Ficha utilizada para registrar acostamento elevado

ACOSTAMENTO ELEVADO - 6 m					ACOSTAMENTO ELEVADO - 10 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Número	Prof. (cm)	Ponto	Número	Prof. (cm)	Número	Prof. (cm)
	1		41			1		41	
	2		42			2		42	
	3		43			3		43	
	4		44			4		44	
	5		45			5		45	
	6		46			6		46	
	7		47			7		47	
	8		48			8		48	
	9		49			9		49	
	10		50			10		50	
	11		51			11		51	
	12		52			12		52	
	13		53			13		53	
	14		54			14		54	
	15		55			15		55	
	16		56			16		56	
	17		57			17		57	
	18		58			18		58	
	19		59			19		59	
	20		60			20		60	
	21		61			21		61	
	22		62			22		62	
	23		63			23		63	
	24		64			24		64	
	25		65			25		65	
	26		66			26		66	
	27		67			27		67	
	28		68			28		68	
	29		69			29		69	
	30		70			30		70	
	31		71			31		71	
	32		72			32		72	
	33		73			33		73	
	34		74			34		74	
	35		75			35		75	
	36		76			36		76	
	37		77			37		77	
	38		78			38		78	
	39		79			39		79	
	40		80			40		80	

Tabela F.8 - Ficha utilizada para registrar crescimento da vegetação em valas

CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO - 6 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Número	Prof. (cm)
	1		41	
	2		42	
	3		43	
	4		44	
	5		45	
	6		46	
	7		47	
	8		48	
	9		49	
	10		50	
	11		51	
	12		52	
	13		53	
	14		54	
	15		55	
	16		56	
	17		57	
	18		58	
	19		59	
	20		60	
	21		61	
	22		62	
	23		63	
	24		64	
	25		65	
	26		66	
	27		67	
	28		68	
	29		69	
	30		70	
	31		71	
	32		72	
	33		73	
	34		74	
	35		75	
	36		76	
	37		77	
	38		78	
	39		79	
	40		80	

CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO - 10 m				
Ponto	Número	Prof. (cm)	Número	Prof. (cm)
	1		41	
	2		42	
	3		43	
	4		44	
	5		45	
	6		46	
	7		47	
	8		48	
	9		49	
	10		50	
	11		51	
	12		52	
	13		53	
	14		54	
	15		55	
	16		56	
	17		57	
	18		58	
	19		59	
	20		60	
	21		61	
	22		62	
	23		63	
	24		64	
	25		65	
	26		66	
	27		67	
	28		68	
	29		69	
	30		70	
	31		71	
	32		72	
	33		73	
	34		74	
	35		75	
	36		76	
	37		77	
	38		78	
	39		79	
	40		80	

Tabela F.9 - Ficha utilizada para registrar ausência de vala, inclinação transversal inadequada, e necessidade de bueiros ou galerias

AUSÊNCIA DE VALA					INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INDEQUADA					NECESSIDADE DE BUEIROS E GALERIAS				
Ponto	6 m		10 m		Ponto	6 m		10 m		Ponto	6 m		10 m	
	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.		Esq.	Dir.	Esq.	Dir.		Esq.	Dir.	Esq.	Dir.
1					1					1				
2					2					2				
3					3					3				
4					4					4				
5					5					5				
6					6					6				
7					7					7				
8					8					8				
9					9					9				
10					10					10				
11					11					11				
12					12					12				
13					13					13				
14					14					14				
15					15					15				
16					16					16				
17					17					17				
18					18					18				
19					19					19				
20					20					20				
21					21					21				
22					22					22				
23					23					23				
24					24					24				
25					25					25				
26					26					26				
27					27					27				
28					28					28				
29					29					29				
30					30					30				
31					31					31				

Apêndice G - Degradações registradas na avaliação de junho 2022

Tabela G.1 - Afundamentos registrados para subseções de 6 e 10 metros

AFUNDAMENTOS							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1	4	600	50	5	1000	50	1
	5	600	50	5	1000	50	
2	5	600	60	5	1000	60	2
	5	600	60	5	1000	60	
3	20	600	80	3	1000	80	3
	22	600	120	15	1000	120	
4	1	600	90	2	1000	90	4
	2	600	90	2	1000	90	
5	4	600	90	4	1000	90	5
	5	600	90	5	1000	90	
6	3	600	90	3	1000	90	6
	5	600	90	5	1000	90	
7	1	600	70	1	1000	70	7
	2	600	70	2	1000	70	
8							8
9	2	600	50	2	1000	50	9
	3	600	70	3	1000	70	
10	1	600	80	1	1000	80	10
	3	600	40	3	1000	4	
11	6	600	70	6	1000	70	11
	6	600	70	6	1000	70	
12	1	600	40	1	1000	40	12
	2	600	40	2	1000	40	
13	4	600	70	4	1000	70	13
	4	600	60	4	1000	60	
14	6	600	60	6	1000	60	14
	7	600	100	7	1000	100	
15	5	600	80	5	1000	80	15
	2	600	80	2	1000	80	
16	5	600	70	5	1000	70	16
	4	600	50	4	1000	50	
	8	600	70	8	1000	70	
	4	600	70	4	1000	70	
17	5	600	50	5	1000	50	17
	5	600	50	5	1000	50	
18	8	600	50	8	1000	50	18
	6	600	70	6	1000	70	
	4	600	50	4	1000	50	

19	2	600	50	2	1000	50	19
	4	600	70	4	1000	70	
20							20
21							21
22	9	600	90	9	1000	90	22
	6	600	50	6	1000	50	
	4	600	90	4	1000	90	
23	4	600	70	4	1000	70	23
	5	600	70	5	1000	70	
24	2	600	60	2	1000	6	24
	2	600	60	2	1000	60	
25							25
26							26
27							27
28							28
29	9	600	110	9	1000	10	29
	7	600	110	7	1000	110	
30	6	600	90	6	1000	90	30
	5	600	90	5	1000	90	
31							31

Tabela G.2 - Afundamentos em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade dos Afundamentos			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 2,5	Baixo	12	12
2,5 < < 7,5	Médio	32	33
> 7,5	Alto	6	5
	Total =	50	50

Tabela G.3 - Buracos registrados para subseções de 6 e 10 metros

BURACOS					
6m			10m		
Ponto	Prof. (cm)	Diâm. (cm)	Prof. (cm)	Diâm. (cm)	Ponto
1					1
2					2
3			9	90	3
4					4
5					5
6					6
7					7
8					8
9					9
10	9,5	110			10
11					11
12	5,5	70			12
13					13
14					14
15					15
16			7	70	16
17	9,5	80			17
18					18
19					19
20					20
21					21
22					22
23					23
24					24
25					25
26	15	170	13	140	26
	6	70			
	8	80			
27					27
28	12	120	6	80	28
	11	100			
29					29
30					30
31					31

Tabela G.4 - Buracos em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade dos Buracos			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	0	0
5 < < 10	Médio	5	8
> 10	Alto	3	4
	Total =	8	12

Tabela G.5 - Cascalho e Agregado solto registrados para subseções de 6 e 10 metros

CASCALHO E AGREGADO SOLTO							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1	<5	600	110	<5	1000	110	1
	<5	600	110	<5	1000	110	
2	<5	600	110	<5	1000	110	2
	<5	600	110	<5	1000	110	
3	<5	600	50	<5	1000	50	3
	<5	600	50	<5	1000	50	
4	<5	600	60	<5	1000	60	4
	<5	600	60	<5	1000	60	
5	<5	600	80	<5	1000	80	5
	<5	600	80	<5	1000	80	
6	<5	600	110	<5	1000	110	6
	<5	600	110	<5	1000	110	
7	<5	600	100	<5	1000	100	7
	<5	600	100	<5	1000	100	
8	<5	600	130	<5	1000	130	8
	<5	600	130	<5	1000	130	
9	<5	600	120	<5	1000	120	9
	<5	600	120	<5	1000	120	
10	<5	600	80	<5	1000	80	10
	<5	600	80	<5	1000	80	
11	<5	600	90	<5	1000	90	11
	<5	600	90	<5	1000	90	
12	<5	600	90	<5	1000	90	12
	<5	600	90	<5	1000	90	
13	<5	600	40	<5	1000	40	13
	<5	600	40	<5	1000	40	
14	<5	600	30	<5	1000	30	14
	<5	600	70	<5	1000	70	
15	<5	600	80	<5	1000	80	15
	<5	600	80	<5	1000	80	
16	<5	600	70	<5	1000	70	16
	<5	600	70	<5	1000	70	
17	<5	600	80	<5	1000	80	17
	<5	600	70	<5	1000	70	
18	<5	600	40	<5	1000	40	18
	<5	600	70	<5	1000	70	
19	<5	600	90	<5	1000	90	19
	<5	600	80	<5	1000	80	
20	<5	600	50	<5	1000	50	20
	<5	600	50	<5	1000	50	

21	<5	600	80	<5	1000	80	21
	<5	600	80	<5	1000	80	
22	<5	600	70	<5	1000	70	22
	<5	600	70	<5	1000	70	
23	<5	600	110	<5	1000	110	23
	<5	600	100	<5	1000	100	
24							24
25	<5	600	80	<5	1000	80	25
26	<5	600	70	<5	1000	70	26
	<5	600	80	<5	1000	80	
27	<5	600	110	<5	1000	110	27
	<5	600	110	<5	1000	110	
28							28
29	<5	600	90	<5	1000	90	29
	<5	600	70	<5	1000	70	
30	<5	600	130	<5	1000	130	30
	<5	600	100	<5	1000	100	
31	<5	600	120	<5	1000	120	31

Tabela G.6 - Cascalho e agregado solto em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade de Cascalho e Agreg. Solto			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	56	56
5 < < 10	Médio	0	0
> 10	Alto	0	0
	Total =	56	56

Tabela G.7 - Ocorrências de erosão registradas para subseções de 6 e 10 metros

EROSÃO							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1							1
2							2
3							3
4							4
5							5
6							6
7							7
8							8
9							9
10							10
11							11
12							12
13				4	150	160	13
14	3	300	40	4	500	40	14
15							15
16							16
17							17
18							18
19							19
20							20
21							21
22							22
23							23
24							24
25							25
26							26
27							27
28							28
29							29
30							30
31							31

Tabela G.8 - Erosões em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade das Erosões			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	1	2
5 << 10	Médio	0	0
> 10	Alto	0	0
Total =		1	2

Tabela G.9 - Ondulações registradas para subseções de 6 e 10 metros

ONDULAÇÃO							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1							1
2							2
3				9	120	130	3
4							4
5							5
6							6
7							7
8							8
9							9
10	7	130	140				10
11							11
12							12
13							13
14							14
15							15
16							16
17							17
18							18
19							19
20							20
21							21
22							22
23							23
24							24
25							25
26							26
27							27
28							28
29							29
30							30
31							31

Tabela G.10 - Ondulações em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade das Ondulações			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 2,5	Baixo	0	0
2,5 < < 7,5	Médio	1	1
> 7,5	Alto	0	1
Total =		1	2

Tabela G.11 - Acostamentos elevados registradas para subseções de 6 e 10 metros

ACOSTAMENTO ELEVADO		
Ponto	6m	10m
	Prof. (cm)	Prof. (cm)
1	15	15
	11	11
2	20	20
3		
4		
5		
6		
7	17	17
8		10
9		
10		
11		
12		2
13		
14		
15		2
16		
17		
18	5	5
19		9
20		
21		
22	15	15
23		
24		
25		
26	20	20
27		
28		
29	5	5
30		
31		

Tabela G.12 - Acostamentos elevados em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade dos Acostamentos elevados			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 2,5	Baixo	0	0
2,5 << 7,5	Médio	2	2
> 7,5	Alto	6	6
Total =		8	8

Tabela G.13 - Ausências de vala registradas para subseções de 6 e 10 metros

Ponto	AUSÊNCIA DE VALA			
	6m		10m	
	Pista esq.	Pista dir.	Pista esq.	Pista dir.
1	sim	não	sim	não
2	não	não	não	não
3	não	não	não	não
4	não	não	não	não
5	não	não	não	não
6	não	não	não	não
7	não	não	não	não
8	sim	sim	sim	sim
9	não	não	não	não
10	não	não	não	não
11	não	não	não	não
12	não	sim	não	sim
13	sim	não	sim	não
14	não	não	não	não
15	não	não	não	não
16	sim	não	sim	não
17	sim	não	sim	não
18	não	não	não	não
19	não	não	não	não
20	sim	não	sim	não
21	sim	não	sim	não
22	não	não	não	não
23	não	não	não	não
24	não	não	não	não
25	não	não	não	não
26	não	não	não	não
27	não	não	não	não
28	sim	não	sim	não
29	não	não	não	não
30	não	não	não	não
31	sim	não	sim	não

Tabela G.14 - Ausência de valas em junho de 2022

Ausência de valas	
Quantidade	
6 m	10 m
11	11

Tabela G.15 - Inclinações transversais inadequadas registradas para subseções de 6 e 10 metros

INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INADEQUADA		
Ponto	6m	10m
	Pista esq.	Pista esq.
1	não	não
2	não	não
3	não	não
4	não	não
5	não	não
6	não	não
7	não	não
8	não	não
9	não	não
10	não	não
11	não	não
12	sim	sim
13	sim	sim
14	sim	sim
15	sim	sim
16	sim	sim
17	sim	sim
18	sim	sim
19	sim	sim
20	sim	sim
21	não	não
22	não	não
23	não	não
24	não	não
25	não	não
26	não	não
27	não	não
28	não	não
29	sim	sim
30	sim	sim
31	sim	sim

Tabela G.16 - Inclinações transversais inadequadas em junho de 2022

Inclinação transversal inadeq.	
Quantidade	
6 m	10 m
12	12

Tabela G.17 - Necessidades de bueiros e galerias registradas para subseções de 6 e 10 metros

NECESSIDADE DE BUEIROS E GALERIAS				
	6m		10m	
Ponto	Pista esq.	Pista dir.	Pista esq.	Pista dir.
1	não	não	não	não
2	não	não	não	não
3	não	não	não	não
4	não	não	não	não
5	não	não	não	não
6	não	não	não	não
7	não	não	não	não
8	não	não	não	não
9	não	não	não	não
10	não	não	não	não
11	não	não	não	não
12	não	não	não	não
13	não	não	não	não
14	não	não	não	não
15	não	não	não	não
16	não	não	não	não
17	não	não	não	não
18	não	não	não	não
19	não	não	não	não
20	não	não	não	não
21	não	não	não	não
22	não	não	não	não
23	não	não	não	não
24	não	não	não	não
25	não	não	não	não
26	não	não	não	não
27	não	não	não	não
28	não	não	não	não
29	não	não	não	não
30	não	não	não	não
31	não	não	não	não

Tabela G.18 - Necessidade de bueiros e galerias em junho de 2022

Necess. de bueiros e galerias	
Quantidade	
6 m	10 m
0	0

Tabela G.19 - Crescimento de vegetação registrada para subseções de 6 e 10 metros

CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO		
Ponto	6m	10m
	Prof. (cm)	Prof. (cm)
1		
2		
3		
4		<50 <50
5		<50 <50
6	>100 >100	>100 >100
7	>100 >100	>100 >100
8	>100 >100	>100 >100
9	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
10	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
11	>100 >100	>100 >100
12		
13	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
14	>100 >100	>100 >100
15	>100 >100	>100 >100
16		
17	>100 >100	>100 >100
18	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
19	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
20	>100 >100	>100 >100
21	>100 >100	>100 >100
22	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100

23	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
24	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
25	<50 <50	<50 <50
26	>100 >100	>100 >100
27	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
28	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
29	>100 >100	>100 >100
30	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100
31	50<<100 50<<100	50<<100 50<<100

Tabela G.20 - Crescimento de vegetação em junho de 2022 separados por níveis de gravidade

Gravidade de crescimento da vegetação			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	2	6
5 < < 10	Médio	24	24
> 10	Alto	22	22
Total =		48	52

Apêndice H - Degradações registradas na avaliação de abril 2023

Tabela H.1 - Afundamentos registrados para subseções de 6 e 10 metros

AFUNDAMENTOS							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1	6	600	90	6	1000	90	1
	6,5	600	95	6,5	1000	95	
2	6	600	90	6	1000	90	2
	5	600	90	5	1000	90	
3	2	600	20	2	1000	20	3
	1	600	50	1	1000	50	
4	3	600	90	3	1000	90	4
	1	600	100	1	1000	100	
5	4,5	600	70	4,5	1000	70	5
6	3	600	80	3	1000	80	6
	4	600	90	4	1000	90	
7	3	600	60	3	1000	60	7
	3	600	60	3	1000	60	
8							8
9							9
10	3,5	600	110	3,5	1000	110	10
	4	600	60	4	1000	60	
	3,5	600	40	3,5	1000	40	
11	3	600	80	3	1000	80	11
	3	600	120	3	1000	120	
12	4	600	40	4	1000	40	12
	4	600	55	4	1000	55	
	5	600	80	5	1000	80	
	4	600	20	4	1000	20	
13							13
14	6,5	600	70	6,5	1000	70	14
15	5	600	55	5	1000	55	15
	3	600	30	3	1000	30	
	3	600	40	3	1000	40	
16							16
17	3	600	30	3	1000	30	17
	3	600	25	3	1000	25	
18	9,5	600	35	9,5	1000	35	18
	9,5	600	35	9,5	1000	35	
	6	600	35	6	1000	35	
	5,5	600	25	5,5	1000	25	
	8,5	600	35	8,5	1000	35	
19	7,5	600	85	7,5	1000	85	19
	4	600	45	4	1000	45	
20	3,5	600	100	3,5	1000	100	20
21	8	600	30	8	1000	30	21

	4,5	600	25	4,5	1000	25	
	5	600	70	5	1000	70	
22	5	600	25	5	1000	25	22
	2,5	60	20	2,5	1000	20	
	3	600	30	3	1000	30	
	4,5	600	30	4,5	1000	30	
	3,5	600	30	3,5	1000	30	
23	4,5	600	90	4,5	1000	90	23
24	2	600	30	2	1000	30	24
	4	600	50	4	1000	50	
	5	600	35	5	1000	35	
	4	600	35	4	1000	35	
25						25	
26	4	600	35	4	1000	35	26
	5	600	40	5	1000	40	
27	3	600	35	3	1000	35	27
	8,5	600	65	8,5	1000	65	
	7	600	45	7	1000	45	
	5	600	40	5	1000	40	
28	4	600	30	4	1000	30	28
	4	600	30	4	1000	30	
	2	600	30	2	1000	30	
29	3	600	70	3	1000	70	29
30	4	600	40	4	1000	40	30
	4	600	30	4	1000	30	
31	5	600	40	5	1000	40	31
	3	600	40	3	1000	40	

Tabela H.2 - Afundamentos em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade dos Afundamentos			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 2,5	Baixo	5	5
2,5 < < 7,5	Médio	52	52
> 7,5	Alto	6	6
	Total =	63	63

Tabela H.3 - Buracos registrados para subseções de 6 e 10 metros

BURACOS					
6m			10m		
Ponto	Prof. (cm)	Diâm. (cm)	Prof. (cm)	Diâm. (cm)	Ponto
1					1
2					2
3	9	80	7	60	3
4					4
5					5
6					6
7					7
8	9	80			8
	9	160			
9			13,5	160	9
			5	60	
			10	100	
10					10
11					11
12	9	40			12
13					13
14					14
15					15
16			10	100	16
17			9	40	17
18			8	90	18
19	9,5	150			19
20					20
21	11,5	160	9	200	21
			7	40	
22			9,5	80	22
23					23
24	7	90			24
25					25
26	12	115			26
27					27
28					28
29					29
30					30
31					31

Tabela H.4 - Buracos em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade dos Buracos			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	0	0
5 < < 10	Médio	1	3
> 10	Alto	7	15
	Total =	8	18

Tabela H.5 - Cascalho e Agregado solto registrados para subseções de 6 e 10 metros

CASCALHO E AGREGADO SOLTO							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1	< 5	600	35	< 5	600	35	1
	< 5	600	35	< 5	600	35	
2	< 5	600	100	< 5	600	100	2
	< 5	600	100	< 5	600	100	
3	< 5	600	30	< 5	600	30	3
4	< 5	600	80	< 5	600	80	4
	< 5	600	80	< 5	600	80	
5							5
6	< 5	600	40	< 5	600	40	6
	< 5	600	40	< 5	600	40	
7	< 5	600	20	< 5	600	20	7
	< 5	600	20	< 5	600	20	
8	< 5	600	100	< 5	600	100	8
9	< 5	600	150	< 5	600	150	9
10	< 5	600	40	< 5	600	40	10
11	< 5	600	60	< 5	600	60	11
	< 5	600	30	< 5	600	30	
12	< 5	600	20	< 5	600	20	12
13							13
14	< 5	600	40	< 5	600	40	14
	< 5	600	45	< 5	600	45	
15	< 5	600	75	< 5	600	75	15
16	< 5	600	110	< 5	600	110	16
17							17
18							18
19							19
20							20
21							21
22							22
23	< 5	600	50	< 5	600	50	23
24	< 5	600	35	< 5	600	35	24
27	< 5	600	20	< 5	600	20	27
30	< 5	600	80	< 5	600	80	30
31	< 5	600	80	< 5	600	80	31

Tabela H.6 - Cascalho e agregado solto em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade de Cascalho e Agreg. Solto			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	26	26
5 < < 10	Médio	0	0
> 10	Alto	0	0
	Total =	26	26

Tabela H.7 - Ocorrências de erosão registradas para subseções de 6 e 10 metros

EROSÃO							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1							1
2							2
3							3
4							4
5							5
6							6
7							7
8							8
9	3	40	140				9
10							10
11							11
12							12
13	8	470	140				13
14	5	600	40	5	700	40	14
15	6	600	40	6	700	40	15
16	13,5	60	400	15	110	320	16
	7,5	30	310				
17							17
18							18
19							19
20							20
21	10	30	130				21
22							22
23	13,5	500	25				23
24							24
25							25
26							26
27							27
28							28
29	7	500	90				29
	11,5	500	90				
30							30
31							31

Tabela H.8 - Erosões em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade das Erosões			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	1	1
5 << 10	Médio	5	5
> 10	Alto	4	5
Total =		10	11

Tabela H.9 - Ondulações registradas para subseções de 6 e 10 metros

ONDULAÇÃO							
6m				10m			
Ponto	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Prof. (cm)	Comp. (cm)	Larg. (cm)	Ponto
1							1
2							2
3							3
4							4
5							5
6							6
7							7
8							8
9							9
10							10
11							11
12							12
13							13
14							14
15							15
16							16
17							17
18							18
19							19
20							20
21							21
22							22
23							23
24							24
25							25
26							26
27							27
28							28
29							29
30							30
31							31

Tabela H.10 - Ondulações em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade das Ondulações			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 2,5	Baixo	0	0
2,5 << 7,5	Médio	0	0
> 7,5	Alto	0	0
	Total =	0	0

Tabela H.11 - Acostamentos elevados registradas para subseções de 6 e 10 metros

ACOSTAMENTO ELEVADO		
Ponto	6m	10m
	Prof. (cm)	Prof. (cm)
1		
2		
3	4,5	4,5
4		
5		
6	20	20
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29	5	5
		25
30		
31		

Tabela H.12 - Acostamentos elevados em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade dos Acostamentos elevados			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 2,5	Baixo	0	0
2,5 << 7,5	Médio	2	2
> 7,5	Alto	1	2
Total =		3	4

Tabela H.13 - Ausências de vala registradas para subseções de 6 e 10 metros

Ponto	AUSÊNCIA DE VALA			
	6m		10m	
	Pista esq.	Pista dir.	Pista esq.	Pista dir.
1	não	não	não	não
2	não	não	não	não
3	não	não	não	não
4	não	não	não	não
5	não	não	não	não
6	não	não	não	não
7	não	não	não	não
8	sim	sim	sim	sim
9	não	não	não	não
10	não	não	não	não
11	não	não	não	não
12	não	sim	não	sim
13	não	sim	não	sim
14	não	não	não	não
15	não	não	não	não
16	não	sim	não	sim
17	não	não	não	não
18	não	não	não	não
19	não	não	não	não
20	não	não	não	não
21	não	não	não	não
22	não	sim	não	sim
23	não	sim	não	sim
24	não	não	não	não
25	não	não	não	não
26	não	não	não	não
27	não	não	não	não
28	não	não	não	não
29	não	sim	não	sim
30	não	não	não	não
31	não	não	não	não

Tabela H.14 - Ausência de valas em abril de 2023

Ausência de valas	
Quantidade	
6 m	10 m
8	8

Tabela H.15 - Inclinações transversais inadequadas registradas para subseções de 6 e 10 metros

INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INADEQUADA		
Ponto	6m	10m
	Pista esq.	Pista esq.
1	não	não
2	não	não
3	não	não
4	não	não
5	não	não
6	não	não
7	não	não
8	não	não
9	não	não
10	não	não
11	não	não
12	sim	sim
13	sim	sim
14	sim	sim
15	sim	sim
16	sim	sim
17	sim	sim
18	sim	sim
19	sim	sim
20	sim	sim
21	não	não
22	não	não
23	não	não
24	não	não
25	não	não
26	não	não
27	não	não
28	sim	sim
29	sim	sim
30	sim	sim
31	sim	sim

Tabela H.16 - Inclinações transversais inadequadas em abril de 2023

Inclinação transversal inadeq.	
Quantidade	
6 m	10 m
13	13

Tabela H.17 - Necessidades de bueiros e galerias registradas para subseções de 6 e 10 metros

NECESSIDADE DE BUEIROS E GALERIAS					
		6m		10m	
Ponto	Pista esq.	Pista dir.	Pista esq.	Pista dir.	
1	não	não	não	não	
2	não	não	não	não	
3	não	não	não	não	
4	não	não	não	não	
5	não	não	não	não	
6	não	não	não	não	
7	não	não	não	não	
8	não	não	não	não	
9	não	não	sim	não	
10	não	não	não	não	
11	não	não	não	não	
12	não	não	não	não	
13	não	não	não	não	
14	não	não	não	não	
15	não	não	não	não	
16	não	não	não	não	
17	não	não	não	não	
18	não	não	não	não	
19	não	não	não	não	
20	não	não	não	não	
21	não	não	não	não	
22	não	não	não	não	
23	não	não	não	não	
24	não	não	não	não	
25	não	não	não	não	
26	não	sim	não	sim	
27	não	não	não	não	
28	não	não	não	não	
29	não	não	não	não	
30	não	não	não	não	
31	não	não	não	não	

Tabela H.18 - Necessidade de bueiros e galerias em abril de 2023

Necess. de bueiros e galerias	
Quantidade	
6 m	10 m
1	2

Tabela H.19 - Crescimento de vegetação registrada para subseções de 6 e 10 metros

CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO		
Ponto	6m	10m
	Prof. (cm)	Prof. (cm)
1	<50	<50
2	<50	<50
	<50	<50
3	<50	<50
	<50	<50
4	<50	<50
5	<50	<50
	<50	<50
6	<50	<50
	<50	<50
7	<50	<50
8		
9		
10	<50	<50
	<50	<50
11	<50	<50
12		
13		
14		
15	50<<100	50<<100
16		
17	50<<100	50<<100
	<50	<50
18	<50	<50
19	<50	<50
20	<50	<50
	<50	<50
21	<50	<50
	<50	<50
22	<50	<50
23	<50	<50
	<50	<50
24	<50	<50
25	<50	<50
	<50	<50
26	<50	<50
	<50	<50
27	<50	<50
28	<50	<50
	<50	<50
29	<50	<50
30	<50	<50
	<50	<50
31	<50	<50
	<50	<50

Tabela H.20 - Crescimento de vegetação em abril de 2023 separados por níveis de gravidade

Gravidade de crescimento da vegetação			
Medida (cm)	Nível impacto	Quantidade	
		6 m	10 m
< 5	Baixo	37	37
5 < < 10	Médio	2	2
> 10	Alto	0	0
	Total =	39	39

Apêndice I - Folhas de cálculo do IGG (subseções de 6 m)

Tabela I.1 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais por Cabette (6m)

Item	Degradação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI	
1	Ondulações	baixo	2	6,45	0,70	4,52
		médio	1	3,23	0,85	2,74
		elevado	2	6,45	1,00	6,45
2	Buracos	baixo	18	58,06	0,70	40,65
		médio	6	19,35	0,85	16,45
		elevado	4	12,90	1,00	12,90
3	Afundamentos	baixo	21	67,74	0,70	47,42
		médio	12	38,71	0,85	32,90
		elevado	3	9,68	1,00	9,68
4	Percurso de Erosão	baixo	18	58,06	0,70	40,65
		médio	0	0,00	0,85	0,00
		elevado	3	9,68	1,00	9,68
5	Cascalho Solto/Perda de Agregados	baixo	7	22,58	0,50	11,29
		médio	0	0,00	0,75	0,00
		elevado	2	6,45	0,80	5,16
6	Poeira	baixo	0	0,00	0,25	0,00
		médio	0	0,00	0,30	0,00
		elevado	0	0,00	0,35	0,00
nº total de estações		31	\sumIGI = IGG			240,48

Fonte: Cabette, 2018.

Tabela I.2 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem por Cabette (6m)

Item	Inadequado sistema de drenagem	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI	
1	Inclinação Transversal Incorreta	8	25,81	1,00	25,81	
2	Acostamentos e Berma Elevados	baixo	10	32,26	0,50	16,13
		médio	16	51,61	0,75	38,71
		elevado	5	16,13	1,00	16,13
3	Bueiros/Galerias/Aquedutos Inexistentes	1	3,23	1,00	3,23	
4	Valas Inexistentes	10	32,26	1,00	32,26	
5	Crescimento da Vegetação/ Sedimentos na Vala	baixo	17	54,84	0,20	10,97
		médio	13	41,94	0,60	25,16
		elevado	30	96,77	0,80	77,42
nº total de estações		31	\sumIGI = IGG			245,81

Fonte: Cabette, 2018.

Tabela I.3 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais por Freitas (6m)

Item	Degradação	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	IGI	
1	ONDULAÇÕES	Baixo	1	3,23	0,70	2,26
		Médio	1	3,23	0,85	2,74
		Elevado	1	3,23	1,00	3,23
2	BURACOS	Baixo	20	64,52	0,70	45,16
		Médio	14	45,16	0,85	38,39
		Elevado	16	51,61	1,00	51,61
3	AFUNDAMENTOS	Baixo	9	29,03	0,70	20,32
		Médio	12	38,71	0,85	32,90
		Elevado	9	29,03	1,00	29,03
4	PERCURSO DE EROÇÃO	Baixo	10	32,26	0,70	22,58
		Médio	4	12,90	0,85	10,97
		Elevado	4	12,90	1,00	12,90
5	CASCALHO SOLTO/ PERDA DE AGREGADOS	Baixo	5	16,13	0,50	8,06
		Médio	4	12,90	0,75	9,68
		Elevado	1	3,23	0,80	2,58
6	POEIRA	Baixo	0	0	0,25	0,00
		Médio	0	0	0,30	0,00
		Elevado	0	0	0,35	0,00
Nº total de estações		31	ΣIGG		292,42	

Fonte: Freitas, 2019.

Tabela I.4 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem por Freitas (6m)

Item	Inadequado sistema de drenagem	Frequência absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	IGI	
1	INCLINAÇÃO TRANSVERSAL	27	87,10	1,00	87,10	
2	ACOSTAMENTOS/ BERMA ELEVADOS	Baixo	11	35,48	0,50	17,74
		Médio	2	6,45	0,75	4,84
		Elevado	5	16,13	1,00	16,13
3	BUEIROS/ GALERIAS/ AQUEDUTOS	1	3,23	1,00	3,23	
4	VALAS INEXISTENTES	19	61,29	1,00	61,29	
5	Crescimento da Vegetação/ Sedimentos na vala	Baixo	24	77,42	0,20	15,48
		Médio	3	9,68	0,60	5,81
		Elevado	4	12,90	0,80	10,32
Nº total de estações		31	ΣIGG		221,94	

Fonte: Freitas, 2019.

Tabela I.5 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais por Wolf (6m)

Item	Degradação	Níveis de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
1	ONDULAÇÕES	baixo	2	6,45	0,70	4,52
		médio	0	0,00	0,85	0,00
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
2	BURACOS	baixo	3	9,68	0,70	6,77
		médio	1	3,23	0,85	2,74
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
3	AFUNDAMENTOS	baixo	53	170,97	0,70	119,68
		médio	29	93,55	0,85	79,52
		elevado	1	3,23	1,00	3,23
4	PERCURSO DE EROSÃO	baixo	4	12,90	0,70	9,03
		médio	0	0,00	0,85	0,00
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
5	CASALHO SOLTO/PERDA DE AGREGADOS	baixo	29	93,55	0,50	46,77
		médio	3	9,68	0,75	7,26
		elevado	0	0,00	0,80	0,00
6	POEIRA	baixo	0	0,00	0,25	0,00
		médio	0	0,00	0,30	0,00
		elevado	0	0,00	0,35	0,00
número total de seções		31	ΣIGI = IGG			279,52

Fonte: Wolf, 2021.

Tabela I.6 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem por Wolf (6m)

Item	Irregularidade	Níveis de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
1	INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INCORRETA	Não há	7	22,58	1,00	22,58
2	ACOSTAMENTOS /BERMA ELEVADOS	baixo	12	38,71	0,50	19,35
		médio	0	0,00	0,75	0,00
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
3	BUEIROS/GALERIAS/AQUEDUTOS INEXISTENTES	Não há	10	32,26	1,00	32,26
4	VALAS INEXISTENTES	Não há	26	83,87	1,00	83,87
5	CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA VALA	baixo	6	19,35	0,20	3,87
		médio	2	6,45	0,60	3,87
		elevado	3	9,68	0,80	7,74
número total de seções		31	ΣIGI = IGG			173,55

Fonte: Wolf, 2021.

Tabela I.7 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais na quarta avaliação (6m)

Degradações	Níveis de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
ONDULAÇÕES	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	1	3,23	0,85	2,74
	alto	0	0,00	1,00	0,00
BURACOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	5	16,13	0,85	13,71
	alto	3	9,68	1,00	9,68
AFUNDAMENTOS	baixo	12	38,71	0,70	27,10
	médio	32	103,23	0,85	87,74
	alto	6	19,35	1,00	19,35
PERCURSO DE EROÇÃO	baixo	1	3,23	0,70	2,26
	médio	0	0,00	0,85	0,00
	alto	0	0,00	1,00	0,00
CASCALHO SOLTO/ PEDRA DE AGREGADO	baixo	56	180,65	0,50	90,32
	médio	0	0,00	0,75	0,00
	alto	0	0,00	0,80	0,00
POEIRA	baixo	0	0,00	0,25	0,00
	médio	0	0,00	0,30	0,00
	alto	0	0,00	0,35	0,00
IGG =					252,90

Tabela I.8 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem na quarta avaliação (6m)

Degradações	Níveis de Severidad	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INCORRETA	Não há	12	38,71	1,00	38,71
ACOSTAMENTO/ BERMA ELVADOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	2	6,45	0,85	5,48
	alto	6	19,35	1,00	19,35
BUEIROS/ GALEIAS/ AQUEDUTOS INEXISTENTES	Não há	0	0,00	1,00	0,00
VALAS INEXISTENTES	Não há	11	35,48	1,00	35,48
CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA	baixo	2	6,45	0,50	3,23
	médio	24	77,42	0,75	58,06
	alto	22	70,97	0,80	56,77
IGG =					217,10

Tabela I.9 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais na quinta avaliação (6m)

Degradações	Níveis de severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
ONDULAÇÕES	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	0	0,00	0,85	0,00
	alto	0	0,00	1,00	0,00
BURACOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	1	3,23	0,85	2,74
	alto	7	22,58	1,00	22,58
AFUNDAMENTOS	baixo	5	16,13	0,70	11,29
	médio	52	167,74	0,85	142,58
	alto	6	19,35	1,00	19,35
PERCURSO DE EROÇÃO	baixo	1	3,23	0,70	2,26
	médio	5	16,13	0,85	13,71
	alto	4	12,90	1,00	12,90
CASCALHO SOLTO/ PEDRA DE AGREGADO	baixo	26	83,87	0,50	41,94
	médio	0	0,00	0,75	0,00
	alto	0	0,00	0,80	0,00
POEIRA	baixo	0	0,00	0,25	0,00
	médio	0	0,00	0,30	0,00
	alto	0	0,00	0,35	0,00
				IGG =	269,35

Tabela I.10 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem na quinta avaliação (6m)

Degradações	Níveis de Severidad	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INCORRETA	Não há	13	41,94	1,00	41,94
ACOSTAMENTO/ BERMA ELVADOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	2	6,45	0,85	5,48
	alto	1	3,23	1,00	3,23
BUEIROS/ GALEIAS/ AQUEDUTOS INEXISTENTES	Não há	1	3,23	1,00	3,23
VALAS INEXISTENTES	Não há	8	25,81	1,00	25,81
CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA	baixo	37	119,35	0,50	59,68
	médio	2	6,45	0,75	4,84
	alto	0	0,00	0,80	0,00
				IGG =	144,19

Apêndice J - Folhas de cálculo do IGG (subseções de 10 m)

Tabela J.1 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais por Wolf (10m)

Item	Degradação	Nível de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
1	ONDULAÇÕES	baixo	4	12,90	0,70	9,03
		médio	1	3,23	0,85	2,74
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
2	BURACOS	baixo	7	22,58	0,70	15,81
		médio	3	9,68	0,85	8,23
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
3	AFUNDAMENTOS	baixo	44	141,94	0,70	99,35
		médio	38	122,58	0,85	104,19
		elevado	2	6,45	1,00	6,45
4	PERCURSO DE EROSIÃO	baixo	5	16,13	0,70	11,29
		médio	0	0,00	0,85	0,00
		elevado	1	3,23	1,00	3,23
5	CASCALHO SOLTO/PERDA DE AGREGADOS	baixo	36	116,13	0,50	58,06
		médio	3	9,68	0,75	7,26
		elevado	0	0,00	0,80	0,00
6	POEIRA	baixo	0	0,00	0,25	0,00
		médio	0	0,00	0,30	0,00
		elevado	0	0,00	0,35	0,00
número total de seções		31	∑IGI = IGG			325,65

Fonte: Wolf, 2021.

Tabela J.2 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem por Wolf (10m)

Item	Irregularidade	Nível de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
1	INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INCORRETA	-	7	22,58	1,00	22,58
2	ACOSTAMENTOS /BERMA ELEVADOS	baixo	13	41,94	0,50	20,97
		médio	1	3,23	0,75	2,42
		elevado	0	0,00	1,00	0,00
3	BUEIROS/GALERIAS/AQUEDUTOS INEXISTENTES	-	12	38,71	1,00	38,71
4	VALAS INEXISTENTES	-	27	87,10	1,00	87,10
5	CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA VALA	baixo	7	22,58	0,20	4,52
		médio	2	6,45	0,60	3,87
		elevado	3	9,68	0,80	7,74
número total de seções		31	∑IGI = IGG			187,90

Fonte: Wolf, 2021.

Tabela J.3 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais na quarta avaliação (10m)

Degradações	Níveis de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
ONDULAÇÕES	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	1	3,23	0,85	2,74
	alto	1	3,23	1,00	3,23
BURACOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	8	25,81	0,85	21,94
	alto	4	12,90	1,00	12,90
AFUNDAMENTOS	baixo	12	38,71	0,70	27,10
	médio	33	106,45	0,85	90,48
	alto	5	16,13	1,00	16,13
PERCURSO DE EROÇÃO	baixo	2	6,45	0,70	4,52
	médio	0	0,00	0,85	0,00
	alto	0	0,00	1,00	0,00
CASCALHO SOLTO/ PEDRA DE AGREGADO	baixo	56	180,65	0,50	90,32
	médio	0	0,00	0,75	0,00
	alto	0	0,00	0,80	0,00
POEIRA	baixo	0	0,00	0,25	0,00
	médio	0	0,00	0,30	0,00
	alto	0	0,00	0,35	0,00
IGG =					269,35

Tabela J.4 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem na quarta avaliação (10m)

Degradações	Níveis de Severidad	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INCORRETA	Não há	12	38,71	1,00	38,71
ACOSTAMENTO/ BERMA ELVADOS	baixo	2	6,45	0,70	4,52
	médio	2	6,45	0,85	5,48
	alto	8	25,81	1,00	25,81
BUEIROS/ GALEIAS/ AQUEDUTOS INEXISTENTES	Não há	0	0,00	1,00	0,00
VALAS INEXISTENTES	Não há	11	35,48	1,00	35,48
CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA	baixo	6	19,35	0,50	9,68
	médio	24	77,42	0,75	58,06
	alto	22	70,97	0,80	56,77
IGG =					234,52

Tabela J.5 - Folha de cálculo do IGG das degradações superficiais na quinta avaliação (10m)

Degradações	Níveis de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
ONDULAÇÕES	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	0	0,00	0,85	0,00
	alto	0	0,00	1,00	0,00
BURACOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	3	9,68	0,85	8,23
	alto	15	48,39	1,00	48,39
AFUNDAMENTOS	baixo	5	16,13	0,70	11,29
	médio	52	167,74	0,85	142,58
	alto	6	19,35	1,00	19,35
PERCURSO DE EROÇÃO	baixo	1	3,23	0,70	2,26
	médio	5	16,13	0,85	13,71
	alto	5	16,13	1,00	16,13
CASCALHO SOLTO/ PEDRA DE AGREGADO	baixo	26	83,87	0,50	41,94
	médio	0	0,00	0,75	0,00
	alto	0	0,00	0,80	0,00
POEIRA	baixo	0	0,00	0,25	0,00
	médio	0	0,00	0,30	0,00
	alto	0	0,00	0,35	0,00
IGG =					303,87

Tabela J.6 - Folha de cálculo do IGG para o sistema de drenagem na quinta avaliação (10m)

Degradações	Níveis de Severidade	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
INCLINAÇÃO TRANSVERSAL INCORRETA	Não há	13	41,94	1,00	41,94
ACOSTAMENTO/ BERMA ELVADOS	baixo	0	0,00	0,70	0,00
	médio	2	6,45	0,85	5,48
	alto	2	6,45	1,00	6,45
BUEIROS/ GALEIAS/ AQUEDUTOS INEXISTENTES	Não há	2	6,45	1,00	6,45
VALAS INEXISTENTES	Não há	8	25,81	1,00	25,81
CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA	baixo	37	119,35	0,50	59,68
	médio	2	6,45	0,75	4,84
	alto	0	0,00	0,80	0,00
IGG =					150,65

ANEXOS

Anexo A - Informações relacionadas ao método RCS / DVI

Inspeção da Condição de Estrada - RCS: Estrada Pavimentada e Não-pavimentada		Estrada/Classe:				Seção Principal Nº											
		INÍCIO:				km:											
		FIM:				km:											
Departamento:		Distrito:															
Inspetor:		Tipo Pav.:		Largura Pista: m		Seção: km											
Data: ___/___/___		Tempo: () claro () chuvoso		Pista: () seca () secando () molhada		Resumo Média		Pista: Lateral:									
Subseção - Nº																	
Quilometragem da subseção																	
Lateral da Estrada		E	D	E	D	E	D	E	D								
Condição da pista		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Defeito predominante																	
Tipo de defeito		E	D	E	D	E	D	E	D	E	D						
Elementos da lateral da estrada	Acostamento	Deformação	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
		Erosão	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Drenagem Lateral	Sedimentação	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
		Erosão	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Entulho/Invasão de Vegetação		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Obstáculos/Obstrução		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Outros:		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Média da Condição		+ =		+ =		+ =		+ =		+ =						
		: =		: =		: =		: =		: =							
Equipat° Sinalização Viária	Quilometragem - km																
	Sujo		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
	Danificado		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
	Faltando		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
	Outros:		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
Observações																	

Figura A.1 - Modelo de ficha de inspeção adotada para avaliar os primeiros grupos do método RCS
Fonte: Ferreira, 2004.

Tabela A.1 - Estradas modelos do método RCS, para efeitos de comparação e identificação com a estrada sob avaliação

Valor Atribuído	Condição da superfície que o trecho auscultado deve-se se assimilar
1 (Excelente)	Superfície regularizada recentemente com cascalho fino, ou solo de excelente perfil longitudinal e transversal (possivelmente encontra-se em comprimentos curtos). É possível dirigir confortavelmente acima de 80-100 km/h, mas ciente de ondulações suaves. Depressões negligenciáveis (ou seja < 5 mm; 3 m) e sem buracos.
2 (Boa)	Direção agradável acima de 70 – 80 km/h, mas com atenção aos movimentos bruscos e alguns pulos dos pneus. Moderadas depressões que costumam ser rasas e/ou buracos rasos (6-30 mm; 3 m; frequência de 5-10 %). Moderadas ondulações (6-20 mm; 0,7-1,5 m).
3 (Regular)	Confortável dirigibilidade dentro do intervalo de 40-70 km/h. Comum ter moderadas depressões transversais (20-40 mm; 3-5 m; 10-20 %) e/ou ocasionais depressões e buracos com profundidade altas (40-80 mm; 3 m com frequência < 5 %). Ondulações fortes (> 20 mm; 0,7-1.5 m).
4 (Ruim)	Dirige-se confortavelmente a 30-40 km/h. Profundidades usuais das depressões transversais e/ou buracos (40-80 mm; 3-5 m; 5-10 %) ou ocasionalmente muitas depressões profundas (80 mm; 1-5 m com frequência < 5) com outra depressão não profunda. Não é possível evitar todas as depressões mas a pior é.
5 (Péssima)	Direção confortável a 20-30 km/h. Velocidades maiores que 40-50 km/h irão causar extremo desconforto e possível dano ao carro. Para um perfil "bom": frequentes depressões e/ou buracos (40-80 mm; 1-5 m; 10-15%) e ocasional e muito profundas depressões (80 mm/0,6-2 m). Para um perfil ruim de maneira geral: frequentes defeitos e depressões moderados (superfície de terra ruim).
Observações: A nomenclatura utilizada para depressões e buracos segue a seguinte ordem (profundidade, extensão, porcentagens em seções de 50 metros). Percebe-se que depressões o mesmo utiliza para afundamentos	

Fonte: Wolf, 2021.

INSPEÇÃO DA CONDIÇÃO DA ESTRADA - RCS				Depat ^o :		Distrito:					
				Inspetor:							
				Data:		Tempo : ()claro ()chuvoso					
ESTRUTURAS				INSPEÇÃO DA CONDIÇÃO							
Estrada/Classe:				Sedimentado		Erosão		Danos		Notas/Observações	
Tipo de Estrutura	Seção Principal	Subseção	km	Bloqueado				Estruturais			
				E	D	E	D	E	D		
				1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$
				1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$
				1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$
				1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$
				1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$

Figura A.2 - Modelo de ficha de inspeção adotada para avaliar estruturas pelo método RCS
Fonte: Ferreira, 2004.

INSPEÇÃO VISUAL DETALHADA DE ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS - DVI													
Departamento:				Estrada:				De:		km:			
Distrito:								Para:		km:			
Nome do inspetor:				Largura do Pav.:				m		Comprimento da seção:			
Data:		Tempo: claro () chuvoso ()		Pista: seca () secando () úmida ()				Tipo pavimento:					
SUBSEÇÃO		Nº		Nº		Nº		Nº		Nº		Nº	
LATERAL		E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D
TIPO DE DEFEITO	Severidade	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
	Densidade	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Afundamento de trilha de roda - ATR	<10%	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
	10-50%	2	4	5	2	4	5	2	4	5	2	4	5
	>50%	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5
Ondulação - OND	<10%	1	3	4	1	3	4	1	3	4	1	3	4
	10-50%	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5
	>50%	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Perda de declividade - PED	<10%	1	3	4	1	3	4	1	3	4	1	3	4
	10-50%	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5
	>50%	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Espessura de cascalho-ESC	<10%	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
	10-50%	2	3	5	2	3	5	2	3	5	2	3	5
	>50%	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Sulcos de erosão - SUE	<10%	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
	10-50%	2	4	5	2	4	5	2	4	5	2	4	5
	>50%	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5
Buracos - BUR	<5%(Nº/100m)	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
	5-15%	2	4	5	2	4	5	2	4	5	2	4	5
	>15%	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5
Atoleiros - ATO	<5%	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	5-50%	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0
	>50%	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0

Sendo: E - lateral esquerda, D - lateral direita; B - Baixo; M - Médio; e A - Alto

Observações:

Figura A.3 - Modelo de ficha de inspeção adotada para avaliar a estrada pelo método DVI
Fonte: Ferreira, 2004.

Tabela A.2 - Critérios de medição e classificação de todas as degradações que o método RCS abrange

Afundamento				
	Severidade			
		< 20 mm	20 - 50 mm	> 50 mm
Extensão	< 10 %	1	3	5
	10 - 50 %	2	4	5
	> 50 %	3	5	5

Continua

Ondulação

Mensuração: Coloque uma longa régua de 2 metros em cima das cristas, então obtenha a maior profundidade desenvolvida por um vale e o comprimento que a degradação se desenvolve

		Severidade		
		< 20 mm	20 - 50 mm	> 50 mm
Extensão	< 10 %	1	3	4
	10 - 50 %	2	3	5
	> 50 %	3	4	5

Perda de Inclinação Transversal

Mensuração: Pode ser feita rapidamente com uma régua de 2 metros equipada com um nível de bolha. Uma ponta da régua é posta sobre o eixo central da pista e a outra é elevada até a bolha ficar em nível. A lacuna entre a ponta na extremidade é medida

		Severidade		
		> 50 mm	20 - 50 mm	< 20 mm
Extensão	< 10 %	1	3	4
	10 - 50 %	2	3	5
	> 50 %	3	4	5

Perda de cascalho

Mensuração: Espessura remanescente de cascalho na superfície ao cavar um buraco até o nível de sub-base

		Severidade		
		< 10 mm	10 - 50 mm	> 50 mm
Extensão	< 10 %	1	3	5
	10 - 50 %	2	3	5
	> 50 %	3	4	5

*Não se aplica a estradas de terra

Sulcos de Erosão

Mensuração: Deve-se colocar a régua de 2 metros sobre o sulco de erosão e medir a profundidade do mesmo

		Severidade		
		< 20 mm	20 - 50 mm	> 50 mm
Extensão	< 10 %	1	3	5
	10 - 50 %	2	4	5
	> 50 %	3	5	5

Continua

Buracos

Mensuração: Estimar a quantidade de buracos por 100 metros. A profundidade é medida vendo o desenvolvimento da cavidade em relação a superfície original

		Severidade		
		< 20 mm	20 - 50 mm	> 50 mm
Extensão (nº por 100 metros)	< 10 %	1	3	5
	10 - 50 %	2	4	5
	> 50 %	3	5	5

Atoleiro* (zona com atividade argilosa)

Mensuração: Estimar a porcentagem do trecho afetado

Extensão	Nota
< 10 %	1
10 - 50 %	2
> 50 %	3

*Único parâmetro que não é avaliado sob severidade

Fonte: Wolf, 2021.

Anexo B - Informações relacionadas ao método ERCI

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE ESTRADA DE TERRA - ERCI					
Estrada:			Distrito:		
Subseção:			Subdistrito:		
Direção - De:		Para:	Data: / /		
Inspetor:					
DEFEITOS	Severidade		Densidade		
	LEVE	GRAVE	O	F	E
Falha e erosão de aterro na estrada					
Falha no muro de contenção					
Altura da superfície					
Seção transversal (abaulamento)					
Afundamento de trilha de roda -ATR					
Buracos					
Superfície saturada					
Estrutura ilegal de irrigação					
Plantas na superfície da estrada					
Ocupação da superfície da estrada					
Sendo: O - Ocasional, F - Frequente e E - Extenso					
Observação:					

Figura B.1 - Modelo de ficha de inspeção adotada para avaliar a estrada pelo método ERCI
Fonte: Ferreira, 2004.

Tabela B.1 - Descrição e parâmetros de todas as degradações quando de severidade leve

Defeitos	Descrição de severidade leve
Falha e erosão de aterro na estrada - FEA	Largura acima de 2,0 m e profundidade de 2,5 m
Falha no muro de contenção- FMC	Somente necessita de reconstrução, sem recolocação de pedras
Altura da superfície- ALS	Superfície elevada em menos de 50 cm abaixo do nível do subleito.
Seção transversal – STI (abaulamento)	Altura do ponto do meio menor que 5 cm
Afundamento de trilha de roda- ATR	Profundidade menor que 3 cm
Buracos- BUR	Profundidade menor que 10cm. Um buraco por cada 10 m ²
Superfície saturada- SUS	Profundidade de saturação < 20 cm. Menor que metade da largura da estrada
Estrutura ilegal de irrigação- EII	Extensão menor que 1,0 m de largura
Plantas na superfície da estrada - PSE	Extensão menor que 1,0 m de largura
Ocupação da superfície da estrada - OSE	Extensão menor que 1,0 m de largura

Fonte: Ferreira, 2004.

PLANILHA DE CÁLCULO E ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO DO ERCI								
DEFEITOS	Pesos	Peso Severidade		Peso Densidade			Dedução Pontos	Classificação
		Leve	Grave	O	F	E		
Falha e erosão de aterro na estrada	20	0,5	1,0	0,4	0,8	1,0		100
Falha no muro de contenção	12	0,3	1,0	0,4	0,8	1,0		Muito Bom 90
Altura da superfície	15	0,5	1,0	0,4	0,8	1,0		Bom 80
Seção transversal (abaulamento)	8	0,5	1,0	0,4	0,8	1,0		Regular
Afundamento de trilha de roda	8	0,5	1,0	0,4	0,8	1,0		
Buracos	8	0,5	1,0	0,4	0,8	1,0		Ruim 65
Superfície saturada	8	0,6	1,0	0,4	0,8	1,0		
Estrutura ilegal de irrigação	7	0,4	1,0	0,4	0,8	1,0		
Plantas na superfície da estrada	7	0,5	1,0	0,4	0,8	1,0		Falido 40
Ocupação da superfície da estrada	7	0,4	1,0	0,4	0,8	1,0		0
Total Dedução =								
ERCI = 100 – TVDe =								

Figura B.2 - Modelo de planilha de cálculo do ERCI com os fatores de ponderação de cada degradação
Fonte: Ferreira, 2004.

Anexo C - Informações relacionadas ao método URCI

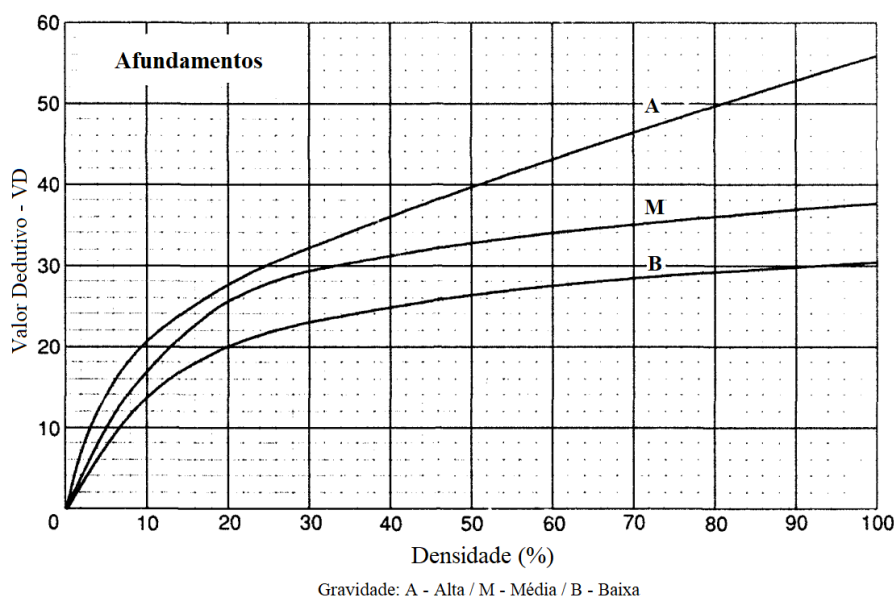


Figura C.1 - Nomograma de afundamentos para o método URCI
Fonte: Eaton & Beaucham, 1992.

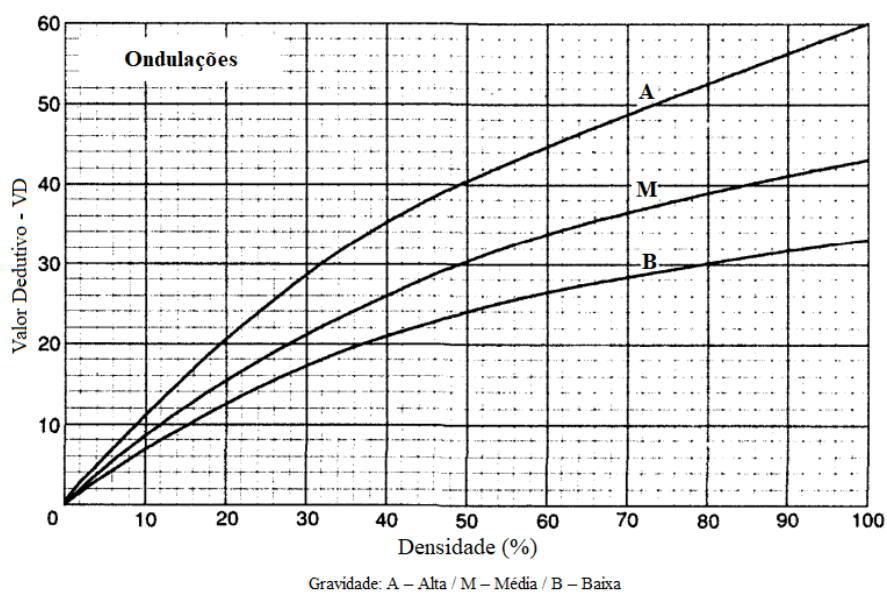


Figura C.2 - Nomograma de ondulações para o método URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

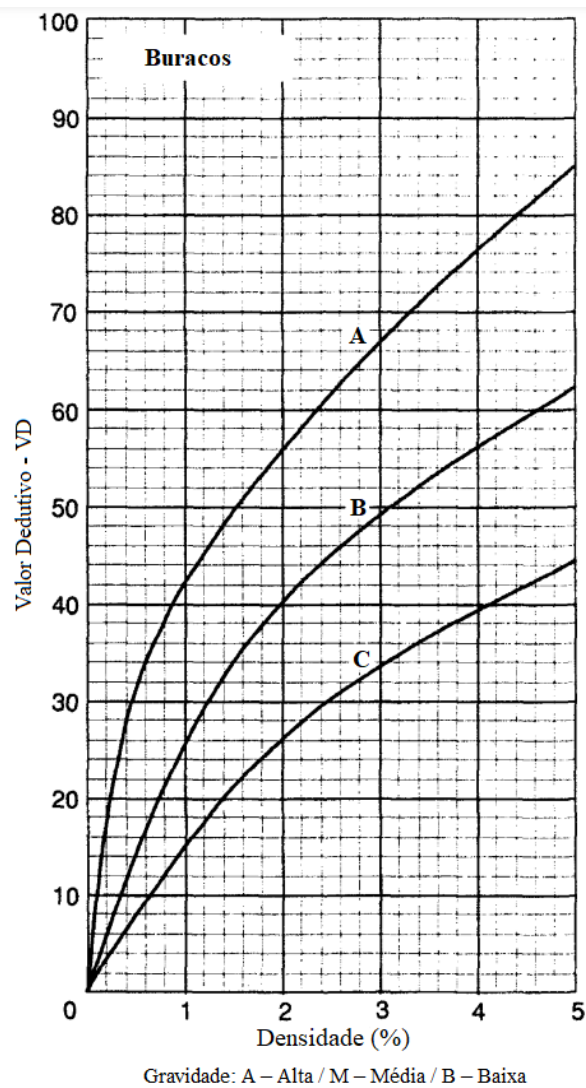


Figura C.3 - Nomograma de buracos para o método URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

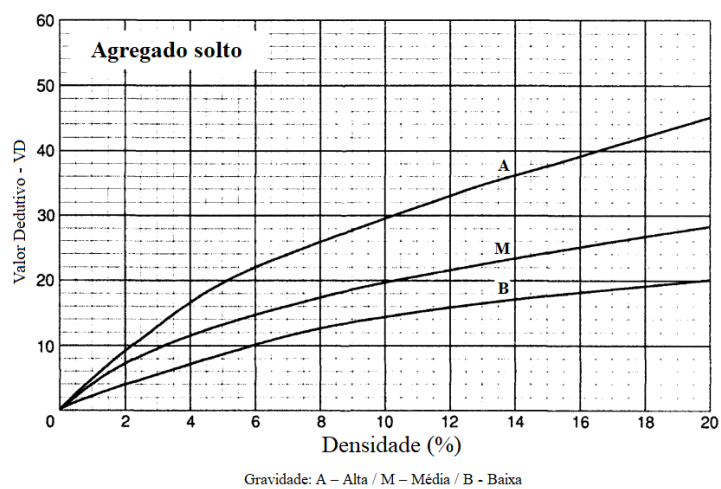


Figura C.4 - Nomograma de agregado solto para o método URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

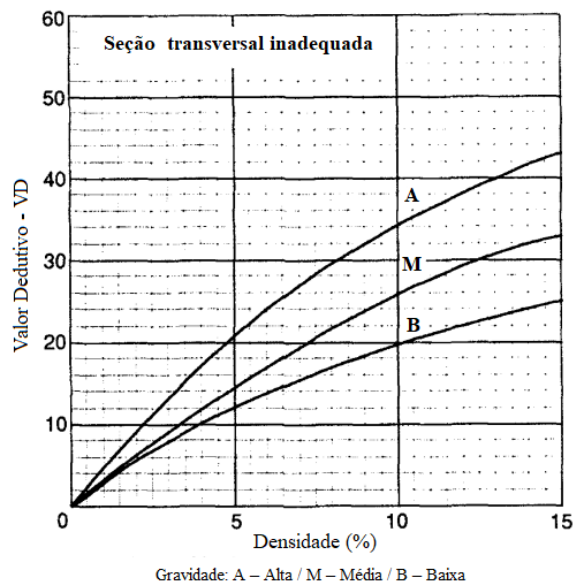


Figura C.5 - Nomograma de seção transversal inadequada para o método URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

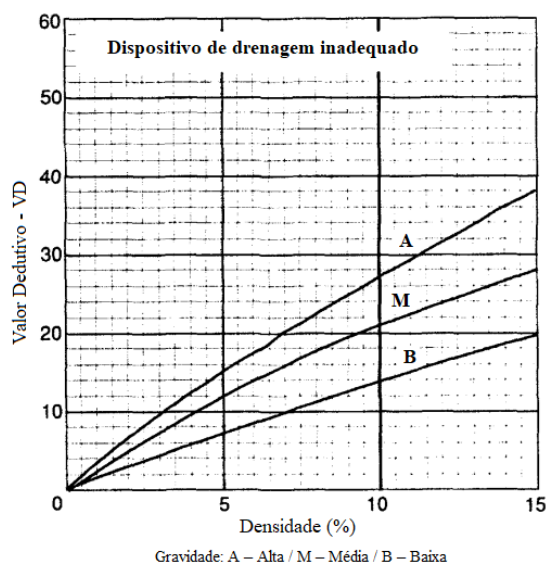


Figura C.6 - Nomograma de dispositivo de drenagem inadequado para o método URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

Poeira	
A poeira não é avaliada pela densidade. O Valor Dedutivo - VD para os graus de severidade são:	
Baixo	— 2 Pontos
Médio	— 4 Pontos
Alto	— 15 Pontos

Figura C.7 - Pontuação da poeira para o método URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

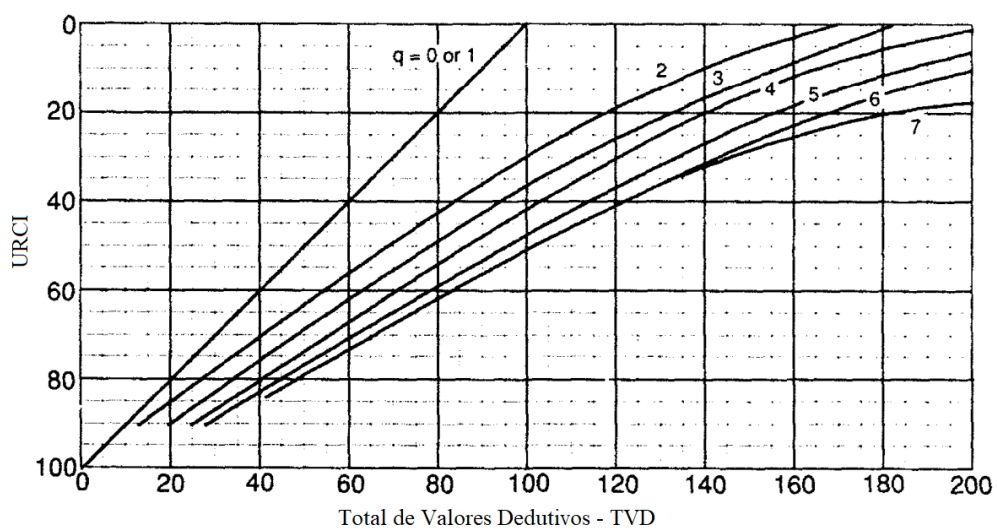


Figura C.8 - Nomograma para definir o URCI da estrada
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

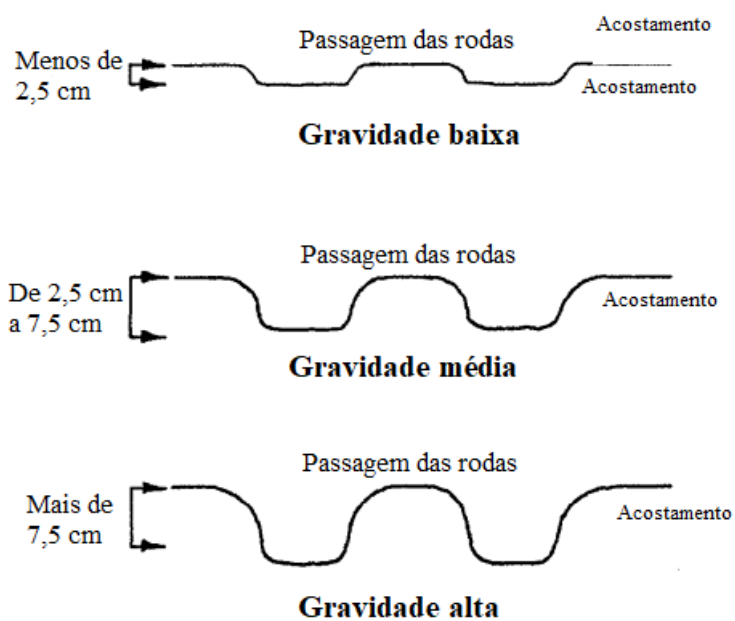


Figura C.9 - Níveis de gravidade de afundamentos para URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

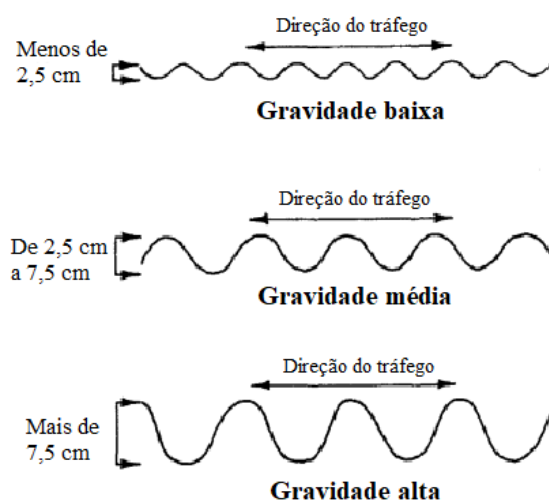


Figura C.10 - Níveis de gravidade de ondulações para URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

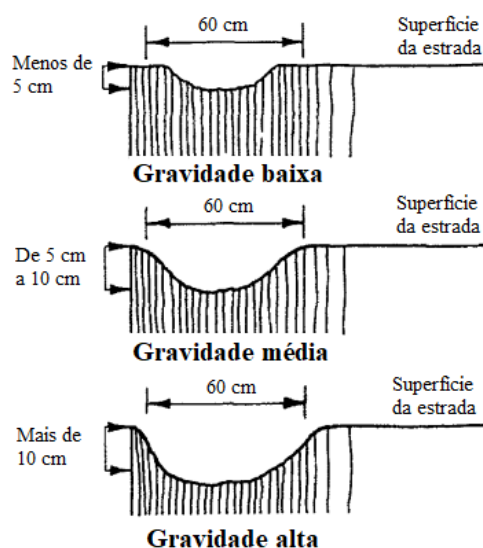


Figura C.11 - Níveis de gravidade de buracos para URCI
Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

Tabela C.1 - Informações adicionais para determinação do nível de gravidade para buracos

		Diâmetro			
		< 30 cm	30 cm a 60 cm	60 cm a 90 cm	> 90cm
Profundidade	< 5 cm	Baixa	Baixa	Média	Alta
	5 cm a 10 cm	Baixa	Média	Alta	Alta
	> 10 cm	Média	Alta	Alta	Alta

Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

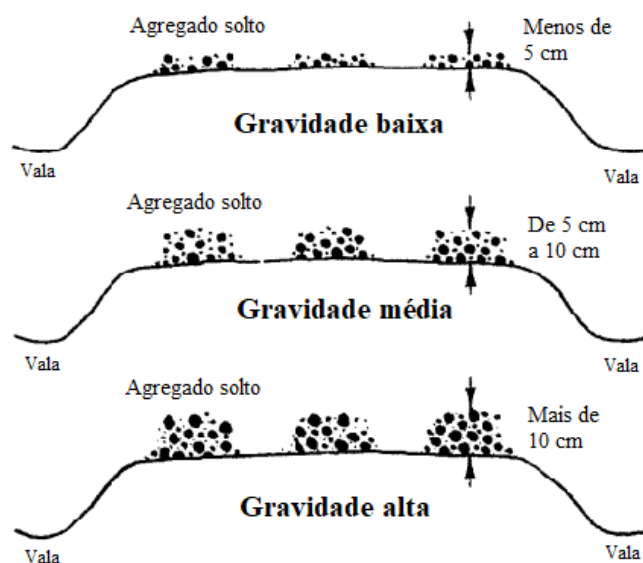


Figura C.12 - Níveis de gravidade de agregado solto para URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

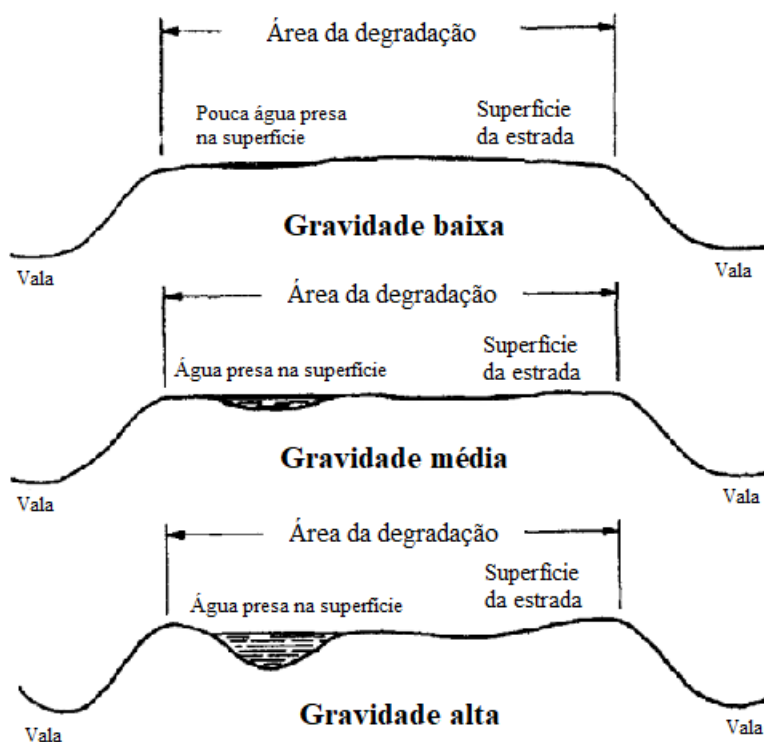


Figura C.13 - Níveis de gravidade de inclinação transversal inadequada para URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

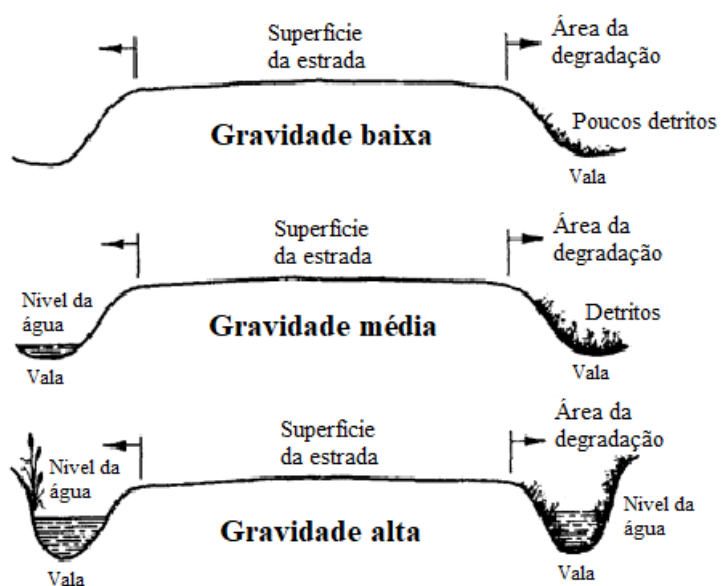


Figura C.14 - Níveis de gravidade de dispositivo de drenagem inadequado para URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

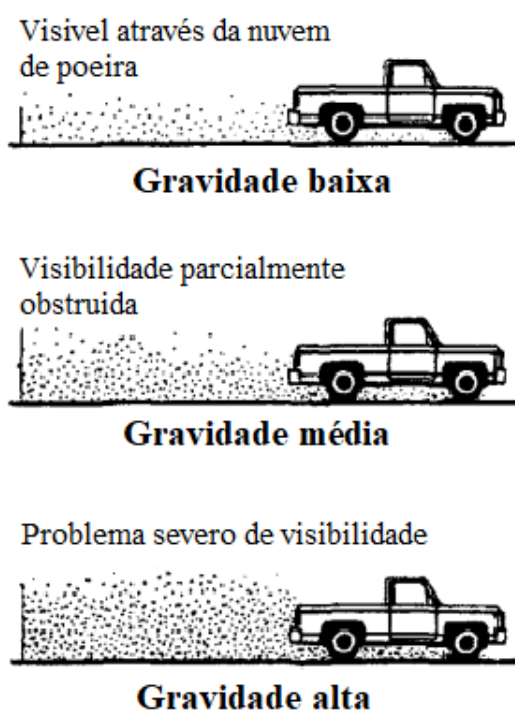


Figura C.15 - Níveis de gravidade de poeira para URCI
 Fonte: Adaptada de Eaton & Beaucham, 1992.

Anexo D - Informações relacionadas ao método RSMS

Tabela D.1 - Critérios de classificação de todas as degradações que o método RSMS abrange

Defeitos	Parâmetros		
	Nível	Severidade	Densidade
Ondulações- OND	Baixo	Prof. < 2,5 cm	< 10% da superfície da estrada
	Médio	Prof. = 2,5 – 5,5 cm	Entre 10 – 30 %
	Alto	Prof. > 7,5 cm	> 30 %
Buracos- BUR	Baixo	Prof. < 2,5 cm e/ou d < 30	Área < 10% 5 buracos/60 m
	Médio	Prof. 2,5 – 7,5 e/ou d = 30 – 60 cm	Área = 10 – 30 % e/ou 10 buracos/60 m
	Alto	Prof. > 7,5 cm e/ou d > 60 cm	Área > 30 % e/ou > 10 BUR/60m
Afundamento de Trilha de Roda - ATR	Baixo	Prof. < 2,5 cm	Área < 10%
	Médio	Prof. = 2,5 – 7,5 cm	Área = 10 – 30 %
	Alto	Prof. > 7,5 cm	> 30 %
Segregação de agregados SEA	Baixo	Bermas < 5,0 cm	Área < 10%
	Médio	Bermas = 5,0 – 10,0 cm	Área = 10 – 30 %
	Alto	Bermas > 10,0 cm	> 30 %
Poeira – POE	Bom	Nuvem delgada, visibilidade não obstruída	
	Regular	Nuvem densa moderada que obstrui parcialmente a visibilidade	
	Ruim	Nuvem densa que obstrui severamente a visibilidade	
Seção Transversal Inadequada- STI	Bom	Pouca ou sem poças d'águas, abaulamento bom	
	Regular	Algumas poças d'águas, pouco ou sem abaulamento	
	Ruim	Extensas poças d'águas, depressões	
Drenagem Lateral Inadequada- DLI	Bom	Desobstruídas, valetas e canaletas limpas	
	Regular	Algumas poças d'águas ou erosão na lateral da estrada	
	Ruim	Escoamento da água na estrada, poças d'águas na lateral da estrada	

Fonte: Ferreira, 2004.

Anexo E - Informações relacionadas ao método aplicado por Cabette

Tabela E.1 - Critérios de classificação de degradações superficiais consideradas no método de Cabette

Item	Quantificação	Grau de Severidade
Ondulação	Atribui-se para uma sequência de ondas, vales e picos, o valor de "1". Independente do tamanho da onda, seja de longo desenvolvimento quanto pequeno e da repetição picos e vales. A profundidade que se enquadra é conforme a profundidade do maior vale em relação a superfície original da pista.	Baixo ($0 < h \leq 25$ mm)
		Médio ($25 < h \leq 50$ mm)
		Grande (50 mm $< h$)
Buracos	Cada buraco recebe o valor de "1" para preencher na avaliação. A profundidade deve ser medida em relação ao centro da cratera.	Baixo ($0 < h \leq 50$ mm)
		Médio ($50 < h \leq 100$ mm)
		Grande (100 mm $< h$)
Afundamentos	Cada faixa com marca de pneus concede-se o valor de "1". Deve ser medido a profundidade onde o avaliador julgar ser o ponto de maior depressão. Não há distinção se a rodéira tem pequeno comprimento ou longo comprimento longitudinal.	Baixo ($0 < h \leq 25$ mm)
		Médio ($25 < h \leq 50$ mm)
		Grande (50 mm $< h$)
Percurso em Erosão	Para cada sulco de erosão, recebe o valor "1" na ficha. Independente se o mesmo se desenvolve pouco ou muito na longitudinal ou transversal. Não há distinção entre sulcos (principal, desmembramento). Mede-se para cada um a profundidade adentrada na estrada	Baixo ($0 < h \leq 50$ mm)
		Médio ($50 < h \leq 100$ mm)
		Grande (100 mm $< h$)
Cascalho Solto	Para toda extensão ao lado dos afundamentos, entre eles e ao eixo central da pista, é atribuído "1". Pontos localizados com cascalho solto também recebe esse valor. Não há distinção entre os dois aspectos.	Baixo ($0 < h \leq 50$ mm)
		Médio ($50 < h \leq 100$ mm)
		Grande (100 mm $< h$)
Poeira	É necessário circular com um veículo pela seção em análise a velocidade de 40 km/h e visualmente ou com uma longa régua identificar a altura da cortina desenvolvida pelo tráfego do veículo. É concedido o valor de "1" se ocorrer a formação de cortina e inserindo o valor conforme o nível em que a altura da poeira se enquadra	Baixo ($0 < h \leq 50$ mm)
		Médio ($50 < h \leq 100$ mm)
		Grande (100 mm $< h$)

Fonte: Retirado de Wolf, 2021, adaptando de Cabette, 2018.

Tabela E.2 - Critérios de classificação de itens de drenagem consideradas no método de Cabette

Item	Mensuração	Grau de Severidade
Inclinação Transversal	Identificasse para cada pista se a há um gradiente descendente ou plano em relação do eixo central até a berma. Se ocorrer os casos da pista ser côncava ou com várias depressões, é sinal que a inclinação transversal está inadequada e para cada pista com a inclinação transversal inadequada atribui-se o valor "1" neste item.	Não houve divisão em graus de severidade
Acostamentos Elevados	As extremidades da estrada devem estar a um nível inferior a mesma para contribuir da melhor maneira possível ao escoamento. Para cada berma que estiver acima do nível da pista confere-se "1" na análise sendo disposto conforme a severidade do mesmo	Baixo ($0 < h \leq 25$ mm) Médio ($25 < h \leq 75$ mm) Grande ($75 \text{ mm} < h$)
Necessidade de Bueiros	Se houver alagamentos nas proximidades da estrada é sinal que há a necessidade de bueiros para o escoamento da água para longe da região. É concedido "1" ao lado (esquerdo e direito) além da estrada que for identificado alagamento	Não houve divisão em graus de severidade
Existência de Valas	É necessário a presença de valas para o escoamento ideal numa estrada, raras são as exceções das pistas que não sofrem problemas de drenagem com a ausência das valetas. Deve ser verificado para os dois lados da estrada a presença delas, e para cada ausência adiciona-se o valor "1" neste item.	Não houve divisão em graus de severidade
Vegetação e Detritos obstruindo as Valas	Avalia-se se há vegetação e detritos significativos impedindo a circulação de água pelas valetas. Para cada valeta obstruída deve-se pontuar com o valor de "1" de acordo com a altura que a obstrução se encaixa nos níveis de severidade	Baixo ($0 < h \leq 150$ mm) Médio ($150 < h \leq 250$ mm) Grande ($250 \text{ mm} < h$)

Fonte: Retirado de Wolf, 2021, adaptando de Cabette, 2018.

Tabela E.3 - Modelo de planilha de cálculo do IGG de degradações superficiais do método de Cabette

Item	Deteorização	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
1	ONDULAÇÕES	baixo		0,70	
		médio		0,85	
		elevado		1,00	
2	BURACOS	baixo		0,70	
		médio		0,85	
		elevado		1,00	
3	AFUNDAMENTOS	baixo		0,70	
		médio		0,85	
		elevado		1,00	
4	PERCURSO DE EROSIÃO	baixo		0,70	
		médio		0,85	
		elevado		1,00	
5	CASCALHO SOLTO/PERDA DE AGREGADOS	baixo		0,50	
		médio		0,75	
		elevado		0,80	
6	POEIRA	baixo		0,25	
		médio		0,30	
		elevado		0,35	
número total de seções			ΣIGI = IGG		

Fonte: Cabette, 2018.

Tabela E.4 - Modelo de planilha de cálculo do IGG de degradações do sistema de drenagem do método de Cabette

Item	Inadequado sistema de drenagem	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
1	INCLINAÇÃO TRANSVERSAL			1,00	
2	ACOSTAMENTOS /BERMA ELEVADOS	baixo		0,50	
		médio		0,75	
		elevado		1,00	
3	BUEIROS/GALERIAS/AQUEDUTOS			1,00	
4	VALAS INEXISTENTES			1,00	
5	CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO/ SEDIMENTOS NA VALA	baixo		0,20	
		médio		0,60	
		elevado		0,80	
número total de seções			ΣIGI = IGG		

Fonte: Cabette, 2018.