

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Raquel Padilha

**REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS DE DEFEITOS DE UM  
TRECHO DE ESTRADA RURAL NO MUNICÍPIO DE HERVEIRAS/RS**

Santa Cruz do Sul  
2022

**Raquel Padilha**

**REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS DE DEFEITOS DE UM  
TRECHO DE ESTRADA RURAL NO MUNICÍPIO DE HERVEIRAS/RS**

Trabalho de conclusão apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da  
Universidade de Santa Cruz do Sul  
para obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Civil.

Orientador: Leandro Olivio Nervis.

Santa Cruz do Sul  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente aos meus pais Luiz Carlos Padilha (*in memorian*) e Lêda Lisete Padilha, pelo incentivo e apoio na busca dos meus sonhos.

Á toda família por estarem ao meu lado na jornada.

Ao meu marido Hélio pela paciência e motivação, além dos dias dedicados a me auxiliar nas avaliações em campo.

Ao meu orientador Leandro Olivio Nervis pelos ensinamentos transmitidos, pela motivação e por me instigar a sempre buscar por mais conhecimento.

Aos colegas e laboratoristas pela colaboração e conhecimentos transmitidos no auxílio da realização dos ensaios.

Aos meus amigos e colegas que estiveram ao meu lado durante essa jornada.

## RESUMO

O presente trabalho buscou um diagnóstico das causas dos defeitos de um trecho de estrada rural no município de Herveiras/RS, na tentativa de indicações de soluções técnicas para as deficiências encontradas. Atualmente, a malha rodoviária do país ainda é em sua maioria não pavimentada, sendo a realidade de milhões de pessoas. As intervenções realizadas são carentes de projeto, informações e pessoal qualificado. Para avaliação do trecho foi utilizado o método RCS/DVI (*Road Condition Survey/Detailed Visual Inspection*), com alterações para solos brasileiros. Houve levantamento de dados para defeitos como afundamento de trilha de roda, ondulações, sulcos de erosão, buracos, atoleiros, perda de declividade, espessura de cascalho e abaulamento. Além disso, foi realizada coleta de amostras deformadas de solo do subleito e revestimento primário, para ensaios laboratoriais de caracterização e sistemática MCT e G-MCT. Segundo classificação G-MCT os solos de subleito e revestimento primário tem comportamento deficitário para uso em pavimentação. A estrada rural foi diagnosticada em condições de regular a ruim para os defeitos levantados. Como produto desse trabalho, estudou-se hipóteses de soluções para resolução dos problemas encontrados na via. Recomenda-se a implantação e manutenção da drenagem de escoamento; procura de material recomendado para pavimentação para utilização na pista de rolamento; implantação de revestimento com camada mais espessa, para aproveitamento em forma de reforço e aumento do abaulamento de pista.

Palavras-chave: Estrada Rural; Defeitos; Revestimento; RCS/DVI.

**LISTA DE FIGURAS**

Tabela 1 - Índice de Plasticidade .....	19
Tabela 2 – Plasticidade de alguns solos brasileiros .....	19
Tabela 3 - Aplicações dos grupos de solo MCT .....	22
Tabela 4 - Utilização dos grupos quanto a revestimento primário .....	23
Tabela 5 - Classificação G-MCT .....	24
Tabela 6 - Hierarquização e propriedade usos de solos com comportamento laterítico .....	25
Tabela 7 - Hierarquização e propriedades de solos com comportamento não laterítico .....	25
Tabela 8 - Planilha de inspeção para campo do método RCS/ DVI .....	28
Tabela 9 - Classificação de condições da estrada .....	29
Tabela 10 - Tabela de severidade do defeito de abaulamento de pista .....	29
Tabela 11 – Classificação dos defeitos no subtrecho 1 da via .....	44
Tabela 12 - Classificação dos defeitos no subtrecho 2 da via .....	44
Tabela 13 - Classificação dos defeitos no subtrecho 3 da via .....	45
Tabela 14 – Classificação global dos defeitos da via .....	49
Tabela 15 – Levantamento de espessura de cascalho da via .....	50
Tabela 16 – Levantamento de perda de declividade da via .....	50
Tabela 17 – Levantamento de abaulamento da esquerda da pista .....	51
Tabela 18 – Levantamento de abaulamento da direita da pista .....	51
Tabela 19 – Resumo das características geotécnicas dos solos .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Plasticidade .....	19
Tabela 2 – Plasticidade de alguns solos brasileiros .....	19
Tabela 3 - Aplicações dos grupos de solo MCT .....	22
Tabela 4 - Utilização dos grupos quanto a revestimento primário .....	23
Tabela 5 - Classificação G-MCT .....	24
Tabela 6 - Hierarquização e propriedade de solos com comportamento laterítico.....	25
Tabela 7 - Hierarquização e propriedades de solos com comportamento não laterítico.....	25
Tabela 8 - Planilha de inspeção para campo do método RCS/ DVI .....	28
Tabela 9 - Classificação de condições da estrada.....	29
Tabela 10 - Tabela de severidade do defeito de abaulamento de pista.....	29
Tabela 11 – Classificação dos defeitos no subtrecho 1 da via .....	44
Tabela 12 - Classificação dos defeitos no subtrecho 2 da via .....	44
Tabela 13 - Classificação dos defeitos no subtrecho 3 da via .....	45
Tabela 14 – Classificação global dos defeitos da via .....	49
Tabela 15 – Levantamento de espessura de cascalho da via .....	50
Tabela 16 – Levantamento de perda de declividade da via.....	50
Tabela 17 – Levantamento de abaulamento da esquerda da pista.....	51
Tabela 18 – Levantamento de abaulamento da direita da pista.....	51
Tabela 19 – Resumo das características geotécnicas dos solos.....	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1 Área e Delimitação do Tema.....	9
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Objetivo Geral.....	9
1.2.2 Objetivos Específicos .....	9
1.3 Justificativa .....	9
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
2.1 Aspectos Gerais sobre Estradas Rurais .....	11
2.1.1 Representatividade .....	11
2.1.2 Implantação e manutenção .....	11
2.1.3 Condições mínimas de trafegabilidade.....	12
2.2 Defeitos em estradas rurais.....	12
2.3 Origem e Formação dos Solos .....	15
2.3.1 Rochas .....	15
2.3.2 Formação dos Solos .....	15
2.3.3 Pedologia .....	16
2.4 Caracterização dos Solos.....	17
2.4.1 Análise Granulométrica.....	17
2.4.2 Limites de Atterberg.....	18
2.4.3 Peso específico real dos grãos.....	19
2.5 As classificações MCT E G-MCT .....	20
2.5.1 Classificação MCT .....	20
2.5.2 Classificação G-MCT.....	23
2.6 Critérios para seleção de materiais para emprego em revestimento primário .....	26
2.7 Avaliação de defeitos em estradas rurais.....	27
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	30
3.1 Descrição física, geomorfológica, geológica e pedológica do local .....	30
3.2 Levantamento dos defeitos do trecho.....	32
3.3 Coleta de Amostras .....	34
3.4 Ensaios de laboratório .....	35
3.4.1 Caracterização do solo.....	35

3.4.1.1 Ensaio de Análise Granulométrica .....	35
3.4.1.2 Limite de Liquidez .....	38
3.4.1.3 Limite de Plasticidade .....	39
3.4.1.4 Massa específica real dos grãos .....	40
3.4.2 Ensaio da sistemática MCT .....	42
3.4.3 Ensaio da sistemática G-MCT .....	43
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
4.1 Defeitos do trecho de estrada de terra .....	44
4.2 Caracterização do solo .....	53
4.3 Sistemática MTC e G-MCT .....	55
4.4 Classificação quanto a qualidade dos materiais para utilização em pavimentos .....	57
4.5 Diagnósticos e indicativos de soluções .....	57
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>60</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>63</b>



## 1 INTRODUÇÃO

As estradas rurais foram em sua maioria abertas por colonizadores, da forma mais simples, com o que o terreno oferecia, em solos fragilizados e não preparados para erosão de períodos de chuva intensa. De pequenas trilhas e caminhos de grupos de pessoas, o aumento do tráfego as torna em estradas que trazem conforto e dão acesso a serviços essenciais (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Atualmente, de acordo com o Anuário da CNT de 2021, cerca 78,5% da malha rodoviária continua sendo não pavimentada. Isso destaca a importância e a representatividade que esse tipo de via ainda tem no cotidiano de milhões de pessoas (CNT, 2021).

As intervenções têm sido exageradamente frequentes, tendo em vista a deficiência de informações e pessoal qualificado para sua concepção e execução. Logo, tem-se maior recorrência de defeitos, que são apenas maquiados por soluções baseadas em tentativa e erro, quase sempre sem conhecimento técnico mínimo para tal elaboração (NERVIS, 2016).

É necessário, segundo DNIT (2005), que haja uma escolha correta do material a ser usado como revestimento primário, havendo critérios básicos de atendimento e qualidade. Os estudos em volta de estradas de terra trazem conceitos preponderantes de defeitos corriqueiros que afetam a trafegabilidade. Assim é possível avaliar as condições da via com uma inspeção visual detalhada de acordo com métodos modificados para serem aplicados em solos brasileiros, classificando a severidade dos problemas da pista (FERREIRA, 2004).

A busca por soluções parte da avaliação dos defeitos e suas possíveis causas. Na maioria dos casos têm-se problemas que desencadeiam outros, por falta de manutenção (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Busca-se através do presente estudo, diagnosticar e avaliar defeitos de um trecho de estrada de terra em uma cidade do interior do Rio Grande do Sul. A via em questão apresenta problemas frequentes e manutenções sem sucesso em curtos períodos. Além disso, vislumbra-se indicar possíveis causas e propor soluções com embasamento técnico e aplicações laboratoriais para os defeitos encontrados no trecho estudado.

## **1.1 Área e Delimitação do Tema**

O presente trabalho de conclusão de curso é voltado ao estudo de pavimentos de revestimento primário. Serão aplicados os princípios básicos de mecânica dos solos, engenharia geotécnica e mecânica de pavimentos.

O tema se limita em torno de estudos de campo de determinado trecho defeituoso, com realização de coletas de amostras para experimentação e sua caracterização em laboratório. Tendo em vista a limitação de tempo hábil para aplicação dos ensaios, os mesmos serão escolhidos de acordo com a sua relevância.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um diagnóstico da causa dos defeitos de um trecho de estrada rural no município de Herveiras/RS.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos do presente estudo, cita-se:

- Realizar o levantamento de defeitos na estrada;
- Caracterizar e classificar os materiais que constituem o pavimento;
- Apresentar indicativos de soluções para o trecho em questão.

## **1.3 Justificativa**

De acordo com dados do IBGE (2010), somente cerca de 15,1% das vias do município de Herveiras/Rs são urbanizadas adequadamente (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Logo, percebe-se o quão representativo são as estradas rurais para o município em questão, bem como, o trecho escolhido para o levantamento.

Ao ser analisada a importância que as estradas rurais têm em nosso cotidiano, a demanda de deslocamento em pequenas cidades e a produção rural que escoam por elas, é cada dia mais imprescindível que estejam em boas condições de uso. Para isso é necessário manutenções e conservação com soluções técnicas que viabilizem isso.

Observando-se a demanda que esse tipo de estrada sofre por soluções eficazes para trechos com problemas recorrentes, escolheu-se estudar um trecho de estrada não

pavimentada no município. Buscou-se com embasamento teórico e técnico um diagnóstico preciso das causas de seus defeitos e conseqüentemente métodos para solucioná-los.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Aspectos Gerais sobre Estradas Rurais**

#### **2.1.1 Representatividade**

De acordo com Baesso e Gonçalves (2003), a malha de estradas rurais é extremamente importante para promover a integração de atividades econômicas em todos os seus níveis. Ela possibilita o acesso de pessoas de comunidades rurais a serviços públicos que contribuam para sua qualidade de vida. Além disso, ela é responsável pelo escoamento da produção agrícola sem maiores prejuízos, induzindo ao crescimento da agricultura.

Segundo o Anuário CNT do Transporte de 2021, sendo CNT - Confederação Nacional do Transporte, em 2019 cerca de 78,5% da malha rodoviária do país não era pavimentada. Logo, do total de 1.720.700,0 km de extensão do modal rodoviário, as estradas rurais somam-se em 1.349.938,0 km. Conforme tabelas disponibilizadas pela CNT (2021), com detalhamento das extensões de estradas não pavimentadas, o estado do Rio Grande do Sul é o que mais detém quantidade de quilômetros de estradas de terra na região Sul do país. Através destes dados percebe-se o quão representativo podem ser as estradas de terra na vida de milhões de pessoas.

#### **2.1.2 Implantação e manutenção**

De acordo com Nervis (2016) os procedimentos e técnicas construtivas são em sua maioria parecidas com as de vias asfaltadas. Por sua vez, deve-se atentar-se a alguns detalhes, uma estrada rural é composta por camadas diretamente distribuídas sobre o subleito, esses materiais de revestimento podem ser de diferentes lugares em cada caso.

Como explica Baesso e Gonçalves (2003) é possível categorizar estradas não pavimentadas em quatro tipos, A, B, C e D. Logo, têm-se composições diferentes para cada uma delas, onde A refere-se a composta por agregados naturais (cascalhos e pedregulhos). A categoria B por agregados produzidos artificialmente (britados), categoria C constituída por materiais oriundos de jazidas de solos naturalmente estabilizados (saibros) e a categoria D é desenvolvida de forma pioneira, usando agregados do próprio leito natural.

Também fazem parte da construção de estradas não pavimentadas os elementos de drenagem. Eles podem ser designados em obras de arte correntes(bueiros), e especiais

(pontes). Pode-se ainda citar também detalhes importantes como as sarjetas/valetas laterais e saídas d'água (NERVIS, 2016).

A manutenção de estradas rurais tem alto custo e, por sua vez, é indispensável que seja executada de forma periódica, para não se acrescer ainda mais nos valores finais. Esses detalhes de conservação envolvem pequenos serviços, como a limpeza da drenagem e conformação da pista de rolamento com revestimento primário (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Salienta Nervis (2016) que é raro encontrar-se projetos de engenharia para manutenção ou implantação de estradas rurais atualmente. Isso faz com que a responsabilidade de execução recaia sobre funcionários públicos, que nem sempre tem conhecimentos técnicos compatíveis para o mesmo, contando apenas com a sorte e o conhecimento adquirido com métodos de acerto e erro com o passar dos anos. Assim como, a falta de projetos que contemplem a racionalização e o controle de forma enxuta, é ainda mais fácil superfaturar verbas públicas com as manutenções e execuções de estradas rurais.

### **2.1.3 Condições mínimas de trafegabilidade**

Baesso e Gonçalves (2003) destacam que estradas de terra devem conter capacidade de suporte e boas condições de rolamento e aderência, mantendo-se agregados firmes mesmo com as solicitações impostas pelo tráfego. Os autores detalham por meio de exemplos o quão é ruim a trafegabilidade e a segurança em pistas com seixos graúdos e soltos, assim como frisa que o uso de materiais muito finos possibilita a antecipação de defeitos na via.

O tráfego em estradas rurais, diferente de vias asfaltadas, é de baixo volume com velocidade reduzida, assim não necessitando de traçados retilíneos. Desta forma, pode-se atentar a projetos com detalhes importantes para conservação da via, manutenções e custos de implantação (NERVIS, 2016).

## **2.2 Defeitos em estradas rurais**

As condições de uma via estão ligadas à sua regularidade e capacidade de rolamento. Os defeitos em seus revestimentos trazem desconforto e insegurança a quem por ela trafega (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

De forma sintética, Nervis (2016) contextualiza os defeitos mais corriqueiros encontrados em estradas de terra associadas ao seu revestimento primário. Entre eles tem-se a poeira, desagregação, arrancamento de partículas, falta de aderência com a pista molhada (sabão), rugosidade excessiva, corrugações, afundamento de trilha de rota ou deformação permanente, ruptura por cisalhamento, buracos, sulcos de erosão e atoleiros.

● **Poeira:** a poeira é a perda de finos do revestimento, geralmente quando se dá a um período de pouca umidade, grande quantidade de silte na mistura e compactação deficiente (NERVIS, 2016). Baesso e Gonçalves (2003) ainda relacionam o excesso de poeira de estradas de terra a problemas de desconforto dos usuários, sejam essas causas de acidentes pela falta de visão, problemas na agricultura ao entorno, doenças e a vida útil dos automotores.

● **Desagregação:** a desagregação é causada por partículas finas com características deficientes, que se desagregam da camada por erosão ou poeira (NERVIS, 2016). Baesso e Gonçalves (2003) explica que a perda de agregados de fração grossa faz com que os mesmos se posicionem fora da trilha de rodas, as bordas da pista de rolamento, e frisa que um revestimento com melhores índices de aglutinantes na mistura seria mais eficaz para casos como esses.

● **Arrancamento de Partículas:** assim como a desagregação, é um problema de aglutinantes com características deficientes, são partículas que não resistem a solicitações horizontais, sejam elas de tração, frenagem ou força centrípeta, acabando grudadas na superfície das rodas dos automotores em sua maioria quando molhadas (NERVIS, 2016).

● **Falta de aderência com Pista Molhada (“Sabão”):** para Baesso e Gonçalves (2003) aderência é uma propriedade que assegura deslocamento de veículos com segurança pelas estradas rurais. Nervis (2016) explica que a falta de aderência acontece quando há muitos finos da mistura do revestimento.

● **Rugosidade Excessiva:** quando se tem grandes diâmetros de agregados graúdos no revestimento da superfície há rugosidade excessiva (NERVIS, 2016).

● **Corrugações:** Nervis (2016) salienta que as corrugações se dão pela baixa aglutinação de grãos na superfície. Para Baesso e Gonçalves (2003) são deformações em forma de ondulações que aparecem na pista perpendicular ao sentido do tráfego, que possam se originar de inúmeros fatores, entre ação do próprio fluxo de veículos, perda de finos da superfície, deficiência no subleito, abaulamento insuficiente ou precipitações pluviométricas.

● **Afundamento da Trilha de Rota ou Deformação Permanente:** Para Baesso e Gonçalves (2003) é uma depressão que se forma longitudinalmente ao eixo da pista, deixada pela passagem dos pneus de automotores nas estradas de terra. As possíveis causas deste defeito podem ser o alto teor de umidade presente no subleito, revestimento com espessura que não atende aos requisitos da estrada e mesmo o tráfego de automotores pesados (NERVIS, 2016).

● **Ruptura por Cisalhamento:** acontece quando há cisalhamento no sistema do subleito e revestimento primário, resultando em trilhas de roda e conseqüentemente em solevamento lateral (NERVIS, 2016).

● **Buracos:** segundo Nervis (2016) o defeito de buracos, ou “panelas” como ele também designa, são depressões na superfície do revestimento causados por diferentes fatores, ou mesmo fatores adjuntos, tais como umidade excessiva, drenagem ineficiente ou graduação inadequada da camada. Baesso e Gonçalves (2003) salientam ainda que ao represar água da chuva esses buracos aumentam de tamanho e ocasionam a desintegração da pista pela perda de materiais da camada.

● **Sulcos de Erosão:** de acordo com Nervis (2016) este defeito é causado devido a problemas na geometria da pista ou mesmo emprego errado de materiais no revestimento, assim auxiliando a erodibilidade, seja transversal, oblíqua (costeletas) ou longitudinais.

● **Atoleiros:** acontecem quando as camadas tanto de revestimento como de subleito estão saturadas, com cisalhamento já ocorrido, fazendo com que haja mistura de materiais de formação de lama, sendo classificado como último estágio de degradação de uma estrada rural, pois sendo impossível em alguns casos transitar por ela (NERVIS, 2016).

É perceptivo que um defeito possa vir a desencadear outros em estradas rurais, seja poeira gerando rugosidade excessiva, ou mesmo desagregação, que pode ainda ser fator de arrancamento de partículas, assim como outros casos preponderantes. Quando se observa esses comportamentos, é de suma importância que sejam corrigidos assim que notados, porém nem todos são capazes de avaliá-los de forma primária. A maioria não compreende que trilhas de roda, por exemplo, seja classificada como defeitos (NERVIS, 2016).

## **2.3 Origem e Formação dos Solos**

### **2.3.1 Rochas**

Os solos são resultado da ação do intemperismo das rochas. Assim suas propriedades são determinadas pelos minerais de suas partículas, portanto pelas rochas que derivam. Logo os grãos que o formam são do processo de erosão, variam de tamanho, formato, e composição química de acordo com os tipos de rochas das quais derivam. As rochas podem ser divididas em ígneas, sedimentares e metamórficas (DAS, 2011).

As rochas ígneas ou magmáticas são resultado de um resfriamento e consolidação do magma, podendo ser divididas em intrusivas (formadas profundamente) ou extrusivas (resfriamento do magma expelido). São exemplos de rochas ígneas dos grupos descritos respectivamente, granitos e basalto (CAPUTO e CAPUTO, 2015).

As rochas sedimentares vêm da deposição de sedimentos da desagregação de rochas preexistentes, pelo acúmulo de orgânicos animais e vegetais, ou ainda pela química de sais dissolvidos em águas terrestres. São exemplos de rochas sedimentares, que possam vir a ser estratificados, o calcário, arenito e conglomerado (CAPUTO e CAPUTO, 2015).

As rochas metamórficas provêm de um processo de alteração de composição de rochas sedimentares e ígneas. São classificadas em gnaisses, mármore e quartzitos, que são exemplos respectivos de metamorfismo de granitos, de calcários e de arenitos (CAPUTO e CAPUTO, 2015).

### **2.3.2 Formação dos Solos**

Para Caputo e Caputo (2015) o intemperismo tem papel importante na formação dos solos, pois é através da desintegração mecânica causada nas rochas, e de agentes como água, temperatura, vegetação e ação do vento que é possível a formação de partículas de variados tamanhos. Entre as dimensões pode-se citar partículas grossas, como pedregulhos e areias, partículas intermediárias, como siltes ou partículas finas, como argilas.

Os solos formados pelo intemperismo, podem ser classificados em residuais ou transportados. Um solo residual é formado em seu lugar de origem e tem características de apresentarem uma graduação de finos na superfície e grãos maiores ao aumentar a profundidade. Um solo transportado, como o próprio nome identifica, trata-se de um solo



que foi transportado por uma certa distância e um agente que poder a água, ventos, geleiras, deslizamentos e entre outros (DAS, 2011).

### 2.3.3 Pedologia

A pedologia é a ciência que estuda as camadas superficiais da crosta terrestre. Aspectos como sua formação, classificação e agentes climatológicos que interferem nesses processos (CAPUTO E CAPUTO, 2015). O perfil do solo é designado como a face que vai da superfície até o material de origem, organizando-se em seções quase paralelas. Esse arranjo é um resultado das transformações da matéria ao longo do tempo, devido a fatores como clima e/ou relevo. Assim há diferentes propriedades a serem estudadas e características quanto as suas divisões de camadas e horizontes a serem explorados (EMBRAPA, 2018).

É possível através dela constituir perfis de solo, chamados de horizontes, que se dividem em A, B e C, onde A é a camada superficial, B o subsolo e C a camada profunda. Os horizontes se diferenciam pela cor e composição química (CAPUTO E CAPUTO, 2015). Os horizontes do solo podem variar de acordo com sua idade, tipologia, cores e intemperismo que já sofreram, podendo assim nem sempre apresentar a mesma ordem anteriormente citada. Mas comumente encontram-se as seguintes características para cada horizonte (LIMA *et al.*, 2007):

- Horizonte A: apresenta normalmente uma coloração escura devido a matéria orgânica já mineralizada e a presença de raízes de árvores. A espessura da camada do horizonte varia de acordo com o clima da região, em locais secos pode ser pouco espesso e locais com maior umidade podem atingir até um metro de profundidade. É de extrema importância para agricultura, mas sofre muito pela erosão.

- Horizonte B: situado abaixo do horizonte superficial A, tem maior variação de coloração, pela presença de ferro da fração argilosa predominam vermelho, amarela ou vermelha-amarela. Seu teor de matéria orgânica é mais baixo, assim como as variações de espessura, mineralogia, fertilidade e quantidade de silte, areia ou argila são maiores.

- Horizonte C: situado abaixo do horizonte de subsolo, apresenta diversas manchas de várias colorações por ser uma rocha intemperizada.

Há características que são indispensáveis para a classificação de um solo junto ao Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), como as suas cores úmidas e secas, sua textura, consistência, entre outros. A chave para essa divisão está organizada em 6 níveis

categoricos, atualmente se usa os quatro primeiros, havendo ainda uma discussão quanto ao 5º e 6º nível (EMBRAPA, 2022). Os níveis categoricos empregados pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) podem ser denominados da seguinte forma: 1º nível categorico (ordens), 2º nível categorico (subordens), 3º nível categorico (grandes grupos) e 4º nível categorico (subgrupos). Os níveis 5 e 6, que ainda carecem de discussões e definições, são designados respectivamente, em famílias e séries (EMBRAPA, 2018).

## **2.4 Caracterização dos Solos**

### **2.4.1 Análise Granulométrica**

A composição granulométrica de um solo é a proporção relativa das massas dos diferentes diâmetros dos grãos que constituem o agregado, em porcentagem. Logo, sua importância é a classificação do solo ensaiado quanto a sua textura, determinando-as em frações de acordo com os tamanhos de suas partículas. Tais frações podem ser divididas em muito grossas, grossas, finas e muito finas, para posterior caracterização e avaliação de seu comportamento em diferentes empregos (CAPUTO e CAPUTO, 2015).

É possível determinar o tamanho das partículas presentes em determinado solo através de dois métodos, quais sejam, do peneiramento ou da sedimentação. O ensaio de peneiramento utilizado para grãos com diâmetros maiores que 0,075mm e o ensaio de sedimentação para diâmetros menores que 0,075mm (DAS, 2011).

Para ensaio de peneiramento é utilizado uma pilha de peneiras em ordem de tamanho decrescente, a peneira divisora será de nº200 (0,075mm). Com as partículas retidas nas peneiras são determinadas a porcentagem passante de cada e representadas em gráfico quanto à função da abertura da peneira, em escala logarítmica. A porção mais fina do solo passante na peneira de abertura 0,075mm será sedimentada (DAS, 2011).

Segundo Pinto (2006) a sedimentação se baseia na Lei de Stokes, ou seja, ao aplicar-se partículas em água, elas terão uma queda a certa velocidade, que é encontrada através do tempo de sedimentação. Através dos cálculos da lei antes citada é possível encontrar uma curva granulométrica. De acordo com a NBR 6502:1995 (ABNT, 1995) é possível classificar quanto a seus diâmetros:

- Pedregulho: entre 2 mm e 60 mm;
- Areia: entre 0,06 mm e 2 mm;
- Silte: entre 0,002 mm e 0,06 mm;

-Argila: menor do que 0,002 mm.

#### **2.4.2 Limites de Atterberg**

A distribuição granulométrica sozinha não é capaz de caracterizar todos os comportamentos do solo, logo que as frações mais finas têm maior influência em seu desempenho, pois sua superfície específica é maior. As argilas chegam a apresentar 300 m<sup>2</sup> por cm<sup>3</sup>, distintas de siltes com 125 cm<sup>2</sup> por cm<sup>3</sup> de volume, com variações grandes entre partículas, se faz necessário maiores detalhes de seus comportamentos (PINTO, 2006).

Os estudos foram voltados especialmente ao desempenho do solo perante a presença de água, e quais podem ser suas reações a diferentes teores de umidade. Encontrando-se assim, comportamentos quando muito úmidos semelhantes a líquidos e quando mais secos, tornando-se quebradiços e extremamente plásticos em alguns casos. Logo criam-se limites de liquidez e de plasticidade para caracterização e classificação do solo quanto a sua consistência (PINTO, 2006).

Os limites de Atterberg consistem no Limite de Liquidez (LL) e de Plasticidade (LP) do solo, ambos encontrados através de ensaios da ABNT. A diferença entre eles é o Índice de Plasticidade (IP) do solo, normalmente para quesito de classificação emprega-se LL e IP (PINTO, 2006).

O Limite de Liquidez é definido pelo teor de umidade presente na amostra de solo ensaiada pelo aparelho de Casagrande. O ensaio é executado de acordo com a NBR 6459:2016 (ABNT, 2016). O Limite de Plasticidade é o menor teor de umidade possível moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro com a palma da mão. O ensaio é executado de acordo com a NBR 7180:2016 (ABNT, 2016).

Burmister (1950) *apud* Das (2011) indica de forma qualitativa os índices de plasticidade do solo (Tabela 1). Pinto (2006), traz como valores de referência índices de Atterberg de alguns tipos de solos encontrados no Brasil (Tabela 2).

Tabela 1 - Índice de Plasticidade

<b>IP</b>	<b>Descrição</b>
0	Não Plástico
1-5	Ligeiramente Plástico
5-10	Plasticidade baixa
10-20	Plasticidade média
20-40	Plasticidade alta
>40	Plasticidade muito alta

Fonte: Das (2011).

Tabela 2 – Plasticidade de alguns solos brasileiros

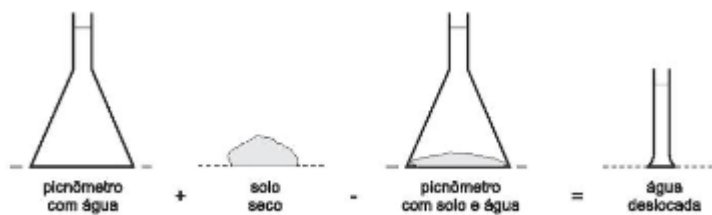
<b>Solos</b>	<b>LL %</b>	<b>IP %</b>
Residuais de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaisse	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila porosa vermelha de São Paulo	65 a 85	25 a 40
Argilas variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: Pinto (2006).

### 2.4.3 Peso específico real dos grãos

Para Pinto (2006) essa característica se dá através da relação entre o peso das partículas do solo e o seu volume. Ele é determinado em laboratório com uso de um picnômetro, analisando o deslocamento da água durante o ensaio. Com um solo seco conhecido completa-se o picnômetro com água, tendo um peso total conhecido. Conforme a Figura 1, tendo um picnômetro completo com água, mais o peso do solo seco, menos o peso total, encontra-se a quantidade de água deslocada, logo tem-se o volume do solo.

Figura 1 - Ensaio de peso específico real dos grãos



Fonte: Pinto (2006).

O valor do peso específico real dos grãos varia de acordo com o solo a ser ensaiado, em sua maioria encontram-se valores em torno de  $27 \text{ kN/m}^3$ . Solos arenosos apresentam valores mais baixos em torno de  $26,5 \text{ kN/m}^3$  e solos argilosos podem chegar até  $30 \text{ kN/m}^3$  (PINTO, 2006).

## 2.5 As classificações MCT E G-MCT

### 2.5.1 Classificação MCT

A classificação MCT obteve o nome por características de seus ensaios, onde M vem de miniatura por utilizar corpos de prova menores que o normal, C por serem compactados e T por se tratar de solos tropicais. Esse método surgiu de estudos de Nogami e Villibor (1981,1985), que auxiliaram no desenvolvimento e aplicações de outros estudos em torno da área rodoviária (VILLIBOR E ALVES, 2019).

De acordo com Villibor e Alves (2019) os ensaios para determinação dessa classificação se baseiam em torno da compactação, expansão, infiltrabilidade, permeabilidade, perda de massa e outros quesitos. Eles possibilitam a divisão dos solos em dois grupos, quais sejam, com comportamento laterítico (L) e com comportamento não laterítico (N), onde são subdivididos em sete grupos de acordo com sua granulometria:

- **LA - Areia Laterítica Quartzosa:** apresenta pequena quantidade de finos, assim elevado módulo de resiliência e pouca coesão. Geralmente tem coloração rósea, arroxeadada ou amarela, pela presença de óxido de ferro no processo de laterização.

- **LA' - Solo Arenoso Laterítico:** diferente do outro grupo, este possui uma quantidade média de finos, uma areia argilosa. Possui elevado módulo de resiliência e mais coesão.

●**LG' - Solo Argiloso Arenoso:** podem incluir-se nesse grupo argilas, argilas arenosas ou siltosas, e siltes argilosos. Muito similar ao grupo LA', apresentam elevada concentração de em suas camadas compactadas, menor capacidade de suporte e módulo de resiliência menor que o grupo anterior.

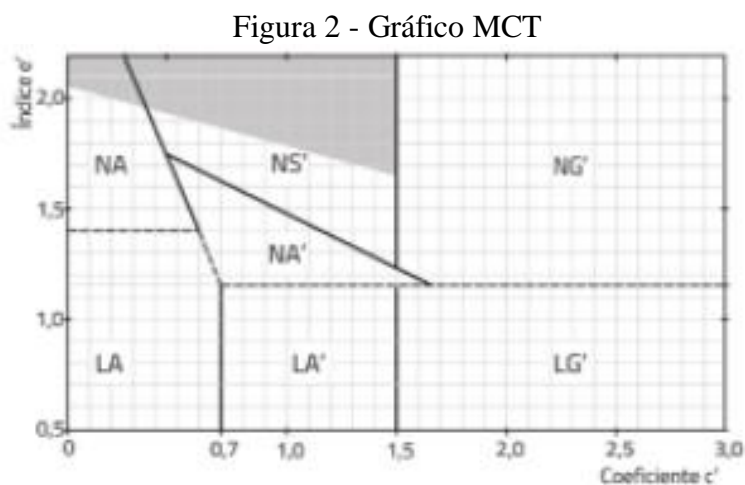
●**NA - Areia Não Laterítica:** inclui-se nesse grupo areias e siltes, os seus melhores solos são os passantes na peneira 0,075mm que podem apresentar elevado módulo de resiliência.

●**NA' - Solo Arenoso Não Laterítico:** os solos com areia bem graduada podem ser utilizados em camadas de pavimentos, exceto que contenham mica na fração. Os melhores solos desse grupo são os próximos ao grupo LA e LA'.

●**NS' - Solo Siltoso Não Laterítico:** são solos típicos desse grupo os siltes e siltes arenosos. Não é um solo recomendado para camadas finais de revestimento, por sua deficiência no quesito finos, não formando boas misturas solos-agregado.

●**NG' - Solo Argiloso Não Laterítico:** apresenta característica de argilas tradicionais, ou seja, expansão, plasticidade, contração e compressibilidade. Não indicado para camadas nobres de revestimento.

É possível observar essas proximidades entre os grupos, anteriormente citadas, no gráfico MCT da Figura 2. Suas características e indicativos de aplicações são apresentadas na Tabela 4 (VILLIBOR E ALVES, 2019).



Fonte: Villibor e Alves (2019).

Tabela 3 - Aplicações dos grupos de solo MCT

Designação		Granulometrias típicas Designações do T1-71 do DER-SP						
		areias siltes (q, s)	areias siltosas	siltes (k, m) siltes arenosos	argilas argilas arenosas argilas silteosas siltes argilosos	areias	areias argilosas	argilas argilas arenosas argilas silteosas siltes argilosos
k=caulinitico    m=micáceo s=sericitico    q=quartzoso		N = Não Laterítico				L = Laterítico		
COMPORTAMENTO		NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
GRUPO MCT		NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Propriedades	MINI-CBR (%) sem imersão perda por imersão	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	EXPANSÃO (%)	B	B	E	M, E	B	B	B
	CONTRAÇÃO (Ct)	B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	COEF. DE PERMEABILIDADE (k)	M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	COEFICIENTE DE SORÇÃO (s)	E	B, M	E	M, E	B	B	B
Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal		EE = Muito Elevado E = Elevado			M = Médio B = Baixo			
Utilização*	Base de pavimento	n	4 <sup>º</sup>	n	n	2 <sup>º</sup>	1 <sup>º</sup>	3 <sup>º</sup>
	Reforço do subleito compactado	4 <sup>º</sup>	5 <sup>º</sup>	n	n	2 <sup>º</sup>	1 <sup>º</sup>	3 <sup>º</sup>
	Subleito compactado	4 <sup>º</sup>	5 <sup>º</sup>	7 <sup>º</sup>	6 <sup>º</sup>	2 <sup>º</sup>	1 <sup>º</sup>	3 <sup>º</sup>
	Aterro (corpo) compactado	4 <sup>º</sup>	5 <sup>º</sup>	6 <sup>º</sup>	7 <sup>º</sup>	2 <sup>º</sup>	1 <sup>º</sup>	3 <sup>º</sup>
	Proteção à erosão	n	3 <sup>º</sup>	n	n	n	2 <sup>º</sup>	1 <sup>º</sup>
Revestimento primário	5 <sup>º</sup>	3 <sup>º</sup>	n	n	4 <sup>º</sup>	1 <sup>º</sup>	2 <sup>º</sup>	
* A "utilização" é representada em prioridade de escolha (1 <sup>º</sup> , 2 <sup>º</sup> , 3 <sup>º</sup> ...), sendo "n" não recomendado								
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA								

Fonte: Villibor e Alves (2019).

A Tabela 3 traz uma tabela de hierarquização quanto à aplicação dos solos classificados de acordo com MCT, com indicações de utilização no meio rodoviário. A primeira parte da tabela identifica o comportamento dos solos das colunas quanto aos ensaios que foram submetidos. Logo abaixo, encontra-se uma segunda parte, onde é indicado as prioridades de escolha dos solos em questão para aplicação em determinadas camadas ou fases da construção de estradas.

De acordo com especificações de DER/PR (2005), a Figura 5 mostra a potencialidade da utilização de cada subgrupo dos materiais anteriormente comentados no revestimento primário de estradas rurais. Os solos do grupo LA são os mais recomendados e não apresentam restrições para estradas de baixo volume de tráfego.

Tabela 4 - Utilização dos grupos quanto a revestimento primário

CLASSIFICAÇÃO MCT	POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO
LA	Aplicável como revestimento primário para estradas de baixo volume de tráfego médio diário (<50 veículos por dia), greide plano a suave, em camadas de pequena espessura (<2 cm), sobrejacente à camada coesiva com suporte adequado. Apresentam melhores características quanto mais bem graduados e menor a percentagem de areia fina.
NA	Aplicável como revestimento primário para estradas de baixo volume de tráfego médio diário (<50 veículos por dia), greide plano a suave, em camadas de pequena espessura (<2 cm), sobrejacente à camada coesiva com suporte adequado. Apresentam melhores características quanto mais bem graduados e menor a percentagem de areia fina.
LA'	Aplicável como revestimento primário. Para valores de $c'$ menores que 1, a durabilidade deve ser avaliada.
NA'	Aplicável como revestimento primário. Zona limitrofe com NS' e NG' ( $e' \geq 1,8 - 0,5 c'$ ) deve atender a critérios complementares. A durabilidade deve ser avaliada.
NS'	Não é aplicável como revestimento primário, exceto quando na faixa limitrofe com NA' ( $e' \leq 2,1 - 0,5 c'$ ), onde podem ser utilizados desde que atendam aos critérios complementares. Neste caso, a durabilidade deve ser avaliada.
LG'	Aplicável como revestimento primário desde que corrigida a deficiência de aderência com a cravação de agregado com dimensões entre 1,5 a 3,75 cm. Para $c' < 1,7$ pode ser utilizado sem aplicação de agregados, desde que o greide seja plano ou suave. Apresentam excelente durabilidade. Na faixa de limitrofe com NA' e NG' ( $e'$ entre 1,10 e 1,15) deve atender aos critérios complementares.
NG'	Não é aplicável como revestimento primário, exceto faixa limitrofe com LG' ( $e'$ entre 1,15 e 1,20) onde podem ser utilizados desde que atendam aos critérios complementares. Neste caso, apresentam deficiência de aderência a ser corrigida com a cravação de agregado com dimensões entre 1,5 a 3,75 cm.

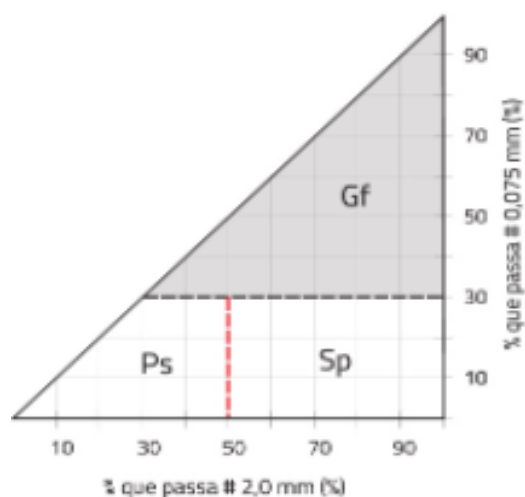
Fonte: DER/PR (2005).

### 2.5.2 Classificação G-MCT

A classificação G-MCT foi desenvolvida com o propósito de classificar solos tropicais grossos e orientar na escolha deles na área de pavimentação, como base e sub-base. Divide-se os finos dos grossos, os passantes na peneira 2,0mm e peneira 0,075mm, conforme a Figura 3, onde sabe-se que: Ps é pedregulho com solo, Sp é solo com pedregulho e Gf sendo granular fino (VILLIBOR E ALVES, 2019).



Figura 3 - Tipos granulométricos G-MCT



Fonte: Villibor e Alves (2019).

É possível através da granulometria (Ps, Sp e Gf) e das classificações MCT antes mostradas, obter uma classificação G-MCT. Ela relaciona as características dos solos estudados, norteando escolhas de melhores solos a serem utilizados. As Tabelas 5, 6 e 7 trazem essa classificação conforme indicada por Villibor e Alves (2019).

Tabela 5 - Classificação G-MCT

CLASSIFICAÇÃO G-MCT									
Granulometria			Grupo MCT da parte fina da amostra						
% que passa		Tipos	LA	LA'	LG'	NA	NA'	NS'	NG'
# n° 10 (2,0 mm)	# n° 200 (0,075 mm)		Classe GL			Classe GN			
Grupo G-MCT do solo de granulação grossa									
< 50	< 30	Ps	Ps-LA	Ps-LA'	Ps-LG'	Ps-NA	Ps-NA'	Ps-NS'	Ps-NG'
> 50	< 30	Sp	Sp-LA	Sp-LA'	Sp-LG'	Sp-NA	Sp-NA'	Sp-NS'	Sp-NG'
< 100	> 30	Gf	Gf-LA	Gf-LA'	Gf-LG'	Gf-NA	Gf-NA'	Gf-NS'	Gf-NG'






Fonte: Villibor e Alves (2019).

Tabela 6 - Hierarquização e propriedade de solos com comportamento laterítico

CLASSIFICAÇÃO G-MCT									
CLASSE GL (GRANULAR COM FINOS DE COMPORTAMENTO LATERÍTICO)									
TIPO GRANULOMÉTRICO	Ps: Pedregulho com solo; Sp: Solo com pedregulho; Gf: Granular fino								
GRUPOS MCT DOS FINOS ( $\phi < 2,0$ mm)	LA		LA'			LG'			
CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS GRANULARES	Pedregulho com areia laterítica	Areia laterítica com pedregulho	Solo granular fino de areia laterítica com pedregulho	Pedregulho com solo arenoso laterítico	Solo arenoso laterítico com pedregulho	Solo granular fino arenoso laterítico com pedregulho	Pedregulho com solo argiloso laterítico	Solo argiloso laterítico com pedregulho	Solo granular fino argiloso laterítico com pedregulho
Grupo G-MCT	Ps-LA	Sp-LA	Gf-LA	Ps-LA'	Sp-LA'	Gf-LA'	Ps-LG'	Sp-LG'	Gf-LG'
PROPRIEDADES	Suporte CBR	E, EE	E	E, EE	F, EE	M, E	E		
	Expansão CBR (E)	B	B	B	B	B	B		
	Contração* (C)	B	B	B	B	B	B, M	M	
	Coef. Permeabilidade* (k)	E	M, E	E	M	M, E	B, M		
Propriedades estimadas em CPs na MEAS <sub>máx</sub> da EN	EE = Muito Elevado E = Elevado M = Médio B = Baixo Intervalos de valores indicados na Tabela 4.4								
UTILIZAÇÃO	Base e sub-base	2*	5*	1*	4*	3*	6*		
	Reforço e/ou subleito	1*	4*	2*	5*	3*	6*		
	Proteção à erosão e revestimento primário	n	5*	1*	3*	2*	4*		
	Utilização: prioridade de escolha (1*, 2*, 3*...), n = não recomendado								
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	A representação gráfica é obtida com os tipos granulométricos associada ao grupo de seu fino (segundo a MCT).						Exemplos		
TIPOS GRANULOMÉTRICOS:									

Fonte: Villibor e Alves (2019).

Tabela 7 - Hierarquização e propriedades de solos com comportamento não laterítico

CLASSIFICAÇÃO G-MCT												
CLASSE GN (GRANULAR COM FINOS DE COMPORTAMENTO NÃO LATERÍTICO)												
TIPO GRANULOMÉTRICO (vide Tabela 4.5)	Ps: Pedregulho com solo		vide Tabela 4.6			vide Tabela 4.6						
GRUPOS MCT DOS FINOS ( $\phi < 2,0$ mm)	NA		NA'			NS'		NG'				
CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS GRANULARES	Pedregulho com areia não laterítica	Areia não laterítica com pedregulho	Solo granular fino de areia não laterítica com pedregulho	Pedregulho com solo arenoso não laterítico	Solo arenoso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino arenoso não laterítico com pedregulho	Pedregulho com solo siltiloso não laterítico com pedregulho	Solo siltiloso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino siltiloso não laterítico com pedregulho	Pedregulho com solo argiloso não laterítico	Solo argiloso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino argiloso não laterítico com pedregulho
Grupo G-MCT	Ps-NA	Sp-NA	Gf-NA	Ps-NA'	Sp-NA'	Gf-NA'	Ps-NS'	Sp-NS'	Gf-NS'	Ps-NG'	Sp-NG'	Gf-NG'
PROPRIEDADES	Suporte CBR	E, EE	E	E, EE	E, EE	M, E	E	M, E	E	M, E	B, M	E
	Expansão CBR (E)	B	B	B	B	B	B	B, M	B	B	B, M	M, E
	Contração* (C)	B	B	B	B	B	B, M	M	M	B, M	M	M
	Coef. Permeabilidade* (k)	E	M, E	E	M	M, E	B, M	M, E	B, M	M, E	B, M	
Propriedades estimadas em CPs na MEAS <sub>máx</sub> da EN	EE = Muito Elevado E = Elevado M = Médio B = Baixo Intervalos de valores indicados na Tabela 4.4											
UTILIZAÇÃO	Base, sub-base, reforço e/ou subleito (hierarquização preliminar)	2*	n	1*	n	3*	n	4*	n			
	Utilização: prioridade de escolha (1*, 2*, 3*...), n = não recomendado											
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	A representação gráfica é obtida com os tipos granulométricos associada ao grupo de seu fino (segundo a MCT).						Exemplos:					
TIPOS GRANULOMÉTRICOS:												

Fonte: Villibor e Alves (2019).

As Tabelas 6 e 7 trazem além de análises de propriedades físicas dos solos quanto à classificação G-MCT, indicações de utilização dos solos na malha rodoviária. Separa-se inicialmente os grupos em GL (Granular com finos com comportamento laterítico) e GN (Granular com finos com comportamento não laterítico) e, posteriormente, hierarquizando cada tipo de material para sua possível aplicação. Logo percebe-se a nítida indicação de solos com características lateríticas para aplicação em estradas, materiais Ps-LA' e Sp-LA' para uso em base e sub-base ou mesmo em revestimento primário, e em seguida Ps-LA e Sp-LA. Do grupo com propriedades não lateríticas tem-se a sugestão para utilização em base e sub-base de materiais com peculiaridades arenosas que é o caso de Ps-NA' e Sp-NA'.

## **2.6 Critérios para seleção de materiais para emprego em revestimento primário**

O revestimento primário em estradas de terra é o único meio para manter a via em boas condições de uso, independentemente das condições climáticas. Um bom composto para revestimentos seria de materiais com agregados graúdos, areia e finos. Nesse contexto, os finos ficam responsáveis pelo fechamento dos vazios da mistura, os agregados graúdos presentes são capazes de resistir ao peso de veículos de grande porte na via (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

É possível fazer o uso de camada sem agregados graúdos, desde que o material em questão seja de comportamento laterítico, ou mesmo características indicadas em uso rodoviário. Entre esses parâmetros têm-se elevada resistência mecânica dos grãos e da camada compactada, baixa deformabilidade e estabilidade volumétrica quando imerso em água (NERVIS, 2016).

Os materiais aglutinantes, como a argila, são de extrema importância na mistura de um bom revestimento. O insumo tem características capazes de compactar e cimentar melhor os agregados do revestimento, fazendo com que os finos da mistura não se desconectem e virem pó, muito usual em locais de clima mais seco (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Um detalhe preponderante quanto ao revestimento além da qualidade, é a quantidade de material a ser aplicado, podendo por sua vez, ser o causador de defeitos a curto prazo. Porém não se tem conhecimento ao certo de qual espessura de camada é correto empregar-se, podendo variar de acordo com o local e os materiais a serem utilizados em cada caso (NERVIS, 2016).

Deve haver um dimensionamento da camada de revestimento primário, quanto ao tráfego da via, quantidade e tipo de automotores que circulam, características de suporte do subleito e trechos críticos de declividade. Quando se tem presença significativa de agregados graúdos indica-se uso de espessura a partir de 10 centímetros (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

## **2.7 Avaliação de defeitos em estradas rurais**

Com estudos comparativos de diversos métodos de avaliação de defeitos em estradas de terra já existentes, Ferreira (2004) concluiu que essas técnicas não foram criadas para aplicações em locais com clima e condições físicas de solo como o Brasil, o que as tornam inaplicáveis ou com resultados incertos. Porém, como não se têm um método criado especialmente para nossas circunstâncias, um dos mais indicados para aplicação em nosso país com ressalva de algumas alterações seria o RCS/DVI (*Road Condition Survey/Detailed Visual Inspection*). Entre as modificações para aplicação do método RCS/DVI em solo brasileiro estão: melhor definição dos valores-dedução atribuídas aos defeitos de pista e a verificação da severidade dos defeitos quanto a afundamento de rota, buracos e ondulações.

Segundo descrição de Ferreira (2004), RCS (*Road Condition Survey*) seria um levantamento de condições da estrada, analisando a estrada de forma completa para, se necessário, possíveis manutenções. Já DVI (*Detailed Visual Inspection*) seria uma inspeção visual detalhada dos pontos que de acordo com RCS, necessitam de maior atenção e possíveis manutenções a curto prazo.

O objetivo do método DVI é conseguir visualmente descobrir o tipo, a densidade e a severidade dos defeitos do trecho em questão, podendo identificar possíveis causas e manutenções para eles. Os parâmetros de DVI são avaliados em uma escala de 5 pontos, as condições são classificadas quanto a porcentagem da superfície da área em questão, pela densidade do defeito, e/ou pela severidade em centímetros, no caso de ondulações. Na Figura 8, a tabela de classificação do DVI, pode-se aplicar o que antes foi frisado, assim como, para cada número dado há uma associação com B (baixa), M (média) e A (alta) quanto a coluna de severidade (FERREIRA, 2004).

Tabela 8 - Planilha de inspeção para campo do método RCS/ DVI

Tipo de defeito	Método de Inspeção	Critério de Avaliação			Classe de Severidade		
		Valor	Densidade	Severidade	B	M	A
Afundamento de Trilha de Roda - ATR	Severidade: colocar uma madeira resistente de 2m na trilha e medir com uma régua a sua profundidade. Medir todas as ATR's observadas em toda a largura da estrada; o valor representativo é o maior valor medido. Densidade: porcentagem do comprimento da subseção.	1	<10%	<20mm	1	3	5
		2	10-50%	20-50mm	2	4	5
		3	>50%	>50mm	3	5	5
Ondulações - OND	Medido pela colocação do gabarito no topo do sulco; medir a profundidade tanto como a distância entre dois sucessivos sulcos.	1	<10%	<20mm	1	3	4
		2	10-50%	20-50mm	2	3	5
		3	>50%	>50mm	3	4	5
Perda de Declividade - PED (STI)	Severidade: a medida executada com o gabarito equipado com um nível de cano e adaptado para declividade requerida. O gabarito é colocado na transversal no centro; um no final é colocado no centro. O outro do fim é levantado na altura h (mm) para conduzir o gabarito na posição do nível, o intervalo entre a face inferior do gabarito e a superfície da estrada constitui a medida da declividade transversal. Densidade: porcentagem da superfície.	1	<10%	>50mm	1	3	4
		2	10-50%	20-50mm	2	3	5
		3	>50%	<20mm	3	4	5
Espessura de Cascalho - ESC	Medida a cada 500m a espessura remanescente do revestimento da superfície cavando um buraco até o nível da sub-base. Preencher o buraco após a medição recolocando o material escavado.	1	<10%	<10mm	1	3	5
		2	10-50%	10-50mm	2	3	5
		3	>50%	>50mm	3	4	5
Sulcos de Erosão - SUE	Colocar o gabarito na valeta e medir sua profundidade em mm com uma fita ou trena.	1	<10%	<20mm	1	3	5
		2	10-50%	20-50mm	2	4	5
		3	>50%	>50mm	3	5	5
Buracos - BUR	Densidade: Avaliação/Estimação do número de buracos para cada 100m de comprimento da estrada. Severidade: colocar o gabarito sobre o buraco e medir a profundidade do mesmo.	1	<5%	<20mm	1	3	5
		2	5-15%	20-40mm	2	4	5
		3	>15%	>40mm	3	5	5
Atoleiro - ATO	Densidade: Estimação da porcentagem da superfície afetada.	1	<5%				
		2	5-50%				
		3	>50%				

Sendo: B - Baixo; M - Médio e A - Alto

Fonte: Ferreira (2004).

Conforme o autor, com a média de cada defeito classificam-se as condições da estrada, que podem variar entre falida e excelente, conforme Tabela 9. Para a realização da avaliação são necessários um veículo, cones e cavaletes, trena, régua com borda reta de 2 metros, calço, gabarito de seção com nível bolha, pá, picareta e uma câmera fotográfica (FERREIRA, 2004).

Tabela 9 - Classificação de condições da estrada

<b>Escala</b>	<b>0 - 1,0</b>	<b>1,1 - 2,0</b>	<b>2,1 - 3,0</b>	<b>3,1 - 4,0</b>	<b>4,1 - 5,0</b>
<b>Classificação</b>	<b>Excelente</b>	<b>Boa</b>	<b>Regular</b>	<b>Ruim</b>	<b>Falida</b>

Fonte: Ferreira (2004).

Adaptando o método, Nervis (2016) utilizou-se de outros equipamentos para maior precisão e facilidade de aplicação da avaliação em campo. Foi adotado um inclinômetro digital metálico de 1,20m de comprimento para gabarito de medição de defeitos como abaulamento da pista, afundamento de trilha de roda, entre outros. A atualização de ferramentas como essa traz ainda mais exatidão ao colher os dados, possibilitando que se empregue as escalas posteriores de forma justa.

Ainda aperfeiçoando técnicas de aplicação dos métodos estudados, Nervis (2016) pode desenvolver com base na teoria de Ferreira (2004), uma forma de aplicar as Tabelas 8 e 9 para um outro defeito não previsto, mas muito comum em solos brasileiros, a perda de abaulamento da via. Logo, houvesse a determinação de faixas de porcentagem para classificação de tal defeito em escala, como segue na Tabela 10. Vias com abaulamento maior que 5% é dado como não ocorrência do defeito.

Tabela 10 - Tabela de severidade do defeito de abaulamento de pista

<b>Severidade</b>	<b>Classe de Severidade</b>
$\geq 5\%$	Baixa (B)
3,5% a 5%	Média (M)
$\leq 3,5\%$	Alta (A)

Fonte: Ferreira (2004).

Conforme salienta Nervis e Bittencourt (2012) o abaulamento de pista é comum e desencadeador de outros defeitos que alteram o conforto na trafegabilidade da estrada rural. Quando muito baixo gera acúmulo de água na pista formando buracos, e quando muito alto faz com que a água ao escorrer gere sulcos de erosão. Recomenda-se uma faixa de abaulamento médio entre 5 e 7%, com maior durabilidade da conformação do revestimento.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição física, geomorfológica, geológica e pedológica do local

Foi escolhido um trecho de estrada rural no município de Herveiras-RS para avaliar os defeitos da via, de acordo com os métodos anteriormente apresentados. O município de Herveiras está localizado na região do Vale do Rio Pardo, no centro oriental rio-grandense, há cerca de 200 km da capital (Figura 4).

Figura 4 – Cidade de Herveiras no mapa do Rio Grande do Sul



Fonte: Google Maps (2022).

Através de consultas aos mapas e bibliografia do Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, disponibilizado pelo site da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do estado, é possível encontrar as informações detalhadas a seguir. De acordo com a fonte, o clima do Rio Grande do Sul é temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido. O trecho da cidade a ser analisado tem temperatura média anual de 16° C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600 a 1700 mm. Encontra-se presente na unidade geomorfológica do planalto meridional, com altitude de 680 metros do nível do mar, segundo fonte do IBGE. Quanto ao bioma, os mapas do atlas socioeconômico indicam o município de análise pertencente à mata atlântica, que se destaca pela predominância de vegetação florestal.

O trecho a ser estudado encontra-se no mapa geológico da CPRM - Serviço Geológico do Brasil, na área K1 β gr, representado por um tom de verde escuro. Essa área integra a formação geológica constituída por derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e pahoehoe comuns, intercalações com os arenitos Botucatu. Pertencente ao éon Fanerozóico, era Mesozóico, do período Cretáceo.

O tipo de solo encontrado no local a ser estudado pode ser identificado através de análises de mapas de solos do estado do Rio Grande do Sul. Assim foi possível encontrar a indicação de que se localiza em uma região de associação de solos, designada pela sigla RRe1-CXe-TXp2 (STRECK *et al.*, 2008). Através da observação de um talude de corte na estrada (Figura 5) foi possível observar que no trecho em estudo prevalece a primeira classe (RRe1), a qual trata-se de um neossolo regolítico eutrófico típico (Unidade Charrua).

Figura 5 – Horizonte encontrado em levantamento de campo



Fonte: Autor (2022).

Os neossolos são solos de formação recente, formados a partir de diversos tipos diferentes de rochas, e podem ser encontrados em locais distintos, independente de seus relevos e drenagem. Essa classificação tem como característica um perfil de sequência A-A/C-C, onde o A/C é uma transição entre os dois horizontes, ou seja, há a ausência de requisitos para B (STRECK *et al.*, 2008).



### 3.2 Levantamento dos defeitos do trecho

O trecho que foi avaliado na cidade de Herveiras-RS constituiu-se de um comprimento de 60 metros de uma estrada vicinal de terra do interior do município. Ela tem fluxo contínuo e recebe alta demanda de veículos durante o dia, sendo a responsável por interligar umas das maiores comunidades ao centro da cidade, como pode ser analisado na Figura 6.

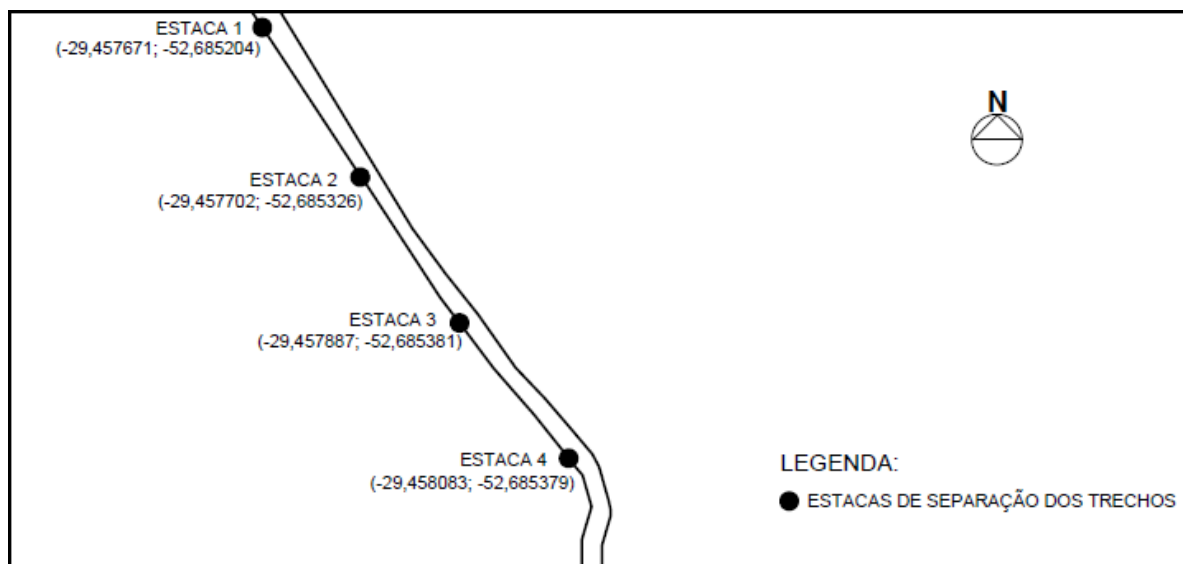
Figura 6 – Localização e distância do trecho estudado do centro do município



Fonte: Google Maps (2022).

O trecho de 60 metros foi marcado com estacas de madeira, com a utilização de uma trena, em subtrechos de 20 metros, e posteriormente foram incluídos os pontos no GPS para adquirir as coordenadas geográficas para o estudo, conforme demonstrado no croqui da Figura 7 e na implantação em campo da Figura 8. Através dessa demarcação aplicou-se a planilha de avaliação anteriormente apresentada na Tabela 8.

Figura 7 – Croqui do estaqueamento da estrada para divisão de subtrechos



Fonte: Autor (2022).

Figura 8 – Implantação do estaqueamento em campo para avaliação



Fonte: Autor (2022).

A metodologia para o levantamento dos defeitos do trecho foi realizada através do DVI (*Detailed Visual Inspection*) com as adaptações agregadas por Ferreira (2004) e Nervis (2016) para os solos brasileiros, conforme detalhado no item 2.7. Destaca-se o uso da treliça de madeira utilizada para auxiliar na determinação de profundidade de buracos e trilha de roda, assim como o inclinômetro digital de 1,20 m para declividades e abaulamento de pista, ambos demonstrados em uso na Figura 9.

Figura 9 – Equipamentos de auxílio para avaliação em campo



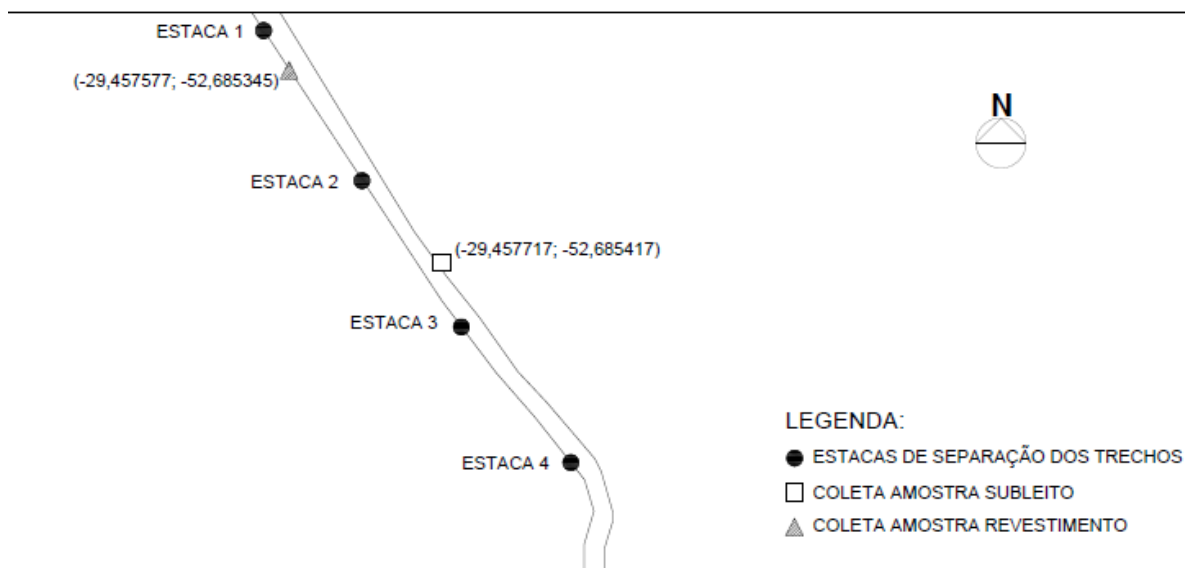
Fonte: Autor (2022).

### 3.3 Coleta de Amostras

O levantamento de defeitos realizado no trecho, traz a necessidade de analisar-se com ensaios laboratoriais os materiais constituintes das camadas da estrada. Essa coleta de amostras auxilia para melhores e mais precisos resultados da pesquisa em busca de soluções para os defeitos encontrados.

Foi necessário a coleta de uma amostra deformada de 30 kg de solo retirado do revestimento primário no trecho e outra também de 30 kg retirada do subleito da estrada de terra no trecho. É possível observar os pontos de coleta de acordo com o croqui da Figura 10, onde foram também indicados seus pontos geográficos. As amostras foram armazenadas separadamente e transportadas até o laboratório de solos da universidade para os ensaios.

Figura 10 – Croqui dos pontos de coleta de amostras



Fonte: Autor (2022).

### 3.4 Ensaios de laboratório

#### 3.4.1 Caracterização do solo

Para caracterização inicial do solo foram necessários ensaios laboratoriais, tais como: análise granulométrica, Limite de Liquidez e de Plasticidade e massa específica real dos grãos. Os ensaios foram realizados de acordo com a revisão bibliográfica e as Normas Brasileiras:

- ABNT NBR 6457/2016 - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
- ABNT NBR 7181/ 2016 - Solo — Análise granulométrica
- ABNT NBR 6458/2016 - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água
- ABNT NBR 6459/2016 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez
- ABNT NBR 7180/2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade

##### 3.4.1.1 Ensaio de Análise Granulométrica

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7181:2016 (ABNT, 2016) que consiste nos processos de peneiramento e sedimentação. O material a ser utilizado no ensaio foi preparado anteriormente de acordo com indicações da NBR 6457:2016 (ABNT, 2016).

Para o processo de peneiramento, o solo foi destorroado e passado na peneira 2,0mm, em seguida lavado para dispersar os grãos finos e levado para secagem em estufa a 105 °C. O material retido foi usado para o peneiramento grosso. O material passante da peneira 2,0mm passou pela determinação da umidade higroscópica. Logo, o solo retido na peneira de 0,075mm utilizou-se para o peneiramento fino (Figura 11).

Figura 11 – Conjunto de peneiras para peneiramento fino



Fonte: Autor (2022).

Para o processo de sedimentação, separou-se o material passante na peneira 2,0 mm, cerca de 70g. Em um béquer de 250cm<sup>3</sup> juntou-se o solo anteriormente separado com 125cm<sup>3</sup> de defloculante, solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7g do sal por 1 000 cm<sup>3</sup> de solução. Manteve-se a mistura em repouso por 12 horas. Após o período, submeteu-se a dispersão por 15 minutos (Figura 12).

Para acompanhar a sedimentação foi necessário transferir a solução para uma proveta de 1000 cm<sup>3</sup>, completando-a com água destilada. Em local com temperatura constante, tapou-se a proveta e realizou-se movimentos circulares por um minuto. Após esse procedimento, foram feitas anotações de um densímetro mergulhado na mistura, em tempos de 0,5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos e 1, 2, 4, 8 e 24 horas a partir do momento de início da sedimentação (Figura 13). Posterior a passagem das 24 horas, o solo sedimentado foi lavado em peneira 0,075mm, e o material retido foi encaminhado para secagem em estufa e levado para o peneiramento fino.

Figura 12 – Amostra em dispersão



Fonte: Autor (2022).

Figura 13 – Amostras em sedimentação



Fonte: Autor (2022).

Através destes procedimentos foi possível calcular os dados necessários para a análise granulométrica do solo. Definiu-se a massa total de cada amostra seca, a porcentagem de material retidos em cada peneira no peneiramento grosso e fino, a porcentagem do material em suspensão analisado através do densímetro e o diâmetro das partículas em suspensão. Isso possibilitou a criação de uma curva granulométrica, com abscissas em escala logarítmica, que se dispõe o diâmetro das partículas e nas ordenadas, com escala aritmética, as porcentagens de partículas retidas e passantes nas peneiras.

#### **3.4.1.2 Limite de Liquidez**

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 6459:2016 (ABNT, 2016) que consiste basicamente no uso do equipamento de Casagrande. O material utilizado no ensaio foi preparado anteriormente de acordo com indicações da NBR 6457:2016 (ABNT, 2016).

Separou-se 200g de material passante na peneira 0,42mm em um recipiente de porcelana e acrescentou-se água destilada até que se formou uma mistura homogênea. Tal mistura foi preparada almejando-se ter uma consistência que sejam necessários 35 golpes para o fechamento da ranhura. O material era transferido para a concha do equipamento de Casagrande, moldando a espessura de 10mm, conforme exemplificado na Figura 14 e, posteriormente, com auxílio de um cinzel, fazia-se uma ranhura ao meio da concha. Então girava-se a manivela até o fechamento da ranhura, e retirava-se uma amostra de onde houve ligamento das bordas para determinação da umidade. Repetia-se o ensaio para que posteriormente fosse possível montar um gráfico e encontrar a umidade para 25 golpes, a qual corresponde ao Limite de Liquidez.

Figura 14 – Amostra de solo na concha do equipamento de Casagrande



Fonte: Autor (2022).

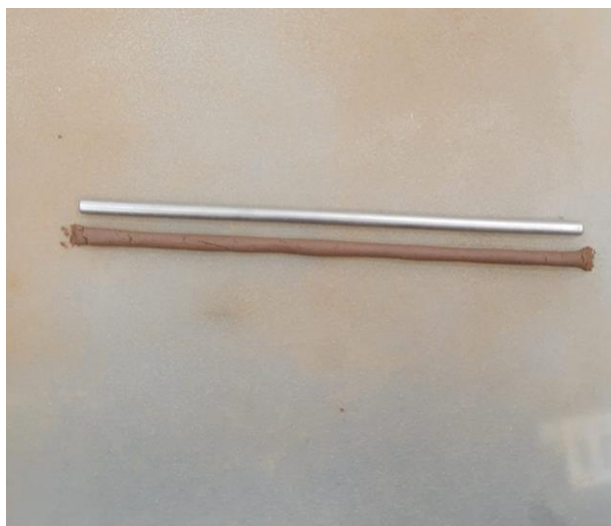
### 3.4.1.3 Limite de Plasticidade

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7180:2016(ABNT, 2016). O material utilizado no ensaio foi preparado anteriormente de acordo com as indicações da NBR 6457:2016 (ABNT, 2016).

Foi necessário cerca de 200g de solo passante na peneira 0,42mm, com teor de umidade aproximado ao do ensaio de Limite de Liquidez, ou alcançando uma consistência plástica. Separou-se então cerca de 10g da mistura, em forma de bola para ser rolada em cima de um vidro até atingir um formato cilíndrico. Comparou-se então esse cilindro com a haste de gabarito de diâmetro de 3mm e comprimento de 100mm, conforme Figura 15. Rolou-se a amostra até que houvesse fragmentação, assim transferindo para recipiente adequado para determinação do teor de umidade. A determinação do índice de plasticidade (IP) se dá através da subtração dos valores encontrados para Limite de Liquidez (LL) e de Plasticidade (LP), expresso em porcentagem.



Figura 15 – Comparação da amostra com haste gabarito



Fonte: Autor (2022).

#### **3.4.1.4 Massa específica real dos grãos**

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 6458:2016 (ABNT, 2016). O material utilizado no ensaio foi preparado anteriormente de acordo com indicações da NBR 6457:2016 (ABNT, 2016). Foi necessário a utilização do material passante na peneira 4,8mm, água destilada, picnômetros e uma bomba de vácuo Na Figura 16 é possível observar o conjunto durante o ensaio. Para a prática analisou-se o deslocamento da água durante o ensaio, para descoberta do volume do solo. Logo, com um solo seco conhecido completou-se o picnômetro com água, tendo um peso total conhecido. Com o picnômetro completo com água, mais o peso do solo seco, menos o peso total, encontrou-se a quantidade de água deslocada e assim o volume do solo.

Figura 16 – Conjunto Picnômetro na bomba de vácuo



Fonte: Autor (2022).

Através da Equação 1 é possível encontrar a massa específica dos grãos do solo, utilizando os dados recolhidos com o picnômetro. Foi realizado o ensaio duas vezes para cada amostra, sendo a média dos valores encontrados, utilizados para determinação da curva de saturação. Além disso, para a utilização nos cálculos da sedimentação, se faz necessário ensaiar da mesma forma descrita, o material passante na peneira de 2,0mm.

$$\rho_s = \frac{M1 \times 100 / (100 + w)}{[M1 \times 100 / (100 + w)] + M3 - M2} \times \rho_w(T) \quad (1)$$

Onde:

$\rho_s$ : massa específica dos grãos do solo, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>)

M1: massa de solo úmido

M2: massa do picnômetro ou balão volumétrico + solo + água, à temperatura T de ensaio

M3: massa do picnômetro ou balão volumétrico cheio de água até a marca de referência, à temperatura T de ensaio

w: umidade inicial da amostra

$\rho_w(T)$ : massa específica da água, à temperatura T de ensaio, obtida na Tabela A.1 da norma.

### 3.4.2 Ensaio da sistemática MCT

Para classificação dos solos quanto a MCT e G-MCT são necessários ensaios laboratoriais diferentes dos normalmente utilizados, levando em conta principalmente o tamanho dos equipamentos. Os moldes cilíndricos usados são de 50mm, designados como mini, por conta de seu porte e a aparelhagem necessária para o ensaio, conforme Figura 17 (VILLIBOR E ALVES, 2019).

Figura 17 – Equipamento para ensaio MCT e G-MCT



Fonte: Autor (2022).

O ensaio realizado foi de mini-MCV ou método M5, que consiste na aplicação de energias crescentes, até que haja um aumento da massa específica aparente para vários teores de umidade. A partir disso é possível encontrar várias curvas de deformabilidade (VILLIBOR E ALVES, 2019).

Após a compactação do mini-MCV, realizou-se o ensaio de perda de massa por imersão ou método M8, que consiste em utilizar o mini-MCV com uma borda externa de 10 mm de material e foi submerso em água durante 20 horas, como demonstrado na Figura 18. Após retirados do tanque, analisou-se aspectos do solo, e coloração da água que sai da cápsula, levando-a ao forno por 12 horas, para encontrar a massa perdida das cápsulas iniciais. Através

da determinação desses dados pode-se classificar em solos lateríticos ou não lateríticos (VILLIBOR E ALVES, 2019).

Figura 18 – Ensaio de perda de massa por imersão



Fonte: Autor (2022).

### 3.4.3 Ensaios da sistemática G-MCT

Quando se trata de G-MCT é importante uma análise tátil-visual de antemão para determinação da presença de solos com granulação mais grossa. Logo a classificação é dividida em duas fases, a primeira de definição de tipos granulométricos e a segunda de classificação MCT, com ensaio de compactação mini-MCV e perda de massa por imersão (VILLIBOR E ALVES, 2019).

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Defeitos do trecho de estrada de terra

Foi possível através do levantamento de defeitos realizado em campo no trecho definido da estrada de terra, no interior da cidade de Herveiras/RS, listar de forma quantitativa e visual os problemas encontrados. Para cada defeito da tabela de inspeção do método da Figura 8, classificou-se as condições da estrada de acordo com a Figura 9. Para isso, conforme já pré-definido foram divididos em três subtrechos de levantamento em campo. As Tabelas 11, 12 e 13, respectivamente, a seguir demonstram os dados levantados em campo e já classificados quanto as suas condições.

Tabela 11 – Classificação dos defeitos no subtrecho 1 da via

<b>DEFEITOS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>CONDIÇÕES</b>
Afundamento de Trilha de Roda - ATR	4	Ruim
Ondulações – OND	3	Regular
Sulcos de Erosão – SUE	3	Regular
Buracos – BUR	3	Regular
Atoleiros	-	-

Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 - Classificação dos defeitos no subtrecho 2 da via

<b>DEFEITOS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>CONDIÇÕES</b>
Afundamento de Trilha de Roda - ATR	4	Ruim
Ondulações – OND	-	-
Sulcos de Erosão – SUE	4	Ruim
Buracos – BUR	4	Ruim
Atoleiros	-	-

Fonte: Autor (2022).

Tabela 13 - Classificação dos defeitos no subtrecho 3 da via

DEFEITOS	CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÕES
Afundamento de Trilha de Roda - ATR	2	Boa
Ondulações – OND	-	-
Sulcos de Erosão – SUE	3	Regular
Buracos – BUR	5	Falida
Atoleiros	-	-

Fonte: Autor (2022).

Tendo em vista, de que será uma ferramenta importante nas descobertas das causas e soluções das deficiências da estrada, foram desenvolvidos croquis de representação dos problemas encontrados na via. Sendo um auxílio visual para futuros diagnósticos, onde encontram-se a distribuição e densidade dos defeitos levantados, conforme Figura 19, 21 e 23, assim como as imagens capturadas em campo das Figuras 20, 22 e 24. Manteve-se a divisão de subtrechos por questões de escala e comparações com as classificações.

Figura 19 – Croqui dos defeitos levantados no subtrecho 1



Fonte: Autor (2022).

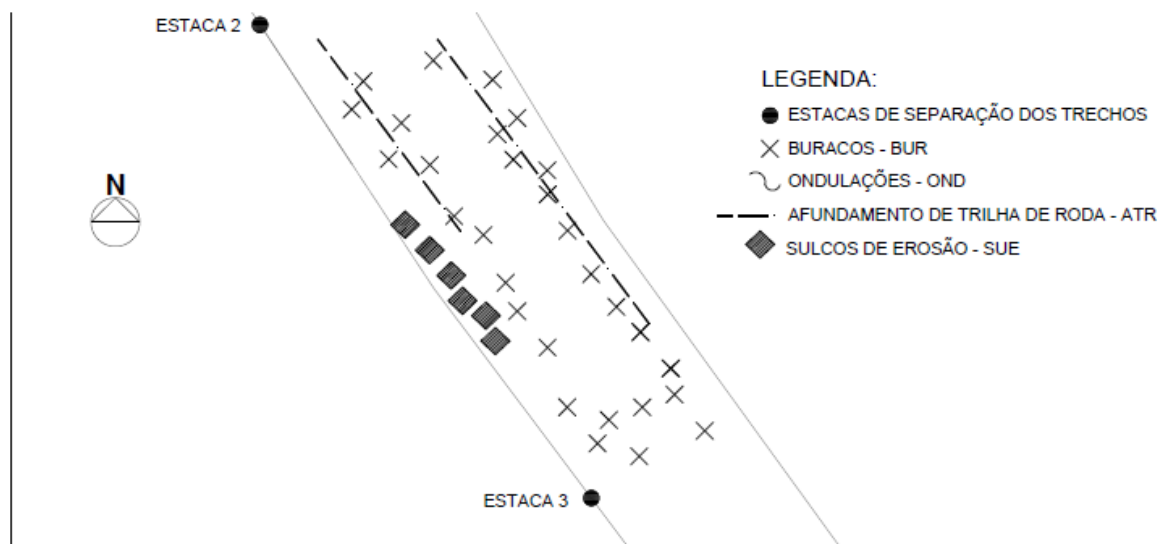
Figura 20 – Imagem da estrada no subtrecho 1



Fonte: Autor (2022).

As Figura 19 e 20 que compreendem o espaço avaliado entre as estacas 1 e 2, o qual teve sua distribuição de defeitos de forma menos densa, mas com maior severidade em alguns aspectos. Os buracos se apresentam em menor quantidade, mas de forma agressiva quanto à profundidade com média de 2,90 centímetros e diâmetro de 30 centímetros. O afundamento de trilha de roda pode ser encontrado somente em parte da via, e os sulcos de erosão bem ao centro das estacas. Além de ser o único subtrecho que apresenta o defeito de ondulações.

Figura 21 - Croqui dos defeitos levantados no subtrecho 2



Fonte: Autor (2022).

Figura 22 – Imagem da estrada no subtrecho 2

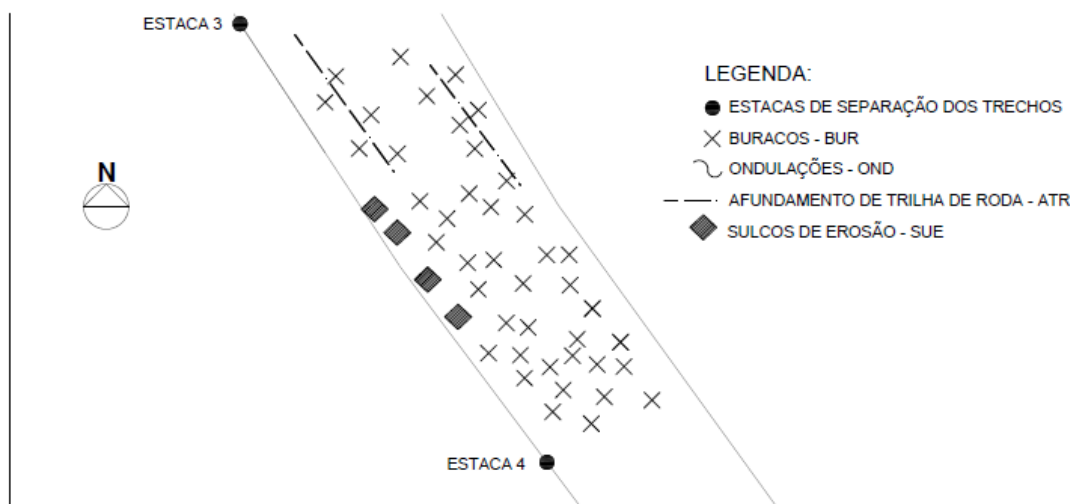


Fonte: Autor (2022).



As Figuras 21 e 22 que compreendem o espaço entre as estacas 2 e 3 onde já se percebe um aumento da densidade dos defeitos na pista. Não se encontra ondulações, porém a quantidade de buracos é quase o dobro em comparação com subtrecho 1, porém com profundidade média de 2,50 centímetros e 30 centímetros de diâmetro, assim como o afundamento de trilha de roda que ressurge e se estende ao decorrer da via. Os sulcos de erosão reaparecem do meio para o fim do estaqueamento ao mesmo lado que anteriormente.

Figura 23 - Croqui dos defeitos levantados no subtrecho 3



Fonte: Autor (2022).

Figura 24 – Imagem da estrada no subtrecho 3



Fonte: Autor (2022).

As Figuras 23 e 24 compreendem o espaço entre as estacas 3 e 4. É notório o aumento de densidade de alguns defeitos e a diminuição de outros. No caso dos buracos, aumentam de forma severa, sendo impossível desviá-los ao passar pelo trecho. Tanto que foram encontrados da estaca 4 em direção 3, em um comprimento de 6,50 metros de via, uma quantidade de 14 buracos, indicando a alta densidade do defeito. Porém, suas profundidades são menores em comparação com dados anteriores, com média de 2,10 centímetros e diâmetro de 30 centímetros. O afundamento da trilha de roda vem com continuação do subtrecho 2, mas não se estende ao longo da estrada. Os sulcos de erosão ressurgem ao meio, com menor severidade, e não se encontra defeitos de ondulações novamente.

A partir dos dados colhidos nos subtrechos da estrada em avaliação, foi possível chegar a condições globais da via para cada defeito. Utilizou-se média aritmética da classificação encontrada em cada trechos para criação dos resultados da Tabela 14.

Tabela 14 – Classificação global dos defeitos da via

<b>DEFEITOS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>CONDIÇÕES</b>
Afundamento de Trilha de Roda - ATR	3,33	Regular
Ondulações – OND	3	Regular
Sulcos de Erosão – SUE	3,33	Regular
Buracos – BUR	4	Ruim
Atoleiros	-	-

Fonte: Autor (2022).

Os defeitos como espessura de cascalho e perda de declividade também foram levantados em campo, conforme Tabela 15 e 16 e Figura 25, que demonstra o método de inspeção. Porém como não há um projeto de execução da via para comparações das disposições iniciais da estrada, não foi possível classificá-la quanto às suas condições.

Tabela 15 – Levantamento de espessura de cascalho da via

<b>Trechos</b>	<b>Espessuras</b>
Trecho 1	4 cm
Trecho 2	3 cm
Trecho 3	4,5 cm

Fonte: Autor (2022).

Figura 25 – Método de inspeção de espessura de cascalho em campo



Fonte: Autor (2022).

Tabela 16 – Levantamento de perda de declividade da via

<b>Trechos</b>	<b>Declividade (%)</b>
Trecho 1	1,4%
Trecho 2	1,9%
Trecho 3	0,5%

Fonte: Autor (2022).

Os dados de abaulamento da pista também foram levantados com o auxílio de um inclinômetro digital metálico de 1,20m. Sendo validados os valores de médias das leituras obtidas em campo, descritos nas Tabela 17 e 18, e classificadas conforme índices da Figura 10.

Tabela 17 – Levantamento de abaulamento da esquerda da pista

<b>Trechos</b>	<b>Esquerda</b>	<b>Classe Severidade</b>
Trecho 1	2,95%	Alta
Trecho 2	5,2%	-
Trecho 3	3,55%	Média

Fonte: Autor (2022).

Tabela 18 – Levantamento de abaulamento da direita da pista

<b>Trechos</b>	<b>Direita</b>	<b>Classe Severidade</b>
Trecho 1	1,65%	Alta
Trecho 2	1,25%	Alta
Trecho 3	4,85%	Baixa

Fonte: Autor (2022).

Outro detalhe importante colhido em campo, tendo em vista que não se tem um projeto dos dados iniciais da via, é a largura da estrada em cada subtrecho. As informações colhidas estão descritas no croqui da Figura 26. Observou-se também a falta e deficiência da via quanto a presença de elementos de drenagem como valetas/sarjetas e saídas d'água, como se pode observar na Figura 27, um dos lados não contém e o outro já está completamente assoreados, com água empossada.

Figura 26 – Croqui de levantamento de largura da pista



Fonte: Autor (2022).

Figura 27 – Falta e deficiência de valetas na estrada

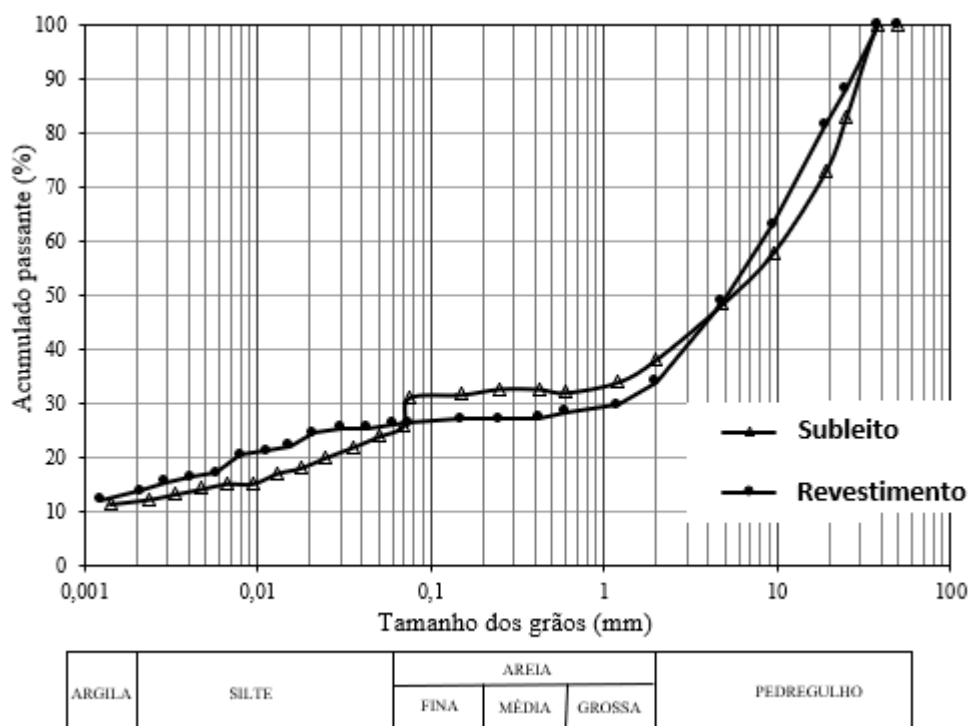


Fonte: Autor (2022).

## 4.2 Caracterização do solo

Na Figura 28, é possível observar as curvas dos dois solos coletados, o subleito e revestimento. A Tabela 19 é um resumo dos dados de caracterização dos materiais encontrados a partir dos ensaios anteriormente descritos no item 3.4.1.

Figura 28 – Curvas granulométricas dos solos



Fonte: Autor (2022).

Tabela 19 – Resumo das características geotécnicas dos solos

Propriedades		Materiais	
		Subleito	Revestimento
Granulometria	Pedregulho ( $2\text{mm} < \Phi \leq 60\text{mm}$ )	62%	67%
	Areia ( $0,06\text{mm} < \Phi \leq 2\text{mm}$ )	13%	7%
	Silte ( $0,002\text{mm} < \Phi \leq 0,06\text{mm}$ )	13%	15%
	Argila ( $\Phi \leq 0,002\text{mm}$ )	12%	11%
	Classificação granulométrica segundo a NBR 6502:1995	Pedregulho Arenoso-Siltoso	Pedregulho Siltoso
Peso específico real dos grãos ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )		23,9	26,3
Plasticidade	Limite de Liquidez - LL	41%	38%
	Limite de Plasticidade - LP	27%	25%
	Índice de Plasticidade - IP	14%	13%
	Classificação segundo Burmister (1949) <i>apud</i> Das e Sobhan (2014)	Plasticidade média	Plasticidade média
Classificação SUCS		GM Pedregulho Siltoso	GM Pedregulho Siltoso
Classificação da AASHTO		A-2-7 Pedregulho areno-siltoso	A-2-6 Pedregulho siltoso

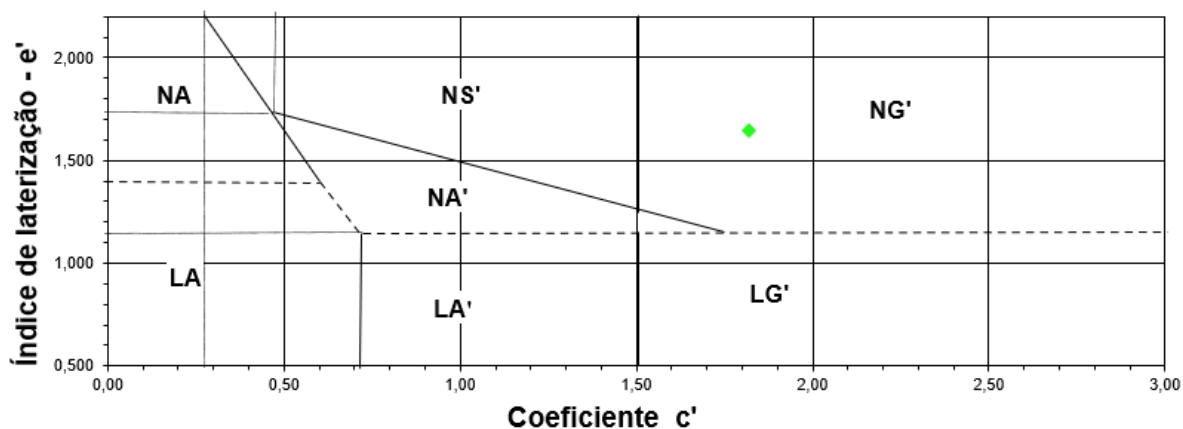
Fonte: Autor (2022).

Ambos os solos coletados e estudados, tem características parecidas quanto as suas classificações, com predominância de material graúdo em abrangência. Isso vem ao encontro da pedologia do local apresentada no Capítulo anterior, caracterizada por uma classe de solo típica de solos pouco desenvolvidos, nos quais predominam materiais mais grosseiros.

### 4.3 Sistemática MTC e G-MCT

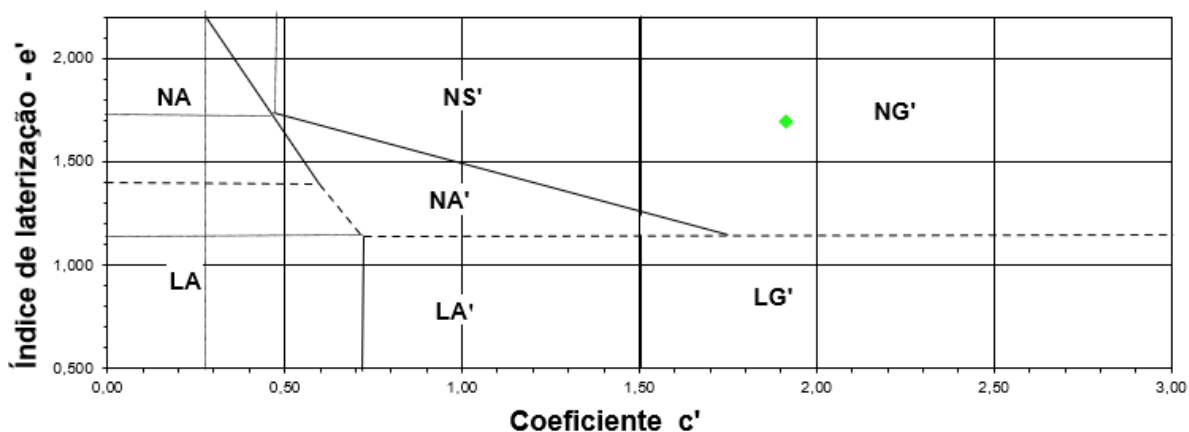
As Figuras 29 e 30 demonstram o grupo a qual cada solo ficou enquadrado, subleito e revestimento, respectivamente, quanto a MCT. Logo, tem-se ambos os solos, de subleito e de revestimento enquadrado em NG'- Solo Argiloso Não Laterítico. Para classificação final quanto a sua qualidade para pavimentação é necessário qualificar ainda quanto G-MCT, o primeiro passo é encontrar seu tipo granulométrico, de acordo com o gráfico da sistemática. Nas Figuras 31 e 32, pode-se observar suas disposições.

Figura 29 – Classificação MCT para subleito



Fonte: Autor (2022).

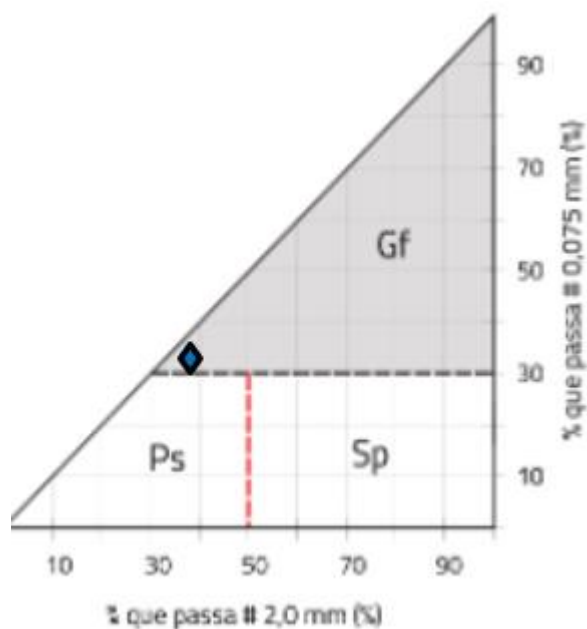
Figura 30 – Classificação MCT para revestimento



Fonte: Autor (2022).

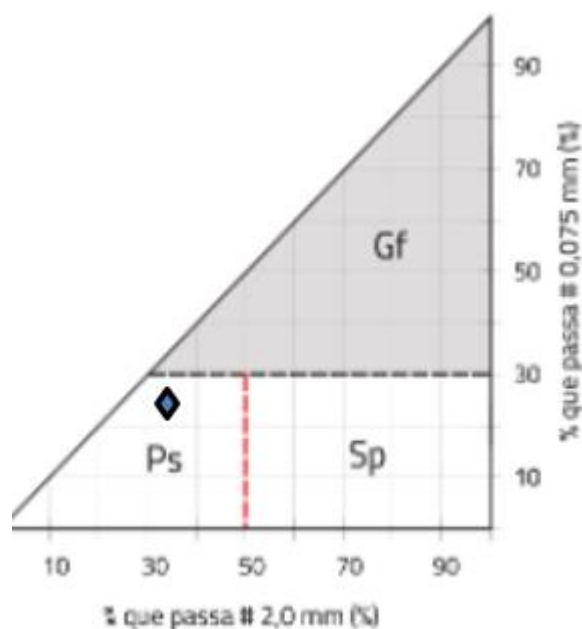


Figura 31 – Tipo granulométrico do solo do subleito



Fonte: Autor (2022).

Figura 32 – Tipo granulométrico do solo do revestimento



Fonte: Autor (2022).

Através dos gráficos anteriores é possível classificá-los quanto a granulometria G-MCT, o solo do subleito, segundo Figura 31, como sendo Gf-NG' onde Gf significa granular fino. E o solo do revestimento, conforme Figura 32, como sendo Ps-NG' onde Ps significa pedregulho com solo.

#### 4.4 Classificação quanto a qualidade dos materiais para utilização em pavimentos

A classificação quanto a qualidade dos materiais para utilização em pavimentos pode ser definida segundo MCT ou G-MCT e pelo sistema da AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). A indicação para qualidade de subleito, segundo AASTHO, para A-2-7, conforme anteriormente classificado, é de excelente a boa.

Conforme análise da hierarquização dos solos para classe GN na classificação G-MCT, a indicação para o solo encontrado no subleito Gf-NG' (solo granular fino argiloso não laterítico com pedregulho) é de não recomendado para utilização em base, sub-base, reforço e subleito. Já para o solo encontrado no revestimento primário da estrada, com classificação de Ps-NG' (pedregulho com solo argiloso não laterítico) encontra-se em 4ª prioridade de escolha para utilização em pavimentos.

Portanto, encontra-se uma divergência de informações quanto a indicação do material para subleito, da AASTHO para a sistemática de Nogami e Villibor. Porém se atenta, a ideia de que os solos brasileiros possam se comportar de maneira diferente por questões físicas e climáticas, tornando as classificações de AASTHO incertas.

#### 4.5 Diagnósticos e indicativos de soluções

A partir do levantamento de campo vislumbra-se um diagnóstico para os defeitos presentes no trecho estudado, de acordo com sua severidade e possíveis causas. Inicialmente é importante frisar a falta de projeto de execução e manutenção de estradas de terra, havendo a deficiência de dados para comparações de detalhes como perda de declividade e espessura de cascalho. As patologias encontradas conforme aplicação do método RCS/DVI, listado na Tabela 8, classificam o pavimento de maneira global de regular a ruim.

Entre os defeitos inspecionados pela tabela da Figura 8, o afundamento de trilha de roda – ATR é classificado como regular. Em associação aos dados colhidos, suas possíveis causas seriam o revestimento com espessura fora de padrão, falhas no subleito e o tráfego de automotores pesados. A bibliografia indica uma espessura de cascalho em torno de 10 cm, ao compararmos com o encontrado em campo, com média 3,5 cm, salienta-se que a espessura está deficiente. Além disso, o pavimento é de alto fluxo, ligando uma das maiores comunidades do interior ao centro da cidade, havendo deslocamento de maquinário agrícola e caminhões.

Outro defeito preponderante do método, seriam os buracos – BUR, que obteve classificação ruim. Suas causas possivelmente estão ligadas a drenagem ineficiente encontrada no trecho, com falta ou deficiência na execução e manutenção de valetas e sarjetas de escoamento, assim como, a severidade da falta de abaulamento da pista, represando água nas “panelas” existentes, ocasionando aumento de tamanho. Outra hipótese está na graduação inadequada da camada, o uso de material graúdo com solos finos não aderentes, não indicados para revestimento, conforme analisado item 4.4.

Os sulcos de erosão – SUE foram classificados como regular para o trecho. São associadas as suas causas o emprego errado dos materiais do revestimento primário, auxiliando na erodibilidade do solo, como anteriormente discutido. Bem como, pode ter origem de falhas na geometria da pista, como o abaulamento. As ondulações – OND também foram classificadas como regulares, mesmo sendo encontradas somente em um subtrecho, suas procedências podem estar ligadas a perda de finos na superfície, abaulamento insuficiente e deficiência do material do subleito.

Listando as prováveis causas das patologias encontradas, indica-se soluções que possam vir a amenizar ou resolver os problemas da via em questão. O ponto de partida seria a instalação e manutenção das valetas para escoamento da precipitação e a correção do abaulamento da pista para valores mais altos, entre 5 e 7%. Salienta-se que mesmo com material indicado para pavimentação, falhas como essas irão gerar defeitos a longo prazo.

Outra recomendação seria a procura de uma jazida com material de melhor qualidade para utilização em revestimento primário de pavimentos. Solos na linha de classificação MCT como LA', por exemplo, e/ou outros com aplicações aconselhadas pela Tabela 4. Ainda assim, recomenda-se a implantação de mais camadas desse revestimento, para que se aproveite de reforço para a camada adjacente. Caso não encontrada jazida de melhor performance e, se comparado ao custo de transporte, for válido, indica-se uma estabilização química com cal. As manutenções do rolamento da estrada devem ser executadas com espaços de tempo menores e uniforme. Frisando a conservação da via, mantendo os defeitos conformados sem alto custo de investimento.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos por meio da avaliação de campo é possível determinar que as condições do trecho de estrada rural avaliada está de regular a ruim. Os defeitos presentes já não atendem as boas condições de trafegabilidade para os usuários. O levantamento de severidade e densidade dos defeitos, associados com os dados encontrados nos ensaios laboratoriais das amostras deformadas coletadas do subleito e revestimento, podem remeter a possíveis causas e posteriores soluções.

Segundo análises laboratoriais e classificação G-MCT foram encontradas Gf-NG' e Ps-NG', respectivamente. Logo, não se recomenda o emprego desses materiais para camadas de pavimentação.

Para origem dos defeitos desencadeados no trecho pressupõem-se a deficiência e falta de drenagem da água pluvial, além do abaulamento fora da faixa indicada com valores menores de 5%. Ambos os fatores geram o acúmulo de água na pista, ocasionando o aparecimento de defeitos e intensificando os que já existem, como é a situação dos buracos e sulcos de erosão.

Na busca de indicativos de soluções para os fatores causadores dos defeitos encontrados, é notável que o solo local não contribui para boas condições da via. Logo, procurar jazidas com material de qualidade superior, em faixas de classificação LA ou LA' para emprego em revestimento primário é uma boa opção inicial. Neste caso, a implantação de mais camadas pode agir como forma de reforço, já que subleito também não é de boa performance. Se por motivos maiores não se encontrar melhores jazidas, e a análise de custo for positiva, é possível empregar uma estabilização química na camada de revestimento, com o acréscimo da cal.

Portanto, destaca-se a importância das manutenções regulares e corretas em estradas rurais. Não somente quanto à conformidade da pista de rolamento do revestimento, mas também a limpeza e desobstrução do sistema de drenagem. Valetas livres para passagem da água evitam acúmulos de água na pista, e conseqüentemente desencadeamento de defeitos. Mesmo que se faça uso de bons materiais, detalhes como esses irão alterar as condições da via a longo prazo.

Como sugestão a trabalhos futuros, indica-se a tentativa de estabilização química desses solos e acompanhamento de seu comportamento em campo. Além disso, o auxílio à procura de uma jazida melhor para utilização na cidade de Herveiras/Rs.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6459**: Solo — Determinação do limite de liquidez. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6502**: Rochas e solos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7180**: Solo - determinação do limite de plasticidade. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7181**: Solo — Análise granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **7182**: Solo — Ensaio de compactação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9 p.

BAESSO, Dalcio Pickler; GONÇALVES, Fernando Luiz R. **ESTRADAS RURAIS**: técnicas adequadas de manutenção. Florianópolis: Estado de Santa Catarina, 2003. 236 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR. Manual de Pavimentação Rodoviária. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, 2005. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br>. Acesso em: 28 mar. 2022.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. **MECÂNICA DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES**: fundamentos. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 244 p.

CNT, Confederação Nacional do Transporte -. **Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada**. 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>. Acesso em: 02 abr. 2022.

CNT, Confederação Nacional do Transporte -. **ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE:** estatísticas consolidadas. **ESTATÍSTICAS CONSOLIDADAS.** 2021. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil -. **MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.** 2006. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/cartografia\\_regional/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf). Acesso em: 10 maio 2022.

DAS, Braja M. **FUNDAMENTOS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA.** São Paulo: Cengage Learning, 2011. 632 p. **TRADUCAO DA 7ª EDICAO NORTE-AMERICANA.**

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília - DF: Embrapa, v. 5, 2008. Revista e Ampliada. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

EMBRAPA. **Classificação de solos.** 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>. Acesso em: 10 maio 2022.

FERREIRA, Fábio Mutti. **UMA APLICAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DE ESTRADA NÃO-PAVIMENTADA.** 2004. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, S, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas/SP, 2004. Disponível em: <https://rodoviasverdes.paginas.ufsc.br/files/2010/06/FerreiraF%C3%A1bioMutti326696.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2022.

IBGE -. **PANORAMA - HERVEIRAS/RS.** 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/herveiras/panorama>. Acesso em: 28 mar. 2022.

LIMA, Valmiqui Costa; LIMA, Marcelo Ricardo de; MELO, Vander de Freitas. **O solo no meio ambiente:** abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba: UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. 141 p. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/67899/O%20solo%20no%20meio%20ambiente.%20Abordagem%20para%20Professores%20do%20ensino%20fundamental%20e%20medio%20e%20alunos%20do%20ensino%20medio.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2022.

NERVIS, Leandro Olivio. **IDENTIFICAÇÃO E DISCUSSÃO DOS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DE PAVIMENTOS COM REVESTIMENTO PRIMÁRIO.** 2016. 271 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TCC%201/tese%20leandro.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

NERVIS, Leandro Olivio. BITTENCOURT, Benhur K. **INFLUÊNCIA DO ABAULAMENTO DE PISTA NA OCORRÊNCIA DE PATOLOGIAS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS**. Porto Alegre/RS: GeoSul, 2012. 10 p.

PARANÁ. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER/PR. DER/PR ES-T 07/05 Terraplenagem: Revestimento Primário. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná – DER/PR, 2005. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

PINTO, Carlos Sousa. **CURSO BÁSICO DE MECÂNICA DOS SOLOS**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 368 p.

SEPLAG, Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. **CARACTERÍSTICAS GERAIS**. 2022. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/caracteristicas-gerais>. Acesso em: 10 maio 2022.

STRECK, Edemar Valdir et al. **SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS -ASCAR, 2008. 222 p.

VILLIBOR, Douglas Fadul; ALVES, Driely Mariane Lancarovici. **PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA REGIÕES TROPICAIS**. Florianópolis: Tribo da Ilha, 2019. 544 p.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Dados recolhidos em avaliação de campo para cada defeito

Tabela 1 – Leituras para defeito de abaulamento

	ESQUERDA		DIREITA	
	1º LEITURA	2º LEITURA	1º LEITURA	2º LEITURA
TRECHO 1	2,00%	3,90%	1,40%	1,90%
TRECHO 2	4,60%	5,80%	1,60%	0,90%
TRECHO 3	4,10%	3,00%	5,70%	4,00%

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 2 – Leituras para defeito de buracos no subtrecho 1

SUBTRECHO 1		
Nº	PROFUNDIDADE	LARGURA
1	3,5	40
2	3,0	35
3	4,0	30
4	3,0	30
5	5,0	25
6	3,0	30
7	3,0	30
8	2,5	20
9	1,5	25
10	3,0	30
11	1,5	20
12	3,0	30
13	3,0	50
14	2,0	30
15	3,0	25
16	3,2	30
17	2,0	20

Fonte: Autor, 2022.



Tabela 3 – Leituras para defeito de buracos no subtrecho 2

SUBTRECHO 2		
Nº	PROFUNDIDADE	LARGURA
1	1,8	40
2	2,0	40
3	1,5	25
4	2,0	28
5	4,5	30
6	5,0	30
7	3,8	27
8	3,8	30
9	3,0	20
10	2,5	30
11	2,0	25
12	3,1	25
13	2,0	30
14	3,0	25
15	2,0	35
16	2,5	25
17	4,0	25
18	1,0	30
19	4,5	30
20	2,0	30
21	3,1	25
22	2,5	15
23	1,0	30
24	1,5	30
25	1,0	25
26	2,3	25
27	2,1	25
28	1,5	25
29	2,5	35

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 4 – Leituras para defeito de buracos no subtrecho 3

SUBTRECHO 3		
Nº	PROFUNDIDADE	LARGURA
1	1,5	30
2	3,9	27
3	2,0	33
4	3,0	27
5	2,0	40
6	2,0	35
7	2,2	30
8	2,0	20
9	2,0	35
10	1,9	32
11	1,0	30
12	1,5	20
13	1,8	18
14	2,1	35
15	3,0	30
16	1,1	25
17	1,8	35
18	0,9	19
19	3,5	50
20	2,0	20
21	2,1	30
22	1,9	33
23	1,0	25
24	2,1	35
25	2,1	25
26	2,1	20
27	1,0	15
28	1,0	25
29	1,8	25
30	2,8	40
31	3,1	27
32	1,5	30
33	2,5	25
34	2,1	25
35	1,1	30
36	0,9	20
37	2,0	30
38	3,9	27
39	1,8	30
40	5,0	50
41	2,0	30
42	2,0	30

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 5 – Leituras para defeito de perda de declividade

TRECHOS	1º LEITURA	2º LEITURA
TRECHO 1	1,60%	1,30%
TRECHO 2	1,60%	2,20%
TRECHO3	0,60%	0,40%

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 6 – Leituras para defeito de Afundamento de trilha de roda (ATR)

	SEVERIDADE				DENSIDADE %
	ESQUERDA		DIREITA		
	1º LEITURA	2º LEITURA	1º LEITURA	2º LEITURA	
TRECHO 1	2,0	1,0	1,6	0,5	40
TRECHO 2	2,0	1,5	2,5	2,0	40
TRECHO 3	1,0	1,5	0,9	1,5	40

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 7 – Leituras para defeito de sulcos de erosão

	ESQUERDA				DIREITA
	1º LEITURA		2º LEITURA		
	PROF.	DECLIV.	PROF.	DECLIV.	
TRECHO 1	0,6	10,4	0,4	11,70	-
TRECHO 2	1,0	10,8	1,2	11,20	-
TRECHO 3	1,8	9,4	1,6	8,90	-

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 7 – Leituras para defeito de ondulações

TRECHOS	PROFUNDIDADE		ESPAÇAMENTO	
TRECHO 1	1º - 1,50	2º - 2,5	1º - 40	2º - 35

Fonte: Autor, 2022.