

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Mauricio Cruz Zaikoski**

**AVALIAÇÃO DE DOIS SOLOS RESIDUAIS DO MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA  
DO SUL-RS PARA APLICAÇÃO COMO CAMADA DE REVESTIMENTO  
PRIMÁRIO DE ESTRADAS RURAIS**

**Santa Cruz do Sul**

**2017**

**Mauricio Cruz Zaikoski**

**AVALIAÇÃO DE DOIS SOLOS RESIDUAIS DO MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA  
DO SUL-RS PARA APLICAÇÃO COMO CAMADA DE REVESTIMENTO  
PRIMÁRIO DE ESTRADAS RURAIS**

Trabalho de conclusão apresentado no Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz Cruz do Sul-UNISC para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Olivio Nervis

**Santa Cruz do Sul**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Valkíria e Lauro, pelo apoio e incentivo que depositaram em mim, ajudando a tornar este sonho possível.

À toda minha família, que sempre esteve junto comigo durante essa jornada.

Ao orientador e amigo Leandro Olivio Nervis, pela dedicação e pelos ensinamentos que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos laboratoristas e bolsistas que me auxiliaram na realização dos ensaios.

A todos os amigos e colegas que sempre estiveram presentes.

## RESUMO

Atualmente os critérios para definição do material para ser utilizado no revestimento primário estão muito mais por conta da experiência de quem executa do que baseados em conhecimentos geotécnicos.

No presente trabalho foi realizado um estudo experimental com o objetivo de analisar dois tipos de solos com diferentes características para o possível emprego em revestimento primário. Foram realizadas coletas de amostras do subleito de uma estrada (solo 1) que é um solo residual de gnaiss e um solo de jazida (solo 2) residual de granito, ambas no município de Encruzilhada do Sul-RS. Foram realizados ensaios de laboratório, tais como: análise granulométrica (peneiramento e sedimentação), limites de Atterberg (LL e LP), ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia e ensaios voltados a classificação MCT. Os resultados foram analisados e discutidos e a partir disso se qualificaram os materiais para o revestimento primário. Concluiu-se que o solo 1 não é apto para funcionar como camada final devido a sua baixa capacidade de suporte demandando, portanto, camada (s) de revestimento primário. O solo 2 é pouco recomendado como camada final de revestimento primário devido a deficiência de fração argila, mas sendo adequado para uso em camada de reforço.

**Palavras-chave:** estradas rurais, revestimento primário, classificação G-MCT

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil de solo residual. ....	18
Figura 2: Valores típicos de solos brasileiros. ....	23
Figura 3: Classificação G-MCT. ....	27
Figura 4: Ponto de coleta de amostras.....	32
Figura 5: Localização no mapa geológico dos pontos de coleta de amostras. ....	33
Figura 6: Local da extração da amostra do subleito.....	34
Figura 7: Local de extração de solo potencial. ....	35
Figura 8: Peneiramento mecânico.....	37
Figura 9: Amostras em repouso. ....	38
Figura 10: Dispersão da amostra. ....	38
Figura 11: Início da sedimentação. ....	39
Figura 12: Aparelho de Casagrande. ....	40
Figura 13: Ensaio de Limite de Plasticidade.....	41
Figura 14: Amostra no aparelho de vácuo. ....	42
Figura 15: Cilindro com extensômetro.....	45
Figura 16: Amostra imersa em água. ....	46
Figura 17: Solo que se desprende seco.....	47
Figura 18: Gráfico MCT.....	48
Figura 19: Curvas granulométricas. ....	49
Figura 20: Curva de compactação do solo 1.....	51
Figura 21: Curva de compactação solo 2.....	52
Figura 22: Classificação dos solos pela Metodologia MCT. ....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índices de consistência típicos de alguns solos brasileiros. ....	22
Tabela 2: Dados dos grupos de solos da classificação MCT. ....	26
Tabela 3: Classificação G-MCT.....	28
Tabela 4: Diversos dados de solos lateríticos da classificação G-MCT. ....	29
Tabela 5: Diversos dados de solos não lateríticos segundo a classificação G-MCT.	30
Tabela 6: Resumo dos ensaios de caracterização.....	50
Tabela 7: Parâmetros extraídos das curvas de compactação.....	52
Tabela 8: Valores de CBR e Expansão.....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>1.1 Área e limitação do tema</b> .....	8
<b>1.2 Justificativa</b> .....	9
<b>1.3 Objetivos</b> .....	9
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	9
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	9
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	10
<b>2.1 Aspectos gerais sobre estradas rurais</b> .....	10
<b>2.1.1 Impactos Ambientais</b> .....	11
<b>2.1.2 Defeitos</b> .....	11
<b>2.1.2.1 Buracos</b> .....	11
<b>2.1.2.2 Corrugações</b> .....	12
<b>2.1.2.3 Excesso de poeira</b> .....	13
<b>2.1.2.4 Drenagem inadequada</b> .....	14
<b>2.1.2.5 Desagregação</b> .....	14
<b>2.1.2.6 Arrancamento de partículas</b> .....	14
<b>2.1.2.7 Falta de aderência com pista molhada (“sabão”)</b> .....	14
<b>2.1.2.8 Rugosidade excessiva</b> .....	14
<b>2.1.2.9 Deformação permanente (“afundamento por trilha de roda”)</b> .....	15
<b>2.1.2.10 Ruptura por cisalhamento</b> .....	15
<b>2.1.3 Partes que constituem uma estrada rural</b> .....	15
<b>2.1.3.1 Subleito</b> .....	15
<b>2.1.3.2 Bueiros</b> .....	15
<b>2.1.3.3 Sarjetas</b> .....	16
<b>2.1.4 Revestimento primário</b> .....	16
<b>2.2 Origem e formação dos solos</b> .....	17
<b>2.2.1 Aspectos sobre Geologia</b> .....	17
<b>2.2.2 Solos residuais e transportados</b> .....	18

2.2.3 Pedologia.....	19
2.3 Caracterização dos solos.....	20
2.3.1 Granulometria.....	20
2.3.2 Limites de Atterberg.....	21
2.3.3 Peso específico real dos grãos.....	22
2.4 Compactação e Índice de Suporte Califórnia – ISC.....	22
2.5 Classificações MCT e G-MCT.....	24
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Descrição do local do estudo.....	32
3.2 Coleta de amostras.....	34
3.3 Ensaio de Caracterização.....	35
3.3.1 Ensaio de análise granulométrica.....	36
3.3.2 Limite de Liquidez.....	39
3.3.3 Limite de Plasticidade.....	41
3.3.4 Peso Específico Real dos Grãos.....	41
3.4 Ensaio de compactação.....	43
3.5 Índice de Suporte Califórnia- ISC.....	44
3.6 Ensaio voltados à Classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).....	45
3.7 Qualificação dos materiais para o emprego em revestimento primário.....	48
3.8 Abstração de conclusões.....	48
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	49
4.1 Caracterização dos materiais.....	49
4.2 Ensaio de compactação.....	51
4.3 Índice de Suporte Califórnia.....	53
4.4 Classificação MCT e G-MCT.....	53
5 CONCLUSÃO.....	56

## **1 INTRODUÇÃO**

O solo vem sendo um dos materiais mais importantes para o homem durante toda a história. Na Engenharia Civil era utilizado até mesmo como insumo básico para assentamento de tijolos. Outro importante uso do solo é para a construção de estradas, no qual pode ser utilizado na camada de base para uma rodovia pavimentada ou ser usado como material principal em uma estrada com revestimento primário.

Revestimento primário é definido como uma camada de solo com propriedades ideais, capaz de ofertar em sua superfície de rolamento o tráfego de veículos em qualquer época do ano.

Segundo o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER (2017), a malha rodoviária do Rio Grande do Sul é composta por 17.219,89 Km de rodovias, das quais 11.283,95 Km são da rede estadual e 5.935,94 Km são da rede federal. Dessa extensão total, 13.423,81 Km (77,96%) são rodovias não pavimentadas e 3.796,08 Km (22,04%) são rodovias pavimentadas. Nesses dados não foram levados em consideração rodovias planejadas e travessias urbanas que estão sob administração municipal.

Como o aumento da malha rodoviária no mundo, viu-se a necessidade de aprofundar os estudos em relação ao comportamento dos solos. Um determinado solo pode se comportar de várias maneiras, podendo variar de acordo com o clima em que está exposto e também com o tipo de esforço que está sofrendo.

Atualmente os critérios para definição do material para ser utilizado no revestimento primário estão muito mais por conta da experiência de quem executa do que baseados em conhecimentos geotécnicos. Com o presente trabalho busca-se trazer alguma contribuição para a melhoria desse processo.

### **1.1 Área e limitação do tema**

O presente trabalho foi desenvolvido na área de Geotecnia, abrangendo conhecimentos de Mecânica dos Solos, Mecânica dos Pavimentos, Estradas e Obras de Terra. Foi realizado um programa experimental que abrangeu ensaios de laboratório e a concepção de um pavimento com revestimento primário.

## **1.2 Justificativa**

Observou-se que uma parte de uma estrada não pavimentada no município de Encruzilhada do Sul-RS, que se encontrava em seu leito natural, não apresentava bom desempenho. Isso serviu de motivação para a realização de uma investigação para analisar do ponto de vista experimental se o material que compõem a estrada e outro com potencial emprego (extraído de jazida) são adequados para o emprego em revestimento primário.

Tendo em vista que estradas rurais, geralmente não pavimentadas, são de extrema necessidade para o deslocamento de pessoas, escoamento da produção agrícola e também para interligar vilarejos, a pesquisa desenvolvida no presente trabalho também se inspirou no anseio de prestar uma pequena contribuição para que essas vias venham a apresentar uma melhor qualidade para seus usuários.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo geral realizar um estudo experimental sobre a caracterização de dois solos para aplicação como revestimento primário de estradas vicinais do município de Encruzilhada do Sul-RS.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos da pesquisa foram os seguintes:

- Realizar coleta de amostras do subleito e do potencial material do revestimento primário do trecho estudado;
- Realizar ensaios de caracterização dos materiais;
- Realizar ensaios de compactação;
- Realizar ensaios voltados à classificação MCT;
- Realizar ensaios de Índice de Suporte Califórnia;
- Qualificar os materiais para o uso no revestimento primário.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais sobre estradas rurais

Segundo o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT (2006), nas suas Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, as estradas rurais, ou vicinais, tem como objetivo principal fazer a interligação das malhas viárias regionais, interligar sistemas modais existentes, escoar a produção para outro sistema viário ou locais de armazenagem e também permitir o acesso rodoviário a locais onde se concentram vilarejos com pessoas carentes.

Já conforme as Terminologias Rodoviárias usualmente utilizadas do Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes - DNIT (2007), estrada rural é uma estrada local, que tem como principal função dar acesso a propriedades lindeiras ou caminho que liga pequenas concentrações de povos e locais relativamente próximos.

Conforme Baesso e Gonçalves (2003), as estradas rurais podem ser classificadas em quatro tipos diferentes, sendo A, B, C e D. O tipo A representa vias onde a superfície de rolamento é constituída por agregados naturais provenientes de jazidas, agregados esses que atendem a certos parâmetros quanto à granulometria. A classe B é constituída por vias que possuem material produzido artificialmente (britado) na camada superficial de rolamento. Solos que se estabilizam naturalmente (saibros, areias, piçarras, etc) derivados de jazidas, quando for empregado para constituir a superfície de rolamento, são estradas de classe C. A classe D, são estradas cuja camada superficial é composta por materiais de seu próprio leito natural.

Segundo Jacoby *apud* Maciel (1998), as estradas rurais têm uma ampla função social nos locais onde são instaladas, porque possibilitam condições de acesso para as pessoas das regiões onde são construídas, sendo muito importantes para a agricultura e as economias municipais. Estradas Rurais trazem como benefícios o acesso à educação, saúde e maior variedade de bens de consumo para a população que vive nas áreas rurais.

### **2.1.1 Impactos Ambientais**

Conforme Taveira (2004), a retirada de vegetação nativa, cortes e aterros realizados nos morros e vales são os maiores responsáveis e o que causam a erosão nas estradas rurais. Os materiais, ao serem desagregados, fazem com que o solo desça junto com a água e cause o assoreamento dos cursos d'água situados em um nível inferior.

Segundo Marques (1997) *apud Souza Júnior* (2011), a erosão do solo ocorre em três fases: desagregação, transporte e deposição. Na fase de desagregação, pequenas partes são separadas do solo pela força ocasionada pelos pingos de chuva ou pela força de uma enxurrada. No transporte, as partículas são levadas através da água para lugares mais baixos. A deposição é onde o solo levado pela água se deposita, ocasionando muitas vezes o assoreamento de rios.

### **2.1.2 Defeitos**

Em Austroads (1987), defeito em um pavimento é definido como um sinal visível de uma ocorrência não desejada na superfície de movimento de veículos. Um defeito em uma via, dentre outras coisas pode afetar também a aparência e a sua resistência.

Segundo o Manual Técnico para Conservação e Recuperação de Estradas Vicinais de Terra do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo – IPT (1988), alguns dos problemas mais comuns que ocorrem em estradas rurais são: buracos, corrugações, drenagem inadequada e excesso de poeira. Nervis (2016), além desses, ainda descreve os seguintes defeitos: desagregação, arrancamento de partículas, falta de aderência com a pista molhada (“sabão), rugosidade excessiva, deformação permanente (“afundamento por trilha de roda”), ruptura por cisalhamento, sulcos de erosão e atoleiros.

#### **2.1.2.1 Buracos**

Conforme Baesso e Gonçalves (2003), vários motivos levam a formação de buracos em estradas rurais. Entre eles estão:

- não existência de uma camada de revestimento primário ou carências quanto à composição de sua mistura.

- não presença de aglutinantes na formação dos materiais da superfície.
- deficiência na drenagem da via.

De acordo com o grau dos buracos em um trecho estabelecido, as operações de manutenção podem utilizar técnicas que envolvam desde uma operação tapa-buraco, até realizar uma reconformação da superfície da via com o auxílio de uma motoniveladora.

No primeiro caso o trabalho é simples e rápido, bastando passar com a motoniveladora por meio de “arraste” e nivelar a superfície. No segundo, deve-se também utilizar a motoniveladora no processo, que neste caso deverá realizar um corte com sua lâmina com uma profundidade não inferior à altura dos buracos.

Segundo Braga e Guimarães (2014), buracos são depressões na face da via, que na maioria dos casos não ultrapassa 1 metro de diâmetro. Desenvolvem-se por conta da contínua eliminação de partículas sólidas do leito devido ao trânsito de veículos onde há pontos com água acumulada.

Para a correção desse problema, os autores sugerem que se deve iniciar com a criação de valetas para eliminar a água existente na superfície da via e logo em seguida tapar os buracos.

De acordo com o Manual Técnico para Conservação e Recuperação do IPT (1988), os buracos aparecem devido à eliminação contínua de partículas da superfície quando passam veículos onde há água empoçada, ou seja, uma superfície com deficiência na drenagem é a causa do problema.

### **2.1.2.2 Corrugações**

Conforme Braga e Guimarães (2014), corrugações em uma via não pavimentada são depressões que aparecem ao longo da estrada, situadas espaçadas perpendicularmente ao sentido de fluxo da via. Para corrigir o problema sugere-se o agulhamento de material granular caso o solo seja argiloso. Outra forma é melhorar o subleito com a aplicação de argila.

Já segundo a ideia de Aguiar (1963) *apud* Cabral (2011), corrugações são definidas por ondas no sentido transversal, que resulta de vibrações ocasionadas pelo trânsito de veículos que passam pela via. Essas corrugações são distantes uma da outra de 0,6 a 1,10 metros.

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), corrugações são alterações que ocorrem na superfície da via, situadas em intervalos uniformes no sentido perpendicular ao fluxo de veículos. A origem desse problema, entre outros fatores, pode ser explicada por:

- tráfego intenso de veículos;
- ausência de agregados finos nas camadas;
- insuficiência no abaulamento;

Corrugação é um problema grave que ocorre principalmente em períodos mais secos e causa trepidação e desconforto.

### **2.1.2.3 Excesso de poeira**

Conforme Baesso e Gonçalves (2003), a poeira em estradas rurais é causada pela perda de parte dos materiais finos presentes nas camadas. O pó que levanta sobre a estrada pode trazer diversos problemas, tais como:

- prejudicar a visão de quem trafega pela estrada, aumentando as chances da ocorrência de acidentes;
- gerar danos às lavouras que estejam localizadas próximas à via;
- causar problemas de saúde;

Segundo o Manual Técnico para Conservação e Recuperação do IPT (1988), o excesso de poeira é causado quando a estrada possui uma grande quantidade de material fino, formando nuvens de pó quando um veículo se desloca. Para corrigir esse problema, uma das melhores soluções é realizar um revestimento primário selante na camada.

Ferreira (2004) expõe que esse problema, além de dificultar a visibilidade dos motoristas põe em risco a segurança de quem trafega. Esse defeito é mais comum onde o solo é do tipo argiloso e também onde tem a presença abundante de materiais finos soltos, causados pelo atrito dos pneus com a via.

#### **2.1.2.4 Drenagem inadequada**

Baesso e Gonçalves (2003) afirmam que o defeito de drenagem inadequada em estradas rurais faz com que água se acumule na superfície de rolamento da estrada, geralmente devido ao mau funcionamento ou até mesmo pela inexistência de dispositivos responsáveis por eliminar a água da via. Podem ser ocasionados também pela falha no processo de manutenção dos dispositivos.

Para Braga e Guimarães (2014), o problema de drenagem existe quando as valas responsáveis por escoar a água estão cheias de galhos ou entulhos, causando assim uma falha no dispositivo de drenagem. Para a solução desse problema, sugere-se que sejam retirados todos os entulhos das valas e em seguida retira-se a água acumulada.

#### **2.1.2.5 Desagregação**

Conforme Nervis (2016), desagregação tem como principal causa a falta de finos ou quando os mesmos apresentam características inadequadas, se perdendo em forma de poeira.

#### **2.1.2.6 Arrancamento de partículas**

Segundo Nervis (2016), arrancamento de partículas acontece quando a aglutinação das partículas da superfície é pouca para absorver os esforços horizontais de frenagem, tração e força centrípeta.

#### **2.1.2.7 Falta de aderência com pista molhada (“sabão”)**

Nervis (2016) afirma que, esse defeito ocorre quando a superfície da estrada possui uma quantidade de finos em excesso.

#### **2.1.2.8 Rugosidade excessiva**

Segundo Nervis (2016), é causada por conta do material graúdo que se encontra na superfície da via apresentar um diâmetro elevado.

### **2.1.2.9 Deformação permanente (“afundamento por trilha de roda”)**

Nervis (2016) afirma que é causada pelo alto teor de umidade do subleito, espessura do revestimento inadequada ou a presença de tráfego de veículos pesados.

### **2.1.2.10 Ruptura por cisalhamento**

Conforme Nervis (2016), acontece quando as tensões cisalhantes são maiores do que a resistência ao cisalhamento.

## **2.1.3 Partes que constituem uma estrada rural**

### **2.1.3.1 Subleito**

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o subleito é limitado pela camada de revestimento da via, sendo ele primário ou não. Deverá ser analisado em toda sua espessura atuante, ou seja, que recebem as cargas do tráfego. Essa espessura na prática deve ficar entre 0,6 e 1,5 metros.

Conforme Marques (2010), subleito é a parte de fundação que receberá todas as cargas do revestimento. Deve ser estudado em uma profundidade de 0,6 a 1,5 metros, que é onde as cargas atuam significativamente. O CBR do subleito deve ficar entre 2% e 20%, caso seja menor deve ser substituído por um material de melhor qualidade.

### **2.1.3.2 Bueiros**

Conforme o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006), bueiros são dispositivos com funções de possibilitar a livre passagem de água que sai da estrada. São compostos por bocas e corpo. As bocas são compostas por soleiras, muro de tesla e alas. Já o corpo é a parcela que situa-se sob os cortes e aterros.

### **2.1.3.3 Sarjetas**

Segundo DNIT (2014), medidas de proteção ambiental, sarjetas são dispositivos realizados ao longo da borda da plataforma da via, próximos ao pé dos cortes. Sua função é coletar a água que escoar da superfície da via e dos taludes e conduzi-la até um bueiro ou um talvegue natural.

### **2.1.4 Revestimento primário**

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT (2005), revestimento primário é definido como uma camada de solo com propriedades ideais, capaz de ofertar em sua superfície de rolamento o tráfego de veículos em qualquer época do ano. As rodovias com revestimento terroso, vias não pavimentadas, são as estradas no qual sua superfície de rolamento é composta basicamente pelos materiais que se encontram no próprio leito natural da rodovia. Essas rodovias buscam diminuir ao máximo os custos para sua implantação, evitando a implantação de obras de arte e tentando minimizar os movimentos de terra. Seu traçado geralmente provém da evolução de alguma trilha ou pequeno caminho.

Conforme a Especificação de Serviço Rodoviário do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER/PR (2005), define-se como revestimento primário uma camada granular, constituída de agregados naturais e/ou artificiais, empregada diretamente sobre o subleito compactado e regularizado de uma estrada com revestimento terroso, com a finalidade de garantir condições adequadas de tráfego, ainda que haja condições climáticas adversas. Já o Manual Técnico para Conservação e Recuperação do IPT (1988), define que o revestimento primário é formado por uma camada de solo aplicada sobre o reforço do subleito ou sobre o subleito. Essa camada de solo é o resultado da mistura de argila com material granular compactado sobre a rodovia. A argila age como ligante e para regularizar a via, enquanto o material granular age para gerar aderência entre a via e as rodas dos veículos.

## 2.2 Origem e formação dos solos

### 2.2.1 Aspectos sobre Geologia

Segundo Caputo (1987), geologia para Engenharia é uma área que utiliza técnicas e conhecimentos para resolver problemas específicos, em obras como instalação de estradas, ferrovias, barragens, etc. Antes de começar qualquer obra, é de extrema importância que se conheça a formação geológica da área.

Já para Oliveira e Brito (1998), a geologia na engenharia nada mais é que materiais como solos e rochas que em conjunto com outros fatores é onde são construídas obras de Engenharia. Podem servir também como materiais de construção desde seu formato natural como no caso das pedras, como também de forma beneficiada como no caso do cimento.

Para Caputo (1998), as rochas podem ser classificadas em três grupos:

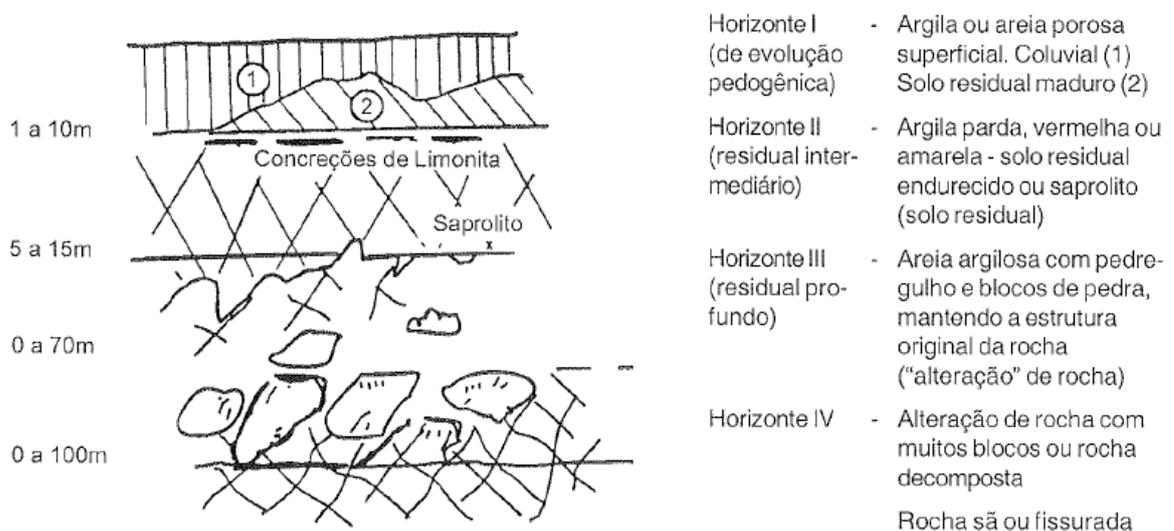
- rochas ígneas: resultam do resfriamento de materiais que saem de vulcões, o “magma”. Esse tipo de rocha pode ser subdividido em intrusivas e extrusivas. No primeiro caso se formam em profundidades elevadas e possuem um grande teor de quartzo. No segundo caso, se formam a partir do resfriamento da lava expelida por vulcões e tem um baixo teor de quartzo. Os tipos de rochas mais conhecidas nessa categoria são o granito e o basalto.
- rochas metamórficas: resultam a partir da transformação das rochas magmáticas, sedimentares ou outra rocha metamórfica. Nessa categoria os tipos mais conhecidos são os gnaisses que resultam da transformação dos granitos, mármore que se formam a partir da metamorfose dos calcários e os quartzitos que resultam da transformação dos arenitos.
- rochas sedimentares: rochas sedimentares podem ter formação do tipo mecânica, orgânica ou química. A formação mecânica acontece a partir da deposição de partes vindas de outras rochas existentes, formação orgânica é resultado do acúmulo de materiais vindos de animais ou vegetais e a formação química é o resultado da dissolução de sais em água. O exemplo mais comum desse tipo é o calcário.

## 2.2.2 Solos residuais e transportados

Segundo Caputo (1987), solos residuais são formados a partir do material que se desprende da rocha mãe e continuam no mesmo local até atingir sua decomposição. No grupo dos solos residuais, alguns tipos têm destaque, como os solos lateríticos, expansivos e porosos.

Já para Pinto (2006), solo residual é o tipo de material que se decompõe no próprio local onde se formou. Para que esse tipo de material se forme, é necessário que fatores como clima e vegetação ocorram de acordo com as necessidades. Para que solos residuais se formem é necessário que o tempo em que a rocha se decompõe seja menor que o tempo de remoção por agentes externos. Um dos locais onde mais se encontra solos residuais é no Brasil, pois o clima tropical é considerado ideal para a formação desse tipo de solo. Esse tipo de material apresenta um nível de intemperismo decrescente. A Figura 1 mostra as camadas onde a transição é gradativa.

Figura 1: Perfil de solo residual.



Fonte: Pinto, 2006.

Os solos residuais, segundo Pinto (2006), podem ser classificados em:

- solo residual maduro: localizado superficialmente, onde perdeu todas as características da rocha mãe e transformou-se em camada homogênea;
- solo saprolítico: ainda apresentam as características da rocha mãe, mas houve perda na consistência da rocha;

- rocha alterada: horizonte onde se mantém grandes partes da rocha original.

Quando se tratar de solo residual, é importante indicar a rocha mãe, pois entre outros fatores, ela apresenta a composição física. Solos residuais de basalto geralmente são argilosos, de gnaisses são predominantemente siltosos e de granito aproximam-se de areias.

Solos transportados, segundo Pinto (2006), é o tipo de solo que foi carregado para o local onde se encontra com a ajuda de algum agente de transporte. Dentro do grupo de solos transportados tem a existência de sub-grupos, de acordo com o agente pelo qual como o solo foi carregado:

- solos coluvionares: são transportados pela ação da gravidade, compostos por materiais diversos;
- solos aluvionares: são transportados pela ação da água, comum ser argilas e areias;
- solos eólicos: são transportados pela ação do vento, comum em areias;
- solos *drifts*: são transportados por geleiras.

### 2.2.3 Pedologia

Segundo Caputo (1998), pedologia é a ciência que estuda a origem e classificação das camadas superficiais da terra, considerando fatores como agentes climáticos. Para os pedologistas a origem de um solo é função de sua rocha mãe sofrendo ações como clima, tempo e organismos vivos. Com base nos critérios pedológicos, o solo se divide em três tipos: climatogênicos, intrazonais e azonais. Um exemplo do primeiro tipo é o grupo dos lateríticos, que é típico do clima quente e úmido e ocorre com grande frequência no Brasil.

Já para Pinto (2006), pedologia é a parte da ciência que estuda as transformações da superfície. Para a pedologia os fatos que definem as propriedades dos solos são: rocha mãe, clima, topografia, etc. No Brasil o tipo de solo encontrado em sua maior parte é o laterítico, formado a partir de clima quente e úmido. Esse tipo é bastante empregado em pavimentação, pois quando compactado sua capacidade de suporte é geralmente elevada e não apresenta expansão com a presença de água.

Segundo Oliveira e Brito (1998), um perfil pedológico divide-se em vários horizontes, que são:

- Horizonte de solo orgânico: presente na maioria dos perfis, composto em sua maior parte de matéria orgânica. Corresponde ao horizonte A do perfil pedológico.

- Horizonte laterítico: composto tanto por solos residuais como por transportados. Corresponde ao horizonte B do perfil pedológico. Possui cores de tons avermelhados.

- Horizonte de solo saprolítico: composto de solos residuais, com cores predominantes roxa, creme e amarelo-claro. Corresponde ao horizonte C do perfil pedológico.

## **2.3 Caracterização dos solos**

### **2.3.1 Granulometria**

Segundo a NBR 6502/1995, granulometria é como o solo se apresenta conforme o tamanho de suas partículas e seu peso representado em porcentagem.

Pinto (2006) expõe que para determinar a dimensão das partículas presentes em um determinado tipo de solo é preciso realizar a análise granulométrica, que é executada através de dois ensaios: peneiramento e sedimentação. Uma parte de amostra granular do solo é sujeita ao peneiramento em uma série de peneiras ordenadas, onde o material retido em cada uma é pesado e anotado para que no fim do ensaio sejam realizados os cálculos e determinada a porcentagem passante em cada peneira. A parte de finos (material com tamanho inferior à 0,075mm) é submetida ao ensaio de sedimentação, baseado na Lei de Stokes, que é função da velocidade de queda das partículas em um ambiente líquido, correlacionando a velocidade de queda com o seu diâmetro. Com esses valores traça-se a curva granulométrica.

Conforme a NBR 6502/1995, curva granulométrica é a representação gráfica da granulometria de um solo, onde no eixo das abcissas, com escala logarítmica, representa o tamanho da abertura das peneiras e no eixo das coordenadas são colocados os dados em porcentagem de solo seco acumulado em relação à massa total seca.

Conforme a NBR 6502/1995, as divisões das frações de solo segundo a granulometria, são as seguintes:

- Pedregulho: com diâmetro entre 2 mm e 60 mm;
- Areia: com diâmetro entre 0,06 mm e 2 mm;
- Silte: com diâmetro entre 0,002 mm e 0,06 mm;
- Argila: com diâmetro menor do que 0,002 mm.

### 2.3.2 Limites de Atterberg

Conforme Caputo (1998), quando o solo se encontra na forma de um fluido denso chama-se de estado líquido. Quando o mesmo começa a perder água por evaporação, fica mais rígido até chegar em um determinado LL (Limite de Liquidez) ficando assim em um estado plástico. Quando o solo continua perdendo umidade, chega no LP (Limite de Plasticidade).

O ensaio para a determinação do Limite de Liquidez (LL) é realizado através do aparelho de Casagrande, que é formado por um prato em forma de concha e um cinzel utilizado para abrir um sulco no solo. Com o sulco aberto, proferem-se golpes com o aparelho até o fechamento do mesmo. Uma vez realizado o ensaio, define-se o LL por interpolação gráfica, o qual corresponde ao teor de umidade com qual o sulco fecha-se com 25 golpes.

No ensaio para a determinação do Limite de Plasticidade (LP), tenta-se moldar um cilindro com 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro. Quando o solo do cilindro começa a se fragmentar toma-se seu teor de umidade que é definido por Limite de Plasticidade.

Após a realização dos ensaios, calcula-se o IP (Índice de Plasticidade) que é a diferença entre os Limites de Liquidez e Plasticidade, representado na Equação 1.

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Quanto maior for o valor do IP, mais plástico é o solo. No caso das areias, não há plasticidade, portanto  $IP=NP$  (não plástico). Levando em consideração o valor do IP, os solos podem ser classificados, segundo Caputo (2015), como:

$1 < IP < 7$  ----- fracamente plásticos

$7 < IP < 15$  ----- mediamente plásticos

$IP > 15$  ----- altamente plásticos

Alguns valores típicos para os índices de consistência de alguns solos brasileiros são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Índices de consistência típicos de alguns solos brasileiros.

Solo	Descrição do solo	LL	IP
a	Argila orgânica de Santos	120	75
b	Argila porosa laterítica	80	35
c	Solo residual de basalto	70	42
d	Solo residual de granito	55	25
e	Areia variegada de São Paulo	38	20
f	Solo residual de arenito	32	12
g	Solo residual de migmatito	44	18
h	Solo estabilizado para pavimentação	24	3
i	Areia fluvial fina	NP	NP
j	Areia fluvial média	NP	NP
k	Areia fluvial média	NP	NP

Fonte: Pinto,2006.

### 2.3.3 Peso específico real dos grãos

Pinto (2006) define peso específico real dos grãos como a relação entre o peso e o volume das partículas sólidas. Para a sua determinação faz-se o ensaio com o auxílio de um picnômetro. O peso específico dos grãos não varia muito com o tipo de solo. Valores para areias ficam perto de 26,5 kN/m<sup>3</sup>, enquanto para argilas lateríticas ficam na faixa de até 30 kN/m<sup>3</sup>. Quando não se tem o valor do peso específico do solo em análise, adota-se 27 kN/m<sup>3</sup>.

### 2.4 Compactação e Índice de Suporte Califórnia – ISC

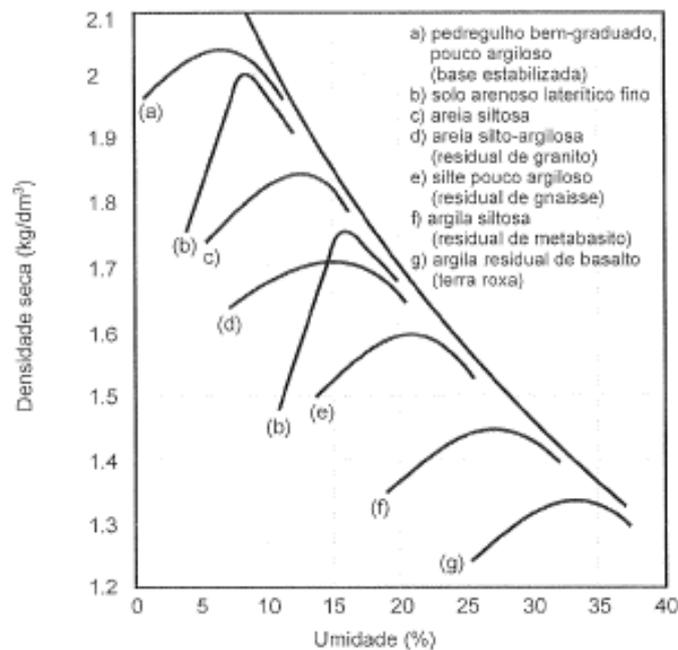
Conforme Caputo (1998), compactação é a maneira com a qual o solo diminui seu volume de vazios, aumentando a resistência e ficando mais estável. O processo pode ser manual ou mecânico.

No ensaio de compactação, têm-se uma energia pré-estabelecida para realizar a compactação do solo e umidades que variam. Quando realizado e colocados os dados em um gráfico, obtém-se uma curva de compactação gerada pelas umidades (h) e pelos pesos específicos aparentes secos, onde no pico da curva situa-se o peso

específico aparente seco máximo e a sua umidade correspondente é definida como umidade ótima. A curva de compactação nunca poderá alcançar a curva de saturação.

A Figura 2 traz os valores típicos de curvas de compactação de diversos tipos de solos brasileiros.

Figura 2: Valores típicos de solos brasileiros.



Fonte: Pinto (2006).

Já no ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), Caputo (1998), expõe que depois de realizar o ensaio de compactação na umidade ótima, realiza-se o ensaio de expansão, onde o corpo de prova fica em um recipiente com água durante 4 dias. Acoplado ao corpo de prova tem um extensômetro onde são feitas leituras a cada 24 horas durante os 4 dias. Considera-se um material de subleito bom se a expansão for menor do que 3%. Depois mede-se a resistência à penetração do corpo de prova, com o auxílio de um equipamento com pistão provocando puncionamento na amostra. A deformação que ocorre é medida através de um defletômetro. As pressões obtidas através do ensaio, em porcentagem, será o Índice de Suporte Califórnia.

Usualmente calcula-se o ISC que equivale à penetração de 0,1" e 0,2", utilizando a que corresponder ao maior valor. Pode-se calcular o ISC através da Equação 3.

$$ISC = \frac{P}{P_p} \times 100 \quad (3)$$

Onde “P” é a pressão que foi lida ou corrigida e “Pp” é a pressão padrão.

## 2.5 Classificações MCT e G-MCT

A classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) é um método não convencional para a classificação de solos, apresentada por Nogami e Villibor (1995). Esse método engloba basicamente o ensaio de compactação e o ensaio de perda de massa por imersão, utilizando corpos de prova de 50 mm de diâmetro. Essa classificação, a qual é voltada para solos finos (diâmetro dos grãos menores que 2mm), separa os solos em duas classes: solos de comportamento laterítico e solos de comportamento não laterítico. Dentro dessas duas classes são contidos sete grupos de solos:

**LG’** – Argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas. Caso possuam uma quantidade grande de areia, quando compactadas podem apresentar características semelhantes ao grupo LA’. Variando fatores como massa específica e capacidade de suporte. Seu uso é permitido para utilização em revestimento primário.

**LA’** – Areias argilosas lateríticas. Grupo composto por solos tipicamente arenosos de cor vermelha e amarela e excepcionalmente pode ser branca ou cinza. Esse tipo de solo quando compactado apresenta baixa permeabilidade, módulo de resiliência elevado, pouca expansão, razoável coesão. O conjunto destas propriedades indicam o material para o uso em revestimento primário.

**LA** – Areias com pouca argila laterítica. O grupo é formado por areias com baixa quantidade de material fino de comportamento laterítico, por isso podem ser relativamente permeáveis, pouco coesivos e com baixa capacidade de contração, apresentando características pouco desejáveis para revestimento primário.

**NG’** – Argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não lateríticas. Grupo de solos que mesmo quando compactados na umidade ótima apresentam características de plasticidade e expansão elevadas, não sendo indicadas ao uso em revestimento primário.

**NS’** – Siltes caolínicos, siltes arenosos e siltes argilosos não lateríticos. Materiais desse grupo podem ter características parecidas com a do grupo NA’.

Podem ter baixa capacidade de suporte e baixa massa específica aparente seca, não é recomendado para o uso em revestimento primário.

**NA'** – Areias siltosas e areias argilosas não lateríticas. Grupo composto por misturas de areias quartzosas com finos não lateríticos. Conforme suas variedades podem mudar os valores de expansão e resiliência, seu uso é de média indicação para revestimento primário.

**NA** – Areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não lateríticos. Grupo no qual o material é formado basicamente de quartzo e/ou mica e praticamente não apresenta argila e silte. São pouco expansíveis e quando compactados mostram uma capacidade de suporte pequena a média. Seu uso é pouco recomendado para o revestimento primário.

A Tabela 2 mostra as propriedades dos solos de cada grupo e recomendações quanto alguns empregos.

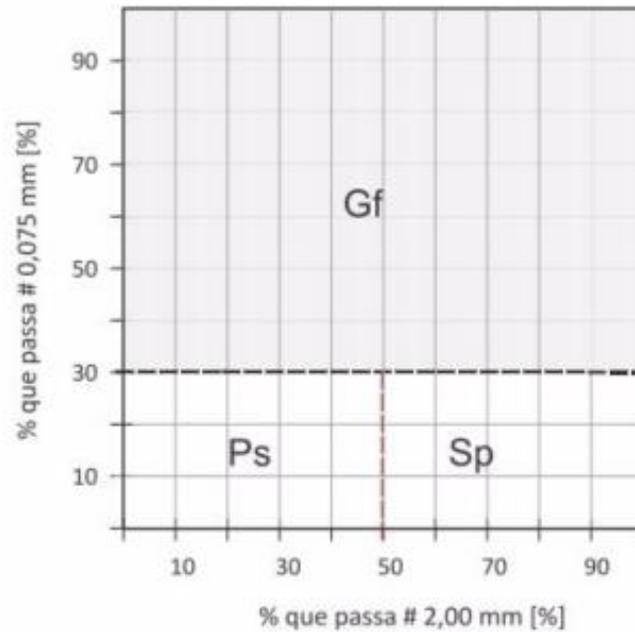
Tabela 2: Dados dos grupos de solos da classificação MCT.

DESIGNAÇÃO			GRANULOMETRIAS TÍPICAS Designações do T1-71 do DER-SP						
k=caolinítico s=sericítico		m=micáceo q=quartzoso	areias siltos (q,s)	areias siltosas	siltos (k,m) siltos arenosos	argilas argila arenosa argila siltosa siltos argilosos	areias	areias argilosas	argilas argila arenosa argila siltosa siltos argilosos
COMPORTAMENTO			N = Não Laterítico				L = Laterítico		
GRUPO MCT			NA	NA'	NS'	NC'	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 (Es)		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		Vide Tabela 3.5 para equivalente numérico		
Utilização	Base de pavimento		n	4°	n	n	2°	1°	3°
	Reforço do subleito compactado		4°	5°	n	n	2°	1°	3°
	Subleito compactado		4°	5°	7°	6°	2°	1°	3°
	Aterro (corpo) compactado		4°	5°	6°	7°	2°	1°	3°
	Proteção à erosão		n	3°	n	n	n	2°	1°
	Revestimento primário		5°	3°	n	n	4°	1°	2°
			n = não recomendado						
Grupos tradicionais obtidos de amostras que se classificam nos grupos MCT discriminados nos topos das colunas		USCS	SP SM	MS SC ML	SM, CL ML, MH	MH CH	SP SC	SC	MH ML CH
		AASHTO	A-2	A-2 A-4 A-7	A-4 A-5 A-7-5	A-6 A-7-5 A-7-5	A-2	A-2 A-4	A-6 A-7-5

Fonte: Nogami e Villibor, 2009.

Segundo Alves e Villibor (2017), a classificação G-MCT tem como objetivo verificar o comportamento do material com granulometria grossa, suprindo assim a limitação da classificação MCT que fica restrita a solos predominantemente finos. Para realizar a determinação do tipo granulométrico do solo granular, tomam-se os valores obtidos na análise granulométrica e enquadra-os no gráfico da Figura 3, onde o eixo das abcissas apresenta a quantidade que passa na peneira #2,00mm em porcentagem, e no eixo das coordenadas é a quantidade de material passante na peneira #0,075mm.

Figura 3: Classificação G-MCT.



Fonte: Revista Pavimentação Ed43.

onde:

Ps – constituído de pedregulho com solo;

Sp – constituído de solo com pedregulho;

Gf – constituído de material granular com média a elevada quantidade de finos;

Após chegar ao tipo granulométrico, encontra-se a classificação G-MCT, que em conjunto com a classificação MCT tradicional encontra-se o novo grupo para solos com granulação grossa, mostrada na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação G-MCT.

CLASSIFICAÇÃO G-MCT									
Granulometria		Tipos	Grupo MCT da parte fina da amostra						
% que passa			LA	LA'	LG'	NA	NA'	NS'	NG'
# n° 10	# n° 200		Classe GL			Classe GN			
2,0 mm	0,075 mm		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'
-	> 30	Gf	Gf-LA	Gf-LA'	Gf-LG'	Gf-NA	Gf-NA'	Gf-NS'	Gf-NG'

Fonte: Alves e Villibor, 2017.

Por fim, qualifica-se o material quanto ao uso conforme as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Diversos dados de solos lateríticos da classificação G-MCT.

CLASSIFICAÇÃO G-MCT											
CLASSE GL (GRANULAR COM FINOS DE COMPORTAMENTO LATERÍTICO)											
GRANULOMETRIAS TÍPICAS			Ps: Pedregulho com solo			Sp: Solo com pedregulho			Gf: Granular fino		
GRUPOS MCT DOS FINOS ( $\varnothing < 2,0$ 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	CBR	Imerso com sobrecarga	E, EE		E	E, EE		E, EE	M, E		E
		Expansão (Es)	B	B	B	B	B	B	B	B	
	Contração* (C)	B	B	B	B	B	B, M	M			
	Coef. Permeabilidade* (Kg)	E	M, E	E	M	M, E	B, M				
Propriedades estimadas em CPs compactados na MEASmáx da EN			EE = Muito Elevado E = Elevado			M = Médio B = Baixo			Intervalos de valores correspondentes indicados na Tabela 3		
UTILIZAÇÃO	Base e sub-base de pavimento		2º	5º	1º	4º	3º	6º			
	Reforço e/ou subleito compactado		1º	4º	2º	5º	3º	6º			
	Proteção à erosão e revestimento primário		n	5º	1º	3º	2º	4º			
n = não recomendado											
* Valores estimados para camada granular por meio da contração (Ct) e permeabilidade (K) obtidos pela MCT de sua fração $\varnothing < 2,0$ mm											

Fonte: Alves e Villibor, 2017.

Tabela 5: Diversos dados de solos não lateríticos segundo a classificação G-MCT.

CLASSIFICAÇÃO G-MCT													
CLASSE GN (GRANULAR COM FINOS DE COMPORTAMENTO NÃO LATERÍTICO)													
GRANULOMETRIAS TÍPICAS		Ps: Pedregulho com solo			Sp: Solo com pedregulho			Gf: Granular fino					
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 siltoso não laterítico	Solo siltoso não laterítico com pedregulho	Solo granular fino siltoso 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	CBR	Imerso com sobrecarga	E, EE	E	E, EE	E, EE	M, E	E	M, E	E	M, E	E	
		Expansão (Es)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
		Contração* (C)	B	B	B	B	B, M	M	B, M	M	B, M	M	
		Coef. Permeabilidade* (Kg)	E	M, E	E	M	M, E	B, M	M, E	B, M	M, E	B, M	
	Propriedades estimadas em CPs compactados na MEAS <sub>máx</sub> da EN		EE = Muito Elevado E = Elevado				M = Médio B = Baixo		Intervalos de valores correspondentes indicados na Tabela 3				
UTILIZAÇÃO	Base e sub-base de pavimento		2º	n	1º	n	4º	n	5º	n			
	Reforço e/ou subleito compactado												
n = não recomendado													
* Valores estimados para camada granular por meio da contração (Ct) e permeabilidade (K) obtidos pela MCT de sua fração $\phi < 2,0$ mm													

Fonte: Alves e Villibor, 2017.

Na classificação G-MCT, solos dos grupos Ps-LA', Sp-LA', Ps-LG', Sp-LG' e Gf-LA' são indicados para o uso em revestimento primário. Já os solos dos grupos Gf-LG' e Gf-LA são pouco recomendados e os grupos Ps-LA e Sp-LA não são indicados.

Para os demais, não consta o emprego para revestimento primário, mas considerando que os solos não lateríticos são pouco indicados, pressupõe-se que não é indicado o emprego desses solos para o revestimento primário.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição do local do estudo

O local de estudo localiza-se no município de Encruzilhada do Sul, sendo a seguir apresentadas as descrições físicas, geológicas e pedológicas dos pontos de coleta de amostras de solo. Encruzilhada do Sul está localizada na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. Os locais onde foram coletados os solos apresentam as seguintes coordenadas: para o subleito (solo 1),  $30^{\circ}33'53,73''$  (latitude) e  $52^{\circ}30'23,23''$ W (longitude) e para a jazida de solo com potencial uso no revestimento primário (solo 2)  $30^{\circ}32'31,00''$ S (latitude) e  $52^{\circ}30'25,21''$ W (longitude), conforme apresentado na Figura 4. Ambas coordenadas foram obtidas com o auxílio de um GPS de mão.

Figura 4: Ponto de coleta de amostras

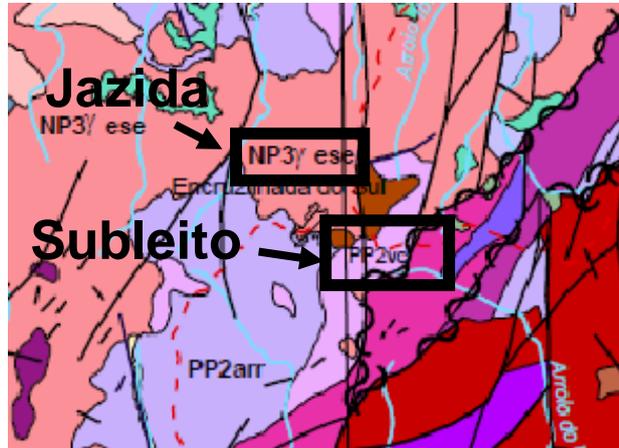


Fonte: Google Earth

De acordo com o mapa dos biomas, exposto por SEPLAG/RS (2004), o Município se enquadra no Bioma Pampa, no qual a ocorrência é restrita ao Rio Grande do Sul, localizado na metade sul do estado. É caracterizado pelo conjunto de vegetação de campo com relevo na maioria das vezes de planície e também pela vasta diversidade de fauna e flora ainda não exploradas. O município apresenta ainda clima subtropical, de classificação mesotérmico úmido, localizado na região denominada Serra do Sudeste.

Conforme o mapa Geológico do Rio Grande do Sul, disponibilizado por CPRM (2006), os pontos de coleta de amostras são classificados de acordo com a Figura 5.

Figura 5: Localização no mapa geológico dos pontos de coleta de amostras.



Fonte: Adaptado de Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2006.

O solo do subleito (solo 1) está localizado na região identificada com a sigla PP2VC, com formação Geológica da Província da Mantiqueira, do grupo Suíte Metamórfica Várzea do Capivarita, que pertence ao éon Proterozóico, era Paleoproterozóico, período Riáciano. Essa região é composta por gnaisse pelítico e quartzo-feldspático, com lentes de mármore e anfibolito intercaladas.

Já o solo da jazida (solo 2) está localizado na região identificada com a sigla NP3γese, com formação Geológica da Província da Mantiqueira, do grupo Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, subgrupo Granito Encruzilhada, pertencente ao éon Proterozóico, era Neoproterozóico, período Ediacariano. Essa região é composta por monzogranito porfirítico a sienogranito, com variação textural de granular grosso a porfirítico.

Com relação à pedologia, o local onde foi extraído o solo 1, segundo Streck et al. (2008), fica enquadrado num argissolo vermelho-amarelo distrófico úmbrico (unidade Camaquã – PVA4). Segundo o autor, os argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos variando de bem drenados a imperfeitamente drenados, apresentando um perfil com uma sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, onde o horizonte Bt é do tipo textural. Esse horizonte, do qual foi extraído o solo, é significativamente mais argiloso do que os horizontes superiores.

Já o solo 2, segundo os autores, se enquadra na classe do neossolos regolítico distro-úmblico líptico ou típico (unidade Pinheiro Machado- RRdh2). Os neossolos são rasos ou profundos, e no perfil em questão apresenta uma sequência A-Cr-R, sendo o solo extraído do horizonte Cr. Esse horizonte, do qual foi extraído o material, é constituído por rocha alterada, pouco afetada por processos de intemperização.

### 3.2 Coleta de amostras

Foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo representativo do subleito e de jazida com potencial emprego no revestimento primário. Os materiais foram extraídos manualmente com o auxílio de uma pá de corte e foram acondicionados em sacos (Figuras 6 e 7). As amostras coletadas continham aproximadamente 50 Kg de material do subleito da estrada e mais 50 Kg de material da jazida. Logo após coletadas as amostras, elas foram transportadas até a Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, no Laboratório de Solos e Pavimentação, onde foram armazenadas em bandejas para secar ao ar, visando a realização dos ensaios previstos.

Figura 6: Local da extração da amostra do subleito.



Fonte: o autor.

Figura 7: Local de extração de solo potencial.



Fonte: o autor.

O solo do subleito foi extraído do barranco da estrada numa cota equivalente àquela do subleito da pista para à uma cota de 80 cm. O material foi extraído do barranco para evitar de pegar material contaminado já utilizado no reparo da estrada. E o solo da jazida à uma cota de 2,0 m.

### 3.3 Ensaio de Caracterização

Para o presente trabalho foram realizados os principais ensaios de caracterização de solos, entre eles: granulometria, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e peso específico real dos grãos. Para a realização desses ensaios foram seguidas a revisão bibliográfica e também algumas Normas Brasileiras, tais como:

- ABNT NBR 6457/2016 Solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização;
- ABNT NBR 7181/2016 Solo – Análise granulométrica;
- ABNT NBR 6459/1984 Solo – Limite de liquidez;
- ABNT NBR 7180/2016 Solo – Limite de plasticidade;
- ABNT NBR 6508/1984 Solo – Determinação da massa específica.

### 3.3.1 Ensaio de análise granulométrica

O ensaio de análise granulométrica foi realizado seguindo-se a NBR 7181/2016, sendo realizado o processo de peneiramento e sedimentação.

O solo foi destorroado com o auxílio de um almofariz e em seguida passado na peneira de 2,0mm. O material retido nessa peneira foi lavado para retirar os finos ainda presentes e logo depois colocado em uma estufa com a temperatura de 105°C à 110°C. Após obter a constância de massa do material na estufa, foi feito de modo manual o peneiramento grosso, com o auxílio das peneiras com abertura de 50, 38, 29, 25, 19, 9,5, e 4,8mm.

Foi separado 120 g de solo passante na peneira de 2,0mm e anotado como Mh. Foram determinados três teores de umidade com 100 g de solo.

O solo retirado na peneira com malha de 0,075mm foi utilizado para a realização do peneiramento fino, onde com o auxílio de um agitador mecânico foi submetido a peneiras com aberturas de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15, e 0,075mm (Figura8).

Figura 8: Peneiramento mecânico.



Fonte: o autor.

Durante o processo de peneiramento, foi tomado 70 g do material passante na peneira de 2,0mm e anotado como Mh, logo em seguida foi transferido a um copo de béquer com 250 cm<sup>3</sup> e acrescentou-se 125 cm<sup>3</sup> de hexametáfosfato de sódio. O béquer foi agitado até que o material ficasse totalmente imerso e, então, foi deixado em repouso por no mínimo 12 horas (Figura 9). Após este período a amostra foi submetida à dispersão por 15 minutos (Figura 10).

Figura 9: Amostras em repouso.



Fonte: o autor.

Figura 10: Dispersão da amostra.

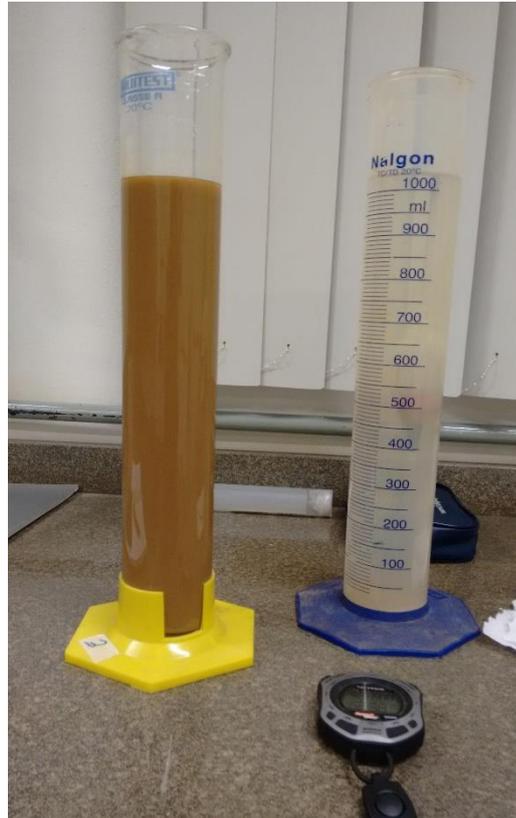


Fonte: o autor.

Na sequência, a dispersão foi transferida para uma proveta de aproximadamente 1000 cm<sup>3</sup>, sendo preenchida a mesma com água destilada até que alcançasse esse nível. Foi colocada a proveta em um local com temperatura constante, agitando-a frequentemente para manter as partículas suspensas. Após alcançar a temperatura constante, foi tampada a proveta, com uma das mãos e realizaram-se movimentos de rotação por um minuto. Feito isso, colocou-se a proveta

sobre uma mesa, anotou-se a hora exata do início da sedimentação e mergulhou-se o densímetro na dispersão (Figura 11). Foram realizadas leituras durante os tempos de 0,5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos e 1,2,4,8 e 24 horas a partir do início da sedimentação.

Figura 11: Início da sedimentação.



Fonte: o autor.

Após realizados os ensaios, identificou-se quanto ficou retido em cada peneira e calculou-se a porcentagem passante em cada uma delas.

### 3.3.2 Limite de Liquidez

A realização desse ensaio seguiu as orientações da NBR 6459/1984. Primeiramente passou-se a amostra de solo com secagem prévia na peneira de 0,42mm até que se obtivesse cerca de 200 g de solo para realizar o ensaio. Colocou-se o solo em um recipiente de porcelana e adicionou-se água destilada até que a mistura obtivesse uma forma homogênea e consistência para que fossem necessários aproximadamente 35 golpes para fechar a ranhura.

Na sequência, a mistura foi transferida para a concha, de modo que a espessura no centro da concha ficasse perto de 10mm, cuidando-se sempre para eliminar o máximo possível de bolhas de ar da mistura.

Depois de preencher a concha com a mistura de solo, abriu-se uma ranhura com o auxílio de um cinzel no centro da concha, deslocando-se o cinzel perpendicularmente à superfície da concha.

Logo em seguida, girou-se a manivela do aparelho de Casagrande até que a ranhura se fechasse e foi anotado o número de golpes necessários para isso. Depois disso, pegou-se uma amostra no ponto onde as bordas se uniram, pesou-se a mesma e foi levada até a estufa para fazer a determinação do teor de umidade.

Colocou-se o que restou de solo de volta para o recipiente de porcelana, lavou-se a concha e o cinzel, adicionou-se mais água na mistura e realizou-se o ensaio novamente (Figura 12). Repetiu-se o ensaio cinco vezes e obter um intervalo de 15 a 35 golpes para fechar a ranhura.

Por fim, traçou-se um gráfico onde nas ordenadas, em escala logarítmica, são plotados os números de golpes e nas abcissas os teores de umidade, obtendo-se aproximadamente uma reta. Nessa reta, foi identificado o teor de umidade para 25 golpes, que corresponde ao Limite de Liquidez do solo.

Figura 12: Aparelho de Casagrande.



Fonte: o autor.

### 3.3.3 Limite de Plasticidade

Para a realização deste ensaio foram seguidas as orientações da NBR 7180/2016.

Primeiramente, tomou-se 200 g de solo destorroado passante na peneira 0,42mm. Esse solo foi colocado em um recipiente de porcelana e foi adicionado água destilada de modo a deixar a amostra com o teor de umidade próximo ao Limite de Liquidez, ou alcançar uma consistência plástica.

Tomou-se cerca de 10 g da mistura e o rolou-se sobre uma placa de vidro, onde com a mão foi dado o formato de um cilindro com 3mm de diâmetro e 100mm de comprimento. Ao atingir o formato, comparou-se com a haste que serve como gabarito, o cilindro de solo chegou a este ponto sem se fragmentar, colocou-se o cilindro em uma cápsula, pesou-se e o levou para uma estufa a fim de medir o teor de umidade (Figura 13). O ensaio foi repetido até obter três valores de umidade. O valor do Limite de Plasticidade do solo foi a média dos três resultados obtidos apresentados em porcentagem.

Figura 13: Ensaio de Limite de Plasticidade.



Fonte: o autor.

### 3.3.4 Peso Específico Real dos Grãos

Para a realização deste ensaio, foram seguidas as orientações da NBR 6508/1984. Primeiramente, tomou-se 500 g de solo passante na peneira 4,8mm, quantidade essa necessária para realizar o ensaio duas vezes. O solo estudado

tratou-se de argila ou silte, utilizando-se cerca de 100 g de solo e colocou-se em uma cápsula onde o solo esteve em completa imersão no mínimo por 12 horas. Se o solo se tratar de areia a quantidade é de 120 g. O material restante foi utilizado para a determinação de umidade.

Após o período necessário, transferiu-se o material para o copo de dispersão, lavando a cápsula com água destilada para evitar perda de solo. Foi acrescentada água destilada até a metade do copo e dispersado durante 15 min.

Após, o material foi transferido para um picnômetro, lavando-se o copo para que não houvesse perda de material e foi adicionada água destilada até a metade do picnômetro. Após isso, foi submetido a vácuo de no mínimo 88 KPa durante 15 min (Figura 14). Na sequência, acrescentou-se água até 1 cm da base do gargalo do picnômetro e submeteu-se novamente ao vácuo pelo mesmo tempo.

Figura 14: Amostra no aparelho de vácuo.



Fonte: o autor.

Depois foi adicionada água até 1 cm abaixo da marca de calibração do picnômetro e deixou-se em repouso até atingir a temperatura ambiente. Por fim, foi adicionada água até atingir a marca de referência do picnômetro.

Feito isso, pesou-se o picnômetro + solo + água e logo em seguida calculou-se a massa específica dos grãos de acordo com a Equação 4.

$$\delta = \frac{M1 \times 100 / (100 + h)}{\left[ \frac{M1 \times 100}{100 + h} \right] + M3 - M2} \times \delta t \quad (4)$$

Onde:

$\delta$ -massa específica dos grãos

M1-massa do solo úmido

M2-massa do picnômetro + solo + água

M3-massa do picnômetro com água até a marca de referência

h- umidade inicial da amostra

$\delta_t$ - massa específica da água na temperatura do ensaio

Após isso, multiplicou-se o valor da massa específica dos grãos pelo valor da gravidade, obtendo-se assim o peso específico real dos grãos.

### **3.4 Ensaio de compactação**

Para a realização do ensaio de compactação foram seguidas as orientações da NBR 7182/1986, que tem como objetivo definir a relação entre teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo estudado quando compactado.

Para começar o ensaio foi colocado aproximadamente 5 Kg de solo destorroado, previamente seco e passante na peneira de 19,0mm em uma bandeja e acrescentado a ele água destilada em uma quantidade que a amostra fique 5% abaixo da umidade ótima, logo em seguida homogeneizar cuidando para não perder umidade. Devido à granulometria do solo, conforme prescrição da norma, foi utilizado o cilindro grande.

Depois de homogeneizada, a amostra foi dividida em cinco camadas iguais, em cada camada foram aplicados 12 golpes distribuídos de maneira uniforme com o soquete grande (energia normal de Proctor). Após isso, realizou-se o arrasamento na altura do molde e em seguida pesou-se a amostra. Feito isso, foi retirado a amostra compactada do cilindro com o auxílio de um extrator e retirado do meio da amostra uma pequena quantidade para a determinação do teor de umidade.

Com o solo que sobrou, colocou-se de volta na bandeja e foi destorroado até que fique teoricamente passante novamente na peneira de 19,0mm e misturado com o solo que já havia restado na bandeja. Depois acrescentou-se mais 3% de água destilada e realizou-se o ensaio novamente. Esse ensaio foi executado no mínimo 5 vezes ou a quantidade de vezes necessárias para calcular as massas específicas e os teores de umidade a fim de obter a curva de compactação.

### 3.5 Índice de Suporte Califórnia- ISC

O objetivo deste ensaio foi medir a expansão e a capacidade de suporte do solo compactado e seguiu as orientações da NBR 9895/1987.

Primeiro passou-se o solo em uma peneira 19,0mm e obter cerca de 5 Kg de solo. Logo em seguida, foi realizada a medição do cilindro a fim de obter seu volume e também a pesagem do mesmo e seus componentes. Depois disso, acrescentou-se água destilada ao solo na quantidade para se obter a umidade ótima e em seguida homogeneizou-se a amostra.

O próximo passo foi realizar a compactação da amostra, que foi feita utilizando energia normal, em cinco camadas com 12 golpes cada. Depois disso, foi feito o arrasamento da amostra e a pesagem do conjunto.

Logo em seguida foi feita a determinação da expansão, onde retirou-se o disco espaçador do fundo do molde, virou-se o cilindro e colocou-o no prato-base perfurado. Foi realizada uma adaptação nessa parte do procedimento, optando-se por realizar o ensaio de expansão sem sobrecarga, para simular a situação real, onde as camadas, diferentemente do caso de um pavimento convencional, não possuem camadas sobrepostas que geram sobrecarga. No prato-perfurado, tinha uma haste onde foi colocado um extensômetro (Figura 15). Logo em seguida tomou-se a leitura inicial e colocou-se o corpo de prova em imersão onde permaneceu por 4 dias. As leituras no extensômetro foram feitas a cada 24 horas durante o período de imersão. O resultado da expansão foi a divisão da diferença entre a leitura final e inicial pela altura inicial do corpo de prova, multiplicando-se o resultado por cem.

Passado o período de 4 dias, o corpo de prova foi retirado da água e deixado escorrer por cerca de 15 min antes de ser levado para o ensaio de penetração. Depois disso, levou-se o corpo de prova para a prensa, onde com o auxílio de um pistão de penetração foi aplicada uma carga de 45N com uma velocidade de 1,27 mm/min. O valor do Índice de Suporte Califórnia foi a divisão entre a pressão calculada ou corrigida pela pressão padrão, multiplicando-se o resultado por cem.

Figura 15: Cilindro com extensômetro.



Fonte: o autor.

### 3.6 Ensaios voltados à Classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)

Para a realização dos ensaios necessários para a classificação MCT foram seguidas as orientações do DNER-CLA 259/1996. Primeiramente foi realizado o ensaio de Mini-MCV, onde foram utilizados corpos de prova de 50mm de diâmetro. Tomou-se cerca de 2 Kg de solo passante na peneira de 2 mm, separados em três porções e foi determinada a umidade higroscópica das mesmas. Depois, foram preparadas 5 amostras de 400g cada, colocando-se água em cada uma visando ter teores de umidade crescentes, com uma faixa um pouco maior do que o ensaio de compactação.

Cada amostra foi colocada em um recipiente e deixada em repouso por cerca de 20 horas. Após esse período, começou-se a compactação a partir da amostra mais úmida, aplicando um número de golpes crescente, seguindo a série: 1,2,3,4,8,12...n...4n. Em cada intervalo foi realizada uma leitura no extensômetro. Os golpes foram interrompidos quando a diferença de altura entre Na-A4n foi menor do que 2mm ou quando fossem atingidos 256 golpes.

Após realizado o ensaio de compactação Mini-MCV, foi realizado o ensaio de Perda de Massa por Imersão. Cada um dos cinco corpos de prova compactados no ensaio anterior foi parcialmente extraído, deixando cerca de 1 cm de solo aparente fora do molde. Após isso, os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água sobre um suporte padrão na posição horizontal. Sob a parte exposta de cada

amostra foi colocado um recipiente para a coleta do material que se desprende (Figura 16).

Figura 16: Amostra imersa em água.



Fonte: O autor.

Após 20 horas o recipiente que aparou o material que se desprende foi levado para a estufa e depois de secar foi pesado, sendo após realizado o cálculo de perda de massa por imersão (Figura 17).

Figura 17: Solo que se desprende seco.



Fonte: O autor.

Depois de realizados os dois ensaios, foram traçados os gráficos de Curvas Mini-MCV, Curvas de compactação e Perda de massa por imersão, com a finalidade obter-se os coeficientes  $c'$  e  $d'$  e também o cálculo do índice de laterização ( $e'$ ).

Para a realização dos cálculos, primeiramente foi obtido o valor do Mini-MCV, através da Equação 5, onde  $B_n$  é o número de golpes que resulta da curva Mini-MCV para  $a_n$  igual a 2mm.

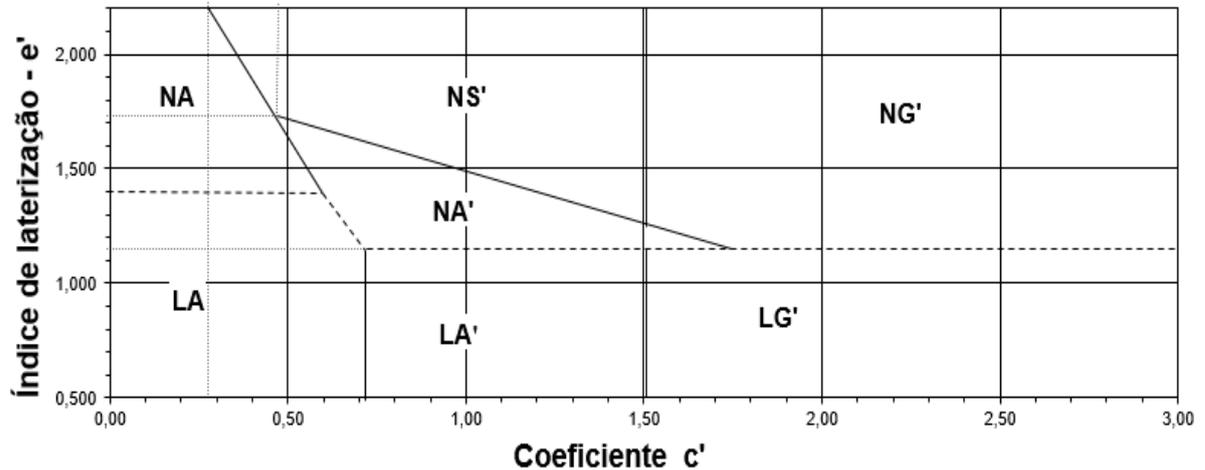
$$\text{Mini MCV} = 10 \log B_n \quad (5)$$

Determinou-se o coeficiente  $P_i$ , onde o valor é correspondente ao Mini-MCV igual a 10 para solos com umidade aparente úmida baixa e 15 para alta. O " $c$ " foi o coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea da curva Mini-MCV correspondente a Mini-MCV igual a 10. O " $d$ " foi o coeficiente angular da parte retilínea e mais inclinada do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes. O coeficiente " $e$ " foi calculado pela Equação 6.

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100}} + \frac{20}{d} \quad (6)$$

Com os valores de “c'” e “e'” foi possível classificar a fração passante na peneira de 2mm de cada solo conforme a Figura 18.

Figura 18: Gráfico MCT.



Fonte: O autor.

Para a classificação G-MCT foi empregada a classificação MCT e as curvas granulométricas dos solos, conforme disposto no item 2.5.

### 3.7 Qualificação dos materiais para o emprego em revestimento primário

A qualificação dos materiais foi baseada nos ensaios, usando principalmente a classificação G-MCT, tomando como base a tabela dos empregos apresentada no item 2.5.

### 3.8 Abstração de conclusões

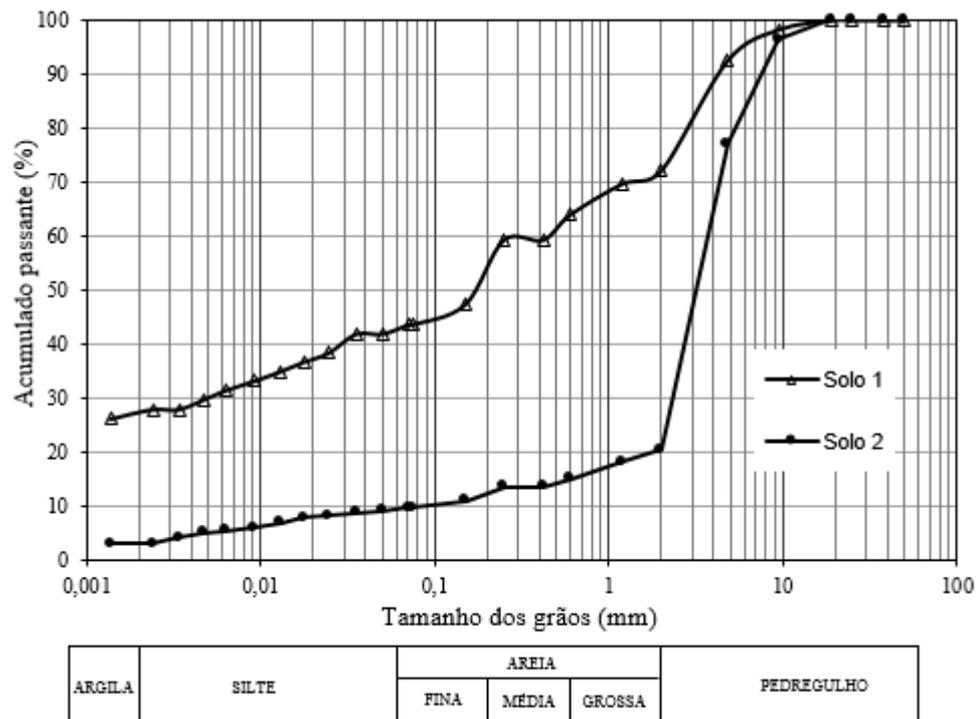
A partir da metodologia descrita, foi possível abstrair conclusões que trouxessem respostas aos objetivos do trabalho.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Caracterização dos materiais

Na Figura 19 são apresentadas as curvas granulométricas dos solos e na Tabela 6 um resumo das suas principais características.

Figura 19: Curvas granulométricas.



Fonte: O autor.

Tabela 6: Resumo dos ensaios de caracterização.

Propriedades		Materiais	
		Solo 1	Solo 2
Granulometria	Pedregulho ( $2\text{mm} < \Phi \leq 60\text{mm}$ )	28%	79%
	Areia ( $0,06\text{mm} < \Phi \leq 2\text{mm}$ )	32%	12%
	Silte ( $0,002\text{mm} < \Phi \leq 0,06\text{mm}$ )	14%	5%
	Argila ( $\Phi \leq 0,002\text{mm}$ )	26%	4%
	Classificação Granulométrica segundo a NBR 6502:1995	Areia Pedregulho-Argiloso	Pedregulho Arenoso
Peso Específico dos Grãos - $\gamma_s$ ( $\text{kN/m}^3$ )		24,4	26,9
Plasticidade	Limite de Liquidez - LL	29%	31%
	Limite de Plasticidade - LP	27%	NP
	Índice de Plasticidade - IP	2%	0%
	Classificação segundo Caputo (2015)	Fracamente Plástico	Não Plástico
Classificação SUCS		SM	GP-GM
		Areia siltosa	Pedregulho siltoso mal graduado
Classificação da AASHTO		A-4	A-1a
		Solo siltoso	Solos grossos (pedregulhos)

Fonte: O autor.

Analisando-se a curva granulométrica do subleito (solo 1), nota-se que o material apresenta média quantidade de argila, importante quantidade de silte e considerável quantidade de areias e pedregulhos, classificando-se como areia pedregulho-argiloso. Já o material da jazida (solo 2) apresentou baixa quantidade de argila, pouca quantidade de silte, média de areia e grande porcentagem de pedregulho, classificando-se como pedregulho arenoso.

O solo 1, conforme exposto no item 3.1, foi extraído de um horizonte Bt de um argissolo, mais argiloso que os superiores. Embora sendo arenoso, ele apresenta boa porcentagem de argila, o que é coerente com a pedologia. O que impede de ser mais argiloso é o fato da rocha ser um gnaisse, a qual é rica em quartzo e possui textura mais graúda.

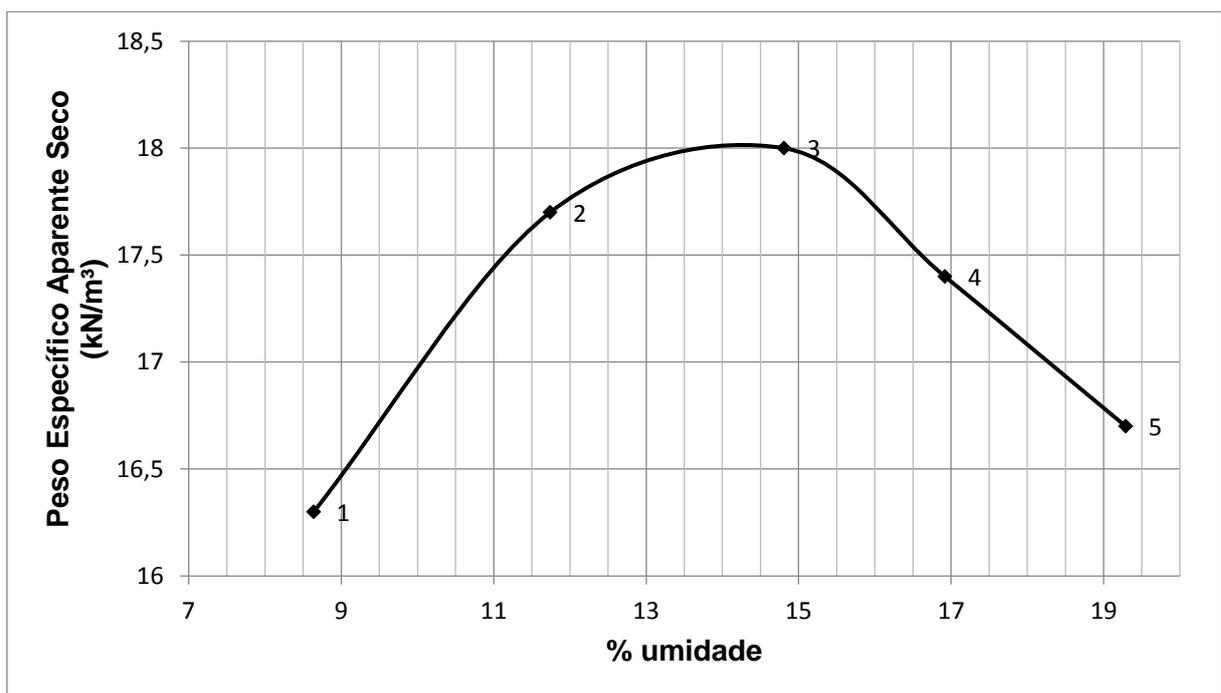
O solo 2 foi extraído de um Cr, que guarda relação íntima com a rocha, a qual, por sua vez é um granito, rica em quartzo e de granulometria grossa. Então a lógica aponta resultar um solo de granulometria graúda, que está coerente com o que se obteve no ensaio.

Observa-se que as classificações tradicionais apresentam pouca coerência com a classificação granulométrica do solo, validando o que Nogami e Villibor (1995) já alertavam, de que em solos desenvolvidos em ambientes tropicais e subtropicais é comum de acontecer de não ser coerente as classificações tradicionais com a real característica do solo.

## 4.2 Ensaio de compactação

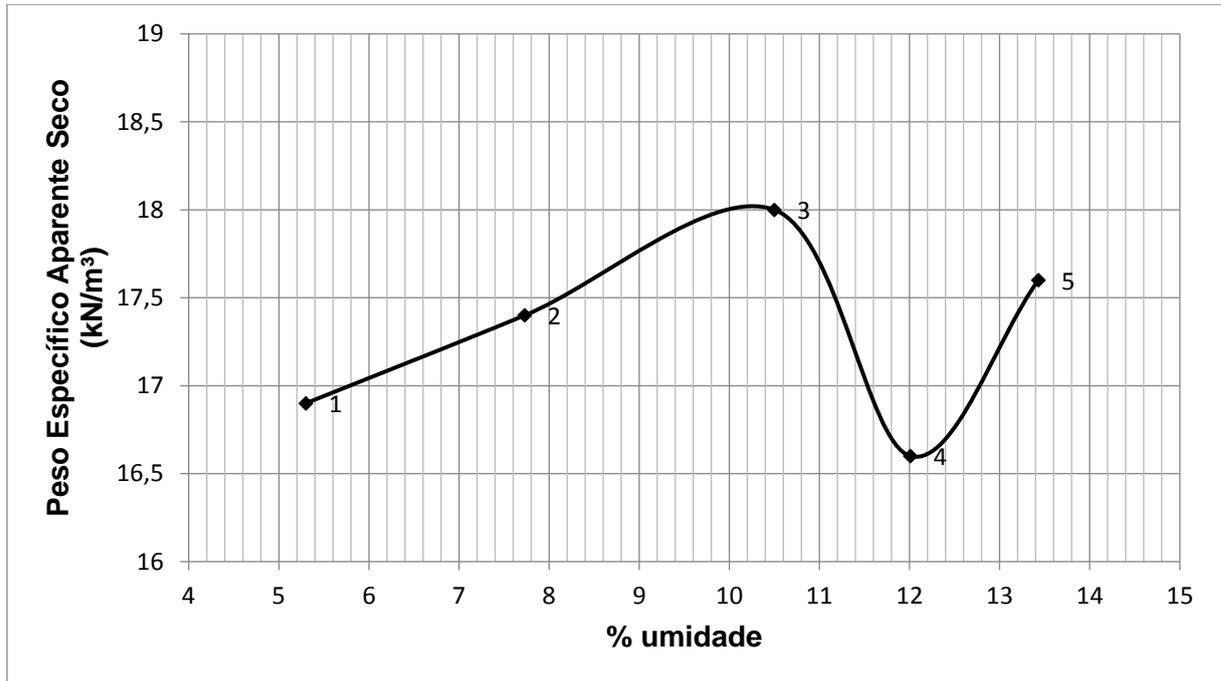
Através do ensaio de compactação foi possível chegar aos valores de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima dos materiais. As figuras 20 e 21 apresentam as curvas de compactação e na Tabela 7 são apresentados os valores dos parâmetros extraídos das curvas.

Figura 20: Curva de compactação do solo 1.



Fonte: O autor.

Figura 21: Curva de compactação solo 2.



Fonte: O autor.

Tabela 7: Parâmetros extraídos das curvas de compactação.

Parâmetros	Solo 1	Solo 2
$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,0	18,0
$W_{ótima}$	14,0%	10,3%

Fonte: O autor.

Não foi apresentada curva de saturação dos solos porque o ensaio de massa específica real dos grãos, empregado para os cálculos da granulometria (etapa de sedimentação) foi realizado somente com a parte miúda do material e a parte graúda é muito significativa. No solo 2 o ponto 5 ficou fora da curva porque se tratando de solos granulares, a curva muda com baixos teores de umidade, sendo que no ponto 5 o solo já apresentava nítida exsudação.

Analisando-se os resultados obtidos, verifica-se que o conjunto de pares de valores (umidade ótima e peso específico aparente seco) estão dentro da ordem de grandeza para solos granulares, de acordo com a Figura 2 do item 2.4 apresentada por Pinto (2006), sendo de 7 à 15% para a umidade ótima e 16,5 à 20,5 para o peso específico aparente seco máximo.

### 4.3 Índice de Suporte Califórnia

Na Tabela 8 são apresentados os valores obtidos nos ensaios de Índice de Suporte Califórnia – ISC.

Tabela 8: Valores de CBR e Expansão.

Índice de Suporte Califórnia			
CBR		Expansão	
(%)		(%)	
Solo 1	Solo2	Solo1	Solo 2
3	20	0,29	0,15

Fonte: O autor.

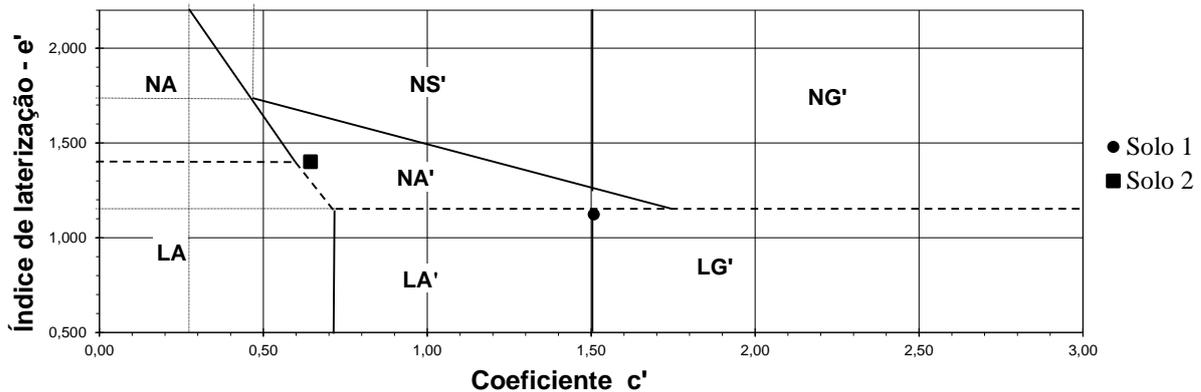
Segundo Nogami e Villibor (1995), o valor de CBR é considerado elevado quando está entre 10 e 30%. Partindo-se dessa consideração, verificou-se que o solo 1 apresentou um CBR de 3%, o que é considerado muito baixo. Já o solo 2 apresentou um CBR de 20%, que é considerado bom. Isso implica que o solo do subleito não poderá funcionar como camada final, demandando uma camada de revestimento primário, tendo em vista sua baixa capacidade de suporte.

Para o teste de expansão, o solo 1 apresentou um valor de 0,29%, já o solo 2 um valor de 0,15%. Nogami e Villibor (1995) afirmam que solos com expansão menor do que 0,5% são classificados de baixa expansão, assim, os dois solos estudados classificam-se como tal.

### 4.4 Classificação MCT e G-MCT

Na Figura 22 são apresentados os resultados dos ensaios de classificação MCT para os dois solos estudados.

Figura 22: Classificação dos solos pela Metodologia MCT.



Fonte: O autor.

Verifica-se que a fração fina do solo 1 ficou com classificação muito próxima das fronteiras de NA', LA' e LG', não sendo possível determinar uma classificação determinística, pois qualquer pequena heterogeneidade do solo pode repercutir em resultados diferentes. A pior situação quanto ao emprego no revestimento primário é quando acaba recaindo no grupo NA'. Já a fração fina do solo 2 classificou-se como NA'.

Através da tabela de utilizações (Tabela 2), os solos pertencentes ao grupo NA' pertencem a 3ª prioridade para o uso em revestimento primário.

Para a classificação G-MCT foram observados a quantidade de material passante nas peneiras de #2 e #0,075mm e enquadradas em um gráfico, conforme descrito no item 2.5. Considerando-se a situação mais desfavorável de classificação MCT da fração fina do solo 1, tem-se que a classificação G-MCT desse solo é Gf-NA'. Já o solo 2 pertence ao grupo Ps-NA'. Na Tabela 5 não é apresentado indicativo quanto ao emprego dos solos pertencentes a esses grupos no revestimento primário. A informação que se dispõe é de que o grupo NA', conforme mencionado anteriormente, se encontra na 3ª prioridade de emprego em revestimento primário. Entretanto, para o solo 2, a fração que passa na peneira de 2mm, a qual é submetida à classificação MCT é de apenas 9%, ou seja, quase insignificante.

Pelo exposto acima, tem-se que para que o solo 2 possa ser empregado no revestimento primário ele requer a adição de finos argilosos de comportamento laterítico, pois devido a sua natureza predominantemente granular é vulnerável a sofrer processos de desagregação. Como reforço do subleito, é altamente indicado, pois, de acordo com a Tabela 5, se enquadra na primeira prioridade.

O solo 1 já é excluído de funcionar como revestimento primário, devido a sua baixa capacidade de suporte, conforme exposto no item 4.3.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da interpretação dos resultados obtidos através dos ensaios de laboratório e classificações, concluiu-se que o solo 1 não é apto para funcionar como camada final devido a sua baixa capacidade de suporte, denotada pelo valor de ISC muito baixo, demandando, portanto, camada (s) de revestimento primário. O solo 2 é pouco recomendado como camada final de revestimento primário devido a deficiência de fração de argila, mas sendo adequado para uso em camada de reforço.

Observaram-se incoerências de resultados das classificações tradicionais com as características dos solos e com a classificação MCT, validando o que é alertado por Nogami e Villibor (1995) quando se tratam de solos desenvolvidos em ambientes tropicais e subtropicais. Portanto, recomenda-se a priorização de uso das classificações MCT e G-MCT quando se tratar desse tipo de solo.

A pesquisa demonstrou que o ISC por si só é insuficiente para qualificar um material para revestimento primário, porque o solo 2, embora tenha apresentado um ISC razoável, devido a deficiência de fração argila, ele tende a desagregar, conforme exposto no item 2.1.2.5.

A geologia e a pedologia no presente estudo se mostraram úteis para prever as características do solo e para possibilitar uma análise crítica dos resultados obtidos nos ensaios de granulometria.

Fica como primeira sugestão para trabalhos futuros estudar a estabilização do solo 1 com aditivos químicos para aumentar sua capacidade de suporte.

Como segunda sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se estudar misturas do solo 2 com argilas de comportamento laterítico ou com produtos cimentantes industrializados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 6205: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

\_\_\_\_\_. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR 6508: Determinação da massa específica – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

\_\_\_\_\_. NBR 9895: Índice de suporte Califórnia (ISC) – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ALVES, Driely Mariane Lancarovici; Villibor, Douglas Fadul. Classificação de solos tropicais de granulação fina e grossa. Revista ABPV Pavimentação. Ed 43, 78 p. Disponível em: < [https://issuu.com/revistapavimentacao/docs/revista\\_43](https://issuu.com/revistapavimentacao/docs/revista_43) > Acesso em 29 julho 2017.

AUSTROADS (1987): A guide to the visual Assessment of Pavement Condition. Report, Sidney, 76p. Disponível em: <<http://www.austroads.com.au>>. Acesso em 04 abril 2017.

BAESSO, Dalcio Pickler; GONÇALVES, Fernando Luiz R. Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção. Florianópolis: DER/SC, 2003.

BRAGA, Felipe Luiz Nazareth; GUIMARÃES, Guilherme Rodrigues. Avaliação de Rodovias não Pavimentadas: Uma ferramenta para o gerenciamento de malhas viárias. Artigo científico, 2014. Disponível em: <[http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a124.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a124.pdf)>. Acesso em 23 abril 2017.

BRASIL. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia (Org.). Carta Geológica Regional. 2006. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Cartografia-Geologica-Regional-624.html>>. Acesso em: 10 setembro 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER-CLA. Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias. 1996. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/classificacao-cla/dner-cla259-96.pdf>>. Acesso em: 12 junho 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários, DNIT. 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/diretrizes\\_basicas\\_instrucoes\\_servicos.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/diretrizes_basicas_instrucoes_servicos.pdf)>. Acesso em 28 março 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Manual de conservação rodoviária. 2005. Disponível em:

<[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual%20de%20Conservacao%20Rodoviaria.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Conservacao%20Rodoviaria.pdf)>. Acesso em: 07 maio 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Manual de drenagem de rodovias. 2006. Disponível em:

<[http://www1.dnit.gov.br/normas/download/Manual\\_de\\_Drenagem\\_de\\_Rodovias.pdf](http://www1.dnit.gov.br/normas/download/Manual_de_Drenagem_de_Rodovias.pdf)>. Acesso em: 06 maio 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. Manual de pavimentação. 2006. Disponível em: <[https://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)>. Acesso em 05 maio 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT. Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas, 2007. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/rodovias-federais/terminologias-rodoviarias/terminologias-rodoviarias-versao-11.1.pdf>>. Acesso em: 05 abril 2017.

CABRAL, Érika Santos Pinto. Estudo de caso sobre conservação de rodovias não pavimentadas. Belo horizonte. 2011. Disponível em: <[http://www.der.mg.gov.br/images/TrabalhosAcademicos/estudos\\_de\\_caso\\_sobre\\_conservacao\\_de\\_rodovias\\_ao\\_pavimentadas.pdf](http://www.der.mg.gov.br/images/TrabalhosAcademicos/estudos_de_caso_sobre_conservacao_de_rodovias_ao_pavimentadas.pdf)>. Acesso em 27 abril 2017.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 1987. 3 v.

MACIEL, Jussara S. Cury. Estudo de viabilidade ambiental de estradas vicinais no Amazonas. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes da UFRJ. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>. Acesso em 10/02/2012>. Acesso em 31 março 2017.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Pavimentação. Notas de aula. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora- MG. 2010. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2017.

NERVIS, Leandro Olivio. Identificação e discussão dos mecanismos de degradação de pavimentos com revestimento primário. 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGE/UFGRS, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/143731>>. Acesso em: 17 março 2017.

NOGAMI, Job Shujji; VILLIBOR, Douglas Fadul. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor, 1995.

NOGAMI, Job Shujji; VILLIBOR, Douglas Fadul. Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 291 p.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de. Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. 584 p.

PARANÁ. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná – DER/PR. Especificação de serviço rodoviário. 2005. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/>>. Acesso em 07 maio 2017.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos: em 16 aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, c2006. 355 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento e Gestão RS. Governo do Rio Grande do Sul. Informações sobre Geografia Física. Disponível em: <[http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/imprimir.asp?cod\\_conteudo=1366](http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/imprimir.asp?cod_conteudo=1366)>. Acesso em: 25 março 2017.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria dos Transportes. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER/RS. Composição da malha. 2017. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br/composicao-da-malha>>. Acesso em: 20 março 2017.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Manual Técnico para Conservação e Recuperação. São Paulo. 1988. Disponível em: <<http://www.agp.org.br/wp-content/uploads/2012/02/Manual-de-Conserva%C3%A7%C3%A3o-e-Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-Estradas-Vicinas-de-Terra.pdf>>. Acesso em 16 abril 2017.

SOUZA JUNIOR, Hermenegildo Henrique Soares et al. Processos erosivos e perda de solo em estradas vicinais. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Disponível em <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss>>. Acesso em 31 março 2017.

STRECK, Edeimar Valdir et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: EMATER/UFRGS, 2008. 222 p.

TAVEIRA, Luciano S. Impacto ambiental causado pela rede viária. Julgar – percepção do impacto ambiental, volume 4. Embrapa; Editora Técnica. São Paulo: Globo, 2004. Acesso em 25 março 2017.