

ADRIANO VIDIGAL DA CRUZ

**ESTRADAS VICINAIS: ABORDAGEM PEDOLÓGICA,
GEOTÉCNICA, GEOMÉTRICA E DE SERVENTIA DE DOIS
TRECHOS RODOVIÁRIOS NÃO PAVIMENTADOS NO
CAMPUS DA UFV – MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C957e
2005

Cruz, Adriano Vidigal da, 1975-

Estradas vicinais: abordagem pedológica, geotécnica,
geométrica e de serventia de dois trechos rodoviários não
pavimentados no campos da UFV-MG / Adriano Vidigal da
Cruz. – Viçosa, MG, 2005.

xv, 101 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Carlos Alexandre Bras de Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 97-101.

1. Estradas rurais. 2. Solo - Uso. 3. Ciência do solo.
4. Mecânica do solo. 5. Drenagem de rodovias. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 625.732

ADRIANO VIDIGAL DA CRUZ

**ESTRADAS VICINAIS – ABORDAGEM PEDOLÓGICA,
GEOTÉCNICA, GEOMÉTRICA E DE SERVENTIA DE DOIS
TRECHOS RODOVIÁRIOS NÃO PAVIMENTADOS NO
CAMPUS DA UFV – MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

Aprovada: 31 de agosto de 2005

Prof. João Luiz Lani
(Conselheiro)

Prof^a. Maria Lúcia Calijuri
(Conselheira)

Prof. Cláudio H. de Carvalho Silva
(Conselheiro)

Pesq. Dalila C. M. Fernandes

Prof. Carlos Alexandre Braz de Carvalho
(Orientador)

Aos meus pais, João da Cruz e Maria Auxiliadora, pelo exemplo de vida e força, por todo amor, incentivo e orientação.

Aos meus irmãos, José Ulisses, Ana Maria e Valéria e aos meus
cunhados Cláudio e Gianni, por todo apoio, carinho e incentivo.

A minha namorada Cláudia pelo incentivo, amor e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de toda minha força e luz.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realização desse curso.

Agradeço especialmente ao Prof Carlos Alexandre Braz de Carvalho, pela orientação, paciência, incentivo, exemplo de profissionalismo e amizade. Agradeço a inestimável força nos momentos difíceis.

Agradeço ao Prof. João Luiz Lani, que sempre me recebeu com atenção, pelas valiosas sugestões.

Ao Prof. Paulo Sérgio, agradeço a gentileza e a prontidão com que me ajudou sempre que necessário.

A Prof^a Maria Lúcia Calijuri pela atenção e contribuição no decorrer do curso.

Aos demais membros da banca, Prof. Cláudio e Dalila.

A todos os professores e funcionários do DEC, que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, especialmente ao Julinho, pela valiosa contribuição na execução dos experimentos.

A Cristina (secretária da pós-graduação), pelo apoio e por toda a eficiência, que contribuíram muito para alcançar esta etapa.

À família Antunes, pelo carinho e apoio.

A todos os colegas do mestrado e amigos (Fabrício, Thiago, Tatiana, Reginaldo, Gersonito, Érica, Luiz Otávio, Gisele, Danilo e Rodrigo), pelo convívio no laboratório do DEC e pelos momentos de descontração e colaboração.

A todos que direta ou indiretamente participaram deste estudo.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo do autor.

BIOGRAFIA

Adriano Vidigal da Cruz, filho de João da Cruz Filho e Maria Auxiliadora Vidigal da Cruz, nasceu em 07 de novembro de 1975, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Ingressou no curso de Engenharia Civil da Fundação Oswaldo Aranha, graduando-se em dezembro de 2001.

Em agosto de 2002, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, nível mestrado, na Universidade Federal de Viçosa - MG.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	Ix
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	Xi
RESUMO.....	Xiii
ABSTRACT.....	Xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Importância do Trabalho.....	4
1.3. Objetivos.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Considerações Iniciais.....	7
2.2. Classificação da Estradas de Uma Maneira Geral.....	8
2.3. Características Geométricas.....	11
2.3.1. Considerações Iniciais.....	11
2.3.2. Seção Transversal.....	14
2.4. Fatores que Influenciam no Desempenho das Estradas Não Pavimentadas.....	15
2.4.1. Tipos de Solo.....	16
2.4.2. Relevo.....	18
2.4.3. Clima.....	19
2.5. Considerações Essenciais Sobre Serventia das Estradas.	19
2.5.1. Capacidade de Suporte.....	20
2.5.2. Condições de Rolamento e Aderência.....	21
2.6. Sistema de Drenagem.....	22
2.7. Defeitos em Estradas Não pavimentadas.....	24
2.8. Seleção de Atividades de Manutenção e Reabilitação.....	31
2.8.1. Tráfego.....	32
2.8.1.1. Considerações Iniciais.....	32
2.8.1.2. Representação do Tráfego Numa Estrada.....	32

	Página
2.8.1.3. Carga de Rodas Simples Equivalente.....	33
2.8.1.4. Veículo ou Eixo Padrão.....	36
2.8.2. Estudos Geotécnicos.....	38
2.9. Considerações Gerais Sobre os Solos Lateríticos e a Metodologia MCT.....	44
2.9.1. Considerações Iniciais.....	44
2.9.2. Conceituação de Solos Tropicais.....	45
2.9.3. Generalidades Sobre a Metodologia MCT.....	46
2.9.3.1. Considerações Iniciais.....	46
2.9.3.2. Compactação Tipo Mini-MCV.....	47
2.9.3.3. Ensaio de Perda de Massa Por Imersão.....	50
2.9.4. Classificação MCT.....	52
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.1. Considerações Iniciais.....	58
3.1.1. Relevo.....	60
3.1.2. Clima.....	63
3.1.3. Solos.....	63
3.2. Levantamento de Campo.....	66
3.2.1. Medições de Defeitos.....	66
3.2.2. Solos.....	68
3.2.2.1. Amostras Coletadas na Estrada VCS 138.....	68
3.2.2.2. Amostras Coletadas na Estrada VCS 346.....	73
3.3. Métodos.....	76
3.3.1. Procedimentos de Campo.....	76
3.3.2. Procedimentos de Laboratório.....	76
3.3.2.1. Ensaio de Caracterização.....	76
3.3.2.2. Ensaio de Compactação.....	77
3.3.2.3. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.....	77
3.3.2.4. Mini-MCVe Perda de Massa por Imersão.....	77
3.4. Normas Técnicas Utilizadas no Presente Trabalho.....	81

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
4.1. Considerações Iniciais.....	81
4.2. Ensaio de Caracterização Geotécnica.....	82
4.3. Classificação dos Solos.....	85
4.4. Ensaio de Compactação.....	87
4.5. Índice de Suporte Califórnia.....	88
4.6. Resultados da Avaliação das Estradas Não Pavimentadas.....	90
4.6.1. Análise Crítica do Método de Avaliação de EATON et al. (1987).....	90
4.6.2. Defeitos Identificados no Campo.....	90
4.6.2.1. Estrada VCS 138.....	91
4.6.2.2. Estrada VCS 346.....	92
5. CONCLUSÕES.....	94
6. RECOMENDAÇÕES.....	96
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

LISTA DE QUADROS

	Página
2.1. Classes de projeto de rodovias rurais.....	9
2.2. Características geométricas básicas de rodovia classe IV.....	13
2.3. Propriedades de engenharia dos solos para fins rodoviários.....	57
3.1 Ocorrência dos principais tipos de solos da região, em relação à geoforma.....	64
3.2. Ficha de inspeção para medição de defeitos em estradas não pavimentadas.....	67
3.3. Ensaio de caracterização, compactação, CBR, mini-MCV e perda de massa por imersão e respectivas normas técnicas.....	80
4.1. Granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e peso específico dos sólidos dos solos em estudo.....	81
4.2. Identificação dos solos pelas classes pedológicas e classificações HRB, USC e MCT.....	83
4.3. Pesos específicos secos máximos e teores ótimos de umidade das amostras de solos estudados na energia de compactação do ensaio de Proctor Normal.....	86
4.4. CBR _{1pt} e expansão das amostras 1 a 15, compactadas na energia do ensaio de Proctor Normal.....	87
4.5. Características da estrada VCS 138 na avaliação das Condições da superfície de rolamento pelo método de Eaton et al. (1997).....	91
4.6. Características da estrada VCS 346 na avaliação das Condições da superfície de rolamento pelo método de Eaton et al. (1997).....	93

LISTA DE TABELAS

	Página
2.1. Expressões para cálculo dos fatores de equivalência de carga	36
4.1. Classificação dos Solos pelo TRB (Transportation Research Board).....	84

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1. Seção transversal em corte.....	14
2.2. Seção transversal em aterro.....	15
2.3. Seção transversal mista.....	15
2.4. Seção transversal inadequada.....	26
2.5. Drenagem lateral inadequada.....	26
2.6. Corrugações.....	27
2.7. Poeira após passagem de veículo.....	28
2.8. Ocorrência de Buracos.....	29
2.9. Afundamento de trilhas de rodas.....	30
2.10. Ocorrência de segregação de agregados.....	31
2.11. Deflexões de um conjunto de rodas múltiplas e de uma roda simples equivalente.....	35
2.12. Deflexões de um conjunto de rodas múltiplas e de uma roda simples equivalente.....	37
2.13. Tipos de eixo de veículos rodoviários comerciais.....	37
2.14. Equipamento e visão do fluxo de água sobre a amostra indeformada durante a realização do ensaio de Inderbitzen....	43
2.15. Amostra sendo colocada no tanque de imersão.....	50
2.16. Ábaco para classificação de solos pela metodologia MCT.....	52
3.1. Localização do Município de Viçosa-MG.....	58
3.2. Foto aérea da estrada VCS 138.....	59
3.3. Foto aérea da estrada VCS 346.....	59
3.4. Modelo Digital de elevação do Campus da UFV.....	61
3.5. Carta de declividade do Campus da UFV.....	62
3.6. Levantamento de solos do Campus da UFV.....	65
3.7. Local de coleta da amostra 01.....	68

	Página
3.8. Local de coleta da amostra 02.....	69
3.9. Local de coleta da amostra 03.....	69
3.10. Local de coleta da amostra 04.....	70
3.11. Local de coleta da amostra 05.....	70
3.12. Local de coleta da amostra 06.....	71
3.13. Local de coleta da amostra 07.....	71
3.14. Local de coleta da amostra 08.....	72
3.15. Local de coleta da amostra 09.....	72
3.16. Local de coleta da amostra 10.....	73
3.17. Local de coleta da amostra 11.....	73
3.18. Local de coleta da amostra 12.....	74
3.19. Local de coleta da amostra 13.....	74
3.20. Local de coleta da amostra 14.....	75
3.21. Local de coleta da amostra 15.....	75
3.22. Equipamento de compactação utilizado para realização do ensaio mini-MCV.....	78
3.23. Utensílios utilizados para execução do ensaio de perda de massa por imersão.....	78
3.24. Fluxograma dos procedimentos para realização dos ensaios de caracterização, compactação, CBR e mini-MCV.....	79
4.1. Bacia de acumulação com eficiência comprometida devido à falta de manutenção.....	89
4.2. Trechos da estrada VCS 346 com drenagem ineficiente.....	90

RESUMO

CRUZ, Adriano Vidigal da. M.S. Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2005. **Estradas vicinais – abordagem pedológica, geotécnica, geométrica e de serventia de dois trechos rodoviários não pavimentados no campus da UFVv – MG.** Orientador: Carlos Alexandre Braz de Carvalho. Conselheiros: Cláudio Henrique de Carvalho Silva, Maria Lúcia Calijuri, João Luiz Lani e Dario Cardoso de Lima.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar dois trechos rodoviários não pavimentados localizados no Campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, quanto aos aspectos pedológicos, geotécnicos, características geométricas, condições de tráfego e serventia. Foram coletadas quinze amostras representativas dos solos da região de Viçosa, MG ao longo dos taludes de corte e sub leito das estradas para realização de ensaios de caracterização, classificação TRB, USCS e MCT, compactação e CBR¹. Procedeu-se o levantamento planialtimétrico dos dois trechos com a utilização de equipamento do tipo estação total e posteriormente foram feitas medições das condições de serventia das estradas empregando-se o método desenvolvido por Eaton et al. (1997). A partir da classificação MCT verificou-se que solos considerados de comportamento de fraco a pobre para utilização como subleito pela classificação TRB, têm potencialidade para serem utilizados na melhoria dessas vias. O método de Eaton et al. (1997) demonstrou ser eficiente para avaliação das rodovias não pavimentadas, no entanto foram observadas algumas dificuldades para aplicação à realidade de nossas estradas devido às peculiaridades de fatores físicos do país de origem do método.

ABSTRACT

CRUZ, Adriano Vidigal da. M.S. Universidade Federal de Viçosa, August 2005. **Secondary Roads: a pedological, geotechnical, geometric, and road usefulness approach of two non-paved road segments at the UFV-MG Campus.** Advisor: Carlos Alexandre Braz de Carvalho. Committe: Cláudio Henrique de Carvalho Silva, Maria Lúcia Calijuri, João Luiz Lani e Dario Cardoso de Lima.

This study aimed characterization of two non-paved road segments located at the Fedreal University of Viçosa campus. Viçosa-MG relating pedological, geotechnical, geometric, traffic conditions and road usefulness. Fifteen representative samples were collected from two roads segments located in Viçosa, MG, from cut slopes and sub-grade for characterization; TRB, USCS, and MCT classification; compaction, and CBR_{1pt} . A total station was used to survey the road segments to allow profiling of the road platform. Road usefulness was later measured using the methodology presented by Eaton et al. (1997). Based on MCT classification, the soil was considered poor for use as road sub-grade; using the TRB classification, the same soil was considered potentially apt for improvement of these segments. The methodology introduced by Eaton et al. (1997) presented itself to be efficient in evaluating non-paved roads. However, some difficulties were encountered when trying to apply the method to the reality of Brazilian roads because of the unique properties of the soils for which the method was initially developed.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

O surgimento da malha viária teve como precursora a rede de caminhos inicialmente estabelecidos pelo homem, quando da sua ocupação territorial. Tratavam-se basicamente de caminhos rústicos para o deslocamento de animais. Com o passar dos tempos e utilização dos animais como meio de transporte, o homem pôde permanecer mais tempo onde melhor lhe conviesse, mesmo havendo de deslocar-se em busca de alimento e conforto. Depois de inventar a roda, surgiram as carroças primitivas, que contribuíram para o aperfeiçoamento dos caminhos rudimentares.

Segundo Carvalho (2004) não é possível reconstituir, integralmente, todas as etapas evolutivas dos meios de transportes através dos tempos. Sabe-se que algumas civilizações que viveram em períodos a.C., já possuíam estradas pavimentadas com pedras e alguns trechos dessas estradas existem até hoje.

Fraenkel (1980) relata que durante muitos séculos, os meios de transporte praticamente não evoluíram. O transporte marítimo era restringido às pequenas embarcações a vela e, os terrestres, aos veículos de tração animal. Entretanto, em meados do século XVIII, com a invenção da máquina a vapor, iniciou-se a mecanização dos meios de transportes. No transporte marítimo, as embarcações a vela começaram a ser substituídas por embarcações a vapor e no transporte terrestre surgiram as primeiras locomotivas primitivas.

Em 1814, George Stephenson construiu a primeira locomotiva para transportar carvão e segundo Brina (1983), em abril de 1854, foi inaugurada a primeira estrada de ferro no Brasil, com 14,5 km de extensão, ligando o Porto de Mauá (no interior da Baía de Guanabara) à raiz da Serra de Petrópolis.

Observa-se que em grande parte de nossa história, desde os tempos mais remotos das civilizações, até meados do século XVIII, não se constatou uma evolução significativa nos meios de transporte. No entanto a partir desse período, em aproximadamente 250 anos, o que se vê, é uma extraordinária evolução nos meios de transporte.

Com a invenção do motor a explosão no início do século XX, o transporte rodoviário cresceu rapidamente em todo o mundo. No Brasil, na década de 50, implantou-se a indústria automobilística, que contribuiu substancialmente para o crescimento da malha rodoviária nacional pavimentada e não pavimentada.

No Brasil, o modal rodoviário prevalece sobre os demais modais de transporte. Faltam estatísticas recentes, mas estima-se que atualmente o transporte rodoviário responda por 65% do total de cargas transportadas no país. Na década de 50, o modal rodoviário respondia por cerca de 40% do total transportado no Brasil e sua participação na matriz de transporte se elevou consideravelmente a partir da década de 60, estimulado pela vinda das indústrias automobilísticas e pelo subsídio no preço dos combustíveis. Também colaboraram para isso, o histórico de serviços, a capacidade insuficiente dos outros modais em suprir as necessidades e a falta de regulamentação do setor de transporte.

Dados publicados pelo DNER (2000), atualmente DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), revelam que a malha viária brasileira é constituída de aproximadamente 1.724.929 km de estradas, das quais mais de 98,8% são de estradas não pavimentadas. Cabe destacar que na informação anteriormente citada, não está computada a rede de estradas florestais, a maior parte dela, também não pavimentadas que segundo Machado & Malinovski (1986), atinge cerca de 600.000 km de extensão.

As estradas não pavimentadas, também conhecidas por “estradas de terra” ou “estradas de chão”, são de grande

importância econômica e social para o país, pois são através delas que são feitas as ligações entre as comunidades produtoras e as grandes rodovias pavimentadas, contribuindo assim para o escoamento de diferentes tipos de produtos até os centros de consumo e terminais de exportação. São ainda, um importante elo entre o meio rural e urbano, proporcionando ao homem do campo os acessos aos serviços de saúde, lazer e educação disponíveis nas cidades.

Grielber (2002) relata que a predominância das estradas não pavimentadas em relação às pavimentadas é uma realidade presente em praticamente todos os países em desenvolvimento, sendo a importância destas, maior nesses países, tendo em vista que grande parte de suas economias é baseada na produção e comercialização de produtos primários, sendo estes transportados principalmente nesse tipo de estrada.

No que tange aos municípios do Brasil, sob cuja tutela estão 84% de toda a malha rodoviária (1.446.199 km), apenas 1% (16.903 km) encontra-se pavimentada. Os outros 83% (1.429.296 km) permanecem constituídos por estradas não pavimentadas (BAESSO e GONÇALVES 2003).

Segundo Nunes (2003), os municípios, em geral, dispõem de escassos recursos técnicos e financeiros a serem empregados nos serviços de manutenção e recuperação das estradas de terra. Aliado a isso se incumbe a noção errônea, de que a manutenção dessas estradas não requer especialização.

Na microrregião de Viçosa-MG, a situação não é diferente e há ainda carência de equipamentos de terraplanagem adequados para a manutenção e construção de estradas não pavimentadas.

A forma inadequada de manutenção das estradas não pavimentadas e seu abandono por um longo período de tempo trazem como consequência, um leito estradal muitas vezes intrafegável além de provocar sérios problemas ambientais, como o

assoreamento de corpos d'água e o lançamento sobre áreas agricultáveis, de sedimentos provenientes de material carregado pelas águas das chuvas.

1.2. Importância do trabalho

Um sistema de transporte ineficiente acarreta altos custos de transporte e é um entrave ao desenvolvimento de uma região, restringindo as possibilidades de ganhos através do comércio. No que tange às estradas não pavimentadas, que são o primeiro caminho percorrido pela produção agrícola até os centros consumidores, essa condição é mais agravada devido à forma inadequada de implantação e manutenção dessas vias. Neves (2005) relata que a degradação da malha rodoviária acarreta aumentos significativos de custos operacionais de até 40%, gastos adicionais com combustíveis de até 60% e tempos maiores de viagem em até 100%.

O baixo nível de serventia das estradas vicinais traz prejuízos diretos à população, como o encarecimento dos produtos agropecuários que saem do campo para as áreas urbanas devido ao aumento no custo do transporte.

Um planejamento integrado das atividades associadas aos serviços de construção e manutenção de estradas não pavimentadas, principalmente, para o setor público, é muito relevante, pois disciplina os serviços de maior prioridade. Por outro lado, facilita a escolha do melhor traçado das vias a serem implantadas e no caso de vias já existentes, que necessitam de trabalhos de manutenção, o emprego de uma técnica apropriada melhora as condições de serventia da estrada por um período de tempo, reduzindo custos de transporte, além de minimizar os impactos ambientais e índices de acidentes.

ODA (1995) relata que são poucas as publicações existentes sobre estradas não pavimentadas no Brasil, entre as quais cita:

Estradas Vicinais de Terra – Manual Técnico para Conservação e Recuperação, desenvolvido no IPT (Santos et all, 1988) e Conservação de Estradas Não pavimentadas, publicado pelo DNER (1991). Pode-se incluir ainda, o manual: Estradas Rurais - Técnicas Adequadas de Manutenção (Baesso e Gonçalves, 2003).

Por ser de elevado custo, torna-se impensável a adoção da pavimentação como única prioridade para solução dos problemas das estradas não pavimentadas, ou seja, se o que se mostra necessário realmente é uma melhoria substancial nas condições de trafegabilidade de nossa rede, torna-se necessário que se enfrente de forma decidida a questão tecnológica das estradas de terra (SANTOS et all 1988).

Oda (1995) relata que o levantamento de campo é um fator fundamental para análise das necessidades de manutenção e reabilitação que devem ser aplicadas à estrada, proporcionando a escolha de técnicas mais adequadas à solução de cada tipo de problema encontrado. Devem-se observar as características geotécnicas, topográficas, geométricas, condições de tráfego e intempéries a que a estrada está submetida, para identificação das prováveis causas dos defeitos. Neste caso, as classificações geotécnicas do solo onde a estrada encontra-se construída, mostram-se uma importante ferramenta de análise proporcionando ao técnico um melhor diagnóstico do problema.

1.3. Objetivos

O objetivo desse trabalho consiste em caracterizar dois trechos rodoviários não pavimentados localizados no Campus da Universidade Federal de Viçosa quantos aos aspectos:

- pedológico;
- geotécnico;
- características geométricas;

- condições de tráfego e;
- serventia.

Especificamente, através do conhecimento desses aspectos, este trabalho tem como propósito, avaliar a potencialidade do emprego dos solos locais para utilização nas atividades de manutenção e reabilitação dessas vias, bem como avaliar objetivamente as condições de serventia de estradas não pavimentadas através do método desenvolvido por Eaton et al., (1987) realizando também, uma análise crítica do método.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações Iniciais

O termo estrada vicinal, a que se refere neste trabalho, está associado às estradas de terra não pavimentadas, desprovidas de revestimento asfáltico ou de concreto de cimento portland e que podem ou não, terem recebido algum tipo de revestimento primário como, por exemplo, "encascalhamento". Cabe, ainda, esclarecer que as estradas vicinais podem ser pavimentadas ou não pavimentadas.

Segundo THOMAZ (1984), o adjetivo vicinal define a função da estrada, que é de ligarem vizinhos ou povoações próximas, sendo, lícito entendê-la como pertencente à menor categoria do sistema rodoviário, servindo assim para:

- complementar a utilização dos sistemas coletor e arterial, alimentando-os;
- promover a integração demográfica e territorial da região na qual se situam;
- possibilitar a elevação do nível de renda do setor primário (atividades agropecuárias, agroindustriais, mineração, turismo etc.)

As estradas não pavimentadas são uma necessidade básica para prover uma determinada localidade de um fluxo regular de mercadorias e serviços, permitindo o desenvolvimento das comunidades por elas atingidas e, por consequência, garantindo a melhoria da qualidade de vida da região. Embora as estradas rurais por si sós não são capazes de romper as barreiras que levam ao empobrecimento das comunidades, elas podem, por outro lado, serem importantes agentes indutores de crescimento e proporcionar significantes benefícios sociais e econômicos (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Grielber (2002) relata que o suporte econômico de grande parte dos municípios do interior do Brasil baseia-se na produção agropecuária, sendo as estradas não pavimentadas, o primeiro caminho percorrido pela produção agropecuária até os centros distribuidores. Essas por sua vez, provêm, ainda, a interligação entre propriedades rurais e povoados vizinhos, servindo também para acesso às vias principais, ou mesmo à sede dos municípios.

Thomaz (1984) salienta que o transporte de produtos agropecuários em estradas deterioradas, acarreta em acréscimo de custos de produção, fazendo com que o produto final chegue mais caro à mesa do consumidor final.

2.2. Classificação das Estradas de Uma Maneira Geral

Para melhor situar o leitor sobre o importante papel sócio-econômico que as rodovias de diferentes classes desempenham, cabe aqui apresentar, de um modo sucinto, uma classificação geral sobre elas.

Segundo o DNER (1987), existem basicamente quatro critérios para classificação de uma rodovia:

- a) **Quanto à sua administração:** em particulares, municipais, estaduais ou federais;
- b) **Quanto à sua classificação funcional dentro da rede viária:** (i) *arteriais*: compreendem as rodovias cuja função principal é a de propiciar mobilidade, (ii) *coletoras*: englobam as rodovias que proporcionam um misto de funções de mobilidade e acesso e (iii) *locais*: abrangem as rodovias cuja função é oferecer oportunidades de acesso;
- c) **Quanto às suas características físicas:** em pavimentadas ou não pavimentadas, com pista simples ou dupla etc.

d) **Quanto a seu padrão técnico:** em classes 0, I, II, III e IV, em função do volume médio diário de tráfego, a classificação funcional da via e o nível de serviço em que ela se enquadra.

O Quadro 2.1 contém as classes de projeto de estradas rurais, levando em consideração as suas características e os seus critérios de classificação.

Quadro 2.1 – Classes de projeto de rodovias rurais

Classes de projeto		Características	Critério de classificação técnica ⁽¹⁾
0		via expressa: Controle total de acessos	decisão administrativa
I	A	pista dupla: controle parcial de acesso	se os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovias de pista simples inferiores aos níveis C ou D ⁽²⁾
	B	pista simples; controle parcial de acesso	volume horário de projeto > 200 volume médio de projeto (VMD) > 1.400
II		pista simples	VMD entre 700 e 1400
III		pista simples	VMD entre 300 e 700
IV	A	pista simples	VMD ⁽³⁾ entre 50 e 200
	B	pista simples	VMD ⁽³⁾ < 50

Fonte: Filho, 1998

(1) Os valores de tráfego bidirecionais indicados referem-se a veículos mistos

(2) Veja item nível de serviço

(3) Volumes previstos no ano de cobertura do tráfego

A seguir serão apresentados alguns conceitos de diferentes tipos de volume de tráfego e níveis de serviço para melhor compreensão do Quadro 2.1, segundo Carvalho et al., (2004).

Volume Médio Diário de Tráfego (VMD): corresponde à média do volume de veículos mistos que passa por dia em um trecho de

estrada. O valor do VMD pode ser obtido por meio de contagens volumétricas realizadas diretamente na via.

Volume Horário de Projeto (VHP): ao se projetar uma rodovia, é necessário ponderar que ela deverá atender à demanda de veículos em determinado período de tempo, em condições satisfatórias de conforto e segurança. Normalmente, o horizonte de projeto considerado é de 10 anos. Dentro desse período de tempo, o ideal seria que nenhuma hora do ano ocorresse congestionamento na estrada. Assim, ao se projetar uma estrada, prevê-se certo número de horas de congestionamento na estrada para alguns de seus trechos. Em geral, para rodovias rurais, utiliza-se o volume horário de projeto da 30ª hora de abertura da via.

Nível de Serviço: representa uma avaliação qualitativa das condições da via, atribuída pelos usuários dos veículos que dela utilizam. São considerados fatores operacionais relacionados com o tráfego e com as características da via, estando relacionado a cada nível de serviço, um volume de serviço. O volume de serviço pode ser considerado como um volume limitado de veículos/h que uma rodovia ou um trecho da mesma com certas características físicas poderá atender, de modo que o grau de congestionamento não supere um nível de serviço previamente definido. Os principais fatores relacionados com o nível de serviço de uma via são: velocidade, interrupções, visibilidade, liberdade de movimento dos veículos, segurança e conforto. São classificados de A a F e para rodovias rurais de pista simples, esses níveis têm as seguintes características:

- **Nível de serviço A:** representa a condição de fluxo livre numa rodovia com boas características técnicas, havendo possibilidade de desenvolver altas velocidades.
- **Nível de serviço B:** demonstra a situação de fluxo também estável, mas as presenças de outros veículos na via impõem restrições aos motoristas quanto à velocidade que desejam desenvolver.

- **Nível de serviço C:** mostra a condição de fluxo de veículos ainda estável. As restrições quanto à velocidade e a liberdade de manobras são maiores em relação ao nível de serviço B.
- **Nível de serviço D:** indica a condição de fluxo instável. Os motoristas têm pouca liberdade de manobra e as velocidades desenvolvidas na corrente de tráfego são ainda menores em relação às observadas no nível de serviço C.
- **Nível de serviço E:** representa a capacidade da via, ou seja, o máximo volume de veículos capaz de passar sobre dada seção da estrada sob certas condições estruturais, de serventia, climáticas e de tráfego. A liberdade de manobra reduz ainda mais, sendo praticamente impossível ultrapassar.
- **Nível de serviço F:** reflete uma condição de colapso da via. Qualquer interrupção na corrente de tráfego é suficiente para formar congestionamentos.

Quanto às suas características físicas, geralmente as estradas vicinais são não pavimentadas e de pista simples; quanto à função, se enquadram, na maioria das vezes, no sistema local e quanto ao padrão técnico, encontram-se na **classe IV** (DNER, 1999).

2.3. Características Geométricas

Resumidamente, as características geométricas de uma estrada dependem fundamentalmente da velocidade diretriz, esta por sua vez, depende da classe da estrada e do tipo de região por onde a mesma atravessa.

2.3.1. Considerações Iniciais

Segundo Baesso e Goçálves (2003), uma rodovia pode ser imaginada como um ente físico no qual prevalecem as dimensões longitudinais, sendo seus elementos referenciados geometricamente

a uma linha fluente e contínua e decompostas segundo três dimensões para tratamento em fases separadas.

Numa das fases, trata-se do projeto em planta, dimensionado os elementos geométricos da estrada, projetados em um plano horizontal, onde se define a geometria da linha que representa o seu itinerário. Na fase posterior é definido o projeto em perfil, onde se dimensionam os elementos geométricos da rodovia segundo um plano vertical e, por último, os elementos de seção transversal com a caracterização da geometria dos componentes da rodovia segundo planos verticais perpendiculares ao eixo da rodovia (BAESSO & GONÇALVES, 2003)

As principais características de projeto geométrico das rodovias de Classe IV encontram-se no quadro 2.2. Segundo o DNER (1999), esta classe de rodovia aplica-se à rodovia de pista simples tecnicamente suficiente para atendimento a custo mínimo, do tráfego previsto para o ano de abertura. Em geral, é não pavimentada e contempla o sistema local, compreendendo as estradas vicinais e eventualmente rodovias pioneiras.

Quadro 2.2. Características geométricas básicas de rodovia de classe IV.

Característica	Unid.	Região		
		Plana	Ondulada	Montanhosa
Velocidade Diretriz	Km/h	60	40	30
Dist. Mínima de visibilidade				
• Desejável	m	85	45	30
• Absoluta	m	75	45	30
Dist. Mínima de visibilidade de ultrapassagem	M	420	270	180
Raio mínimo de curva horizontal (e=8%)	M	125	50	25
Rampa máxima				
• Subclasse A	%	4	6	8
• Subclasse B	%	6	8	10
Valor mínimo de k para curvas verticais complexas				
• Desejável		18	5	2
• Absoluto		14	5	2
Valor mínimo de k para curvas verticais complexas				
• Desejável		17	7	4
• Absoluto		15	7	4
Largura da faixa de rolamento				
• Subclasse A	m	3	3	3
• Subclasse B	m	2,50	2,50	2,50
Largura do acostamento externo:				
• Subclasse A	m	1,30	1,30	0,80
• Subclasse B	m	1	1	0,50

Fonte: Adaptado de DNER, (1999)

2.3.2. Seção Transversal

Oda (1995) relata que o traçado das estradas não pavimentadas, comumente, segue as curvas naturais do terreno, evitando-se declives acentuados e outros obstáculos locais.

Esta alternativa de traçado oferece vantagens sob alguns aspectos, tais como: econômica (redução dos custos de terraplanagem) e ambiental (menor interferência no terreno natural). Por outro lado, podem gerar problemas operacionais ao tráfego, no caso de existir situações em que as rampas são excessivas e extensas, dificultando a trafegabilidade dos veículos, principalmente os comerciais. Problemas de visibilidade também são comuns.

Os greides adotados devem ser providos de declividades apropriadas, a fim de assegurar ao leito estradal uma boa condição de drenagem e garantir uma melhor circulação dos veículos. No DNER (1981), recomenda-se que para estradas não pavimentadas, as declividades transversais da pista sejam da ordem de 3%, excepcionalmente 4%, dependendo do tipo de solo do subleito.

Os tipos de seções transversais comumente encontrados no desenvolvimento das rodovias podem ser diferenciados em três tipos clássicos, conforme esquematizados nas Figuras 2.1 a 2.3.

Seção transversal em corte: correspondente à situação em que o leito estradal encontra-se implantado abaixo da superfície natural do terreno.

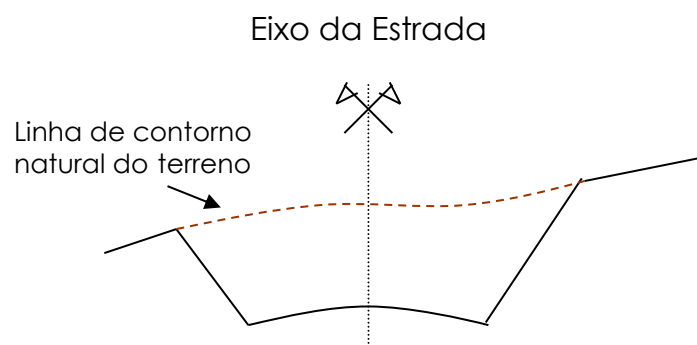


Figura 2.1. Seção transversal em corte

Seção transversal em aterro: corresponde à situação onde a rodovia situa-se acima do terreno natural.

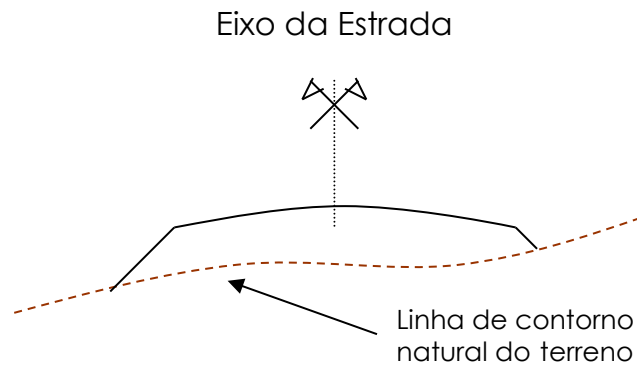


Figura 2.2. Seção transversal em aterro.

Seção transversal mista: ocorre quando, na mesma seção, a rodovia resulta de um lado, abaixo do terreno natural, e do outro, acima do terreno natural.

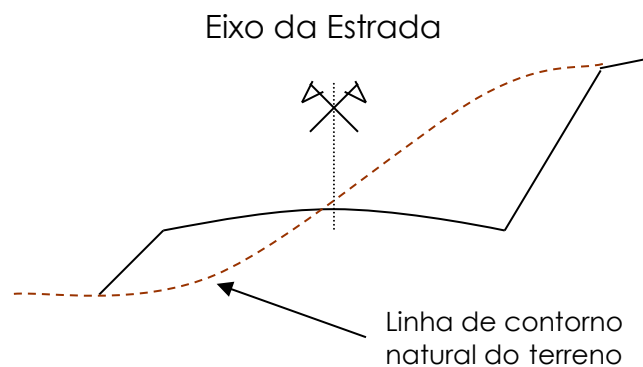


Figura 2.3. Seção transversal mista.

2.4. Fatores que influenciam no Desempenho das Estradas Não Pavimentadas

Um dos fatores determinantes ao desempenho das estradas não pavimentadas é a característica física da área onde encontram-se implantadas. Oda (1995) relata que o relevo, o clima e o tipo de

solo são fatores de grande importância ao desempenho das estradas não pavimentadas.

Os métodos tradicionais desenvolvidos para o dimensionamento de pavimentos rodoviários, geralmente, são de países onde as condições ambientais são muito distintas dos países com clima tropical, como o Brasil. Os fatores ambientais conferem aos solos de regiões tropicais processos pedogenéticos diferentes aos de países com clima temperado e frio. Essas diferenças ocorrem desde a microestrutura típica, que reflete seu grau de evolução, até a natureza e quantidades das frações finas e grossas que os compõem (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

2.4.1. Tipo de Solo

Segundo Nogami & Villibor (1995), pedologia é a ciência que estuda a parte superficial do solo mais apropriado para o desenvolvimento dos organismos animais e vegetais. Essa parte superficial apresenta-se diferenciada basicamente em relação aos materiais subjacentes, devido à ação de fatores, tais como tempo, clima, material matriz, a topografia e/ou drenagem e os organismos animais e vegetais.

No que refere se refere às estradas não pavimentadas, o estudo da pedologia torna-se fundamental para o conhecimento das propriedades dos solos, propiciando:

- Maior entendimento das potencialidades e de comportamento de solos ocorrentes na região, determinando o seu desempenho;
- Identificação de áreas críticas, susceptíveis a problemas, como no caso erosões;
- Localização de solos disponíveis para melhorias das vias etc.

Segundo Souza (1980), independente dos processos de formação dos solos, eles continuam a sofrer ao longo do tempo

geológico, a ação das intempéries; de acordo com as condições climáticas ou de ambiência, vão se processar modificações físicas e químicas dando sempre como resultado o aparecimento de horizontes ou extratos bem definidos. Este estudo constitui o objetivo da pedologia.

Os perfis de solos de interesse geotécnico, peculiares de regiões de clima tropical úmido, são divididos em dois conjuntos de horizontes:

- **Horizonte pedogenético B:** recebe a designação de SOLO LATERÍTICO. Solos em estágio avançado ou muito avançado de evolução pedogenética, não apresentando vestígios da estrutura da rocha matriz; fração fina (argila e silte) composta predominantemente por porções variáveis de caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e hidróxidos de alumínio; não apresenta vestígios da estrutura da rocha original (homogêneo na aparência), apresenta cores características com nítida contribuição dos matizes vermelho e amarelo e pode atingir vários metros de espessura.
- **Horizonte Saprolítico:** recebe a designação de SOLO SAPROLÍTICO. Horizonte originado pelo intemperismo, não evoluído pedogeneticamente; tendo estrutura e constituição que permite identificar inequivocadamente a rocha matriz. Raramente com cor única, apresentam normalmente manchas e mosqueamentos com feições herdadas da rocha matriz ou desenvolvidas no processo de intemperismo. Podem ter espessura significativa. Não existe um único comportamento saprolítico, depende da composição granulométrica e mineralógica da rocha.

Nogami e Villibor (1995) verificaram que as classes pedológicas que podem apresentar comportamento laterítico quando utilizadas como camadas de pavimentos são: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo,

Terra Roxa Estruturada, solos Concrecionários Lateríticos, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Amarelo e Areias quartzosas.

2.4.2. Relevo

O relevo é um elemento muito marcante na formação dos solos. A sua influência pode ser observada diretamente no trabalho de erosão provocado pelo intemperismo, ou indiretamente, promovendo variações de temperatura, precipitações, drenagem etc.

O relevo promove ao solo uma desigualdade na distribuição da água da chuva, da luz, do calor, do sol e da erosão, promovendo no solo diferenças facilmente perceptíveis pela variação da cor, que podem ocorrer a pequenas distâncias quando comparadas, simplesmente, pela variação climática. (LEPSCH, 2002).

Lepsch (2002) relata que em áreas de relevo montanhoso, como as serras e bordas de planaltos, as rampas acentuadas propiciam a erosão, podendo ser de tal magnitude, que a velocidade de remoção do solo será maior ou igual à velocidade da erosão for maior, todo solo é carregado, ficando a rocha desnuda; se a velocidade de formação do solo for apenas ligeiramente maior que a erosão, a possibilidade de formação de solos profundos será eliminada. No entanto, quando a taxa de erosão for muito pequena, devido à baixa declividade do relevo, solos bastante profundos podem formar-se.

Um dos principais problemas que afetam a trafegabilidade das estradas não pavimentadas é a sua degradação devido aos processos erosivos, afetando também, áreas adjacentes com o lançamento de sedimentos sobre área agricultáveis e provocando o assoreamento de corpos d`água.

Anjos Filho (1998) relata que no estado de São Paulo, os processos erosivos das estradas não pavimentadas são responsáveis por aproximadamente 50% das perdas de solo.

Na questão viária, o relevo é determinante na escolha do traçado, pois é um dos principais elementos de análise que determina qual o caminho mais adequado, com menos movimentação de terra e que oferece mais vantagem econômica com a implantação de obras-de-arte (HAX & MAGRO, 2004).

2.4.3. Clima

A precipitação pluvial é um dos maiores agentes causadores de defeitos em estradas não pavimentadas. Dependendo do tipo de solo, das características geométricas e condições de drenagem, a água da chuva pode acarretar grandes problemas como a formação de atoleiros, trilhas de rodas, quedas de barreira, formação de buracos, erosões etc.

Segundo Grielber (2002), sob condições de climas tropicais, com incidência de chuvas de alta intensidade, como ocorre no Brasil, a erosão hídrica é a de maior impacto na degradação das terras, sendo responsáveis pela perda de milhões de toneladas de solo agricultável a cada ano.

2.5. Considerações Essenciais Sobre Serventia das Estradas

Segundo Santos et al. (1998), são duas as características técnicas fundamentais que uma estrada de terra deve apresentar para garantir uma condição de tráfego satisfatória boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento e aderência.

Oda (1995) relata que o tipo e a quantidade do material de superfície influem diretamente no desempenho das estradas, estando esse desempenho relacionado com o surgimento de defeitos que se

agravam à medida que a estrada é mais solicitada pelo tráfego. Em estradas não pavimentadas, o tipo de revestimento comumente encontrado é o próprio solo local, conformado e nivelado.

2.5.1. Capacidade de Suporte

Boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento e aderência são características fundamentais que uma estrada não pavimentada deve apresentar para garantir condições satisfatórias de conforto e segurança aos veículos que trafegam pela via.

Quanto maior a capacidade de suporte do solo, maior também será sua capacidade de resistir aos processos erosivos e desgastes oriundos do tráfego sob condições mais adversas. Oda (1995) relata que a capacidade de suporte depende das características do material de superfície (suporte, expansão, contração, permeabilidade, entre outros) e a da resistência do solo subjacente, à medida que o teor de umidade varia.

Santos et al. (1998) relatam que os defeitos comumente encontrados em estradas não pavimentadas devido à falta de capacidade de suporte, são as ondulações transversais e as trilhas de rodas. Em períodos chuvosos, a baixa capacidade de suporte favorece, ainda, a formação de atoleiros.

Quando se busca a melhoria da capacidade de suporte de uma estrada não pavimentada, o emprego de materiais granulares (areia, cascalho etc) mostra-se muito eficiente. No entanto, deve-se adicionar a esses materiais, um material ligante (normalmente argila) que aglutine fortemente os grãos do material granular, sendo ainda, indispensável os serviços de compactação (BAESSO & GONÇALVES, 2003).

Para rodovias de baixo volume de tráfego, a espessura dessa camada varia, geralmente, entre 10 e 20 cm (SANTOS et al., 1998).

2.5.2. Condições de Rolamento e Aderência

As condições de rolamento e aderência estão relacionadas com a presença de irregularidades na pista e interferem sobre a comodidade e segurança do tráfego. Os tipos de irregularidades que relacionam-se às condições de rolamento são: buracos, corrugações, materiais soltos etc.

O comportamento dos solos nas estradas depende diretamente da forma como eles se encontram *in situ* e/ou da forma como são empregados. Um leito estradal bem compactado e com geometria apropriada é mais durável e menos apto à formação de defeitos, requerendo assim, menor custo nas atividades de manutenção (ODA, 1995).

As condições citadas acima, aliadas às condições de visibilidade e ao volume diário médio de tráfego (VDM) a que a estrada é submetida, afetam diretamente o seu nível de serviço. Um indicador que reflete as condições de rolamento da estrada é o grau de deterioração do leito estradal, devido ao surgimento de inúmeros tipos de defeitos.

Machado et al. (1997) relatam que utilizando-se de valores de resistência ao rolamento em estradas danificadas e não danificadas, observou-se que em uma estrada com o leito em boas condições de tráfego, a resistência ao rolamento pode ser bastante reduzida, conferindo grande economia no consumo de combustível por parte dos usuários destas vias.

2.6. Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem é de grande importância no desempenho das estradas. É através dele que as águas superficiais e de subsuperfície, que eventualmente venham atuar sobre o leito estradal, são coletadas e removidas eliminando os seus efeitos nocivos (LIMA et al., 1985).

Um sistema de drenagem adequado constitui um aspecto tão ou mais importante, do que o próprio revestimento de uma estrada não pavimentada (BAESSO e GONÇALVES, 2003). Devido à ação erosiva e amolecedora da água, a resistência à deformação dos solos é reduzida consideravelmente quando estes encontram-se úmidos. O mesmo acontece com as estradas, que só permitem um deslocamento adequado dos veículos se apresentarem uma superfície, suficientemente bem drenada.

Um sistema de drenagem completo, para estradas vicinais, abrange os dispositivos de drenagem superficial, profunda e de transposição de talvegues.

Segundo DNER (1990) e Baesso e Gonçalves (2003), os principais dispositivos comumente empregados nas estradas não pavimentadas são os que seguem.

A **drenagem superficial** consiste em um conjunto de dispositivos, construídos juntos à plataforma da estrada, cuja finalidade é a de propiciar o escoamento das águas pluviais que caem sobre sua pista e áreas adjacentes.

- **Sarjetas:** são dispositivos construídos longitudinalmente às margens das estradas cuja finalidade é a de captar a água provinda do escoamento superficial do leito estradal e dos taludes, conduzindo-as para um talvegue natural, bueiro ou sangradouro.

- **bigodes:** são dispositivos cujo objetivo é o de conduzir as águas das sarjetas e leiras, diretamente para um talvegue natural, bacia de acumulação, ou outro dispositivo de drenagem.
- **leiras:** são dispositivos superficiais destinados a conduzir as águas superficiais para fora da plataforma das estradas, estando presentes somente nos trechos constituídos de aterros. São formadas por pequenas elevações, executadas com material oriundo do corpo dos aterros ou até mesmo dos materiais do próprio revestimento das estradas.
- **dissipadores de energia:** os dissipadores de energia são dispositivos utilizados para diminuir a energia potencial que as águas superficiais adquirem durante o escoamento. Quanto maior a energia que a água adquire, maior o seu potencial erosivo. Esses dissipadores de energia normalmente se localizam nas saídas ou descidas de águas oriundas das sarjetas.
- **valetas de proteção:** as valetas de proteção são canais abertos próximos à crista dos taludes de corte ou próximos aos pés dos taludes de aterro, dispostos paralelamente ao eixo da estrada com a finalidade de proteger a estrada contra o efeito das águas que precipitam no entorno da estrada. Em geral, posicionam a três metros acima da crista do corte numa direção aproximadamente paralela à linha do offset.
- **caixas coletoras:** as caixas coletoras são elementos construídos juntos aos bueiros de greide e destinados à captação das águas superficiais que atingem à plataforma da estrada. Elas podem ser construídas de concreto ou de alvenaria de tijolos.
- **lombadas:** são elevações construídas transversalmente ao longo de toda a largura da plataforma da estrada, cujo objetivo é o de transportar as águas superficiais oriundas das sarjetas, de um lado para o outro da estrada, direcionando-as aos dispositivos adequados (caixas de retenção, bigodes, etc.).

- **Bacias de acumulação:** as bacias de acumulação são construídas às margens das estradas com o objetivo de aproveitar racionalmente a água das chuvas. A utilização das bacias de acumulação contribui na retenção de água e conseqüentemente, para o reabastecimento do lençol freático, alimentando minas e açudes.

A **drenagem profunda** é um tipo de dreno subterrâneo que se caracteriza pela maior profundidade em relação ao greide de terraplanagem. É composto pelos seguintes elementos: caixa de inspeção, muros de testa, dreno propriamente dito, com ou sem tubo, material drenante (em geral agregados britados) e/ou material filtrante (areia de rio ou geotêxtil). É localizado principalmente nos trechos de estrada em corte com problemas de lençol freático, próximos aos pés do talude; também, nos cortes em rocha e, ainda, sob os aterros, onde a montante existe água que não pode ser drenada por bueiro.

A **drenagem de transposição de talvegues** é composta normalmente por bueiros que são dispositivos destinados a conduzir as águas que atingem os talvegues, de um lado para o outro da estrada, num trecho em aterro. São chamados bueiros de grota. Dependendo da descarga de projeto, da condição do greide projetado e das peculiaridades topográficas do local, às vezes é mais vantajoso construir uma ponte. O bueiro utilizado para conduzir as águas coletadas pelas sarjetas ou outros dispositivos de drenagem em plataformas encaixadas para os pontos convenientes de descarga (por exemplo, saída de aterro numa seção mista), é conhecido como bueiro de greide.

2.7. Defeitos em Estradas Não Pavimentadas

Nunes (2003) define defeito em estrada não pavimentada como toda e qualquer alteração na superfície de rolamento da

estrada que por ventura venha a corroborar de forma negativa com as condições da superfície de rolamento e, conseqüentemente, as condições de tráfego da estrada.

Segundo Oda (1995), os defeitos encontrados nas estradas não pavimentadas surgem devido a uma combinação de fatores, sendo alguns deles extrínsecos à via, como tráfego, chuva e atividades de manutenção inadequadas e outros intrínsecos, como geometria imprópria (projeto em planta, em perfil longitudinal e seção transversal), drenagem ineficiente, tipos de solos e outros.

A avaliação das condições de superfície de rolamento de uma estrada é feita por meio do levantamento dos defeitos no campo e para efeito de utilização de Sistemas de Gerência de Vias, o levantamento envolve a seleção dos defeitos mais significativos, com suas respectivas medidas e a avaliação da extensão e severidade de cada um deles (NUNES, 2003).

A seguir são apresentados os principais tipos de defeitos que afetam as condições de serventia das estradas não pavimentadas.

a) Seção Transversal Inadequada

A seção transversal de uma estrada deve ser conformada de tal modo que permita o escoamento das águas superficiais para os bordos da pista a fim de que possam ser conduzidas pelo sistema de drenagem longitudinal. A inadequação da seção transversal que é o resultado de uma superfície sem a declividade transversal necessária para direcionar a água para as valetas, ocasiona o escoamento da água sobre a superfície de rolamento, potencializando o processo de erosão hídrica pluvial (Figura 2.4).



Figura 2.4 – Seção transversal inadequada

b) Drenagem Lateral Inadequada

A drenagem lateral deve proporcionar à estrada uma boa condição de escoamento das águas superficiais, evitando o acúmulo de água na plataforma. A drenagem lateral inadequada é verificada pela inexistência de valetas ou quando existentes, estas encontram-se cobertas por vegetação ou cobertas por entulhos de vegetação e sedimentos provenientes, em grande parte, de solo desprendido dos taludes (Figura 2.5).



Figura 2.5 – Drenagem lateral inadequada

c) Corrugações

As corrugações ou ondulações, como também são chamadas, são um tipo particular de irregularidades caracterizados por deformações que aparecem na pista de rolamento das estradas não pavimentadas, posicionadas em intervalos regulares, perpendicularmente ao sentido de fluxo do tráfego (Figura 2.6). SANTOS et al. (1988) relatam que esse problema surge principalmente sobre o leito "encascalhado" com material granular de dimensões em geral entre 5 e 10 mm, sem ligante.



Figura 2.6 - Corrugações

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), sua origem pode ser explicada pela presença de uma série de fatores, dentre eles:

- ação contínua do tráfego;
- perda de agregados finos da camada de revestimento, subleito ou base (rodovias pavimentadas);
- deficiências de suporte no material de subleito;
- abaulamento insuficiente, e ainda;
- revestimento de baixa qualidade aliado a períodos longos de seca.

A presença de corrugações nas estradas causa trepidações nos veículos e desconforto aos usuários. O comprimento das ondulações é tal que o período de oscilações correspondente está em ressonância com o de certas partes do veículo que trafega na estrada, fazendo com que este ao passar pelas ondulações, sofra choques periódicos e de amplitude crescente (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

d) Excesso de Poeira

A concentração de material fino desprendido sobre o leito da estrada devido à ação abrasiva do tráfego, principalmente em períodos de seca, é o grande responsável pela formação de nuvens de poeira (Figura 2.7) que causa desconforto aos usuários acarretando entre outros, os seguintes danos:

- diminuição da visibilidade dos motoristas elevando os riscos de acidentes;
- danos às culturas agrícolas de propriedades vizinhas às estradas devido à deposição de pó sobre as lavouras;
- problemas de saúde às pessoas, sendo causa de muitas alergias e outras enfermidades do gênero e;
- prejuízos às partes móveis dos motores dos veículos reduzindo sua vida útil devido às partículas abrasivas em suspensão no ar.



Figura 2.7 – Poeira após passagem de veículo

a) Buracos

Santos et al. (1988), relatam que a formação de buracos é proveniente da expulsão contínua de partículas sólidas do leito quando da passagem de veículos sobre um local onde há empoçamento de água (Figura 2.8).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), a formação de buracos na superfície de rolamento das estradas é causado por vários fatores, como seguem:

- inexistência de camada de revestimento primário ou deficiências quanto à composição de sua mistura;
- ausência de partículas aglutinantes na composição dos materiais de superfície e/ou camada e;
- plataforma da estrada mal drenada e sem abaulamento transversal adequado.



Figura 2.8 – Ocorrência de Buracos

f) Trilhas de Rodas

As trilhas de rodas são depressões que se formam nas faixas de tráfego da estrada, longitudinalmente ao seu eixo, onde as rodas dos

veículos transitam. O afundamento é causado por uma deformação permanente do subleito ou camada de revestimento e resultante da ação repetida do tráfego, especialmente quando os materiais que os constituem possuem baixa capacidade de suporte ou quando a drenagem da plataforma é deficiente (Figura 2.9).



Figura 2.9 – Afundamento de trilhas de rodas

RIVERSON et al. (1987), citado por ODA (1995), relatam que as trilhas de rodas ocorrem em estradas com superfície de material fino, sendo a perda de material do revestimento como um resultado do desenvolvimento de uma superfície inadequada, podendo também, causar a exposição do subleito de solos finos sujeitos aos efeitos da umidade. A umidade do subleito combinado com a drenagem ineficiente cria condições para a formação de trilhas de rodas

A formação das trilhas de rodas acaba por comprometer ainda mais a questão da seção transversal inadequada, pois dificultam o escoamento lateral das águas superficiais, agravando os problemas de drenagem e sendo responsáveis em grande parte pela formação de atoleiros.

g) Segregação de Agregados

A ação abrasiva do tráfego, devida à intensa passagem dos veículos sobre a superfície de rolamento das estradas não pavimentadas, ocasiona em muitos casos a segregação da fração grossa de agregados, processo este que leva à formação de bermas que se depositam junto às trilhas de rodas ou mais frequentemente nas áreas próximas aos bordos da pista (Figura 2.10). Este tipo de problema ocorre em função de várias causas, sendo a mais importante delas a falta de material ligante em proporções adequadas na composição da mistura de materiais.



Figura 2.10 – Ocorrência de segregação de agregados

2.8. Seleção de Atividades de Manutenção e Reabilitação

O levantamento de campo é um fator fundamental para análise das necessidades de manutenção e reabilitação que devem ser aplicadas à estrada, proporcionando a escolha de técnicas mais adequadas à solução de cada tipo de problema encontrado. Devem-se observar as características geotécnicas, topográficas, geométricas, condições de tráfego e intempéries a que a estrada está submetida, para identificação das prováveis causas dos defeitos. Neste caso, o conhecimento do tráfego e as classificações

geotécnicas do solo onde a estrada encontra-se implantada, mostram-se importantes ferramentas de análise proporcionando ao técnico um melhor diagnóstico do problema.

2.8.1. Tráfego

2.8.1.1. Considerações Iniciais

A quantificação do tráfego, principalmente o comercial, para estudo de estruturas de estradas pavimentadas ou não é uma tarefa que exige uma análise criteriosa, devido à variedade dos veículos e de suas cargas que solicitam a via. Para fins de estudo das condições estruturais de uma via, as variáveis mais relevantes associadas ao tráfego são as seguintes: composição em termos de automóveis, ônibus e caminhão, o volume médio diário (VDM), as cargas por eixo ou por roda, a velocidade com que são aplicadas, a geometria ou tipo de eixo e as pressões de enchimento dos pneus; também à de contato entre estes e a superfície da via. Analisar a influência do tráfego numa estrada, abordando todas essas variáveis, simultaneamente, é uma tarefa praticamente impossível. Assim, existem algumas abordagens que em geral se utilizam para análise da influência do tráfego em estudos de estruturas de vias pavimentadas ou não.

2. 8.1.2.Representação do Tráfego Numa Estrada

Para representar o tráfego numa estrada utiliza-se o conceito de equivalência de carga que pode assim ser interpretado: o efeito destrutivo ou dano causado na estrutura da via pelas solicitações dos diferentes tipos de veículo é semelhante ao efeito destrutivo provocado por um número equivalente de solicitações de uma carga padrão. O indicador do efeito destrutivo na via para fins de

equivalência de carga pode ser, por exemplo, a tensão vertical no topo do subleito, o deslocamento vertical que se observa num dado ponto da camada, a tensão de tração na face inferior de um revestimento asfáltico ou de uma base cimentada, entre outros. Esse indicador pode ainda estar associado com alguns tipos de defeito que interferem nas condições de serventia de uma estrada.

Os critérios clássicos de consideração do tráfego misto, para fins de projeto de pavimento, são os que seguem: determinação da carga de roda simples equivalente e utilização de um veículo ou eixo padrão.

2.8.1.3. Carga de roda simples equivalente (CRSE)

Yoder e Witczak (1975) apresentaram um método para cálculo da roda simples equivalente (CRSE), pelo princípio da mesma deflexão no subleito, empregando-se a teoria de Boussinesq, para um sistema constituído de uma camada elástica, com taxa de Poisson igual a 0,5. Para a sua utilização algumas considerações são necessárias, ou seja, a área de contato do pneu da roda simples equivalente é considerada igual à área de contato do pneu de uma das rodas do conjunto e, para obtenção da CRSE devem ser analisadas inúmeras situações de afastamentos horizontais (r_i) que produzam um maior deslocamento vertical a uma dada profundidade Z . Para melhor entender a questão, considere as duas rodas de um semi-eixo simples de rodas duplas ilustradas na Figura 2.11. Admitindo-se que os afastamentos horizontais r_1 e r_2 foram os que produziram um maior deslocamento vertical (δ_k), o valor da CRSE poderá assim ser obtido: pelo princípio da mesma deflexão, tem-se que $\delta_k = \delta_e$. A deflexão δ_k é o resultado da soma das deflexões individuais δ_i que ocorrem na camada devido à solicitação de cada carga P_k do conjunto das rodas múltiplas, ou seja, $\delta_k = \sum_{i=1}^n \delta_i$, sendo no

número de rodas do conjunto de rodas múltiplas. O valor de uma deflexão qualquer δ , numa dada profundidade, pode ser obtida pela fórmula:

$$\delta = \left(\frac{pa}{E} \right) F \quad (1)$$

em que:

δ = deflexão (deslocamento vertical) numa determinada profundidade da camada;

p = pressão de contato entre o pneu e a superfície da estrada;

a = raio da área de contato;

E = módulo de elasticidade da camada;

F = fator de deflexão.

Quando o afastamento horizontal for zero e para coeficiente de Poisson igual a 0,5, o valor de F pode ser obtido pela fórmula:

$$F = \frac{1,5}{\left(\left(1 + \frac{Z}{a} \right)^2 \right)^{0,5}} \quad (2)$$

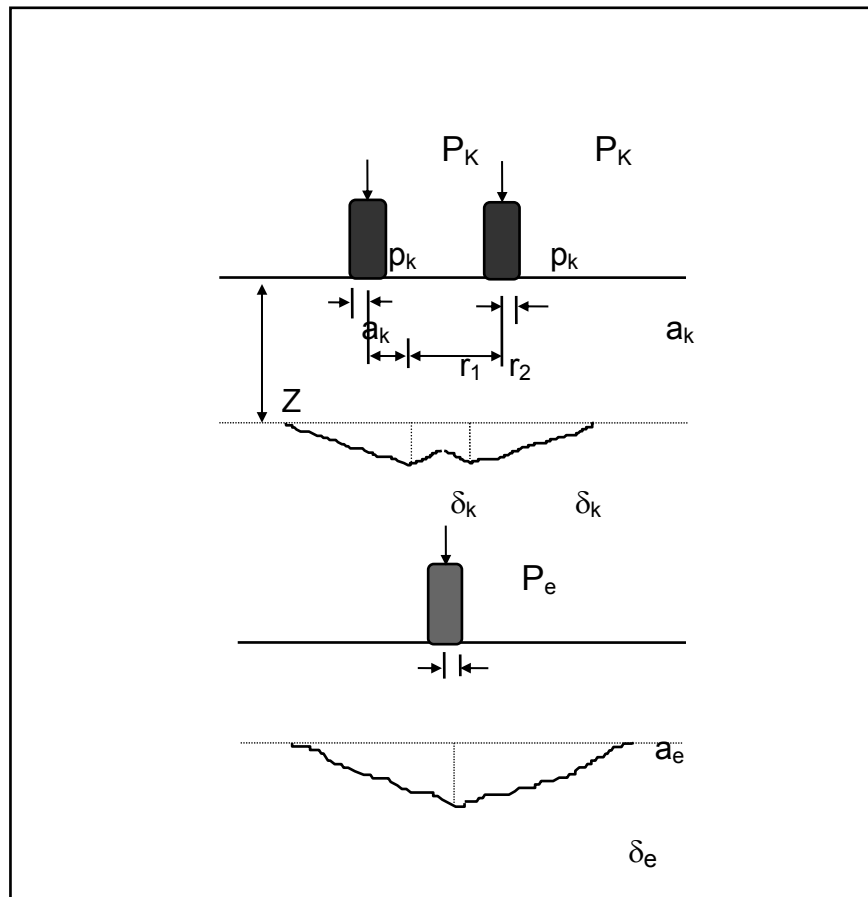


Figura 2.11 - Deflexões de um conjunto de rodas múltiplas e de uma roda simples equivalente

Para afastamentos horizontais diferentes de zero, o fator de deflexão (F) pode ser obtido pela fórmula:

$$F = \frac{a}{2} \left((1 + \mu) Z^2 (r^2 + Z^2)^{-1,5} + 2(1 - \mu^2) (r^2 + Z^2)^{-0,5} \right) \quad (3)$$

em que:

a = raio da área de contato;

μ = coeficiente de Poisson;

r = afastamento horizontal e

Z = profundidade da camada.

2.8.1.4. Veículo ou eixo padrão

De acordo com o método do Corpo de Engenheiro do Exército dos Estados Unidos, adotado pelo DNER para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, o efeito destrutivo de um eixo qualquer causado na estrutura de uma via é equivalente ao de um eixo padrão (ver Figura 2.12), podendo os fatores equivalentes de carga serem obtidos pelas expressões contidas na Tabela 2.1.

Hipóteses que fundamentam o método:

- Critério adotado para equivalência de carga é o da máxima deflexão no topo do subleito;
- O conjunto pavimento-subleito é considerado como um semi-espaço de Boussinesq, constituído por um único material perfeitamente elástico, homogêneo e isotrópico, com coeficiente de Poisson igual a 0,5;
- A pressão de contato pneu-pavimento foi considerada uniforme e igual a pressão de enchimento dos pneus e teve seu valor fixado em 70 psi.

Tabela 2.1 - Expressões para cálculo dos fatores de equivalência de carga

Tipo de Eixo	Faixa de Carga P (t)	Equações
Simples de rodas simples	0 - 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	> 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Simples de rodas duplas	0 - 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	> 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 - 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$
	> 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$
Tandem triplo	0 - 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	> 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

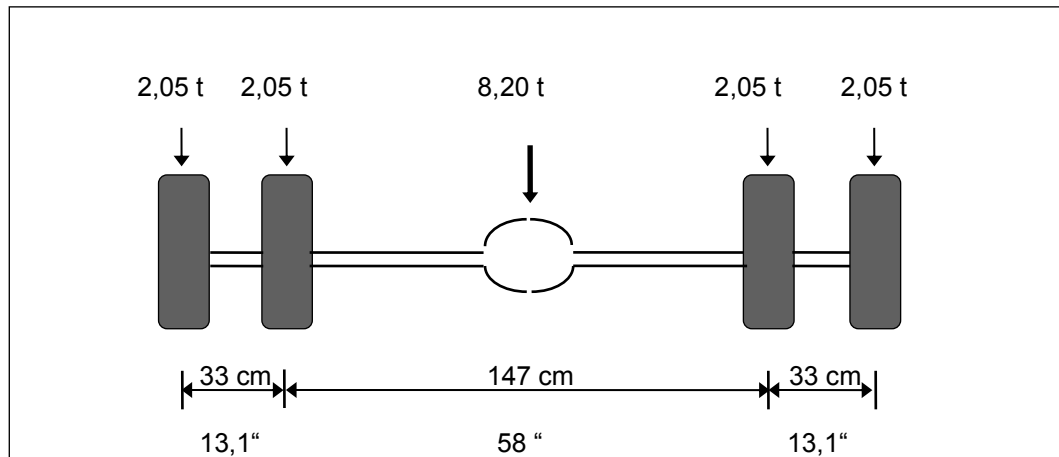


Figura 2.12 – Deflexões de um conjunto de rodas múltiplas e de uma roda simples equivalente (UDDIN, MEYER e HUDSON, 1985)

A Figura 2.13 ilustra vários tipos de eixos comumente utilizados nos veículos rodoviários comerciais.

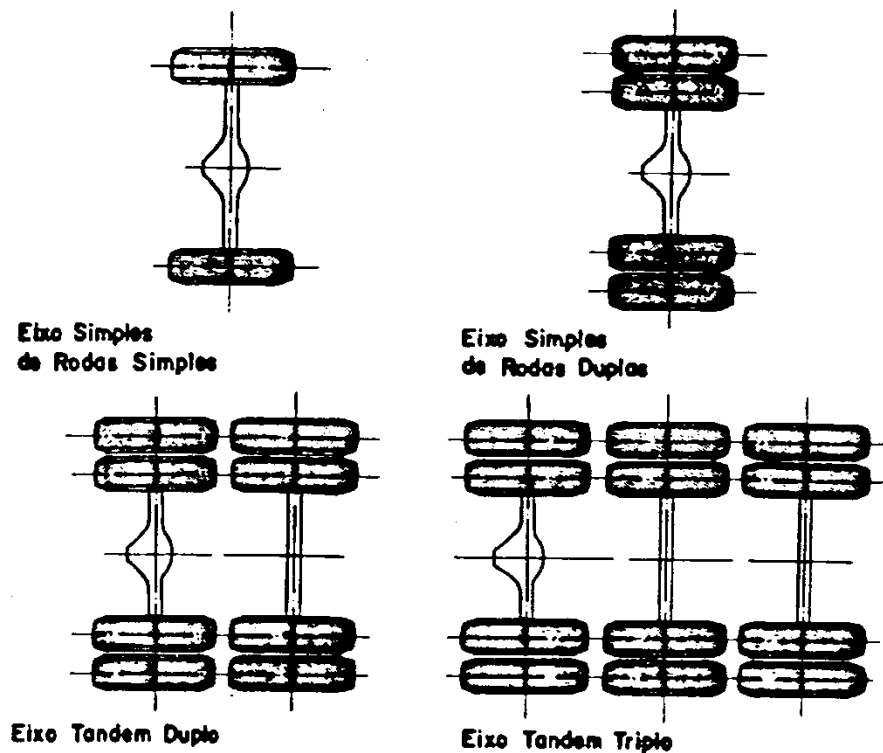


Figura 2.13 - Tipos de eixo de veículos rodoviários comerciais (FERNANDES, JR, 1994)

2.8.2. Estudos Geotécnicos

Os estudos geotécnicos destinados à construção de uma estrada compreendem basicamente todos os trabalhos necessários à identificação das propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas dos materiais do subleito e de ocorrências de materiais de empréstimo para o pavimento.

O subleito é todo material de fundação que se encontra abaixo do greide de terraplanagem. O pavimento de uma rodovia é a estrutura formada por camadas sobrepostamente compactadas de revestimento, base, sub-base e reforço, e que estão assentes sobre o subleito.

No caso de rodovias não pavimentadas do município de Viçosa-MG, o que se observa em muitas delas é uma camada de cascalho espalhada sobre o leito estradal, porém sem controle técnico construtivo. A grande maioria recebe apenas o patrolamento para acerto de superfície para melhorar as condições de rolamento. A utilização do patrolamento como única alternativa de manutenção acaba acarretando em um leito estradal encaixado, diminuindo a eficiência do sistema de drenagem e expondo as camadas mais profundas dos solos, que geralmente, são mais susceptíveis a processos erosivos.

Segundo o DNER (1996), "o estudo do subleito de estradas de rodagem com terraplenagem concluída tem como objetivo o reconhecimento dos solos visando à caracterização das diversas camadas e o posterior traçado dos perfis dos solos para efeito do projeto de pavimento. O estudo de ocorrências de materiais para pavimentação tem como objetivo o reconhecimento e a caracterização dos materiais de jazidas como fonte de matéria prima para a utilização na construção das diversas camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, de acordo com o projeto do pavimento".

Para efeito dos estudos geotécnicos são adotadas as seguintes definições:

- **Prospecção e classificação expedida no campo:** é a que resulta das sondagens e observação dos materiais quanto a cor, textura e consistência;
- **Camadas de solos:** são massas de solos contínuas e consideradas homogêneas sob o ponto de vista da classificação;
- **Perfil de solos:** é o desenho em escala conveniente, de um corte do subleito ou de uma seção de uma jazida até a profundidade sondada e que deverá ser feito de acordo com a classificação de laboratório.

Para a realização dos estudos geotécnicos para fins rodoviários, os seguintes ensaios são utilizados:

- a) **Peso específico dos grãos:** tem como importância servir de suporte a outros índices físicos do solo, como por exemplo, a porosidade e a densidade do grão, além de auxiliar na determinação da curva de saturação dos solos no ensaio de compactação;
- b) **Granulometria:** este ensaio é um dos mais importantes tanto para rodovias pavimentadas ou não, pois permite determinar as proporções dos diversos tamanhos ou diâmetros das partículas do solo;
- c) **Teor de umidade:** aumentando o teor de umidade do solo, a sua consistência varia, passando do estado sólido, ao semi-sólido, ao plástico e ao estado líquido. Essas variações no teor de umidade do solo influenciam na sua resistência ao cisalhamento, portanto afetam o desempenho da via frente às solicitações do tráfego;
- d) **Limite de liquidez:** representa um teor de umidade acima do qual a amostra passa do estado plástico ao líquido viscoso;

- e) **Limite de plasticidade:** refere-se ao teor de umidade abaixo do qual, a amostra passa do estado plástico ao semi-sólido;
- f) **Limite de contração:** continuando a perder água, o solo passa do estado semi-sólido ao sólido; raramente este ensaio é empregado para análise das propriedades físicas de materiais do subleito;
- g) **Equivalente de areia:** é um parâmetro que permite avaliar, em bases volumétricas, as proporções de argila e areia numa massa de solo. Em estradas vicinais, em geral este ensaio não é utilizado;

nota: os ensaios representados nos itens **b**, **d** e **e** possibilitam ainda identificar os solos pelos sistemas de classificações TRB, antiga HRB e USC. Uma vez classificados os solos, tem-se uma previsibilidade do seu comportamento para as finalidades rodoviárias;

- h) **compactação:** este ensaio é um dos mais importantes para a construção das camadas de um pavimento e melhoria das condições superficiais do subleito, sob o ponto de vista de suporte. Um solo, depois de compactado, torna-se menos compressível, devido a uma redução no índice de vazios provocada pela expulsão do ar existente no interior de sua massa. Quando se aumenta a energia de compactação, a tendência do solo é melhorar o seu suporte; entretanto, há situações, para determinados tipos de solo e misturas estabilizadas quimicamente, que isto não é verdade;
- i) **Massa específica aparente "in situ":** é importante a sua determinação para obtenção do grau de compactação da parte superficial do subleito. A relação, em porcentagem da massa específica aparente do solo "in situ" e a máxima encontrada para o mesmo solo no laboratório na energia de

compactação do Proctor normal, fornece o grau de compactação;

- j) **Índice suporte Califórnia (ISC):** este índice, tanto para estradas pavimentadas ou não, é um dos mais importantes parâmetros de suporte dos solos do subleito e dos materiais empregados nas camadas do pavimento, exceto à do revestimento. O seu valor é obtido por uma relação percentual entre a pressão num material em análise e a pressão numa brita padronizada, a uma certa penetração do pistão da prensa nos materiais ensaiados. As profundidades que se utilizam para o cálculo do ISC são de 2,5 mm e 5 mm. Quanto maior o CBR, melhor é o suporte do material frente às ações do tráfego;
- k) **Expansão medida no ensaio ISC:** é um ensaio simples, mas extremamente importante. Se um material apresenta um comportamento expansivo na presença da água, mesmo sendo bem compactado a sua eficiência na via será em vão. Ao expandir-se, a sua estrutura altera. O índice de vazios da camada compactada aumenta, tornando-a susceptível às deformações devido às ações do tráfego e intempéries;
- l) **Contração:** para materiais susceptíveis de retração durante período de secagem, caso de materiais com características argilosas, este ensaio é bastante eficiente no que diz respeito à técnica construtiva para que os mesmos possam ser empregados na construção de estrada;
- m) **Permeabilidade:** é utilizado quando se deseja conhecer a condutividade hidráulica dos materiais empregados nas camadas do pavimento; também para estudos de drenagem da estrada, principalmente a subterrânea;
- n) **Compactação mini-MCV:** tem a mesma função da compactação tradicional citada no item h, mas representa também um dos elementos necessários à classificação de solos pela metodologia MCT, apropriada para solos tropicais;

- o) **Perda de massa por imersão:** este ensaio, apesar de simples realização, mede a susceptibilidade do solo quando imerso em água. Representa, também, um dos principais parâmetros físicos do solo utilizado para a sua identificação, pela metodologia MCT de classificação de solos;
- p) **Resistência à compressão não confinada:** é um ensaio empregado para medir a resistência de amostras de solo e de misturas estabilizadas quimicamente. Para estradas vicinais, se se desejar fazer uma melhoria ou reforço do subleito, utilizando-se solos locais, adjacentes à via em questão, misturados ou estabilizados com aditivos químicos (cal, cimento, betume, RBl Grade 81, etc.), este ensaio apresenta grandes potencialidades para análise do comportamento mecânico das misturas;

Observação: maiores informações sobre os ensaios anteriormente citados podem ser encontradas em Senço (1997), Souza (1980), DNER (1996) e Nogami e Villibor (1995).

- q) **Ensaio nderbitzen:** é um ensaio de grande interesse para a análise do fenômeno erosivo, que consiste na passagem de um fluxo d'água sobre uma amostra indeformada, simulando uma situação real de fluxo superficial, como se mostra na Figura 2.11. Este ensaio encontra-se normalizado pelo DNER (1979).

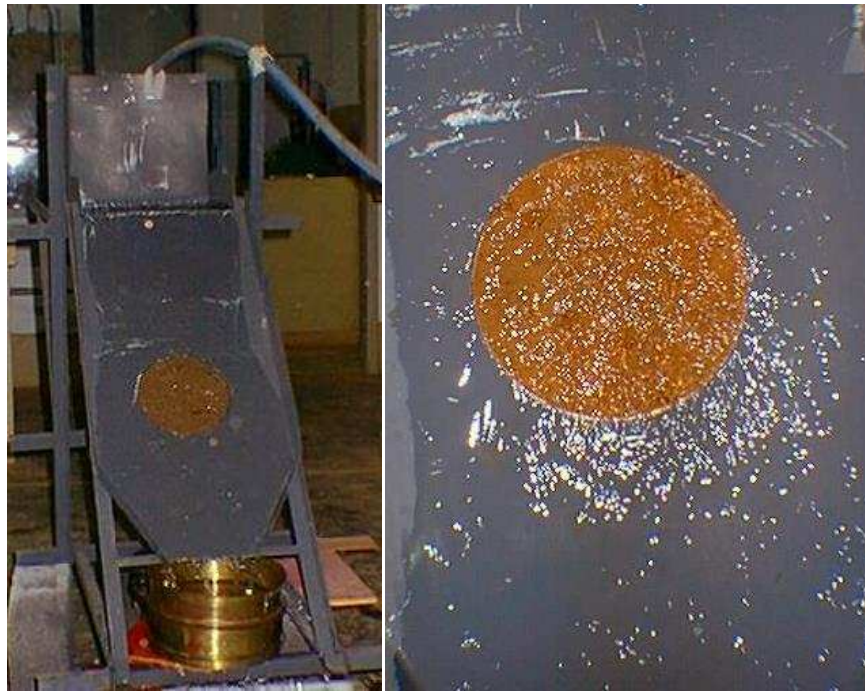


Figura 2.14 - Equipamento e visão do fluxo de água sobre a amostra indeformada durante a realização do ensaio Inderbitzen (Viana, 1999).

Neste ensaio, após a preparação da amostra indeformada em anel próprio, procede-se à sua colocação no equipamento e ao posterior controle da vazão, para se dar início ao ensaio. Esse avança, com a passagem de um fluxo uniforme e contínuo sobre a superfície da amostra. A coleta dos sedimentos carreados é feita em intervalos pré-definidos (5, 15, 30, 60 e 120 minutos), visando obter bases para a confecção de gráficos e para o cálculo do fator erodibilidade do solo. O DNER (1979) indica que a erodibilidade deve ser avaliada com os dados fornecidos a 5 minutos de ensaio, empregando-se o restante dos dados como base para a confecção de um gráfico de tendências. Maiores informações sobre esse equipamento podem ser obtidas em Faccio (1991) e Viana (1999).

Neste trabalho utilizou-se a Classificação MCT, desenvolvida por Nogami e Villibor, para identificação das potencialidades dos solos tropicais para fins rodoviários e cabe aqui fazer uma descrição sucinta do referido método.

2.9. Considerações Gerais sobre os Solos Lateríticos e a Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)

2.9.1. Considerações iniciais

Os sistemas de classificação de solos já vêm sendo amplamente discutidos no Brasil, devido às limitações das classificações de solos tradicionais para rodovias. Como exemplo têm-se o TRB (*Transportation Research Board*), antigo HRB (*Highway Research Board*) e USCS (*Unified Soil Classification System*), apropriados para solos de clima frio e temperado e aplicados a solos tropicais. Têm-se exemplos de vários solos provenientes de subleitos ou de jazidas que foram considerados impróprios para emprego na estrutura de rodovias pelos sistemas de classificação acima citados e que na realidade apresentaram bom e até mesmo excelente desempenho em serviço.

A fim de ilustrar a afirmação acima, Nogami e Villibor (1995) relataram que existem solos A-4 de comportamento laterítico que vêm sendo usados com sucesso em bases de pavimentos, ao passo que muitos solos de comportamento saprolítico pertencentes ao mesmo grupo constituem, frequentemente, péssimo material para utilização como subleito. Para o solo saprolítico, o CBR na condição ótima de compactação da energia normal é da ordem de 3%, ao passo que o A-4 laterítico pode atingir valor superior a 30% na mesma condição de compactação.

Segundo Pinto (2000), o objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, é o de poder estimar seu provável comportamento, ou pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise do problema.

Barroso (2002) relata que as classificações geotécnicas tradicionais, HRB (*Highway Reserch Board*) e UCS (*Unified Soil Classification System*) não se adaptam de forma totalmente consistente aos solos tropicais, visto que podem classificar solos pedogeneticamente diferentes como sendo pertencentes à mesma classe, embora apresentem propriedades geotécnicas bem diferentes, principalmente quando compactados. Assim, pode ser conferido ao solos de comportamento laterítico um desempenho inferior aquele verificado na prática.

Os métodos tradicionais desenvolvidos para o dimensionamento de pavimentos rodoviários, geralmente, são de países onde as condições ambientais são muito distintas dos países com clima tropical, como o Brasil. Os fatores ambientais conferem aos solos de regiões tropicais processos pedogenéticos diferentes aos de países com clima temperado e frio. Essas diferenças ocorrem desde a microestrutura típica, que reflete o seu grau de evolução, até a natureza e quantidades das frações finas e grossas, que os compõem.

2.9.2. Conceituação de Solos Tropicais

As características geotécnicas de um determinado solo estão intrinsecamente condicionadas ao tipo de clima, topografia, da fauna e do tempo. Em regiões de clima tropical, ocorrem fenômenos como a predominância de elevadas temperaturas, ausência de congelamento do subsolo, altos índices pluviométricos, lixiviação etc.

Barroso (2002) relata que não existe uma terminologia consagrada que defina o que são solos tropicais. Há um grande número de bibliografias nacionais e internacionais que buscam definir a conceituação desses solos. No entanto, essas definições geram confusões no âmbito técnico científico, visto que termos iguais

podem ser usados para definir materiais diferentes e materiais iguais podem ser denominados por vários nomes diferentes.

Nogami e Villibor (1995) relatam que solo tropical é aquele que apresenta peculiaridades de propriedades e de comportamento, relativamente aos solos não tropicais, em decorrência da atuação no mesmo de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas, não bastando, apenas, que tenha sido formado na faixa astronômica tropical ou região de clima tropical úmido. É indispensável que possua peculiaridades de interesse geotécnico.

No Brasil os solos tropicais são divididos em duas classes como seguem: solos de comportamento laterítico e solos de comportamento não laterítico (Nogami e Villibor, 1995).

2.9.3. Generalidades Sobre a Metodologia MCT

2.9.3.1. Considerações Iniciais

O desenvolvimento da Metodologia MCT veio contribuir, em muito, para a solução de vários problemas relacionados ao emprego de solos em obras de engenharia, sobretudo no tocante às obras rodoviárias, uma vez que este método leva em consideração o clima e os materiais empregados, predominantes em regiões tropicais.

A Metodologia MCT tem como principal característica a utilização de corpos-de-prova de dimensões reduzidas na execução de ensaios e por uma classificação geotécnica denominada MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

O procedimento de compactação desenvolvido por Parsons e a introdução no método do ensaio de perda de massa por imersão permitiram o desenvolvimento inicial da Metodologia MCT.

Os principais ensaios que fazem parte desta metodologia são os que seguem:

a) Ensaios Correntes de Laboratório do Método MCT

- Ensaio de compactação tipo Mini-Proctor
- Ensaio de compactação tipo Mini-MCV
- Ensaio de suporte Mini-CBR
- Ensaio de perda de massa por imersão
- Ensaio de medida de expansão
- Ensaio de medida de contração
- Ensaio de Infiltrabilidade de água (sucção capilar)
- Ensaio de penetração da imprimadura impermeabilizante

b) Ensaios de Campo da Metodologia MCT

- Ensaio de suporte Mini-CBR
- Ensaio de compactação tipo Mini-MCV

c) Ensaios Especiais do Método MCT

- Compressão Axial
- Compressão Triaxial

Para determinação do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos tropicais, são suficientes, o empregado dos ensaios de compactação mini-MCV e o ensaio de perda de massa por imersão, além da carta de classificação MCT.

2.9.3.2. Compactação Tipo mini-MCV

O ensaio de compactação mini-MCV é realizado com a utilização de um compactador miniatura, composto de soquete cilíndrico de aço, com altura de queda de 30,5 cm e peso de 2.270 g, e sapata de 49,9 mm de diâmetro. São utilizados corpos cilíndricos metálicos, com 50 mm de diâmetro, extensômetro de curso mínimo de 50 mm, graduado em 0,01 mm e dotado de conta-giros e dispositivo para extração de corpos-de-prova.

A norma técnica DER M 191-88 preconiza a aparelhagem necessária para a execução do ensaio de mini-MVC.

O ensaio de mini-MCV é executado com energia de compactação variável e massa de solo úmido igual a 200 g, com teores de umidade uniformemente crescentes, conforme descritos em Cozzolino e Nogami (1993) e descritos abaixo.

- a) pesar o mínimo de 5 porções de solo passantes na peneira nº 10, cada uma com 1 kg, e adicionando a cada uma delas água de forma que o teor de umidade seja crescente. O material deve ser acondicionado em saco plástico hermeticamente fechado, por um período de repouso mínimo de 10 horas, para a uniformização da umidade.
- b) separar para cada corpo-de-prova uma porção de 200g e iniciar a compactação pelo ponto mais úmido; a amostra deve ser colocada no cilindro metálico, posicionado na sapata inferior do equipamento de compactação e com um disco de polietileno sobre o topo dessa sapata. O solo deve ser acondicionado no cilindro com a utilização de um pistão adequado, colocando sobre a parte superior do corpo-de-prova a ser moldado, um outro disco de polietileno;
- c) aplicar o primeiro golpe e medir a altura inicial A_1 do corpo-de-prova, com a utilização do extensômetro, posicionado na vertical e fixado sobre a haste de compactação. Em seguida, aplica-se números de golpes sucessivamente crescentes, somados com os golpes anteriormente aplicados. O número de golpes (n) é padronizado e igual a 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256. Para cada seqüência de golpes, deve-se proceder a leitura da altura correspondente ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_8, A_{12}, A_{32}, A_{48}, A_{64}, A_{96}, A_{128}, A_{192}$ e A_{256});
- d) os golpes devem ser cessados quando a diferença de altura $a_n = (A_n - A_{n-1})$ for inferior a 0,1 mm ou negativa, quando iniciar a exudação de água na base do corpo-de-prova ou o número de golpes atingir 256.

e) repetir a sequência de *a* a *d* para as demais amostras.

Para cada altura A_n pode-se calcular a massa específica aparente seca (γ) pela fórmula:

$$\gamma = \frac{\left(\frac{M_w}{1 + \frac{w\%}{100}} \right)}{(19,56 \times A_n)} \quad (4)$$

onde:

19,56: área da seção correspondente ao diâmetro da amostra ($\phi = 5,0$ cm);

M_w : massa úmida da amostra;

$W\%$: teor de umidade da amostra;

A_n : altura do corpo-de-prova correspondente a n golpes.

De posse dos resultados do ensaio-MCV, plotam-se, para cada teor de umidade, as curvas de afundamento, que são lançadas em um diagrama onde o eixo das abscissas, em escala logarítmica, representa o número de golpes (n) e o eixo das ordenadas representa o valor correspondente à diferença de leitura ($A_n - A_{4n}$). Para cada curva de afundamento, determina-se o valor de mini-MCV, bastando para isso, verificar o ponto onde a respectiva curva intercepta a reta que representa afundamento de 2 mm, lendo no eixo das abscissas, o valor do número de golpes (n) correspondente. O valor do mini-MCV é dado pela seguinte expressão:

$$\text{Mini-MCV} = 10 \times \log_{10}(n) \quad (5)$$

Esta fórmula fornece para cada número de golpes n o valor do mini-MCV correspondente. Para uso na classificação MCT, o valor de c' a utilizar será o da curva de afundamento que fornece um mini-

MCV igual a 10. Geralmente, o valor de c' é obtido pela inclinação da reta de interpolação gráfica das curvas de afundamento, a não ser que uma das curvas forneça este valor.

O coeficiente d' é calculado a partir do coeficiente angular da parte mais inclinada da curva de compactação (teor de umidade x massa específica aparente seca) correspondente a 12 golpes. Utiliza-se a curva correspondente a 12 golpes por ser, sua energia de compactação, a mais próxima da energia normal.

2.9.3.3. Ensaio de Perda de Massa por Imersão

O ensaio de perda de massa por imersão foi inicialmente desenvolvido com o objetivo de avaliar a erodibilidade dos solos tropicais sob a ação da água (Nogami e Villibor, 1979).

Este ensaio é realizado nos corpos-de-prova compactados no ensaio mini-MCV, devendo-se extrudar 1 cm do corpo-de-prova para fora do molde de compactação e colocar o conjunto (molde + cilindro) na posição horizontal, dentro de um tanque de imersão por um período de, aproximadamente, 20 horas (conforme demonstrado na Figura 2.15).



Figura 2.15 - Amostra sendo colocada no tanque de imersão

Sob o corpo-de-prova, deve ser colocada uma cuba para coletar o material desprendido, que depois de decorrido 20 horas, deve ser removido cuidadosamente e levado à estufa para secagem completa e determinação da massa seca desprendida.

Caso a parte desprendida não apresentar deformações apreciáveis, isto é, se a parte desprendida mantiver a forma cilíndrica, o valor de P_s deverá ser multiplicado por um fator de correção (f) igual a 0,5.

A perda de massa por imersão (P_i), será obtida pela fórmula:

$$P_i = \left(\frac{P_s}{P_p} \right) \times f \times 100 \quad (6)$$

onde:

P_s = peso seco desprendido de cada amostra;

P_p = peso seco correspondente à parte saliente inicial do corpo-de-prova

f = fator de correção que leva em conta a forma de desprendimento do material extrudado.

Obtidos os valores da perda de massa por imersão para cada teor de umidade, traça-se a curva de perda mini-MCV x P_i . O valor de P_i % que deverá ser usado na classificação MCT, corresponderá ao mini-MCV igual a 10 ou 15, conforme forem os valores das densidades aparente secas obtidas. Caso a amostra apresente densidade baixa (altura final do corpo-de-prova maior que 48 mm) utiliza-se o valor de mini-MCV igual a 10 e caso a amostra apresente densidade aparente seca alta (altura final do corpo-de-prova compactado menor que 48 mm), o valor a ser utilizado é o correspondente ao mini-MCV igual a 15.

2.9.4. Classificação MCT

Desenvolvida por Nogami e Villibor (1980, 1981, 1985), a classificação MCT é obtida mediante a utilização de um ábaco de classificação (Figura 2.16) que agrupa os solos tropicais de acordo com o seu comportamento no seu estado compactado em duas classes principais: solos de comportamento laterítico (L) e solos de comportamento não laterítico (N) e por um quadro que elucida as propriedades de engenharia dos solos para fins rodoviários (Quadro 2.3).

Os solos de comportamento laterítico, são ainda, subdivididos em três subgrupos: areias lateríticas (LA), solos arenosos lateríticos (LA') e solos argilosos lateríticos (LG'), enquanto os de comportamento não laterítico são subdivididos em quatro subgrupos: areias não lateríticas (NA), solos arenosos não-lateríticos (NA'), solos siltosos não lateríticos (NS') e solos argilosos não lateríticos (NG').

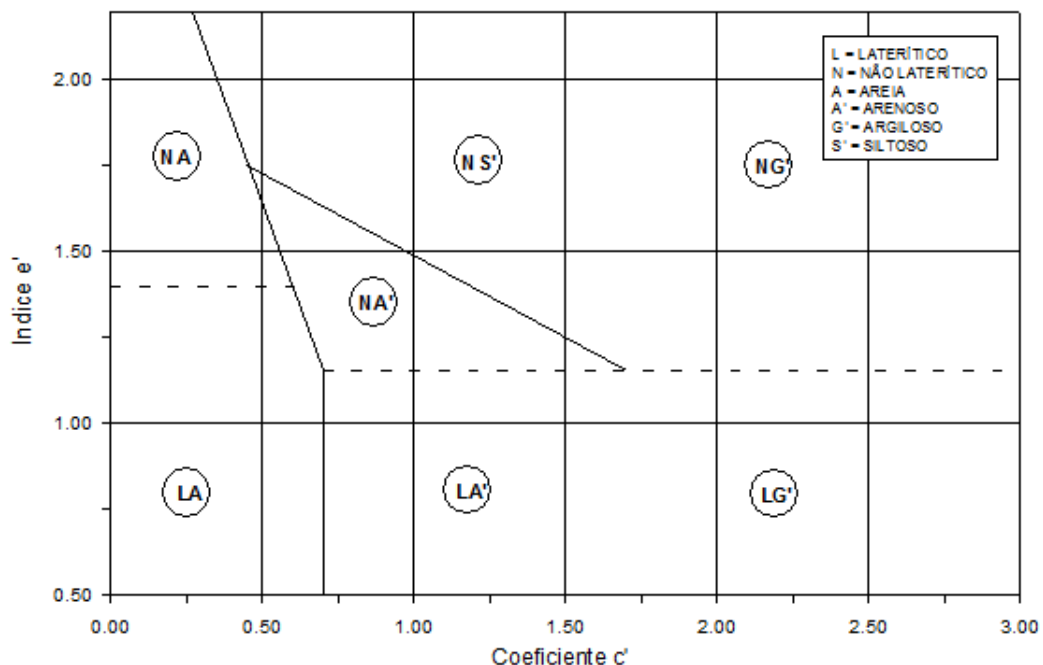


Figura 2.16 – Ábaco para classificação de solos pela metodologia MCT

a) Grupo NA

Os solos desse grupo são areias, siltes e misturas de areias e siltes, nos quais os grãos são constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica (sericita principalmente). Praticamente, não possuem finos argilosos coesivos e siltes caoliníficos.

Os tipos genéticos representativos são saprolíticos, associados a rochas sedimentares ou metamórficas; contudo, alguns solos não tropicais de origem pedogenética ou transportada classificaram-se nesse grupo.

As areias e siltes quartzosos são não expansivos ou muito pouco expansivos, ao passo que as variedades micáceas podem ser altamente expansivas. Quando compactados, possuem capacidade de suporte de pequena a média e, geralmente, são muito erodíveis.

Os solos desse grupo estão no limite da aplicabilidade da metodologia MCI e, de uma maneira geral, quando não micáceos, são solos de comportamento considerado na Mecânica dos Solos tradicional.

a) Grupo NA'

Granulometricamente, os solos desse grupo são misturas de areias quartzosas (ou de minerais de propriedades similares) com finos passando na peneira de 0,075 mm, de comportamento não laterítico.

Geneticamente, os tipos mais representativos são solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo tais como granitos, gnaisses, arenitos e quartzitos impuros.

Quando a areia for bem graduada e a natureza e porcentagem de finos obedecerem às condições estipuladas tradicionalmente, podem os solos desse grupo apresentar propriedades adequadas para serem usados como bases de pavimentos. Contudo, se a areia for mal graduada e os finos não obedecerem às condições acima, ou, ainda, se contiverem, na

fração areia ou silte, mica e/ou macrocristais de caolinita e/ou haloisita, eles podem ser totalmente inapropriados para bases de pavimentos. Recomenda-se, pois, que se determine a sua capacidade de suporte e as suas características expansivas, mesmo de maneira expedita, na ocasião de sua classificação. Muitas de suas variedades podem ser excessivamente expansivas, muito resilientes ou, ainda, muito sujeitas à erosão hidráulica.

b) Grupo NS'

O grupo NS' compreende sobretudo os solos saprolíticos silto-arenosos peculiares, resultantes do intemperismo tropical nas rochas eruptivas e metamórficas, de constituição predominantemente feldspática-micácea-quartzosa. As variedades mais ricas em areia quartzosa podem ter características mecânicas e hidráulicas que se aproximam dos solos do grupo NA'.

Esses solos caracterizam-se principalmente por terem, quando compactados na umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, baixa capacidade de suporte quando imersos em água; baixo módulo de resiliência; elevada erodibilidade; elevada expansibilidade (porém baixa pressão de expansão); elevado coeficiente de sorção e permeabilidade média.

Em suas condições naturais, apresentam geralmente baixa massa específica aparente seca; podem ser colapsíveis e ter baixa capacidade de suporte. Predominam variedades com erodibilidade de média a elevada, nos taludes de cortes.

c) Grupo NG'

Os solos típicos do grupo NG' compreendem os saprolíticos argilosos, que derivam de rochas sedimentares argilosas (folhelhos, argilitos, siltitos) ou cristalinas, pobres em quartzo e ricas em anfibólios, piroxênios e feldspatos cálcicos. Classificam-se nesse grupo os solos superficiais pedogenéticos não lateríticos, como os Vertissolos, que

compreendem o massapê da Bahia, bem como muitos solos transportados.

Quando compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente máxima da energia normal, apresentam características das argilas tradicionais muito plásticas e expansivas. Do ponto de vista da resiliência, apresentam, quando compactados, características bilineares em função da tensão desvio, sendo pouco dependentes da pressão de confinamento.

O emprego dos solos desse grupo se prende às restrições consequentes às suas elevadas expansibilidade, plasticidade, compressibilidade e contração, quando submetidos à secagem.

d) Grupo LA

Incluem-se nesse grupo areias com poucos finos de comportamento laterítico, típicas do horizonte B dos solos conhecidos pedologicamente como areias quartzosas e regossolos.

A porcentagem de finos lateríticos dos solos desse grupo é muito baixa, de maneira que mesmo quando devidamente compactados, podem ser relativamente permeáveis, pouco coesivos e pouco contráteis quando secos, características essas, pouco desejáveis para bases de pavimentos econômicos nas regiões tropicais, apesar de possuírem elevada capacidade de suporte e módulos de resiliência relativamente elevados.

e) Grupo LA'

Os solos desse grupo são tipicamente arenosos e constituintes do horizonte B dos solos conhecidos pedologicamente no Brasil por latossolos arenosos e solos podzólicos ou podzolizados arenosos (textura média, segundo terminologia adotada nos mapeamentos pedológicos). Esses solos, além da presença dos matizes vermelho e amarelo, dão cortes firmes (pouco ou não erodíveis), nitidamente trincados, quando expostos às intempéries.

Quando devidamente compactados, adquirem elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa permeabilidade, pequena contração por perda de umidade, razoável coesão e pequena expansibilidade por imersão em água; propriedades essas que podem possibilitar o seu uso em bases e sub-bases de pavimentos.

Em suas condições naturais, esses solos possuem baixa massa específica aparente seca, baixa capacidade de suporte e podem ser colapsíveis por imersão em água. Excepcionalmente, foram constatados solos desse grupo em perfis naturais pedologicamente não classificáveis como lateríticos e, nessas condições, a sua cor poderá ser branca, cinzenta, etc.

f) Grupo LG'

Os integrantes mais freqüentes desse grupo têm sido as argilas e as argilas arenosas, que constituem o horizonte B dos solos conhecidos pedologicamente por latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas.

Quando possuem porcentagem relativamente elevada de grãos de areia, podem apresentar propriedades similares às dos solos do grupo LA', possuindo, entretanto, menor capacidade de suporte, menores módulos de resiliência, maior plasticidade, menor massa específica aparente seca e maior umidade ótima para mesma energia de compactação e maior contração por perda de umidade. Por outro lado, são mais resistentes à erosão hidráulica, quando compactados apropriadamente.

A colapsibilidade em estado natural, por imersão em água, é uma propriedade freqüentemente observada nos solos desse grupo, sobretudo quando apresentam agregados bem desenvolvidos. Nessa condição, apresentam-se altamente permeáveis, apesar de serem granulometricamente argila e, devido a isso, costumam dar taludes de cortes não sujeitos à erosão pluvial.

O Quadro 2.3 apresenta as propriedades de engenharia dos solos para fins rodoviários sobre os aspectos de classificação TRB, USCS e MCT.

Quadro 2.3 - Propriedades de engenharia dos solos para fins rodoviários.

Granulometrias Típicas		Argilas Siltos (a, s)	Areias siltosas	Siltos (k, m) Siltos arenosos	Argilas Argilas arenosas Argilas siltosas Siltos argilosos	Areias siltosas	Areias argilosas	Argilas Argilas arenosas Argilas siltosas Siltos argilosos
k = caolínico m = micáceo s = sericítico q = quartzoso								
Comportamento		N = não-laterítico				L = laterítico		
Grupo MCT		NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Propriedades	Mini-CBR (%)	M, E B, M	E B	M, E E	E E	E B	E, EE B	E B
	Sem imersão Perda por imersão							
	Expansão	B	B	E	M, E	B	B	B
	Contração	B	B, M	M	M, E	B	B, M	M, E
	Coeficiente de permeabilidade	M, E	B	B, M	B, M	B, M	B	B
	Coeficiente de sorção	E	B, M	E	M, E	B	B	B
Corpos-de-prova compactados no peso específico aparente seco máximo da energia normal		EE = muito elevado (a) E = elevado (a)				M = médio (a) B = baixo (a)		
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-7-6	A-2	A-2 A-4	A-6 A-7-5

Fonte: Nogami e Villibor (1995)

3. Materiais e Métodos

3.1. Considerações Iniciais

A área de estudo compreende o Campus da Universidade Federal de Viçosa, situado no município de Viçosa, localizado na Zona da Mata Mineira, entre as coordenadas UTM 7705487 N, 720502 E e 7699439 N, 725195 E (Figura 3.1).

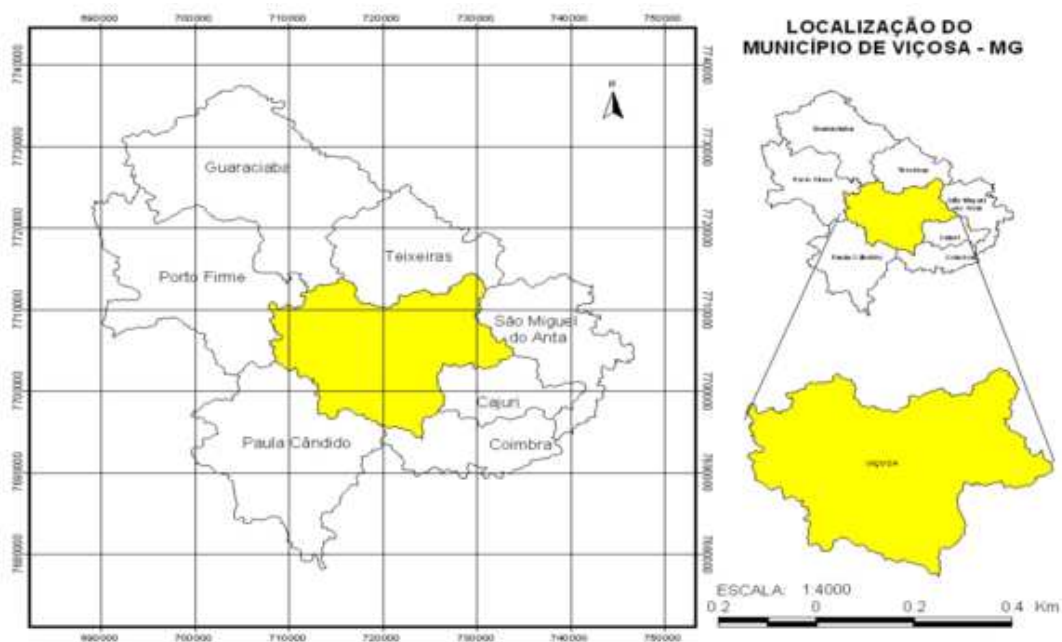


Figura 3.1. Localização do Município de Viçosa - MG

No referido campus, foram selecionadas duas estradas não pavimentadas para fins de estudo. A primeira estrada, designada de VCS 138, liga o Campus da UFV à BR 120, com início nas proximidades do Colégio Estadual Effie Rolfs e término no trevo da usina de lixo (BR 120), com extensão total em torno de 3,6 km (Figura 3.2). A Segunda estrada, também objeto de estudo deste trabalho, é designada de VCS 346. Esta via liga a UFV também à BR120, com início próximo ao departamento de Veterinária, possuindo uma extensão de aproximadamente 2,9 km (Figura 3.3).



Figura 3.2 – Foto aérea da estrada VCS 138 (NEPUT, 2003)



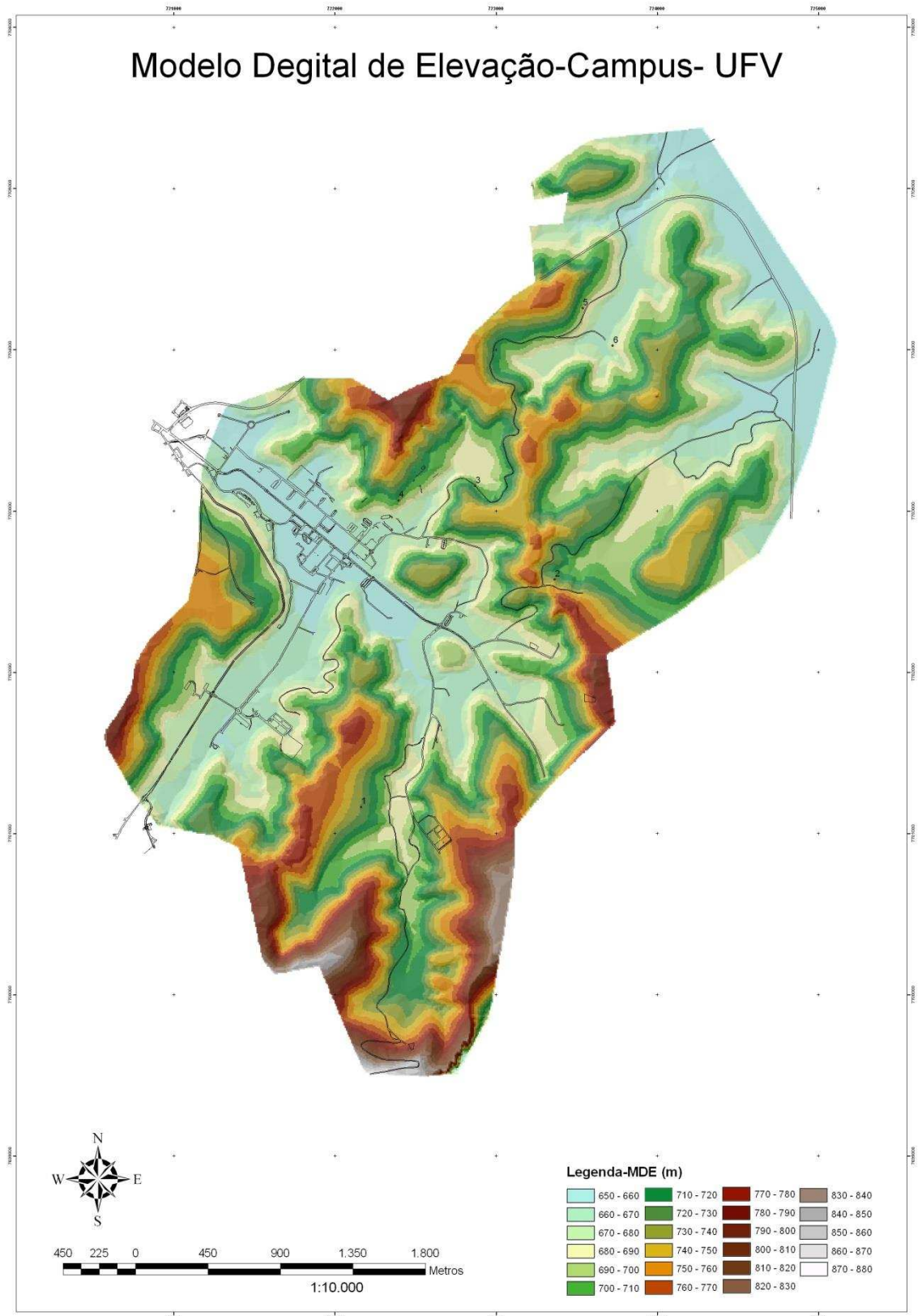
Figura 3.3 – Foto aérea estrada VCS 346 (NEPUT, 2003)

3.1.1. Relevo

Segundo Carvalho Filho (1989), o relevo da região de Viçosa é essencialmente morfoclimático, formado por processos geomorfológicos relacionados às alterações climáticas e ciclos sucessivos de erosão atuando sobre uma antiga superfície de aplainamento, caracterizando-se por apresentar topografia acidentada, com áreas planas em proporções reduzidas, restritas em quase sua totalidade, aos terraços e leitos maiores.

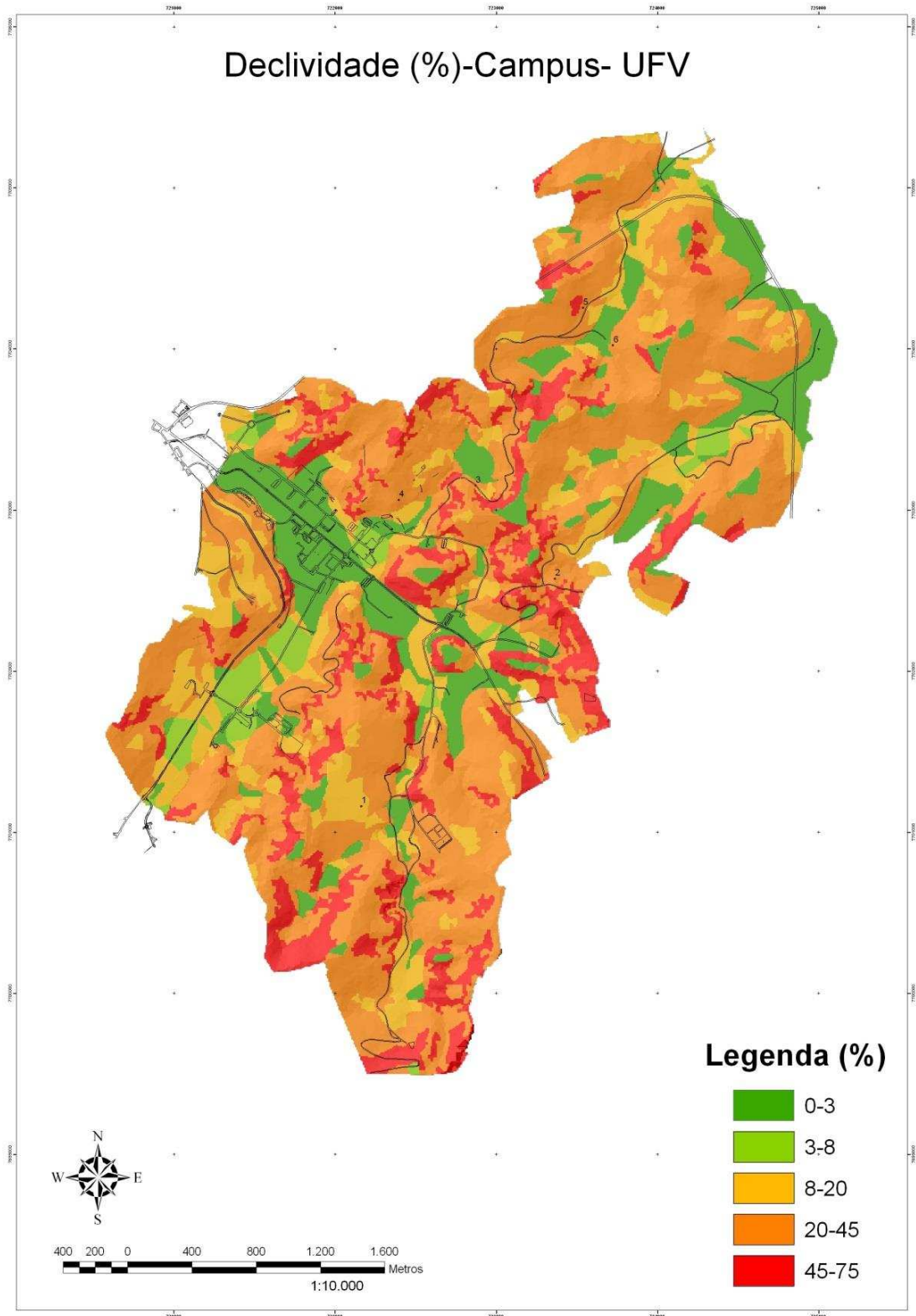
O município tem altitude média de 650m, sendo a altitude máxima correspondente a 960m e mínima de 620m, possuindo aproximadamente 80% de seu relevo montanhoso, 17% ondulado e 3% plano (REZENDE, 1971).

As Figuras 3.4 e 3.5 apresentam, respectivamente, o modelo digital do terreno e a carta de declividades do Campus da Universidade Federal de Viçosa, fornecido pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.



Fonte: Departamento de Solos - UFV

Figura 3.4 – Modelo digital de elevação do Campus da UFV



Fonte: Departamento de Solos - UFV

Figura 3.7 – Carta de declividades do campus da UFV

3.1.2. Clima

A cidade de Viçosa insere-se em região de clima do tipo Cwa, segundo a classificação de Koppen, tropical de altitude, com verões frescos e chuvosos. A temperatura média anual é de 18,5°C, com uma média das mínimas, no mês de julho, de 8,2°C e das máximas, no mês de fevereiro, de 28,5°C. A umidade relativa do ar varia de 31 a 60% ao ano.

3.1.3. Solos

Ramalho (1994), ao realizar a caracterização geotécnica dos solos de Viçosa, descreveu um total de cinco horizontes: saprolíticos (material de transição solo-rochosa), solos residual jovem, solo residual maduro, solo coluvionar e depósitos aluvionares.

A região de Viçosa situa-se no Complexo Cristalino Pré-Cambriano (gnaiesses diversos e migmatitos com intrusões ocasionais de diques máficos de anfibolito e diabásio) com ocorrência, também, de sedimentos quaternários, correspondentes aos terraços e leitos maiores (REZENDE, 1971; CORRÊA, 1984).

De acordo com Azevedo et al. (1998), o perfil típico da área apresenta-se com horizonte B com extruturação, em geral microgranular, e em alguns casos, em blocos subangulares. Os solos apresentam textura bastante variável, com perfis porosos e permeáveis, com variações de tonalidade de vermelhas a amarelas, com partículas de diâmetro menores que 2 mm e com propriedades geotécnicas variáveis. As frações argilosas são predominantemente cauliníticas e oxídicas. No horizonte C, subjacente ao B, a cor predominantemente é rosada ou ligeiramente mais avermelhada, havendo aumento dos teores de silte e areia, bem como a presença de partículas micáceas e flocos grandes de caulinita pseudoforma e biotita.

A ocorrência dos principais tipos de solos encontrados, em relação à geoforma são apresentados no Quadro 3.1.

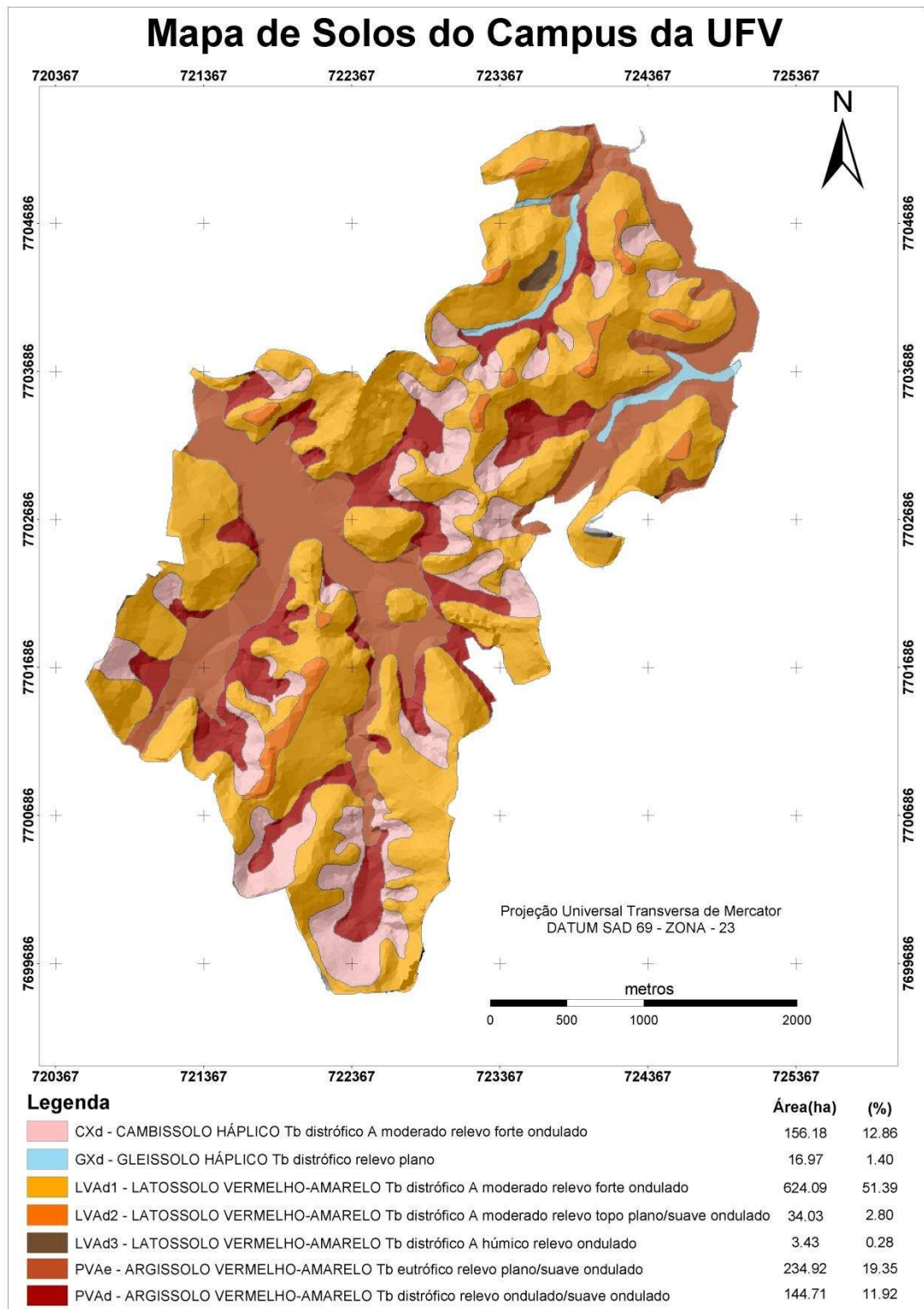
Quadro 3.1 – Ocorrência dos primeiros solos da região, em relação à geoforma

Tipo de Solo	Ocorrência em relação à Geoforma
Latossolo Vermelho-Amarelo	Encontrados nos topos dos morros devido à forma convexa e o relevo plano suave ondulado que permitem maior conservação dos solos e drenagem. Tal formação repete-se, também, na fase de relevo forte ondulado das encostas onde a geoforma é convexa.
Cambissolo distrófico	Encontrados em relevos mais íngremes, onde ocorre maior morfogênese do saprólito empobrecido.
Latossolo húmico	Encontrado na encosta de relevo ondulado, onde a forma do relevo permitiu o acúmulo de matéria orgânica proveniente da área de mata no topo dos morros.
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	Encontrados nos terraços, que constituíam antigas planícies de inundação e dominados por solos desenvolvidos em material muito argiloso, proveniente das encostas e depositado em ambiente de águas calmas. São solos mais conservadores de nutrientes em função do relevo plano e menor permeabilidade, estando menos sujeitos às perdas.
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	Encontrados nas rampas de colúvio, ambiente de transição do terraço para a encosta. Estes solos possuem estrutura em blocos, com grau moderado do horizonte diagnóstico, ocorrência de cerosidade e baixo gradiente textural

Fonte: Adaptado de Corrêa (1984)

A Figura 3.6 apresenta o mapa de solos do Campus da Universidade Federal de Viçosa. Observando os dados apresentados, verifica-se que as principais classes pedológicas ocorrentes no

Campus da UFV são: Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Gleissolo Háptico e o Cambissolo Háptico.



Fonte: Departamento de Solos UFV

Figura 3.8 – Levantamento de solos do Campus da UFV

3.2. Levantamentos de Campo

Nas vias anteriormente citadas, foram realizados levantamentos planialtimétricos com a utilização de um equipamento do tipo Estação Total, cedido pelo departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viços, no intuito de obter a plataforma das vias e o perfil longitudinal do eixo das mesmas.

Também foram realizados levantamentos de campo nas duas estradas, quais sejam: medição de defeitos e coleta de solos para caracterizações geotécnicas, perfazendo um total de quinze amostras representativas dos solos da região, ao longo dos taludes, de cortes e subleitos das estradas para fins de investigação de suas propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas. As análises de laboratório foram realizadas no laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil (DEC) – UFV.

3.2. Medição de Defeitos

A avaliação das condições de superfície de rolamento foi realizada com base na percepção dos avaliadores em função do conforto e segurança proporcionada pela estrada durante o trajeto.

Foram percorridas as duas estradas a uma velocidade constante de 40 km/h. Com base na observação e percepção dos avaliadores, selecionaram-se quatro trechos mais críticos, para cada estrada fazendo-se a marcação pelo odômetro do veículo. Os dados referentes aos trechos selecionados foram anotados em uma ficha de inspeção.

Em seguida, procedeu-se a avaliação dos seixos dos trechos mais críticos (60m cada), com média de aproximadamente 350 m² por trecho.

Para medição dos defeitos foram atualizados, trena metálica, com extensão de 5m e precisão de 1mm, trena plástica com extensão de 20m e precisão de 1mm e uma régua de pedreiro.

As dimensões dos defeitos e as características dos trechos avaliados foram anotadas na ficha de inspeção, ilustrado no Quadro 3.2, conforme descrito no trabalho de EATON et al. (1992).

Quadro 3.2 – Ficha de inspeção para medição de defeitos em estradas não pavimentadas (EATON et al., 1992).

FICHA DE INSPEÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS								
1. Estrada		2. Trecho:			3. Data:			
4. Trechos Selecionados		5. Área do trecho:			6. Avaliador:			
7. Desenho				8. Tipos de defeitos 8.1. Seção Transversal Inadequada 8.2. Drenagem Lateral Inadequada 8.3. Corrugações / Ondulações 8.4. Poeira 8.5. Buracos 8.6. Trilhas de Rodas 8.7. Segregação de Agregados				
Quantidade e severidade dos defeitos								
Tipos		8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7
Quantidade e Severidade	B							
	M							
	A							
9. Cálculo do URCI								
Tipo de defeito		Densidade	Severidade	DV		10. Anotações		
Valor de dedução (TDV):			q =	URCI:		Classificação:		

3.2.2. Solos

Neste estudo, utilizaram-se quinze amostras que constituem formações representativas do universo de solos da microrregião de Viçosa - MG, Brasil, sendo que as amostras de uma a dez, foram coletadas na estrada VCS 138 e as amostras de onze a quinze, coletadas na estrada VCS 346.

As amostras foram escolhidas tomando como base, as classes pedológicas encontradas ao longo do desenvolvimento das estradas, sem a preocupação de manter uma distância constante entre elas. Não se buscou nesse trabalho, realizar uma caracterização geotécnica ao longo de todo o trajeto das estradas, mas sim, realizar a caracterização geotécnica das classes de solos selecionados, para verificar sua potencialidade de desempenho e melhoria das vias não pavimentadas.

- a) **Amostra 1** – coletada no horizonte B, em um talude de corte (Figura 3.7). É classificada, pedologicamente, como Latossolo Vermelho e apresenta textura argilo-areno-siltoso;



Figura 3.7 – Local de coleta da amostra 01

- b) **Amostra 2** – coletada no mesmo ponto da estrada, porém, no subleito (Figura 3.8). Também é classificada pedologicamente com Latossolo Vermelho e apresenta textura argilo-areno-siltosa;



Figura 3.8 – Local de coleta da amostra 02

- c) **Amostra 3** – coletada no horizonte C, em um talude de corte da estrada (Figura 3.9). É classificada pedologicamente como Cambissolo e apresenta textura areno-silto-argilosa;



Figura 3.9 – Local de coleta da amostra 03

- d) **Amostra 4** – coletada no mesmo ponto da estrada, no subleito (figura 3.10). É classificada, pedologicamente, como Cambissolo e apresenta textura areno-silto-argilosa;

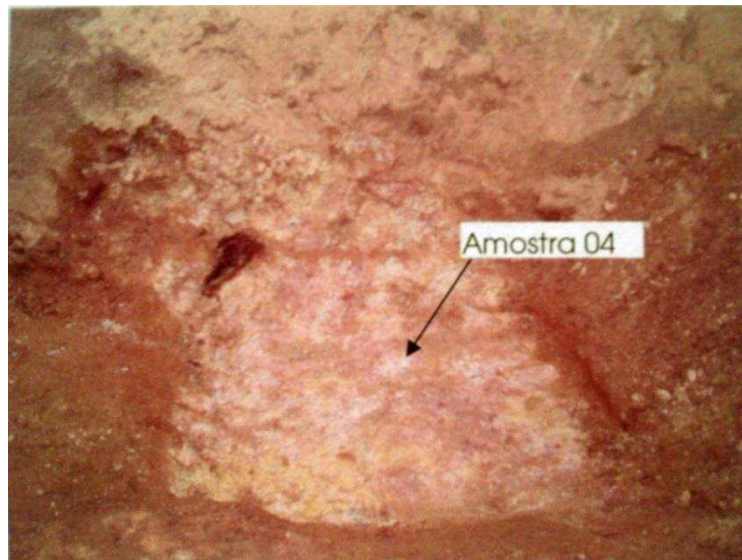


Figura 3.10 – Local de coleta da amostra 04

- e) **Amostra 5** – coletada no horizonte B, em um talude de corte da estrada (Figura 3.11). É classificado, pedologicamente, como Latossolo Vermelho-Amarelo e apresenta textura argilo-areno-siltosa;

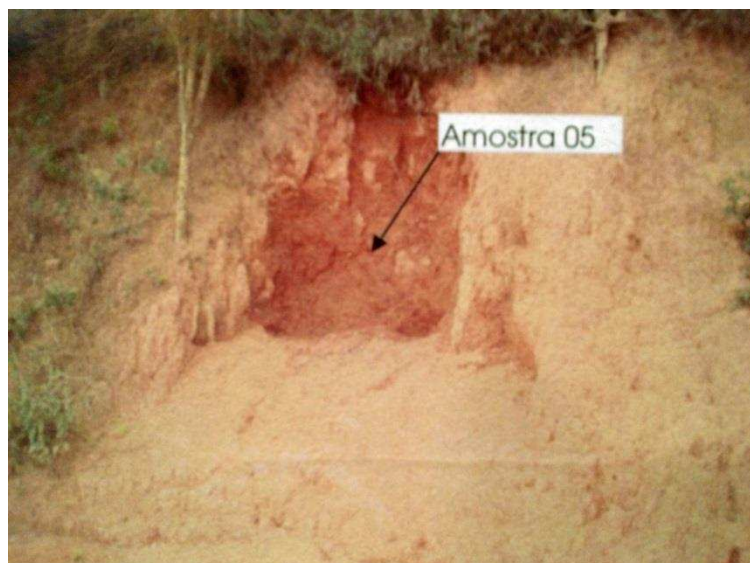


Figura 3.11 – Local de coleta da Amostra 05

- f) **Amostra 6** – coletada no mesmo ponto da estrada, no subleito (Figura 3.12). É classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo e apresenta textura argilo-areno-siltosa;



Figura 3.12 – Local de coleta da amostra 06

- g) **Amostra 7** – coletada no horizonte A, em um talude de corte da estrada (Figura 3.13). É classificado pedologicamente como Latossolo Amarelo Húmico e apresenta textura argilo-areno-siltosa;



Figura 3.13 – Local de coleta da amostra 07

- h) **Amostra 8** – coletada no mesmo ponto da estrada, no subleito (Figura 3.14). É classificado pedologicamente como Latossolo Amarelo e apresenta textura argilo-areno-siltosa;



Figura 3.14 – Local de coleta da amostra 08

- i) **Amostra 9** – coletada no horizonte C, em um talude de corte no trevo de acesso à usina de lixo da UFV, consiste em um solo saprolítico de Ganise e apresenta textura areno-silto-argilosa (Figura 3.15);

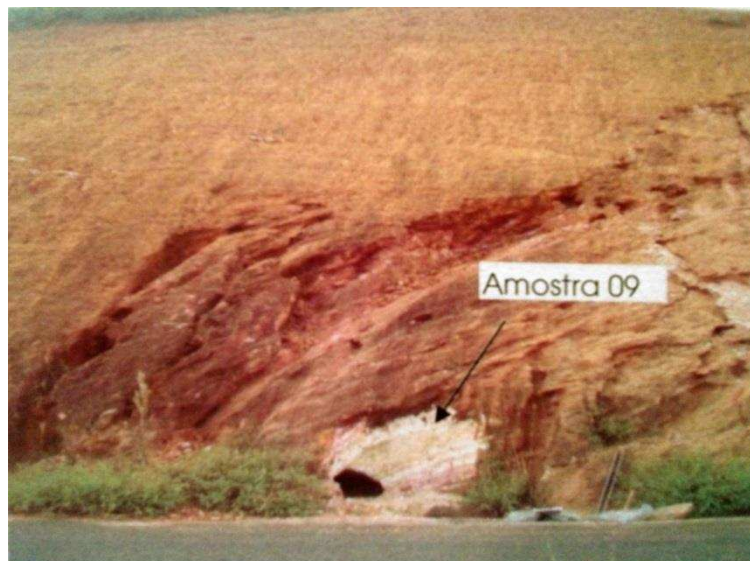


Figura 3.15 – Local de coleta da amostra 09

- j) **Amostra 10** – coletada no horizonte C, no mesmo talude de corte onde foi retirada a amostra 9, consiste em um solo saprolítico de diabásio e apresenta textura areno-silto-argilosa (Figura 3.16);

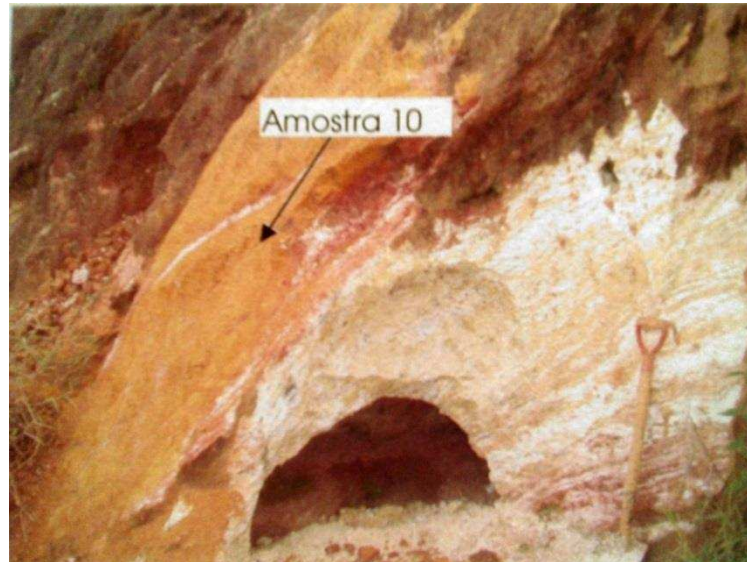


Figura 3.16 – Local de coleta da amostra 10

- k) **Amostra 11** – coletada no horizonte B, no subleito da estrada VCS 346. É classificada pedologicamente como latossolo vermelho amarelo e apresenta textura argilo-areno-siltosa (Figura 3.17).



Figura 3.17 – Local de coleta da amostra 11

- l) **Amostra 12** – coletada no horizonte C em um talude de corte da estrada VCS 346. É classificada pedologicamente como cambissolo e apresenta textura areno-silto-argilosa (Figura 3.18).



Figura 3.18 – Local de coleta da amostra 11

- m) **Amostra 13** – coletada no horizonte C, no subleito da estrada VCS 346, no mesmo trecho de coleta das amostras 12 e 14. Consiste em um solo saprolítico de diabásio e apresenta textura areno-silto-argilosa (Figura 3.19).

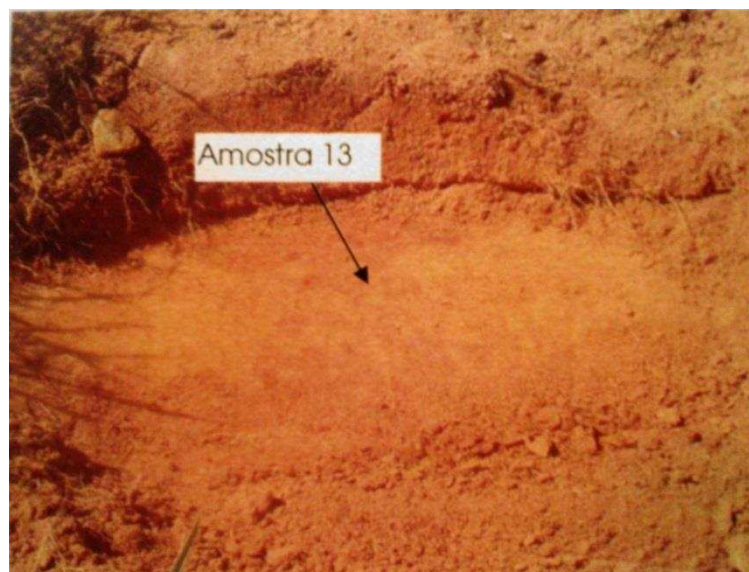


Figura 3.19 – Local de coleta da amostra 12

- n) **Amostra 14** – coletada no horizonte C em um talude de corte da estrada VCS 346, no lado oposto ao de coleta da amostra 12 (Figura 3.20). É classificado pedologicamente como Cambissolo e apresenta textura areno-silto-argilosa;



Figura 3.20 – Local de coleta da amostra 14

- o) **Amostra 15** – coletada no horizonte B, no subleito de um trecho da estrada VCS 346 (Figura 3.21). É classificado pedologicamente como latossolo vermelho amarelo e possui textura argilo-areno-siltosa.



Figura 3.21- Local de coleta da amostra 15

3.3. Métodos

A figura 3.24 apresenta o fluxograma onde estão sumarizados os procedimentos de campo e de laboratório adotados neste trabalho, sendo estes descritos de forma detalhada nos itens a seguir.

3.3.1. Procedimento de Campo

As amostras coletadas no campo, aproximadamente 40 kg por amostra, foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e levadas para o Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil (CEC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV)

3.3.2. Procedimentos de Laboratório

As amostras de 1 a 15 foram colocadas em bandejas para secagem ao ar e, em seguida, destorroadas e passadas na peneira de abertura 4,8 mm. Feito isso, separou-se para cada ensaio, a quantidade de solo necessário à sua execução.

3.3.2.1. Ensaio de Caracterização

Os ensaios de caracterização foram realizados para identificar as quinze amostras de solos pelas classificações TRB (*transportation Research Board*), USC (*Unified Soil Classification*) e MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), segundo os procedimentos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e métodos de ensaio do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atualmente DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de

Transportes). Foram realizados os seguintes ensaios: granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e mini-MCV.

3.3.2.2. Ensaio de Compactação

Os ensaios de compactação foram realizados nas quinze amostras, empregando-se a energia de compactação normal, de acordo com as recomendações da ABNT. Nestes ensaios, foram determinados o peso específico seco máximo e o teor ótimo de umidade para cada amostra.

3.3.2.3. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Os ensaios de CBR foram realizados, segundo as recomendações da ABNT, nos teores ótimos de umidade, obtidos através dos ensaios de compactação, para avaliar a capacidade de suporte e expansão dos solos no estado natural.

Optou-se pela utilização da energia normal por ser a mais próxima àquela aplicada pelos equipamentos utilizados pelos órgãos mantenedores de estradas não pavimentadas.

3.3.2.4. Mini-MCV e Perda de Massa Por Imersão

Os ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão foram executados para fins de classificação dos solos através da metodologia MCT. Realizaram-se esses ensaios conforme os procedimentos dos métodos de ensaio DER M 191-88 (mini-MCV) e DER M 196-88 (perda de massa por imersão), ambos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. As Figuras 3.22 e 3.23 ilustram o equipamentos e utensílios utilizados nos ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão, respectivamente.



Figura 3.22 - Equipamento de compactação utilizado para a realização do ensaio mini-MCV.



Figura 3.23 - Utensílios utilizados para execução do ensaio de perda de massa por imersão.

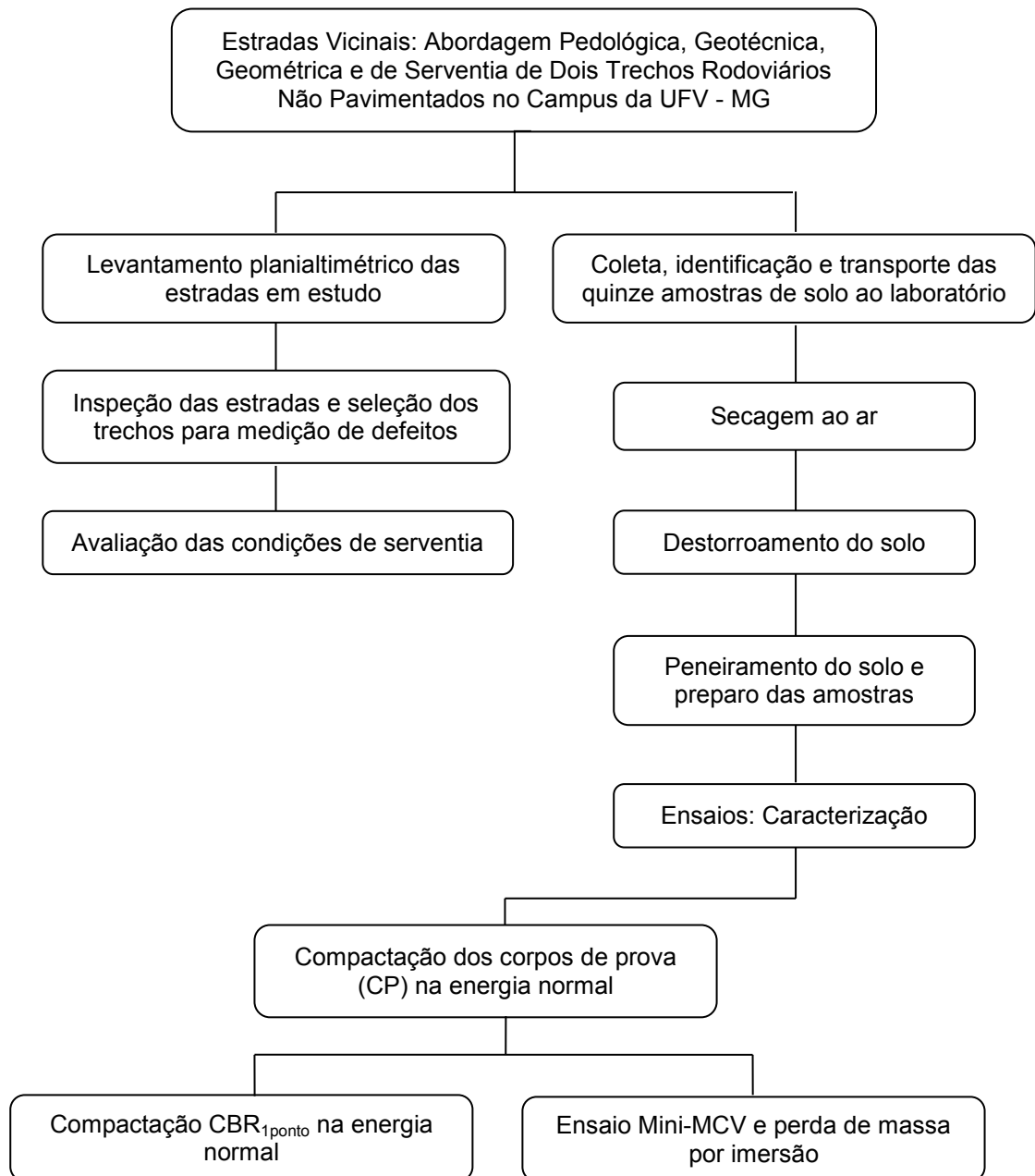


Figura 3.24 – Fluxograma dos procedimentos para a realização dos ensaios de caracterização, compactação, CBR e mini-MCV

3.5. Normas Técnicas Utilizadas no Presente Trabalho

O Quadro 3.3 contém as normas designadas pela ABNT e pelo DNER, referentes aos ensaios descritos nos itens anteriores desta seção.

Quadro 3.3 – Ensaio de caracterização, compactação, CBR, mini-MCV e perda de massa por imersão e respectivas normas técnicas.

Ensaio		Norma ABNT	Norma DER
Caracterização	Granulometria	NBR 7181/84	
	Limite de Liquidez	NBR 6459/84	
	Limite de Plasticidade	NBR 7180/94	
Compactação		NBR 7182/86	
CBR		NBR 9895/87	
Mini-MCV			M 191 – 88
Perda de massa por imersão			M 196 – 88

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Considerações Iniciais

A seguir são apresentados os resultados obtidos dos ensaios de laboratório referentes à caracterização geotécnica, compactação, CBR, classificação MCT, medições de defeitos e as discussões pertinentes. As plataformas das estradas e seus respectivos perfis longitudinais, estão no Anexo B deste trabalho.

4.2. Ensaio de Caracterização

Os resultados dos ensaios de granulometria, índice de liquidez e plasticidade e peso específico dos sólidos encontram-se no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade e peso específico dos sólidos dos solos em estudo.

Estrada	Amostras	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_s (kN/m ³)
VCS 138	01	54	11	34	62	37	25	27,50
	02	57	12	3	67	40	27	26,70
	03	12	37	52	35	21	13	26,35
	04	13	37	50	40	22	19	26,40
	05	68	9	23	84	42	41	27,60
	06	60	13	27	72	40	32	27,70
	07	66	7	27	57	43	14	27,20
	08	59	9	33	64	41	23	27,80
	09	12	35	52	27	13	14	26,40
	10	10	39	51	46	25	21	30,40
VCS 346	11	54	9	37	68	32	35	26,60
	12	13	31	56	68	32	35	30,20
	13	7	33	61	42	21	20	26,03
	14	9	33	58	40	20	20	26,50
	15	45	19	37	66	32	34	28,50

As classificações tradicionais (TRB e USC) produziram especificações que fazem uso de uma faixa de valores de aceitação para a granulometria e limites de Atterberg.

Pela análise dos resultados, observa-se que, em geral, com o aumento do teor de fração fina no solo, há um aumento dos valores de LL e IP. Todas as amostras estudadas apresentaram LL superiores a 25% e IP superiores a 6%, o que já limita o uso da maioria dos solos para aplicação em camadas de base e sub-base de um pavimento, à luz das especificações tradicionais de materiais para essas camadas.

No entanto, as especificações citadas acima, são questionáveis quando aplicadas à maior parte dos solos peculiares de regiões tropicais úmidas, devido a dois fatores:

- A diversidade mineralógica dos finos presentes nos solos tropicais, em relação aos solos de regiões temperadas do hemisfério norte.
- A grande diferença do solo tropical em seu estado indeformado natural e após a destruição da estrutura para a realização dos ensaios de limite de Atterberg.

Assim sendo, o emprego de metodologias desenvolvidas para solos tropicais proporciona um melhor conhecimento das reais potencialidades dos solos para uso na engenharia rodoviária.

4.3. Classificação dos Solos

A seguir, no Quadro 4.2 são apresentadas as classes pedológicas segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos até o 2º nível categórico e a identificação das quinze amostras de solos estudadas pelas classificações TRB, USC e MCT.

Quadro 4.2 – Identificação dos solos pelas classificações pedológicas e classificações HRB, USC e MCT.

Estrada	Amostras	Classe Pedológica	Sistema de Classificação		
			TRB	USC	MCT
VCS 138	01	LV	A-7-5 (18)	MH	LG'
	02	LV	A-7-5 (18)	MH	LG'
	03	CL	A-6 (4)	CL	NG'
	04	CL	A-6 (6)	CL	NG'
	05	LVA	A-7-5 (20)	MH	LG'
	06	LVA	A-7-5 (20)	MH	LG'
	07	LH	A-7-5 (13)	CH	NG'
	08	LVA	A-7-5 (16)	MH	LG'
	09	Gn	A-6 (4)	SC	NA'
	10	Db	A-7-5 (10)	CL	NS'
VCS 346	11	LVA	A-7-5 (18)	CH	LG'
	12	CX	A-7-6 (20)	CH	NA'
	13	Gn	A-7-6 (12)	CL	NA'
	14	CX	A-6 (5)	SC	NA'
	15	LVA	A-7-5 (14)	SC	NG'

Segundo Barroso (2002) o método de classificação TRB apresenta informações qualitativas sobre o comportamento do material como subleito. Ele apresenta apenas duas categorias de qualificação de solos como subleito, atribuindo às classes A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7, comportamento de excelente a bom e às classes A-4, A-5, A-6, A-7-5 e A-7-6 comportamento de fraco a pobre. Esses dados estão apresentados na Tabela 4.1. Os critérios adotados para atribuição de adjetivos às classes de solos fundamentam-se em informações sobre a granulometria e nos valores de limites de liquidez e de plasticidade dos solos, de modo que um solo será tanto melhor quanto mais à esquerda estiverem classificados na tabela de classificação TRB.

Tabela 4.1 – Classificação dos Solos pelo TRB (Transportation Research Board)

Classificação	Materiais Granulares 35% (ou menos) passando na peneira N.º							Materiais Silto-Argilosos			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-A	A-1-B		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometria % passando na peneira N.º 10..... N.º 40..... N.º 200.....	50 máx.	30 máx.	51 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração passando na peneira nº 40: Limite de liquidez.....	6 máx.	6 máx.	NP	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade.....				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo.....	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia			Pedregulho ou areias siltosas ou argilas				Solos Siltosos		Solos Argilosos	
Comporta- mento como subleito	Excelente a bom							Sofrível ou mau			

Fonte: Adaptado de Dnit (2005)

Verifica-se, então, que segundo a classificação TRB, todas as amostras estudadas são de comportamento fraco a pobre, para utilização como subleito.

Pela observação dos dados do Quadro 2.3 e das peculiaridades dos solos tipo LG' da classificação MCT, verifica-se que esses solos são o mais indicados para emprego em proteções contra erosão e o segundo melhor tipo de solo para utilização como revestimento primário. Seis amostras (01, 02, 05, 06, 08 e 11), que

representam 40% das amostras estudadas, foram caracterizadas como LG', apresentando assim, potencialidade para utilização na melhoria dessas vias. A classe pedológica a que essas amostras pertencem, representam a grande maioria do universo de solos presentes na região de Viçosa, o que potencializa a sua utilização na melhoria das estradas da região. Quatro amostras (3, 4, 7 e 15), que representam 26,7% dos solos estudados, foram classificados como NG'. Esses solos não são recomendados para utilização em proteção de erosões e nem para revestimento primário, devendo ser evitados. As amostras 9, 12, 13 e 14 foram classificadas como NA' e segundo a classificação MCT, se prende às restrições consequentes às suas elevadas expansibilidade, plasticidade, compressibilidade e contração, quando submetidas à secagem. A amostra 10 foi classificada como NS', não sendo recomendada para utilização como revestimento primário e proteção de erosões. O item 2.9.4 contém uma descrição das peculiaridades dos diversos grupos de solos da classificação MCT.

4.4. Ensaio de Compactação

Os resultados encontrados de peso específico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e teor ótimo de umidade ($W_{\acute{o}t}$), na energia de compactação do Proctor Normal dos solos estudados são apresentados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Pesos específicos secos máximos e teores ótimos de umidade das amostras de solos estudados na energia de compactação do ensaio de Proctor Normal.

Estrada	Amostras	Energia Normal	
		$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	W _{ót} (%)
VCS 138	01	14,31	27,97
	02	14,38	27,91
	03	16,50	18,12
	04	16,23	17,75
	05	13,67	32,14
	06	14,01	31,03
	07	12,92	34,49
	08	14,05	29,98
	09	16,07	19,17
	10	13,56	25,10
VCS 346	11	14,51	27,02
	12	12,81	23,87
	13	15,21	21,48
	14	16,30	18,05
	15	15,10	26,87

De uma maneira geral, os solos argilosos apresentam densidades secas baixas e umidades ótimas elevadas. Valores como umidade ótima de 25% a 30% correspondendo a densidades secas máximas de 14 a 15 kN/m³ são comuns em argilas. Areias finas lateríticas, ainda que a fração areia seja mal graduada, podem apresentar umidades ótimas de 12 a 14% com densidades secas máximas de até 19,0 kN/m³ (Pinto, 2000).

Segundo Pinto (2000), os solos lateríticos apresentam o ramo ascendente da curva de compactação nitidamente mais íngreme do que os solos residuais e os solos transportados não laterizados, sendo tal peculiaridade empregada para a identificação dos solos lateríticos.

4.5. Índice de Suporte Califórnia e Expansão

Os resultados encontrados nos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (CBR) e expansão, na energia de compactação do ensaio de Proctor Normal são apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – CBR_{1pt} e expansão das amostras 1 a 15, compactadas na energia do ensaio de Proctor Normal

Estrada	Amostras	Energia Normal	
		CBR (%)	Expansão (%)
VCS 138	01	11	1,18
	02	6	1,13
	03	6	3,19
	04	6	2,78
	05	7	1,48
	06	5	1,21
	07	3	1,20
	08	5	0,17
	09	9	7,48
	10	18	2,25
VCS 346	11	10	2,00
	12	10	1,77
	13	6	2,99
	14	5	3,42
	15	9	1,74

Segundo as especificações de Manual de Pavimentação, DNIT (2005), os materiais de subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio de CBR, menor ou igual a 2% e um CBR maior ou igual a 2%.

Nogami e Villibor (1995) relatam que os solos lateríticos possuem uma peculiaridade muito notável no que se refere à expansão, sobretudo para solos compactados. De uma maneira geral, os solos lateríticos, mesmo que sejam argila ou muito argilosos, possuem pequena expansão, quando compactados na umidade ótima correspondente à massa específica aparente seca máxima da

energia adotada e, em seguida, imersos em água. Quando compactados no ramo úmido da curva de compactação, podem apresentar expansões relativamente elevadas (acima de 1%). Os solos saprolíticos, por incluírem uma grande variedade de tipos, não permitem uma generalização.

4.6. Resultados da Avaliação das Estradas Não Pavimentadas

Na análise dos resultados procurou-se identificar os tipos de defeitos mais frequentes ao longo das duas estradas. Com base no levantamento de campo, foi feita uma apreciação crítica do método utilizado na avaliação das condições da superfície de rolamentos das estradas.

Com a avaliação de campo, pode-se constatar que os maiores problemas surgem devido à seção transversal inadequada e ausência ou deficiência no sistema de drenagem. Essas características, juntamente à ação contínua do tráfego e a ação das intempéries, acabam acelerando o processo de deterioração da superfície das estradas não pavimentadas. Nas duas estradas prevalece a condição de seção transversal encaixada, o que diminui a eficiência da drenagem.

Após o início deste trabalho, a estrada VCS 138, que liga a UFV à BR 120 com início nas proximidades do colégio Effie Rolfs, passou por serviços de manutenção, onde foi executado o patrolamento da plataforma. No entanto, verificou-se que não houve a preocupação com a manutenção dos sistemas de drenagem. As bacias de acumulação presentes nas laterais das estradas estão cheias de solo, o que compromete a sua eficiência e conseqüentemente, a vida útil da estrada. A Figura 4.1 ilustra uma das bacias de acumulação existentes na estrada.



Figura 4.1 – Bacia de acumulação com eficiência comprometida devido à falta de manutenção.

A estrada VCS 346 possui, em alguns trechos, uma camada de aproximadamente 40 cm de cascalho, no entanto já bastante deteriorada pela ação do tráfego e intempéries, apresentando defeitos como seção transversal imprópria, buracos, corrugações e perda de agregados. O sistema de drenagem é praticamente inexistente, ou onde existe está seriamente comprometido. Em alguns pontos da estrada existem bueiros, mas esses encontram-se assoreados por solo e entulho devido à falta de manutenção. Existem trechos extensos, em rampa, onde a inexistência de elementos de drenagem para a retirada da água das sarjetas, já começam a provocar erosões na plataforma da estrada colocando em risco os motoristas que por ali trafegam. A falta dessa “sangria” lateral faz com que a água escoada para as sarjetas, ganhe energia potencial, aumentando assim sua velocidade de escoamento e conseqüentemente seu potencial erosivo. A Figura 4.2 ilustra dois desses trechos onde foram observados o início de processos erosivos nas laterais e na plataforma da estrada causados pela drenagem ineficiente.

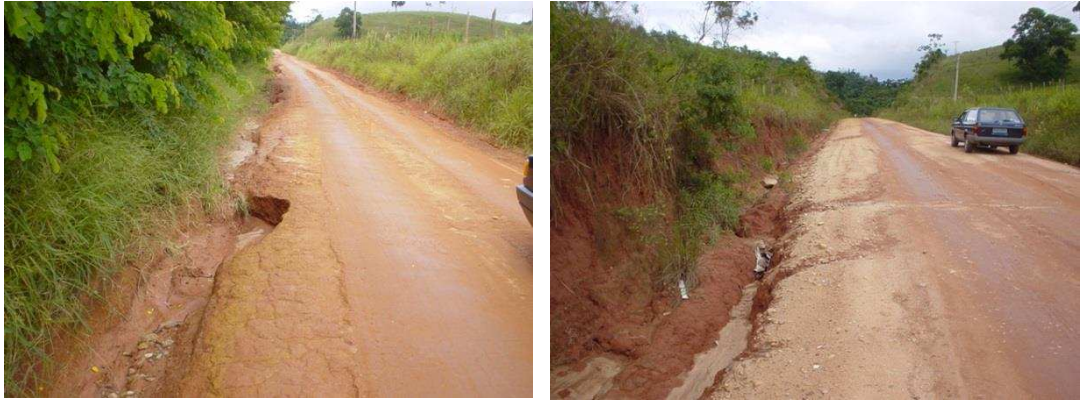


Figura 4.2 – Trechos da estrada VCS 346 com drenagem ineficiente.

4.6.1. Análise Crítica do Método de Avaliação de EATON et al.

O método de avaliação das condições da superfície de rolamento das estradas não pavimentadas desenvolvido por EATON et al. (1987) apresenta alguns pontos que não foram possíveis de serem seguidos. O método propõe que os trechos sejam escolhidos com o veículo em movimento, a uma velocidade constante de 40km/h. No entanto isso não foi possível, pois para identificar alguns defeitos subjetivamente, foi necessário reduzir a velocidade do veículo.

Outra dificuldade encontrada foi na identificação dos defeitos que, no método, aparecem descritos em formas geométricas definidas, o que não se constatou na prática.

4.6.2. Defeitos Identificados no Campo

Com base nos levantamentos expeditos de campo, foram identificados os defeitos dos trechos selecionados e calculados os URCI (Unpaved Road Condition Index) para as duas estradas não pavimentadas. A seguir são apresentados os resultados das medições de defeitos das duas estradas.

4.6.2.1. Estrada VCS 138

O Quadro 4.5 mostra as características da estrada VCS 136. A estrada inicia-se nas proximidades do Colégio Estadual Effie Rolfs, ligando a UFV à BR 120, no trevo de acesso ao distrito de São José do Triunfo. A estrada é utilizada por carros e caminhões que acessam as fazendas experimentais da UFV, no entanto, a maior parte do tráfego é constituído por veículos leves. Possui VDM inferior a 50.

Quadro 4.5 – Características da estrada VCS 138 na avaliação das condições da superfície de rolamento pelo método de EATON et al. (1997)

Estrada: VCS 138							
Localização: início nas proximidades do colégio Effie Rolfs e término na BR 120							
Extensão da Estrada: 3,6 km				Data: 14/07/05			
Velocidade constante: 40 km/h				Avaliadores: Adriano e Cláudia			
Número de trechos selecionados: 04				Condições Climáticas: seca			
Início: 45326,1		Fim: 45329,7		Tráfego: Caminhões, carros e motos			
Sentido da avaliação: BR120 / UFV							
Trecho	Odômetro	Largura	Área (m ²)	TDV	q	URCI	Classificação
01	45326,5	5	280	43	2	66	Boa
02	45327,4	5,30	318	27	3	85	Muito boa
03	45328,3	5,50	330	15,5	2	88	Excelente
04	45328,9	5	350	43	3	74	Muito boa
TOTAL	-	20,8	1278	-	-	313	-
MÉDIA	-	5,20	319,50	-	-	78,25	Muito boa

Como já mencionado anteriormente, a estrada VCS 138 havia sido patrolada pouco tempo antes da avaliação das condições de rolamento, o que justifica a uniformidade de classificação dos trechos estudados e a boa condição de serventia da mesma. No entanto, foram detectados níveis de severidade altos para poeira, formados principalmente nas áreas que recebem maior insolação durante o

dia e com predominância de Cambissolos Háplicos. Para esses mesmos solos, nas áreas sombreadas por árvores, detectou-se a formação de trilhas de rodas, provavelmente pelo acúmulo de umidade no solo, o que diminui a resistência do mesmo e baixo nível de poeira.

Os sistemas de drenagem são formados por sarjetas, bigodes e bacias de acumulação e necessitam de melhorias.

A estrada acompanha as curvas naturais do terreno, com greide lançado em quase toda a sua totalidade sobre Latossolos Vermelhos e Vermelhos Amarelos. Em apenas dois trechos foram encontrados cortes em Cambissolos Háplicos.

4.6.2.2. Estrada VCS 346

As características da estrada VCS 346 são apresentadas no Quadro 4.6. A estrada inicia-se nas proximidades do departamento de veterinária, ligando a UFV à BR 120.

A estrada é utilizada por caminhões, utilitários, carros e motos que circulam em sentido Viçosa/BR 120 e vice-versa. Devido à logística de seu acesso, é utilizada como “atalho” por aqueles que se deslocam aos municípios de Cajurí, Coimbra, Ervália, entre outros, além de propiciar acesso a chácaras e zonas rurais adjacentes. Possui VDM em torno de 130 veículos dia.

Quadro 4.6 – Características da estrada VCS 346 na avaliação das condições da superfície de rolamento pelo método de EATON et al. (1997)

Estrada: VCS 346							
Localização: início nas proximidades do departamento de Veterinária e término na BR 120							
Extensão da Estrada: 2,9 km				Data: 14/07/05			
Velocidade constante: 40 km/h				Avaliadores: Adriano e Cláudia			
Número de trechos selecionados: 04				Condições Climáticas: seca			
Início: 45332,6		Fim: 45335,5		Tráfego: Caminhões, utilitários, carros e motos			
Sentido da avaliação: UFV / BR 120							
Trecho	Odômetro (km)	Largura (m)	Área (m ²)	TDV	q	URCI	Classificação
01	45333,0	6,10	305	74	4	58	Boa
02	45333,9	6	300	94,50	6	54	Regular
03	45333,5	5,80	290	44	2	67	Boa
04	45334,8	6	300	129	7	37	Ruim
05	45335,5	4,35	218	82,5	4	53	Regular
TOTAL	-	28,25	1413	-	-	269	-
MÉDIA	-	5,65	282,60	-	-	53,80	Regular

Devido à ação intensa do tráfego a que a estrada VCS 346 está submetida e à qualidade dos solos locais, aliados às más condições de drenagem, a estrada encontra-se com nível de serventia regular.

Apesar de alguns trechos terem sido melhorados com aplicação de revestimento primário do tipo encascalhamento, a sua superfície não está bem conformada, propiciando o acúmulo de água na plataforma da pista, propiciando a formação de buracos.

Nos trechos em rampa, apesar de apresentarem erosões laterais devido à ação das águas da chuva, a seção transversal apresenta declividade suficiente para o escoamento das águas superficiais e notou-se menores incidências de buracos, poeira e corrugações.

5. Conclusões

As atividades de manutenção e reabilitação das estradas não pavimentadas, geralmente são aplicadas sem o estudo dos defeitos, suas causas e possíveis soluções e tipos de solos disponíveis para melhoramento das vias. Uma das atividades comumente empregadas nos serviços de manutenção é o patrolamento, que consiste na raspagem do leito estradal, sem o acréscimo de material apropriado. Tal atividade provoca o afundamento do leito da estrada, avançando cada vez mais em direção aos solos residuais não são adequados a essa finalidade, além de deixarem a plataforma da estrada encaixada no terreno, diminuindo a eficiência do sistema de drenagem.

Nos locais de ocorrência do Cambissolo Háplico, verificou-se uma maior incidência de defeitos como afundamento de trilha de rodas, drenagem lateral ineficiente e grande formação de poeira. Pelos valores de expansão apresentados no ensaio de CBR, sugere-se que esses materiais recebam uma camada de reforço para melhoria da capacidade de suporte do leito estradal.

Nos locais de ocorrência dos Latossolos, verificou-se uma melhor condição da superfície de rolamento, salvo os pontos onde as características geométricas inadequadas e o sistema de drenagem ineficiente favorecem o surgimento de buracos.

A análise dos solos demonstrou de uma forma geral que os Latossolos têm potencialidade para serem empregados na melhoria das vias.

Observou-se em campo, que nas áreas de vegetação mais intensa, praticamente não existe a formação de poeira devido a menor incidência dos raios solares sobre a plataforma das estradas. Essa condição melhora em muito a condição de visibilidade, aumentando a segurança do tráfego na região. No entanto, em períodos chuvosos, essa condição diminui a velocidade de secagem

do solo, favorecendo a formação de atoleiros e o aparecimento de trilhas de rodas, devido à diminuição da capacidade de suporte do solo em função do aumento do teor de umidade. Percebe-se que nesses pontos, o cuidado com o sistema de drenagem deve ser reforçado.

Assim como as classificações de solos tradicionais, desenvolvidas em países de clima frio, os métodos de avaliação das condições das estradas não pavimentadas foram elaborados em países com características físicas como relevo, solo, clima etc., distintos das do Brasil e precisam de adaptação para serem aplicadas de forma mais eficiente à nossa realidade.

Conclui-se que a avaliação periódica das condições de serventia das estradas não pavimentadas e o conhecimento das particularidades dos solos locais contribuem na identificação dos trechos mais críticos e disciplina as atividades de manutenção e reabilitação, possibilitando aos órgãos competentes um melhor gerenciamento das condições das vias e alocação de recursos.

6. Recomendações

O conhecimento do universo de atuação, para o planejamento e direcionamento das atividades rurais, inerentes aos serviços públicos, é pressuposto básico para o desenvolvimento de trabalhos consistentes realizados pelos órgãos responsáveis.

O dimensionamento da extensão das estradas vicinais do município de Viçosa, já seria um dado significativo, que ao alcance do órgão responsável, com um corpo qualificado de pessoal, teria um elemento importante como ponto de partida para o planejamento e gerenciamento de suas atividades.

Os custos de implantação e manutenção das estradas variam de acordo com as condições de relevo, drenagem, distância de transporte dos materiais para revestimento primário, distância da sede do município, etc. Tendo esses insumos mapeados e formatados em forma de um SIG (Sistema de Informações Geográficas), possibilita a identificação de zonas homólogas para faixas de custos de manutenção.

7. Referências Bibliográficas

- ANJOS FILHO, O. **Estradas de terra**. Jornal O Estado de São Paulo, São Paulo. Suplemento agrícola, 29 de abril de 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR 6459/84 Solo; determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: 1984b. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR 6508/84 Solo; determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro: 1984b. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR 7180/94 Solo; determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: 1994b. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR 7181/84 Solo; análise granulométrica. Rio de Janeiro: 1984a. 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR 7182/86 Solo; ensaio de compactação. Rio de Janeiro: 1986. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. NBR 9895/87 Solo; ensaio de índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro: 1987. 14p.
- AZEVEDO, M. A. A., LIMA, D. C., BUENO, B. S. **Caracterização geotécnica das formações superficiais de solos de Viçosa (MG)**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11, 1998, Brasília. Anais... Brasília: 1998
- BAESSO, D. P. e GONÇALVES, F. L. R., **Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção**. Governo do Estado de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2003, 2004p.
- BARROSO, S. H. A., **Estudos dos solos da região metropolitana de Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária**. São Paulo. Universidade de São Paulo, 2002. 178p. (Tese de Doutorado)
- BRINA, E. L. P., **Estradas de ferro**. Belo Horizonte – MG: UFMG, 1983, 258p.
- CARVALHO, C. A. B.; D.C.; JÚNIOR, J. G.; DAMASCENO, V. M.; TRINDADE, T. P.; **Projeto Geométrico de Estradas: introdução**. Viçosa – MG: UFV, 2004, 151p.

- CARVALHO FILHO, A. **Caracterização mineralógica, química e física de duas unidades de paisagem do planalto de Viçosa**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1989. 114p. (Tese de Mestrado)
- CORRÊA, G. F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa (MG)**. Viçosa: UFV, 1984. 87p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- DNER, **Anuário Estatístico dos Transportes: GEIPOT**, 2000. www.dner.gov.br
- DNER, **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro – RJ, 1999, 195p.
- DNER, **Manual Básico de Estradas Vicinais - Projeto, Construção e Operação**, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, São Paulo – SP, Vol. I, 1987, 218p.
- DNER, **Manual de Drenagem de Rodovias. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem**, Rio de Janeiro – RJ, 1990, 412p.
- DNER, **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro – RJ, 1999, 195p.
- DNIT, **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Rio de Janeiro – RJ, 2005, 334p.
- DNER. **Pesquisa de estabilidade de taludes: recomendações para proteção de taludes contra erosão**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, MT-DNER/DRDTC, Rio de Janeiro, 1979, 56p.
- EATON, R. A.; GERARD, S.; DATILO, R. S., **A Method for Rating Unsurfaced Roads**. Transportation Research Record 1106, vol. 02, 1987, págs. 34-42.
- FACCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo de erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. Tese de Mestrado, UnB, Brasília - DF, 1991, 92p.
- FERNANDES, JR.; José L. (1994). **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. São Carlos, 331 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- FILHO, G. P. **Estradas de Rodagem** – projeto Geométrico. São Carlos, SP: [s.n], 1998, 432p.
- FRAENKEL. B. B., **Engenharia Rodoviária**. Rio de Janeiro – RJ, Editora Guanabara 2, 1980, 852p.
- GRIELBER, N. P., **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não-pavimentadas**. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2002, 121p.
- HAX, S.; MAGRO, F. H. S. Sistema de gerência de estradas municipais com uso de geoprocessamento. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 10, n. 1, p. 83-100, jan-jun, 2004.
- UDDIN, W.; MEYER, A.H.; HUDSON, W.R., **A user's guide for pavement evolution programs Rpedd1 and Fpedd1**. Austin, Center for Transportation Research, University of Texas. 43p, 1985
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 177p. 2002
- LIMA, D. C.; RÖHM, S. A.; BUENO, B. S. **Tópicos em estradas**. Viçosa – MG: UFV, 1985, 116p. (Publicação, 205)
- MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. B. **Elementos do Transporte Florestal Rodoviário**. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 167p. 2000.
- MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J, R. **Rede Viária Florestal**. Curitiba: FUPEF, Paraná, Brasil, 157 p., 1986
- MACHADO, J. A. B. C., OLIVEIRA, J. A. F e CAMPOS, J. F., **Rodovias Municipais não Pavimentadas – Rodovias Vicinais – Metodologia Para Priorização de Investimentos em Melhoramentos**, In: ABPV, I Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego (SINBATRA) Anais... Rio de Janeiro: ABPv, 1997. P.128-135.
- NEVES, M. A. O., **Panorama do transporte rodoviário de cargas no Brasil**. Disponível em: < <http://www.guialog.com.br/Y598.htm>>. Acesso em 5 de julho de 2005.
- NOGAMI, J. S. VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Vilibor, 1995. 213p.

- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F., **Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias**. Rio de Janeiro, Simpósio Brasileiro sobre Solos Tropicais em Engenharia – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1ª Seção, p.30-41, 1981.
- NOGAMI, J. S. VILLIBOR, D. F., **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 213p.
- NUNES, T. V. L., **Método de Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra com Base no Uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz – CE**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003, 118 fls.
- ODA, Sandra., **Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não-Pavimentadas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 1995, 176p.
- PINTO, C. S., **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo - SP. Oficina de textos, 2000, 247p.
- SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JR, F.; CUNHA, M. A., **Estradas Vicinais de Terra. Manual Técnico para Conservação e Recuperação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo – SP, 2ª edição, 1988, 125p.
- REZENDE, S.B., **Estudo de crono-toposequência em Viçosa**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1971. 71p. (Tese de Mestrado)
- SENÇO. **Manual de técnicas de pavimentação**. Ed. Pini, Volume I. São Paulo. 1997. 746 p.
- SOUZA, Murillo L. (1980). **Pavimentação rodoviária**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., vol. 1. 361 p.
- RAMALHO, G. G. C. **Mapeamento geotécnico de Viçosa com uso de sistema de informação geográficas**. Viçosa: UFV, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- THOMAS, C. A., **Pavimentação de Estradas Vicinais**. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo – SP, 1984, 58p.

VIANA, R. F. **Parametrização e Regionalização de Atributos Físicos para a Dinâmica de Erosão na Bacia das Codornas.** Tese de Mestrado, UFV, Viçosa – MG, 1999, 94p.

YODER, E.J.; WITCZAK, M.W. (1975). **Principles of pavement design.** New York, John Wiley & Sons, Inc. 711 p.

ANEXO A

Método de Avaliação de Estradas Não-Pavimentadas Desenvolvido por EATON et al. (1987)

A.1. Introdução

O método é apresentado na forma de uma avaliação das condições das estradas não pavimentadas e um manual de campo para auxiliar na manutenção dessas estradas. Os tipos de defeitos em estradas não pavimentadas são classificados e listados no manual. Para cada tipo de defeito analisado existe uma descrição do tipo e o nível de severidade. O manual inclui também, instruções de como realizar a inspeção das condições das estradas não pavimentadas em campo e a família de curvas para dedução de valores associados aos defeitos e níveis de severidades correspondentes. O método e as formas de avaliação são compatíveis com o sistema de manutenção de estradas pavimentadas PAVER, desenvolvido pela U.S. Army Corps of Engineers e pelo American Public Works Association. O URCI (Unsurfaced Road Condition Index) é um indicador numérico, baseado em uma escala de 0 a 100, que mede as condições operacionais de uma estrada, e que corresponde ao PCI (Paviment Condition Index) do sistema de gerência PAVER. Essa classificação é baseada em uma análise qualitativa e quantitativa das condições das estradas não pavimentadas.

A.2. Avaliação das Condições da Superfície de Rolamento

A primeira etapa da avaliação das condições da superfície de rolamento das estradas não pavimentadas consiste de uma avaliação subjetiva, onde uma equipe de avaliadores treinados, percorrem os trechos de uma determinada estrada a uma

velocidade constante de 40km/h e anotam de dentro do veículo os principais defeitos da superfície de rolamento e problemas de drenagem. Em seguida, são escolhidas as seções mais críticas e faz-se a análise quantitativa dos defeitos. Para isso utiliza-se do recurso de uma tabela de valores, com a classificação dos defeitos de acordo com seus respectivos níveis de severidade.

A.3. Níveis de Severidade e Curvas de Níveis de Severidade para cálculo do Valor de Dedução dos Defeitos

Os níveis de severidade são classificados em baixo, médio ou alto, dependendo da densidade dos defeitos. A densidade do defeito diz respeito à sua dimensão ou extensão (medida em comprimento linear) em relação à área da seção do trecho em estudo. De posse da densidade do defeito, calcula-se o *TDV* (valor de dedução total) que representa a soma dos valores de dedução individuais. O *TDV* é um número de 0 a 100 que representa as condições da estrada. Para defeitos que não influenciam nas condições da estrada não pavimentada, tem-se um *TDV* igual a 0 e quando esse valor é igual a 100, indica um defeito extremamente sério que causa o abandono da estrada. Esses valores são calculados com base nas curvas de níveis de severidade de cada tipo de defeito. Os defeitos analisados são: seção transversal inadequada, drenagem lateral inadequada, corrugações, poeira, buracos, afundamento de trilhas de rodas e perda de agregados. As figuras A.2 a A.7, ilustram as curvas de níveis de severidade para cada tipo de defeito respectivamente citado. Com o *TDV*, determina-se o *URCI* (*Unsurfaced Road Condition Index*) a partir das curvas *q*, equivalentes ao número de valores de dedução maior que 5. A Figura A.8 ilustra as curvas *q* em função do *TDV*. Esse número varia de 0 a 7, que representam os diferentes tipos de defeitos identificados e classificados pelos avaliadores. Essa avaliação deve ser feita 4 vezes

por ano, uma em cada estação. A Figura A.1 mostra a classificação das estradas não pavimentadas de acordo com o *URCI*.

IIR	
100	Excelente
85	Muito Boa
70	Boa
55	Regular
40	Ruim
25	Muito Ruim
10	Péssima
0	

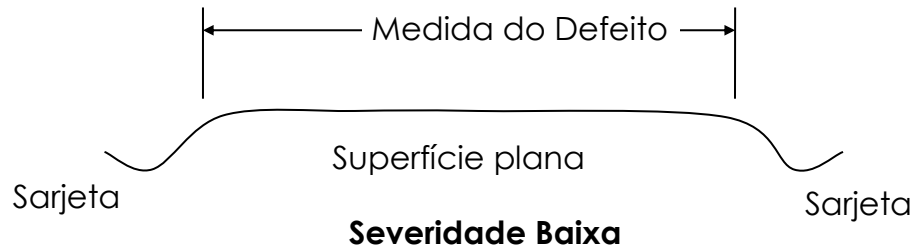
Figura A.1 – Classificação das estradas não pavimentadas segundo o *URCI*

A.3.1 - Seção Transversal Inadequada

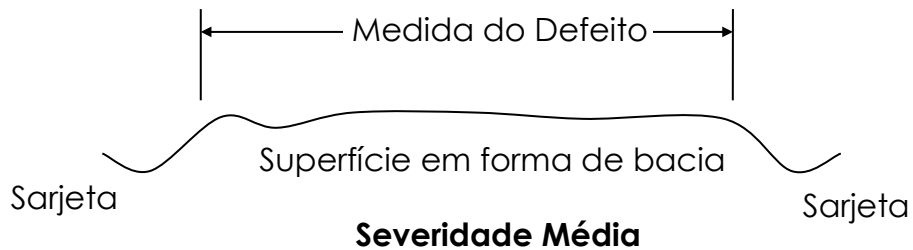
A seção transversal inadequada é o resultado de uma superfície sem declividade transversal apropriada para direcionar a água proveniente das chuvas para as sarjetas. Esta condição é evidenciada pelo escoamento da água ao longo da superfície de rolamento da estrada e conseqüente erosão causada pela intensidade da chuva. As condições da seção transversal são avaliadas pela facilidade de escoamento da água da superfície da estrada para um local que não influencie nas condições de rolamento, isto é, para fora dela.

Os níveis de severidade para seção transversal inadequada são:

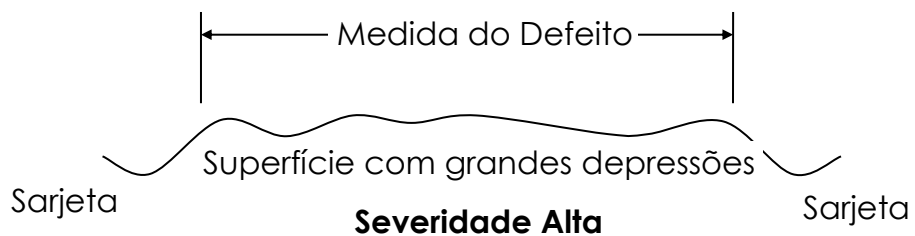
- a) baixa:** superfície completamente plana (sem declividade transversal)



- b) média:** superfície em forma de "bacia";



- c) alta:** grandes depressões nas trilhas das rodas na superfície da estrada.



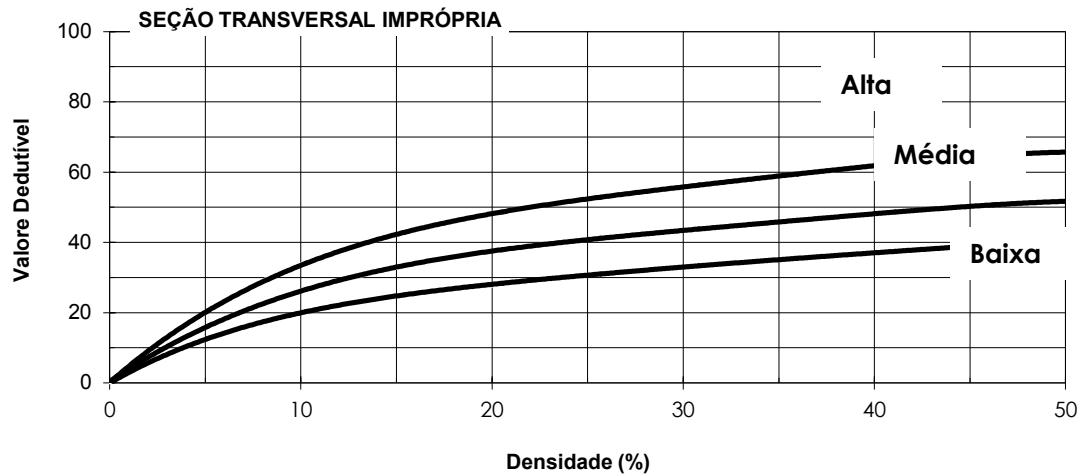


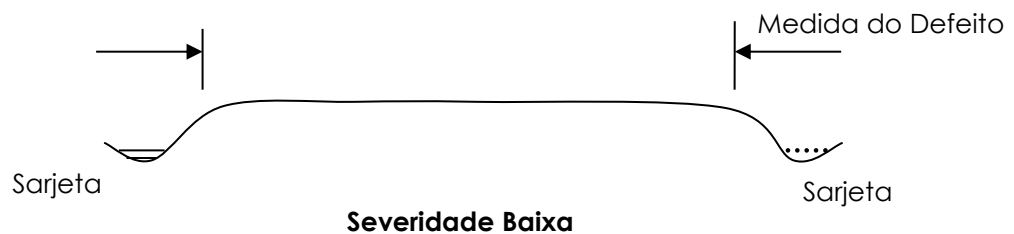
Figura A.2 – Curvas de dedução para valores de seção transversal imprópria

B.3.2 – Drenagem Lateral Inadequada

A drenagem lateral ineficiente é verificada pelas sarjetas cobertas de vegetação ou cheias de entulhos e que não estão em condições próprias para direcionar e transportar a água, provocando seu acúmulo e consequente empoçamento.

Os níveis de severidade para drenagem lateral ineficiente são:

- a) **baixa**: pequena quantidade de água empoçada nas valetas e valetas sem vegetação ou entulho;



- b) **média:** quantidade moderada de água empoçada na valeta com pequena quantidade de vegetação e entulhos e evidência de erosão das valetas ao lado de dentro da estrada:



- c) **alta:** grande quantidade de água nas valetas; valetas cobertas de vegetação e entulho e erosão das valetas do lado de dentro da estrada.

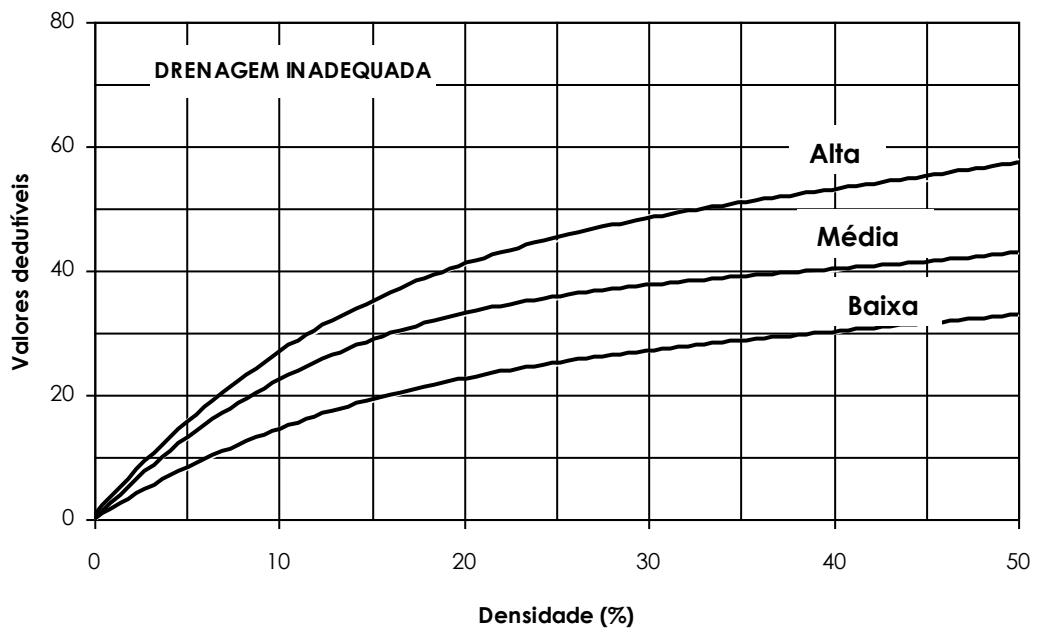


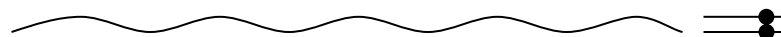
Figura A.3 - Curva de valores dedutíveis para sistema de drenagem ineficiente

A.3.3 - Corrugações

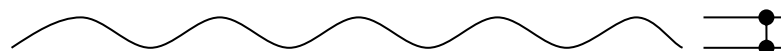
As corrugações consistem em uma série de sulcos regularmente espaçados ou ondulações que ocorrem em intervalos bastante regulares, perpendiculares à direção do tráfego. Os sulcos geralmente formam-se em rampas ou curvas, em áreas de aceleração ou desaceleração, ou em áreas em que a estrada está fraca ou esburacada, e são usualmente causados pela ação do tráfego e agregados soltos.

Os níveis de severidade para corrugações são:

- a) **baixa:** corrugações com profundidade menor que 2,5 cm ou irregularidades com severidade baixa:



- b) **média:** corrugações com profundidade entre 2,5 a 7,5 cm ou irregularidades com severidade média;



- c) **alta:** corrugações mais profundas que 7,5 cm ou irregularidades com severidade alta.



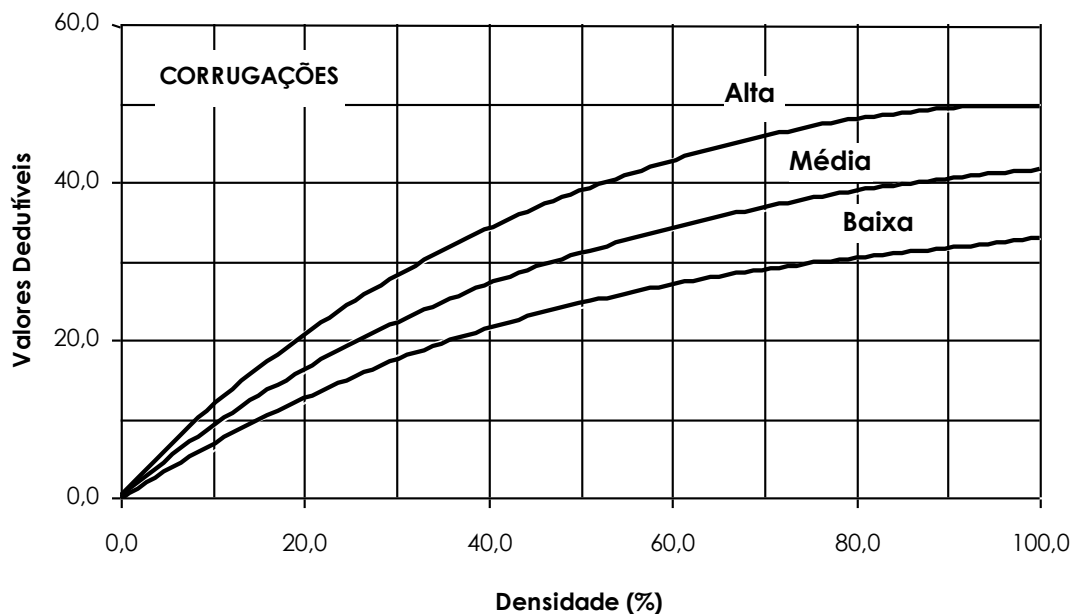


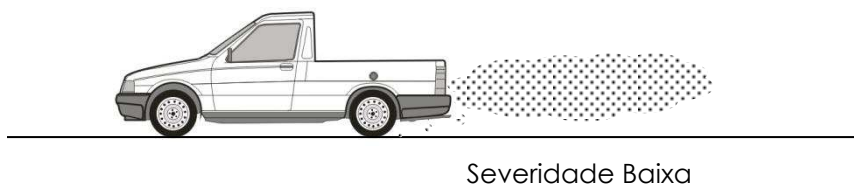
Figura A.4 – Curvas de níveis de severidade para cálculo do valor de dedução de corrugações

A.3.4. Poeira

A ação abrasiva do tráfego em estradas não-pavimentadas eventualmente faz com que as maiores partículas de solos aglutinantes se soltem da superfície de rolamento. Com a passagem de tráfego, formam-se nuvens de poeira que são um perigo para os veículos, além de causar problemas ambientais.

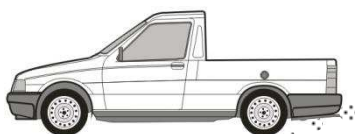
Os níveis de severidade para poeira são:

- a) **baixa**: nuvem pouco densa que não obstrui a visibilidade;



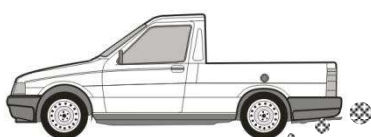
Severidade Baixa

- b) **média:** nuvem densa que parcialmente obstrui a visibilidade e causa tráfego lento;



Severidade Média

- c) **alta:** nuvem muito densa que obstrui severamente a visibilidade e causa tráfego muito lento ou parado.



Severidade Alta

A.3.5 - Buracos

Buracos são pequenas depressões em forma de bacia na superfície da estrada, normalmente menores que 100 cm de diâmetro. Os buracos ou panelas são produzidos quando o tráfego desgasta pequena parte da superfície da estrada. Seu crescimento é acelerado pela umidade dentro do buraco.

Os níveis de severidade de buracos abaixo de 100 cm de diâmetro são baseados no diâmetro e na profundidade de acordo com o Quadro A.1.

QUADRO A.1 – Profundidade máxima x diâmetro médio de buracos com diâmetro menor que 100 cm.

PROFUNDIDADE MÁXIMA (cm)	DIÂMETRO MÉDIO			
	< 30 cm	30 – 60 cm	60 – 100 cm	> 100 cm
1,25 – 5	Baixa	Baixa	Média	Média
5 – 10	Baixa	Média	Alta	Alta
+ 10	Média	Alta	Alta	Alta

Nota: Se o buraco tiver diâmetro maior que 100 cm, a área deve ser determinada em cm^2 e dividida por 4.700 cm^2 para estimar o número equivalentes de buracos.

- a) **baixa:** Buracos com profundidade menor que 2,5 cm e/ou diâmetro maior que 30 cm e menos que 5 buracos no trecho;
- b) **média:** Buracos com profundidade entre 2,5 e 5,0 cm e/ou diâmetro maior que 60 cm e menos que 5 a 10 buracos no trecho;
- c) **alta:** buracos com profundidades maiores que 7,5 cm e/ou diâmetro maior que 60 cm e mais que 10 buracos no trecho.

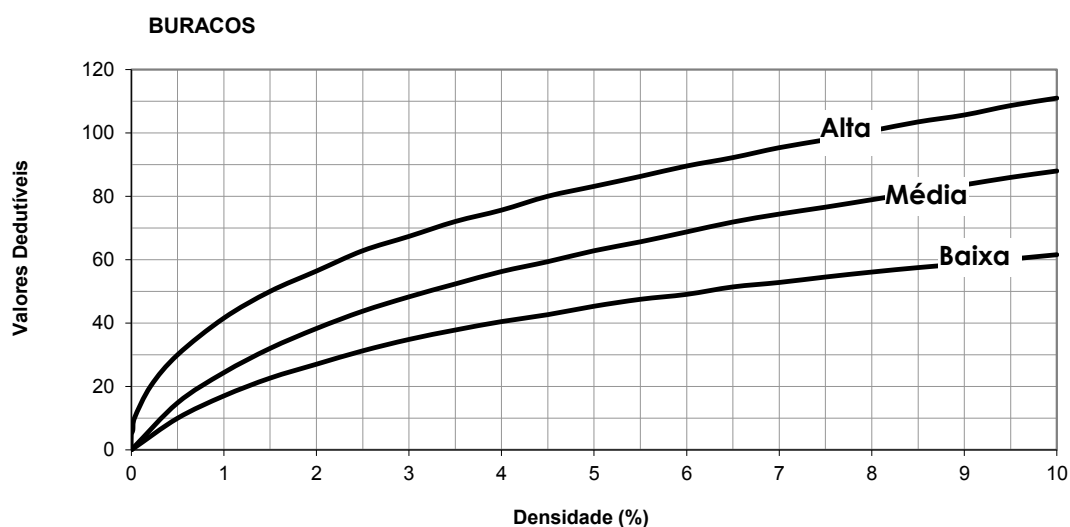


Figura A.5 – Curvas de níveis de severidade para cálculo do valor de dedução de buracos

A.3.6 – Afundamento de Trilhas de Rodas

O afundamento é causado por uma deformação permanente em qualquer camada da estrada ou do subleito, resultando de cargas repetidas de tráfego, especialmente quando a capacidade

de suporte é baixa e em período de chuva. Os níveis de severidade para afundamento de trilhas de rodas são:

- a) **baixa:** sulcos com profundidade menor que 2,5 cm ou irregularidades com severidade baixa;



- b) **média:** sulcos com profundidade entre 2,5 e 7,5 cm ou irregularidades com severidade média;



- c) **alta:** sulcos com profundidade maior que 7,5 cm ou irregularidades de severidade alta.

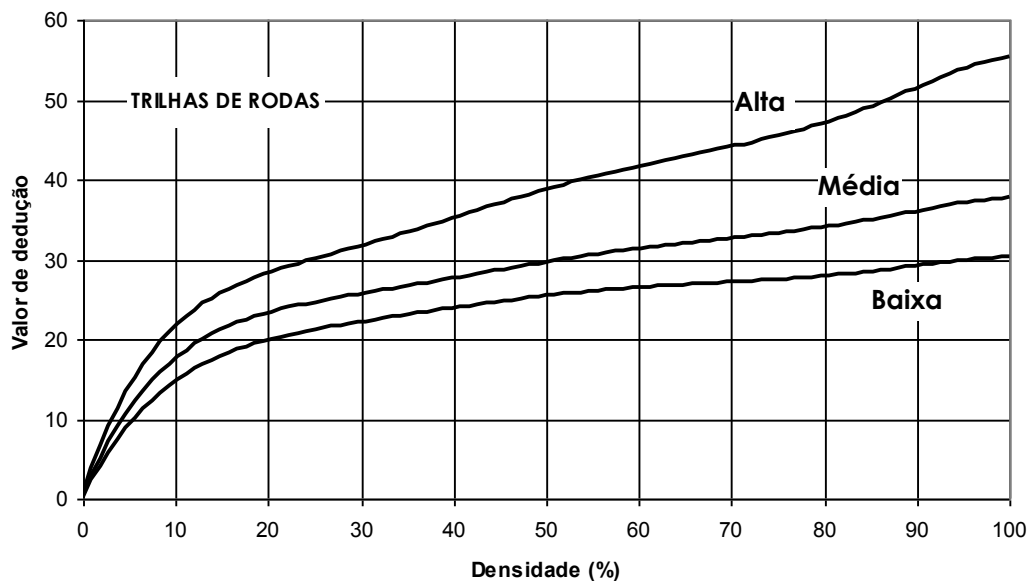
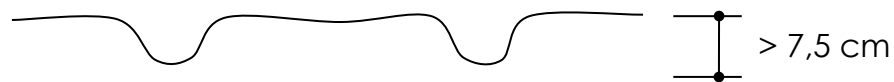


Figura A.6 – Curvas de níveis de severidade para cálculo do valor de dedução de trilhas de rodas

A.3.7 – Perda de Agregados

A ação abrasiva do tráfego em estradas não-pavimentadas eventualmente faz com que as maiores partículas de solos granulares se soltem da superfície de rolamento. O tráfego move as partículas de agregados soltos para dentro das trilhas de rodas e forma bermas no centro ou ao longo do acostamento da estrada ou na área menos trafegável, paralela a linha central da estrada.

Os níveis de severidade para perdas de agregados são:

- a) **baixa:** agregados soltos na superfície da estrada ou uma berma de agregados de menos de 5 cm de altura no acostamento ou na área menos trafegável;
- b) **média:** berma de agregados de 5 a 10 cm de altura no acostamento ou na área menos trafegável da estrada; finos são normalmente encontrados na superfície da estrada;
- c) **alta:** grande quantidade de agregados soltos ou uma berma com mais de 10cm de altura no acostamento ou na área menos trafegável da estrada.

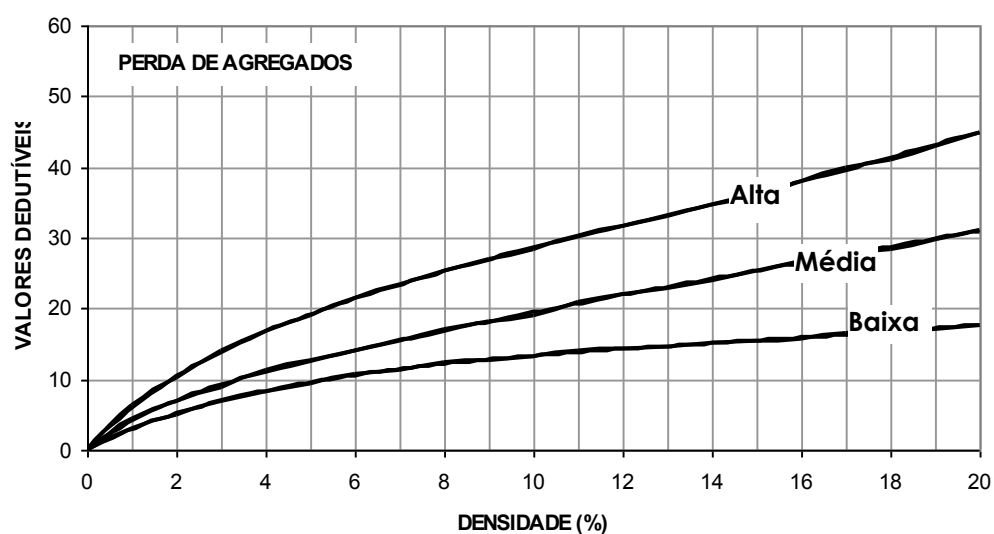


Figura A.7 – Curvas de níveis de severidade para cálculo do valor de dedução de perda de agregados

A.4 – Cálculo do URCI

O URCI de um trecho selecionado pode ser calculado de acordo com os seguintes passos:

- i) Cada trecho selecionado é inspecionado e os dados de defeitos são registrados em uma planilha *URIS*, conforme mostra o quadro A.2.
- ii) Os valores de dedução são determinados das curvas de níveis de severidade para cada tipo de defeito.
- iii) O total de *DV* (*TDV*) é calculado somando-se todos os *DV* individuais.
- iv) O URCI é calculado a partir de gráfico de *TDV* em função das curvas *q*, que correspondem ao número de deduções igual ou maior que 5 pontos (Figura A.8). O URCI para uma seção é calculado fazendo-se a média aritmética de todos os URCIs individuais de todos os trechos selecionados.

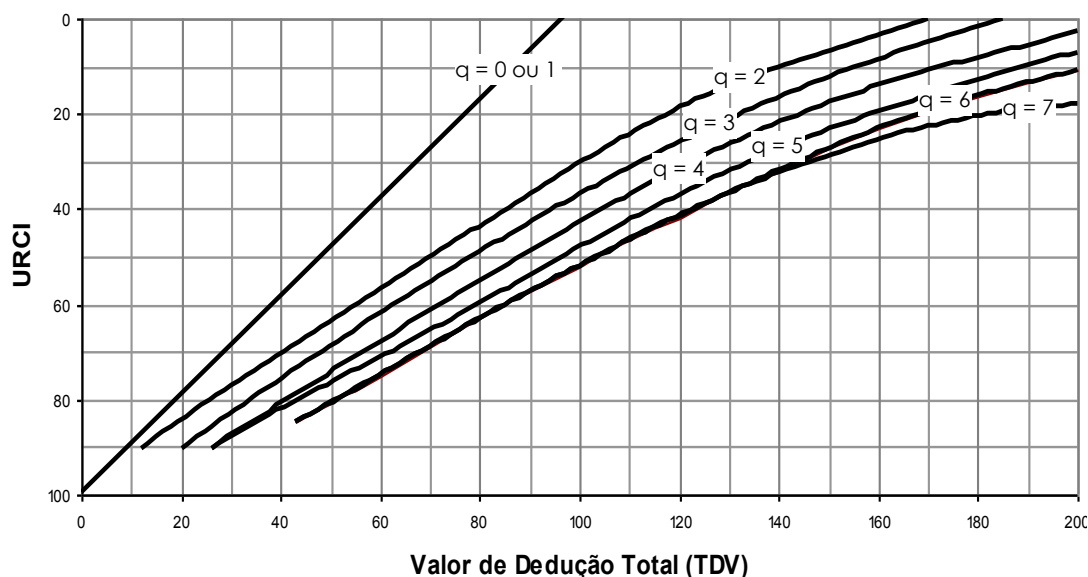


Figura A.8 – Curvas de valores *q* para cálculo de URCI

ANEXO B

B.1. Plataformas e Perfis Longitudinais das Estradas VCS 138 e VCS 346, respectivamente.