

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Bernardo José Fattori**

**MANUAL PARA MANUTENÇÃO DE ESTRADAS COM  
REVESTIMENTO PRIMÁRIO**

Porto Alegre

Outubro 2007

**BERNARDO JOSÉ FATTORI**

**MANUAL PARA MANUTENÇÃO DE ESTRADAS DE  
REVESTIMENTO SIMPLES**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador/a: Prof. Dr. Washington Peres Núñez**

Porto Alegre  
outubro 2007

**BERNARDO JOSÉ FATTORI**

**MANUAL PARA MANUTENÇÃO DE ESTRADAS DE  
REVESTIMENTO SIMPLES**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Professor/a Orientador/a e pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 4 de dezembro de 2007

Prof. Washington Peres Núñez  
Dr. Pela Universidade Federal do rio Grande do Sul (UFRGS)  
Orientador/a

Prof. Inácio Benvegnu Morsch  
Chefe do DECIV

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof./a Luiz Afonso Senna (UFRGS)**  
Dr. Pela Universidade Federal do rio Grande do Sul (UFRGS)

**Vinícius Peraça (UFRGS)**  
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)



Dedico este trabalho a meus pais, Gerson Fernando Fattori  
e Enilda Caetano Fattori.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por possibilitar que eu tenha uma família excelente e amigos de verdade.

Agradeço à Prof. Washington Peres Núñez, orientador deste trabalho, e que teve muita paciência para me ajudar a fazê-lo.

Agradeço também a minha família que sempre me apoiou para a elaboração de projetos relacionados a engenharia.

Agradeço a Matheus Colombo Pezzi, por me ajudar em algum item deste trabalho.

Agradeço ao mestre Vinícius Peraça, que me auxiliou com todo o seu conhecimento na área destinada a este trabalho, com muita paciência e determinação.

Quando Deus quer, não há quem não queira

*Ayrton Senna*

## RESUMO

FATTORI, B. J. **Manual de Manutenção de Estradas de Revestimento Simples**. 2007. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O presente trabalho é um manual elaborado para manutenção de estradas não pavimentadas na região central do Estado do Rio Grande do Sul, as quais representam cerca de 93% da malha rodoviária desta região. Neste manual, é apresentado como deve ser a estrutura de uma estrada de revestimento primário para apresentar boas condições em termos de capacidade de suporte e de trafegabilidade (conforto e segurança). Também são apresentados os principais problemas que ocorrem nessas rodovias e algumas sugestões para a manutenção do pavimento. A drenagem recebeu um capítulo especial, pois grande parte dos problemas nas rodovias de revestimento simples é ocasionado pela presença de água, principalmente oriunda de precipitações. Também é visto a composição dos materiais utilizados na estrada rural: granulometria e função que cada dimensão possui na constituição da mistura. Estudos realizados durante a elaboração do manual revelam que algumas considerações devem ser levadas em conta para realizar a construção e manutenção das rodovias de estradas de terra especificamente na Região Central do Estado, como por exemplo acrescentar materiais de diferentes granulometrias ao solo retirado de jazidas. Na maioria dos casos, a manutenção das rodovias em estudo necessita do auxílio de máquinas pesadas como: motoniveladora, retroescavadeira, rolo compressor. O uso adequado delas é fundamental para garantir efetividade na manutenção das rodovias de revestimento simples.

Palavras-chave: manual, estradas vicinais, manutenção.

## ABSTRACT

FATTORI, B. J. **Manual de Manutenção de Estradas de Pavimento Simples, 2007.**  
Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The present work is a manual elaborated for maintenance of highways unpaved in the central area of the State of Rio Grande do Sul, which represent about 93% of the mesh of highway of this area. In this manual, it is presented as it should be the structure of a highway of primary coating to present good conditions in terms of support capacity and of trafegability (comfort and safety). There are also presented the principal problems that happen in those highways and some suggestions for the maintenance of the pavement. The drainage received a special chapter, because great part of the problems in the highways of simple coating is caused by the presence of water, mainly originating from of precipitations. The composition of the materials is also seen used in the rural highway: gravel and function that each dimension possesses in the constitution of the mixture. Studies accomplished during the elaboration of the manual reveal that some considerations should be accomplish the construction and maintenance of the highways of earth highways specifically in the Central Area of the State, as for instance to increase materials of different gravel to the retired soil of lied. In most of the cases, the maintenance of the highways in study needs the aid of heavy machines as: bulldozer, retroescavadeira, roll compressor. Their appropriate use is fundamental to guarantee effectiveness in the maintenance of the highways of simple coating.

Key-word : manual, local highways, maintenance.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Região Central do Rio Grande do Sul.....  | 25 |
| Figura 2: delineamento da pesquisa.....   | 26 |
| Figura 3: seção transversal imprópria.....  | 30 |
| Figura 4: drenagem inadequada.....  | 30 |
| Figura 5: corrugações.....  | 31 |
| Figura 6: excesso de poeira.....  | 32 |
| Figura 7: buracos cobertos de água.....   | 33 |
| Figura 8: trilha de roda.....   | 34 |
| Figura 9: perda de agregados.....   | 35 |
| Figura 10: seção transversal ideal com declividade de 4%.....   | 38 |
| Figura 11: transição de uma seção tangente até alcançar a superelevação.....  | 39 |
| Figura 12: distribuições granulométricas.....   | 42 |
| Figura 13: ensaio de peneiramento.....  | 43 |
| Figura 14: ensaio de peneiramento.....  | 43 |
| Figura 17: dispositivos para drenagem de rodovias.....  | 46 |
| Figura 18: localização da sarjeta em uma seção transversal.....   | 47 |
| Figura 19: exemplo de uma sarjeta em ótimo estado.....  | 47 |
| Figura 20: método manual de recomposição da sarjeta.....  | 48 |
| Figura 21: a regularização inicia-se pela face oposta da sarjeta, para alcançar a profundidade desejada e regularizar um lado da sarjeta.....                             | 49 |
| Figura 22: a segunda passada da motoniveladora remove o solo depositado no fundo da valeta, promovendo a regularização da sarjeta.....                                    | 49 |
| Figura 23: a terceira e última passada da motoniveladora remove todos os materiais da sarjeta que se acumularam durante o processo .....                                  | 49 |
| Figura 24: demonstração de como deve estar postado o bigode na estrada. E a presença de pedras no trajeto da água, o que facilita a dissipação de energia da mesma.....   | 50 |
| Figura 25: bigodes ajudam a manter a estabilidade do volume e velocidade da água nas sarjetas.....  | 50 |
| Figura 26: motoniveladoras podem criar e fazer a manutenção dos bigodes de forma bastante simples.....  | 51 |
| Figura 27: a motoniveladora criando novo bigode na estrada.....   | 51 |
| Figura 28: a ilustração acima mostra uma seção transversal que apresenta alguns parâmetros para dimensionamento de uma leira e sua localização na pista de rolamento..... | 52 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 29: leira muito bem executada. A leira proporciona proteção ao bordo da pista e ao corpo de aterro como um todo. Na ausência dela, teríamos um processo erosivo neste trecho..... | 52 |
| Figura 30: demonstração de dissipadores de energia.....  | 53 |
| Figura 31: pedras ao longo da sarjeta agindo como dissipadores de energia.....   | 53 |
| Figura 32: localização de valetas de proteção em uma seção transversal.....  | 54 |
| Figura 33: caixa coletora feita com tijolos, argamassa e os tubos são de concreto.....   | 55 |
| Figura 34 aspecto ideal da plataforma para receber a camada de revestimento.....   | 57 |
| Figura 35: caminhão basculante despejando material ao longo do trajeto.....  | 58 |
| Figura 36: caminhão basculante operando.....   | 58 |
| Figura 37: pilhas de basalto alterado para ser utilizado como camada de revestimento...  | 58 |
| Figura 38: caminhão basculante despejando material para revestimento e a motoniveladora espalhando.....  | 59 |
| Figura 40: teste expedito que deve ser realizado no campo, para verificação do teor de umidade do material.....  | 59 |
| Figura 41: esquema que mostra o serviço de compactação: iniciando pelos bordos em direção ao eixo central da pista.....  | 61 |
| Figura 42: rolo compactador atuando no revestimento.....   | 62 |
| Figura 43: estrada bem compactada.....   | 62 |
| Figura 44: bordas cortantes desgastadas no centro.....   | 63 |
| Figura 45: bordas cortantes invertida.....   | 63 |
| Figura 46: escarificador localizado na traseira da motoniveladora.....   | 64 |
| Figura 47: escarificador em ação.....  | 64 |
| Figura 48: especificação de sulcos nos pneus.....  | 65 |
| Figura 49: pressões internas nos pneus de motoniveladoras.....   | 65 |
| Figura 50: posição da lâmina de corte.....   | 66 |
| Figura 51: lâmina em posição de corte.....   | 66 |
| Figura 52: posição da lâmina para mistura de materiais.....  | 66 |
| Figura 53: motoniveladora fazendo a mistura dos materiais.....   | 66 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 54: posição da lâmina para espalhamento.....                  | 67 |
| Figura 55: motoniveladora fazendo espalhamento dos materiais .....   | 67 |
| Figura 56: operação da motoniveladora em curva côncava.....          | 68 |
| Figura 57: operação da motoniveladora em curva convexa.....          | 68 |
| Figura 58: posição da lâmina para espalhamento.....                  | 68 |
| Figura 59: motoniveladora reconformando talude.....                  | 68 |
| Figura 60: fase 1 e 2 do processo de regularização do pavimento..... | 71 |
| Figura 61: fase 1 e 2 do processo de reconformação do pavimento..... | 74 |
| Figura 62: fase 3 e 4 do processo de reconformação do pavimento..... | 75 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: graduação ideal para pavimentos.....                  | 44 |
| Tabela 2: : Espaçamentos em função da declividade da rampa..... | 53 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: materiais usados no pavimento e suas dimensões granulométricas..... | 44 |
| Quadro 2: espessuras mínimas sugeridas para camadas de revestimento .....     | 45 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 19 |
| <b>2 METODOLOGIA</b> .....                                       | 21 |
| 2.1 PERGINTA DE PESQUISA .....                                   | 22 |
| 2.2 OBJETIVOS .....  | 22 |
| 2.2.1 <b>Objetivo Principal</b> .....                            | 22 |
| 2.2.2 <b>Objetivos Secundários</b> .....                         | 22 |
| <b>2.3 Delimitação</b> .....                                     | 23 |
| <b>2.4 Delineamento</b> .....                                    | 24 |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                             | 25 |
| 3.1 Comentários iniciais.....                                    | 25 |
| 3.2 Defeitos mais comuns em estradas rurais.....                 | 27 |
| 3.2.1 Seção Transversal Imprópria.....                           | 27 |
| 3.2.2 Drenagem Inadequada.....                                   | 28 |
| 3.2.3 Corrugações.....   | 29 |
| 3.2.4 Excesso de Poeira.....                                     | 30 |
| 3.2.5 Buracos.....   | 31 |
| 3.2.6 Trilha de Roda.....  | 32 |
| 3.2.7 Perda de Agregados.....                                    | 33 |
| 3.3 Solos de Regiões Tropicais e Subtropicais.....               | 33 |
| 3.3.1 Solos Lateríticos.....                                     | 34 |
| 3.3.2 Solos Saprolíticos.....                                    | 35 |
| 3.4 Seção Transversal da Estrada.....                            | 35 |
| 3.5 Materiais para utilização em Estradas Rurais.....            | 37 |
| 3.5.1 Materiais disponíveis em jazidas.....                      | 37 |
| 3.5.2 Classificação de Materiais.....                            | 38 |
| 3.5.3 Areias e Pedregulhos (Solos de Comportamento Arenoso)..... | 39 |
| 3.5.4 Siltes (Solos Intermediários).....                         | 39 |
| 3.5.5 Argilas (Solos Finos).....                                 | 39 |
| 3.6 Granulometria dos Materiais.....                             | 40 |
| 3.7 Espessura da Camada de Revestimento.....                     | 44 |
| <b>4 Drenagem</b> .....  | 45 |
| 4.1 Drenagem Superficial.....                                    | 46 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.1 Sarjeta.....  | 47        |
| 4.1.1.1 Manutenção da Sarjeta.....  | 47        |
| 4.1.1.2 Recomposição ou Aprofundamento da Seção da Sarjeta.....                       | 48        |
| 4.1.1.2.1 Método Manual.....  | 48        |
| 4.1.1.2.1 Método Mecânico.....  | 48        |
| 4.1.2 Bigodes.....  | 49        |
| 4.1.2.1 Manutenção dos Bigodes.....   | 51        |
| 4.1.3 Leiras.....   | 51        |
| 4.1.3.1 Manutenção das Leiras.....  | 52        |
| 4.1.4 Dissipadores de Energia.....  | 52        |
| 4.1.5 Valetas de Proteção.....  | 54        |
| 4.1.5.1 Manutenção das Valetas de Proteção.....                                       | 54        |
| 4.1.6 Caixas Coletoras.....   | 55        |
| 4.1.6.1 Manutenção das Caixas Coletoras.....  | 55        |
| <b>5 Execução do Revestimento Primário.....</b>                                       | <b>56</b> |
| 5.1 Preparo da Plataforma.....  | 57        |
| 5.2 Depósito do Material na Pista.....  | 58        |
| 5.3 Espalhamento na Pista.....  | 59        |
| 5.3.1 Umidade da Mistura.....   | 60        |
| 5.4 Compactação da Camada.....  | 61        |
| <b>6 A Operação da Motoniveladora nas Atividades Adicionais de Manutenção.....</b>    | <b>62</b> |
| 6.1 Componentes mais Importantes da Motoniveladora.....                               | 62        |
| 6.1.1 Bordas Cortantes.....   | 63        |
| 6.1.2 Escarificador.....  | 63        |
| 6.1.3 Pneus.....  | 64        |
| 6.1.4 Lâminas.....  | 65        |
| 6.2 Reconformação de Taludes.....   | 68        |
| 6.3 Regularização ou Patrolando a Plataforma.....                                     | 69        |
| 6.3.1 Operação de Arraste.....  | 69        |
| 6.3.2 Operação Final de Espalhamento.....   | 70        |
| 6.4 Reconformação da Plataforma.....  | 71        |
| <b>7 Alternativas para Solucionar os Defeitos mais Comuns em Estradas Rurais.....</b> | <b>76</b> |
| 7.1 Soluções para o Defeito: Seção Transversal Imprópria.....                         | 76        |
| 7.2 Soluções para o Defeito: Drenagem Inadequada.....                                 | 76        |
| 7.3 Soluções para o Defeito: Corrugações.....   | 76        |

|  |    |
|--|----|
| 7.4 Soluções para o Defeito: Excesso de Poeira.....  | 77 |
| 7.5 Soluções para o Defeito: Buracos.....            | 77 |
| 7.6 Soluções para o Defeito: Trilha de Roda.....     | 78 |
| 7.7 Soluções para o Defeito: Perda de Agregados..... | 79 |
| Referência.....                                      | 80 |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a infra-estrutura rodoviária beneficia principalmente as áreas proeminentemente industriais em detrimento às áreas de produção primária. Isto mostra que há necessidade de uma maior integração da malha rodoviária nacional existente, ligando os centros produtores aos centros de beneficiamento e consumo, através de rodovias secundárias. Estabelecidos estes canais de interligação, os benefícios das regiões dentro da sua área e atuação econômica são notórios. Outro ponto importante é a ligação de comunidades mais isoladas, que passarão a ter acesso a um transporte mais fácil, barato e seguro, até os centros com maior desenvolvimento.

Levantamentos realizados pela Fundação IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (1997, 1999, 2000), mostram que do total da malha viária nacional brasileira, aproximadamente 89,4 % são vias não pavimentadas e apenas 10,6 % são pavimentadas. Além disso, com relação às extensões dessas vias, aproximadamente 91,6 % estão sob jurisdição de governos municipais, sendo 7,45 % de responsabilidade dos governos estaduais e apenas 0,93 % de responsabilidade do governo federal.

A situação da malha rodoviária do estado do Rio Grande do Sul é bastante semelhante ao restante da malha nacional. De acordo com a Secretaria de Coordenação e Planejamento (Rio Grande do Sul, 2004), o Estado possui mais de 140.000 km de estradas não pavimentadas, sendo que destas 96,61 % estão sob jurisdição dos municípios. O total de estradas pavimentadas no Estado corresponde a cerca de 8,2 % do total de vias. Essas rodovias, pelas quais são transportados grandes volumes de carga, são caudatárias de uma rede capilar de rodovias de baixo volume de tráfego, em sua grande maioria não pavimentada.

Estradas rurais são uma necessidade básica para prover uma determinada localidade com um fluxo regular de mercadorias e serviços. Permitem o desenvolvimento das comunidades por ela atingidas e por conseqüência garantem a melhoria de sua qualidade de vida. Embora se possa dizer que as estradas rurais, por si só, não são capazes de romper as barreiras que levam ao empobrecimento das comunidades, elas podem, por outro lado, ser importantes agentes indutores de crescimento e proporcionar significantes benefícios sociais e econômicos.

Segundo Baesso e Gonçalves (2003) um substancial elenco de evidências constatado em vários países, assegura o vital papel desempenhado pelas estradas rurais no desenvolvimento da agricultura. Estudos do Banco Mundial (1993) concluíram que a implantação de melhoramentos na rede viária rural tem um efeito imediato não somente na redução do custo operacional de veículos, como também permitem a expansão dos serviços públicos nessas regiões.

A Região Central do Rio Grande do Sul, abrangendo 35 municípios, se destaca por sua localização geográfica, fazendo ligação entre a região da fronteira oeste do Estado e os municípios da região metropolitana, da Serra e do Litoral Norte. Essa ligação sempre foi de grande relevância tanto histórica como econômica, pois por ela escoam toda a safra agrícola e a pastoril. Elo entre países vizinhos (Argentina e Uruguai) e a metade norte do Estado, a região central do Rio Grande do Sul tornou-se ainda mais estratégica com os acordos do Mercosul, em virtude de sua expressiva participação no agro-negócio e no crescimento do turismo. Porém, o potencial de crescimento desta região é ameaçado pela situação de precariedade da malha viária não pavimentada, especialmente em períodos de chuvas mais intensas.

Devido à manutenção muitas vezes ineficiente e custosa nas rodovias secundárias, surge a necessidade de melhorar esses serviços, para garantir viabilidade econômica. A criação de um modelo que sirva como referência para serviços de manutenção e execução de estradas com revestimento primário é muito grande devido o baixo controle dessas funções na Região. O presente manual apresenta os principais aspectos necessários à boa manutenção, demonstrando com auxílio de figuras, muitas vezes auto-explicativas, os passos a serem seguidos para fornecer ao pavimento: uma vida útil prolongada e propriedades geotécnicas favoráveis a trafegabilidade dos veículos.

Inicialmente, a revisão bibliográfica cita os principais problemas decorrente do uso, principalmente de veículos pesados, das estradas rurais. E todos eles podem ser corrigidos na manutenção.

No Brasil, há o predomínio de clima tropical e subtropical úmido. Logo, os solos encontrados em boa parte do País são considerados Tropicais. Esses solos apresentam algumas características importantes, que fazem seu uso na pavimentação das estradas rurais. Os solos ditos tropicais são divididos em duas classes: solo de comportamento laterítico e

comportamento não laterítico. Os primeiros são mais adequados para pavimentação por apresentarem: boas características de resistência, serem pouco deformáveis e pouco sensíveis a efeitos deletérios da água, como a erosão.

A classificação dos materiais utilizados na pavimentação das estradas de baixo VDM não revestidas fazem parte do manual, nas quais devem ser empregadas para a execução de um pavimento adequado para estas rodovias.

A drenagem de rodovias é fator determinante na vida útil da estrada. Por isso, estradas de revestimento primário sofrem muito com os problemas gerados pela ação da água. Foi destinado um capítulo para este tema sugerindo os principais métodos e dispositivos para que o pavimento possua uma boa drenagem, e assim, reduzir os danos na rodovia.

Um dos principais equipamentos utilizados na manutenção de estradas rurais é a motoniveladora, devido às diversas funções que ela pode exercer. É indispensável o conhecimento de todas essas funções para garantir um bom desempenho no serviço de manutenção.

O uso desses conhecimentos juntamente com um bom desempenho da equipe destinada a manutenção aumenta as chances de termos um produto final de excelente qualidade, durável e considerado satisfatório. Uma seqüência de atividades são propostas no capítulo: Execução do Revestimento Primário.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia de pesquisa utilizada foi bastante simples. Iniciou-se por uma pesquisa bibliográfica objetiva, na qual foram consultados alguns manuais de estradas rurais, tanto de origem nacional como internacional. Foi necessário adaptar o conteúdo ao caso em questão, proporcionando um modelo focado em minimizar os problemas relacionados a manutenção e execução de estradas com revestimento primário, principalmente da região central do RS.

Para ajudar na compreensão do assunto, fez-se uma busca exaustiva para depois selecionar as melhores fotos. Algumas ainda receberam tratamento com softwares especializados em tratar imagens, oferecendo clareza às figuras que constam no manual.

## **2.1 PERGUNTA DE PESQUISA**

A pergunta de pesquisa deste trabalho é: como transmitir aos responsáveis pelas rodovias, o conhecimento sobre construção e manutenção de estradas de revestimento simples?

## **2.2 OBJETIVOS**

Estão divididos entre objetivo principal e objetivo secundário.

### **2.2.1 Objetivo Principal**

O objetivo principal é a criação de um manual bastante simples, ilustrativo e de fácil compreensão, citando as etapas que deverão ser executadas na manutenção da via de baixo volume de tráfego. O manual se destaca não apenas a engenheiros rodoviários, mas também a técnicos de estradas e operadores de máquinas de terraplenagem.

### **2.2.2 Objetivos Secundários**

O objetivo secundário é apresentar algumas características dos solos da Região Central do Rio Grande do Sul utilizado para pavimentação de estradas rurais.

## 2.3 DELIMITAÇÃO

As orientações gerais são válidas para o estudo de caso que foi realizado para a Região central do Estado, abrangendo 35 municípios próximos a Santa Maria, onde há uma malha rodoviária de estradas rurais bastante extensa.



Figura 1: Região Central do Rio Grande do Sul

## 2.4 DELINEAMENTO

O delineamento da pesquisa é bastante simples. Decorre de consulta bibliográfica e seleção de figuras que transmitam o que é proposto no trabalho. Mesclando conteúdo às imagens, foi elaborado o Manual de Manutenção de Estradas de Revestimento Simples.

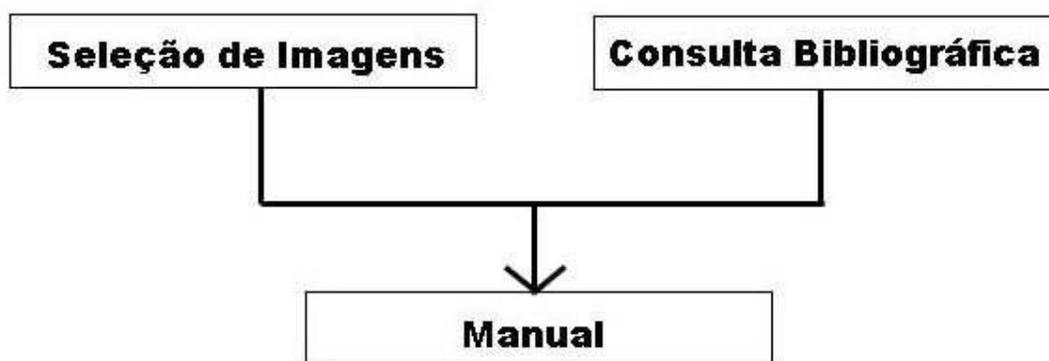


Figura 2: delineamento da pesquisa

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Estradas não pavimentadas podem ser divididas em diferentes grupos de acordo com o tipo de material que compõem a sua superfície. Segundo Baesso e Gonçalves (2003), as estradas rurais podem ser divididas em quatro categorias distintas, designadas por A, B, C e D. De acordo com os autores, as estradas da Categoria A correspondem às vias cuja superfície de rolamento é composta por agregados naturais oriundos de jazidas, sendo que estes atendem a determinados parâmetros quanto a composição granulométrica. A Categoria B é composta por estradas que apresentam material produzido artificialmente (britados) na camada superficial de rolamento. Solos naturalmente estabilizados (saibros, areias, piçarras, etc) oriundos de jazidas, quando utilizados para compor a superfície de rolamento, compreendem as estradas da Categoria C. As vias cuja camada superficial é formada por materiais de seu próprio leito natural, correspondem à Categoria D.

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária DNIT (2005), estradas de terra resultam da evolução de trilhas e caminhos precários, remanescentes de épocas pioneiras e primitivamente construídas dentro de características técnicas bastante modestas. Tais rodovias, construídas dentro do enfoque de “minimização” de custos de construção, apresentavam, quando de sua implantação, traçados que buscavam evitar a construção de obras de arte especiais, envolvendo reduzido movimento de terra. Assim, frequentemente, os traçados são bastante sinuosos, geralmente aproveitando a disposição das curvas de nível do terreno e os divisores de água.

De uma maneira geral, a grande maioria das estradas situadas nas zonas rurais foi aberta pelos colonizadores de forma inadequada, por terem sido definidas basicamente concebidas em função da estrutura fundiária e das facilidades do terreno. Os traçados favorecem, em períodos de chuvas intensas, o desenvolvimento de processos erosivos extremamente prejudiciais à pista de rolamento, áreas marginais e sua plataforma como um todo. Muitas delas, ao terem evoluído originalmente de pequenas trilhas e caminhos, utilizados pelos primeiros grupos de

pessoas que se estabeleceram nas regiões, apresentam traçados que cruzam locais cujos solos têm baixa capacidade de suporte. À medida que o tráfego cresce, tais caminhos tornam-se estradas, recebendo, entre outros serviços, melhoramentos graduais na forma de revestimento de sua superfície de rolamento. Os mesmos são executados sem obediência a quaisquer princípio básico de engenharia (Baesso e Gonçalves, 2003).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), a manutenção de estradas rurais construídas dessa forma é de alto custo e de difícil execução, onerando sobremaneira os agentes públicos responsáveis. Reparos freqüentes e adequados são de suma importância para reduzir os custos de reconstrução a longo prazo, particularmente no que se refere ao revestimento primário e às estruturas de drenagem. Assim, a manutenção periódica deve incluir, entre outros serviços, uma conformação da pista de rolamento, a recomposição de pequenos seguimentos onde o revestimento encontra-se deficiente, a limpeza das obras de drenagem, o reparo ou inclusão dos dispositivos de proteção às saídas de drenagem e ainda a recomposição de áreas degradadas através da adoção de técnicas de proteção vegetal, entre outros pequenos serviços.

Devido á grande dificuldade na obtenção de recursos, grande parte da rede viária sob jurisdição dos municípios é composta por rodovias não pavimentadas, sendo que estas representam os principais meios de acesso para o escoamento de sua produção agropecuária. Por este motivo, as solicitações impostas pelo tráfego são de considerável magnitude, o que acaba acelerando o processo de deterioração da superfície das estradas não pavimentadas, tornando-se necessário a execução de obras de manutenção e recuperação.

Uma estrada não pavimentada deve apresentar resistência suficiente para suportar as cargas impostas pelo tráfego, sem que deformações excessivas ocorram. Para Baesso e Gonçalves (2003), a boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento são características de resistência, tanto do material utilizado como revestimento quanto do subleito, para que estes possam se manter coesos frente às solicitações repetitivas do tráfego na medida em que ocorrem variações no teor de umidade, devido aos períodos secos e chuvosos, que ocorrem ao longo do ano.

### **3.2 DEFEITOS MAIS COMUNS EM ESTRADAS RURAIS**

As chamadas estradas de terra possuem vários problemas que acabam interferindo negativamente na serventia do pavimento (capacidade de suporte, conforto e segurança), aumentando o tempo de viagem e depreciação de veículos. Segundo Baesso e Gonçalves (2003) destacam-se:

- a) seção transversal imprópria;
- b) drenagem inadequada;
- c) corrugações;
- d) excesso de poeira;
- e) buracos;
- f) trilha de roda;
- g) perda de agregados.

#### **3.2.1 SEÇÃO TRANSVERSAL IMPRÓPRIA**

A superfície de rolamento de uma estrada rural não pavimentada deve ser conformada de tal modo que permita a drenagem eficiente das águas superficiais que precipitam sobre a plataforma da via, para os dispositivos de captação e escoamento (sarjetas, bigodes, dissipadores de energia). Após uma breve análise das imagens apresentadas, fica patente a importância da configuração da seção transversal em parâmetros físicos muito bem determinados e que atendam racionalmente a demanda de tráfego. Estradas rurais apresentando gabaritos muito aquém da necessidade são mais factíveis de sofrerem deterioração da pista de rolamento (Baesso e Gonçalves, 2003). B. A figura 3 mostra uma seção transversal imprópria:



Figura 3: seção transversal imprópria (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 3.2.2 DRENAGEM INADEQUADA

Esse tipo de defeito ocasiona acúmulo de água na plataforma de rolamento da rodovia, sendo caracterizado pelo mau funcionamento dos dispositivos de drenagem superficial e, muitas vezes, pela inexistência de elementos de drenagem profunda, como também pela falta de manutenção das obras de arte corrente, caso dos bueiros tubulares (Baesso e Gonçalves, 2003). Na figura 4 segue um exemplo de falha na drenagem da rodovia:



Figura 4: drenagem inadequada (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 3.2.3 CORRUGAÇÕES

Este tipo de situação-problema é caracterizado por deformações que aparecem na pista de rolamento das estradas rurais, posicionadas em intervalos regulares, perpendicularmente ao sentido de fluxo do tráfego.

Sua origem pode ser explicada pela presença de uma série de fatores, dentre eles:

- a) ação contínua do tráfego;
- b) perda de agregados finos da camada de revestimento, sub-leito ou base;
- c) deficiências de suporte do material do sub-leito;
- d) abaulamento insuficiente;
- e) revestimento de baixa qualidade aliado a períodos longos de seca.

As corrugações constituem-se em grave problema na manutenção das estradas de terra, principalmente em épocas de seca, causando trepidação 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 rodovia, fazendo que ao este passar pelas ondulações, sofra choques periódicos de períodos de amplitude crescente (Baesso e Gonçalves, 2003). A figura 5 mostra um esquema de uma rodovia vista longitudinalmente com ocorrência de corrugações.



Figura 5: corrugações (Fonte: Parker, 2000)

### 3.2.4 EXCESSO DE POEIRA

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), a formação de pó na superfície de rolamento das estradas ocorre em função da perda da fração fina de partículas de sua camada de base ou revestimento, cuja presença na mistura possui teor excessivo. A formação de nuvem de pó nas estradas devem ser encarada mais que simples desconforto a seus usuários acarretando entre outros, os seguintes danos:

- a) obscurecer a visão dos motoristas elevando a probabilidade de ocorrência de acidentes;
- b) causar danos às propriedades vizinhas, culturas agrícolas;
- c) gerar problemas de saúde às pessoas, sendo causa de muitas alergias e outras enfermidades do gênero;
- d) causar, através de partículas abrasivas em suspensão no ar, sérios prejuízos as partes móveis dos motores dos veículos reduzindo sua vida útil;
- e) promover a fuga de finos que representa significativa perda de recursos por conta das operações que são necessárias para a recomposição do balanceamento das frações de partículas e agregados da mistura.

A figura 6 mostra claramente a dificuldade de visualizar o traçado da pista em condições de poeira no ar, devido a passagem de veículos.



Figura 6: Excesso de Poeira (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 3.2.5 BURACOS

Várias são as causas de formação de buracos na superfície de rolamento das estradas, segundo Baesso e Gonçalves (2003) são:

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

Dependendo do nível de ocorrência dos buracos em um determinado segmento de estrada rural, a estratégia de ataque pode envolver desde uma simples operação de tapa-buraco, até o emprego da motoniveladora para reconformação da superfície da pista de rolamento. A figura 7 abaixo mostra a existência de buracos no pavimento preenchidos por água devido precipitação ocorrida anteriormente.

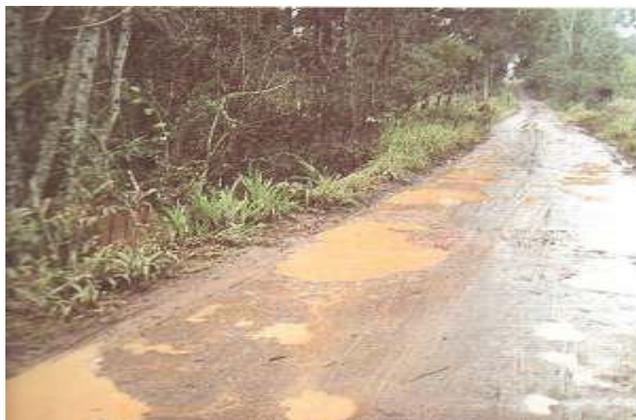


Figura 7: buracos cobertos de água (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

No primeiro caso, a tarefa de eliminação das depressões é rápida, bastando para tanto a execução de uma leve regularização por meio da motoniveladora, a qual por meio de “arraste” realizará uma espécie de nivelamento da superfície de rolamento, sem descuidar quanto à configuração do abaulamento ideal para a pista e que se situa em percentuais da ordem de 4%. Em condições mais amenas, qual seja a pista de rolamento apresentando a presença de pequenos buracos distribuídos de forma mais esparsa, recomenda-se o seu preenchimento de

forma manual através da utilização de material selecionado. A tarefa de regularização utilizando a motoniveladora é explicada detalhadamente no item 6.3.

Quanto ao segundo caso, ou seja, àquele envolvendo a recomposição de trecho apresentando elevada taxa de buracos, a atividade sugere o envolvimento da motoniveladora na operação, onde, através de corte com sua lâmina, a uma profundidade não menos que àquela das depressões, o equipamento realiza uma reconformação da plataforma procedendo a uma revolvimento dos materiais. Passadas subseqüentes executam o espalhamento do material que foi cortado, concomitante com o acabamento final da superfície de rolamento na forma de seu abaulamento. A tarefa de reconformação da plataforma é explicada detalhadamente no item 6.4 deste manual.

### **3.2.6 TRILHA DE RODA**

Trilha de roda se caracteriza por depressões que se formam nas faixas de tráfego dos veículos, longitudinalmente ao eixo da estrada. São originadas pela deformação permanente do subleito ou camada de revestimento e resultantes das repetidas passadas dos veículos, particularmente quando os materiais que constituem possuem baixa capacidade de suporte ou quando a drenagem da plataforma é deficiente. Se não atacadas imediatamente após seu aparecimento podem até tornar a estrada intransitável (Baesso e Gonçalves, 2003). Um exemplo desse problema pode ser visto na figura 8.



Figura 8: trilha de roda (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 3.2.7 PERDA DE AGREGADOS

A intensa passagem dos veículos sobre a superfície de rolamento das estradas rurais provoca em muitos casos a segregação da fração grossa de agregados, processo este que leva à formação de camadas delgadas de agregados que se posicionam junto às trilhas de roda ou mais frequentemente nas áreas próximas aos bordos da pista (áreas não transitáveis). Esse tipo de problema ocorre em função de várias causas, sendo a mais importante delas a ausência de material ligante em proporções adequadas na composição da mistura de materiais (Baesso e Gonçalves, 2003). A figura 9 representa uma rodovia com este defeito.



Figura 9: perda de agregados (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

É necessário um amplo conhecimento sobre os materiais usados como revestimento nas chamadas estradas de chão. Sabendo que o Brasil é um país de clima tropical, o capítulo seguinte refere-se aos solos aqui encontrados.

### 3.3 SOLOS DE REGIÕES TROPICAIS E SUBTROPICAIS

A região de Santa Maria, situada no centro do Estado do Rio Grande do Sul, está localizada numa área de clima subtropical úmido, onde a precipitação média anual é de 1700 mm e a temperatura média é de 19,2 °C. Essas condições (precipitações elevada e altas temperaturas) são típicas para a formação dos chamados solos tropicais (Peraça, 2007).

Solos tropicais são considerados aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamento em decorrência da atuação no mesmo de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais e subtropicais úmidas (Nogami e Villibor, 1995). Normalmente são tratados como solos residuais pela engenharia. No caso dos solos saprolíticos isso é uma verdade. Contudo, os solos lateríticos geralmente apresentam certo transporte, evidenciando-se a importância dos conhecimentos pedológicos para não estimar erroneamente a origem dos mesmos com relação ao seu substrato geológico. Os minerais primários, nos solos lateríticos, em decorrência do intemperismo, já desapareceram, restando apenas os mais resistentes (Nogami e Villibor, 1995).

A decomposição e a desintegração da rocha nos processos pedológicos, em regiões tropicais e subtropicais, têm características próprias, onde o intemperismo químico é intenso, ocasionando a decomposição dos silicatos. A abundância de chuvas e altas temperaturas possibilitam a formação de argilas e concentrações de óxidos de ferro e alumínio (Davison Dias, 1988a e 1988b). Estes processos conduzem à formação do horizonte B evoluído, que em alguns casos é denominado laterítico ou residual maduro, ou de um horizonte C menos evoluído, que mantém a estrutura e minerais primários da rocha-mãe, denominado saprolítico ou residual jovem. A pedologia denomina estes solos, respectivamente, como horizonte B, latossólicos ou textural e como horizonte C (horizonte saprolítico).

Para que um solo possa ser considerado como tropical, não basta que tenha sido formado na faixa astronômica tropical ou em região de clima tropical úmido, é indispensável que possua peculiaridades de interesse geotécnico. Essa definição é essencialmente tecnológica; portanto, não necessariamente científica. Dentre os solos tropicais, destacam-se duas grandes classes: os solos lateríticos e os solos saprolíticos (Nogami e Villibor, 1981, 1983, 1995).

### **3.3.1 SOLO LATERÍTICO**

Será considerado como significando solo de comportamento geotécnico laterítico, a não ser que especificamente observado o contrário. Consequentemente, é caracterizado por possuir uma série de propriedades que levam a classificá-lo como solo de comportamento laterítico, segundo classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical; designação de uma

metodologia de ensaios geotécnicos). Cabe observar que o conceito de solo laterítico geralmente adotado difere bastante do acima definido. Pedologicamente, o solo laterítico é uma variedade de solo superficial pedogenético, típico das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas. Nos meios rodoviários brasileiros, o termo solo laterítico é frequentemente usado como significando pedregulho laterítico (Nogami e Villibor, 1981, 1983, 1995).

### **3.3.2 SOLO SAPROLÍTICO**

Aquele que resulta da decomposição e/ou desagregação “in situ” da rocha (considerada material consolidado da crosta terrestre), mantendo ainda, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem (Committee on Tropical Soils of ISSMFE, 1985). É portanto, um solo genuinamente residual, razão pela qual é frequentemente designado residual ou, mais especificamente, solo residual jovem. Alguns geotécnicos consideram solo residual mauro o solo pedogenético subjacente à camada constituída de solo residual jovem. O substantivo saprolítico é usado entre nós para significar outro material (rocha alterada) e isso tem sido motivo de muita confusão. No passado, solo saprolítico era designado alteração de rocha. As camadas que os solos saprolíticos constituem em suas condições naturais serão designadas horizontes saprolíticos (Nogami e Villibor, 1981, 1983, 1995).

Além de selecionar os materiais para a mistura do pavimento, é interessante comentar sobre a seção transversal que a estrada deve apresentar, pois tal fator influencia nas condições de vida útil e trafegabilidade.

### **3.4 SEÇÃO TRANSVERSAL DE ESTRADAS**

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), uma condição para boa trafegabilidade em um segmento de estrada não pavimentada depende, antes de qualquer outro fator, do adequado desenho da pista de rolamento no que tange ao aspecto final de sua seção transversal. Ao configurar-se uma pista de rolamento com inclinações abaixo da ideal, está-se permitindo o aparecimento de problemas que deteriorarão rapidamente sua trafegabilidade na forma de depressões e irregularidades. Ao contrário, se o operador da motoniveladora impor uma declividade acima

daquela considerada ideal, transmitirá ao usuário uma sensação de insegurança. O desconforto que lhe é causado pela excessiva inclinação, tende a levá-lo a trafegar na baixa central da plataforma, mesmo em pistas apresentando larguras mais generosas.

Assim, para que a pista de rolamento exerça seu papel corretamente, existe uma inclinação ideal na qual deve contemplar ambos os fatores, ou seja, permitir uma trafegabilidade segura como também resguardar a plataforma quanto a sua deterioração devido a má drenagem que uma rampa pouco inclinada favorece. Conforme a Agência de Transportes do Estado de Dakota do Sul nos Estados Unidos da América (South Dakota Transportation Assistance Program – SD LTAP), a declividade ideal para a pista de rolamento situa-se em valores da ordem de  $\frac{1}{2}$ ” por pé de seção transversal, devemos ter uma inclinação de 1,27 centímetros. No Brasil, é sugerido fornecer a declividade em porcentagem. E a especificação americana sugere uma declividade de 4%. Como apresenta a figura:

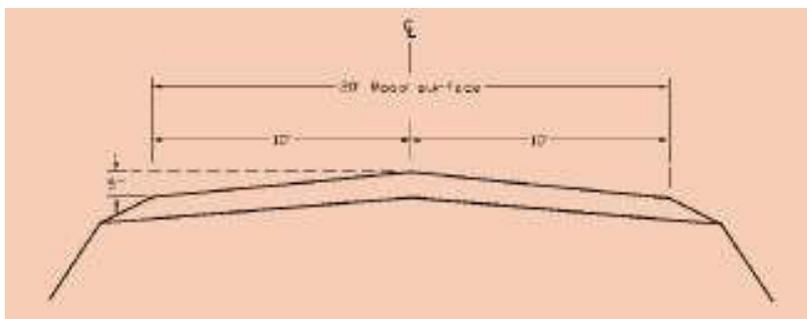


Figura 10: seção transversal ideal com declividade de 4% (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

Ao percorrer um trecho de rodovia em curva com certa velocidade, o veículo fica sujeito à ação de uma força centrífuga que atua no sentido de dentro para fora da curva, tendendo a mantê-lo em trajetória retilínea, tangente à curva. Isso obriga o condutor a reduzir a velocidade para aumentar o controle do veículo. O efeito principal sobre os passageiros é a sensação de desconforto causada pelos esforços laterais que os empurram para o lado oposto do que está sendo realizada a manobra.

Para oferecer melhores condições de conforto e segurança, é utilizado o conceito de superelevação da pista de rolamento, que é a declividade transversal da pista nos trechos em curva. Tal sistema tem por finalidade a redução o ou até mesmo a eliminação dos efeitos citados anteriormente de desconforto. Pode ser expressa em porcentagem (%) e os parâmetros para sua adoção são de uso corrente junto às empresas da área de consultoria rodoviária. Os

passos de transição da superelevação, partindo-se da seção em tangentes até a seção de superelevação pode ser visto na figura 11.

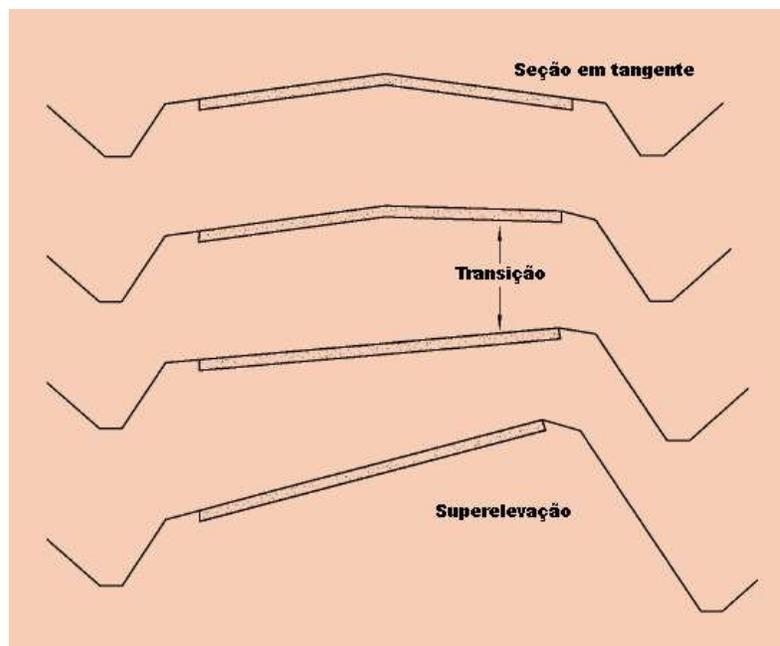


Figura 11: transição de uma seção tangente até alcançar a superelevação (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

### 3.5 MATERIAIS PARA UTILIZAÇÃO EM ESTRADAS RURAIS

Esse item é destinado aos materiais que são utilizados nas estradas de revestimento primário. Será tratado da granulometria, especificações do solo e funções dos mesmos.

#### 3.5.1 MATERIAIS DISPONÍVEIS EM JAZIDAS

Para os solos que serão utilizados na manutenção de estradas rurais é recomendável que seja feita investigação geotécnica prévia, para a verificação das propriedades do material (capacidade de suporte, granulometria), que são fatores determinantes na execução e manutenção do pavimento.

O uso de materiais de boa qualidade, bem compactados, com superfície de rolamento adequadamente mantida e que ainda possua um eficiente sistema de drenagem, resultam em estradas com durabilidade satisfatória e reduzidos custo para manutenção futura.

Sugerem-se que os solos utilizados para execução e manutenção das estradas de baixo volume de tráfego não revestidas sejam encontradas em jazidas próximas às vias, reduzindo a distância média de transporte e conseqüentemente minimizando os custos. Esses materiais são encontrados em várias formas, entre os mais conhecidos: areias, cascalhos, saibros, pedregulhos, etc.

### **3.5.2 CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS**

A terminologia de solos e rochas pela ABNT estabelece que os solos são identificados pela sua textura (composição granulométrica), plasticidade, consistência, entre outras propriedades que auxiliam na sua identificação. Entretanto é usual a divisão dos solos sob o ponto de vista textural (granulometria).

Segundo Ken Skorseth (2000), um pavimento utilizado em estradas de revestimento primário é composto de uma mistura de três tamanhos diferentes de solo: grãos, intermediários e finos. A parte grãda é composta basicamente por pedregulhos, os quais oferecem uma boa capacidade de suporte ao pavimento, resistindo a boa parte das cargas impostas ao pavimento. Os compostos intermediários preenchem os espaços entre a parte grãda proporcionando estabilidade para mistura. Siltes e areias são exemplos desse material. Já os materiais mais finos oferecem coesão a mistura (funcionam como aglutinantes), e também ajudam para que os mesmo tenha menor permeabilidade. Exemplos usuais de finos são as argilas.

O DNIT, como a maioria dos órgãos rodoviários, adotam a escala granulométrica baseada em estudos da AASHTO, que é referência em pavimentação. Com base nisso, os materiais são classificados segundo as dimensões de suas partículas.

| Frações Constituintes dos solos | Diâmetro equivalente Entre: (mm) |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Pedregulho                      | 76,0 e 2,0                       |
| Areia Grossa                    | 2,0 e 0,42                       |
| Areia Fina                      | 0,42 e 0,075                     |
| Silte                           | 0,075 e 0,005                    |
| Argila                          | Menor que 0,005                  |

Quadro 1: materiais usados no pavimento e suas dimensões granulométricas

### **3.5.3 AREIAS E PEDREGULHOS (SOLOS DE COMPORTAMENTO ARENOSO)**

Constituem-se de materiais de granulação grossa, de origem quartzosa. Seu comportamento pouco varia em função da quantidade de água que envolve seus grãos. Esses solos não apresentam coesão, portanto sua resistência a deformação depende da disposição em que é encontrado e do atrito entre os grãos, a medida que forem pressionados.

### **3.5.4 SILTES (SOLOS INTERMEDIÁRIOS)**

Dependendo de sua distribuição granulométrica, seu comportamento pode ser o de solo arenoso ou argiloso. Dessa maneira, poderemos ter um silte-arenoso ou silte-argiloso. O silte é de difícil moldagem e apresenta baixa resistência quando seco.

### **3.5.5 ARGILAS (SOLOS FINOS)**

São solos de granulação fina, e devido a pequena dimensão, seu comportamento varia sensivelmente em função da quantidade de água que envolve seus grãos. Assim, esses solos apresentam, em determinada faixa de teor de umidade, características plásticas que permitem o material ser moldado sob ação de um esforço sem variação do volume.

A coesão das argilas é função do teor de umidade: quanto menos úmidas (mais secas), maior a coesão. Porém, ao entrar em contato com a água, podem sofrer grandes deformações. Por isso,

em locais onde há predominância de material argiloso e grandes precipitações, ocorre a necessidade de graduar melhor o pavimento, adicionando materiais granulares para melhorar a trafegabilidade da estrada.

### 3.6 GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS

A granulometria dos materiais utilizados é de vital importância como foi mencionado anteriormente. Porém, a maioria dos solos encontrados em jazidas podem não possuírem uma distribuição granulométrica adequada. Por isso, para a utilização destes materiais na pavimentação como revestimentos primários, sugere-se um ajuste na sua curva granulométrica.

Um solo bem graduado é aquele que possui os componentes graúdos, intermediários e finos, em proporções sugeridas por Skorseth (2000). Entretanto, solos naturais podem apresentar composições granulométricas variadas: graduação uniforme e graduação aberta são exemplos desta variabilidade. Os solos de graduação uniforme apresentam grãos com dimensões muito parecidas. Já os de graduação aberta, apresentam distribuição de diâmetros bem variada, porém com ausência de uma parcela de grãos de certa dimensão. A figura abaixo mostra bem a diferenciação dos solos quanto a graduação.



Figura 12: distribuições granulométricas

Na maioria dos casos, as proporções de agregados encontrados em jazidas não são adequadas, tornando-se necessário a estabilização granulométrica desses materiais com a adição dos agregados ausentes. O objetivo é manter a mistura estável para utilização em campo com uma boa graduação como foi visto no item sobre classificação dos materiais.

Para definir a graduação de um solo é possível realizar o ensaio de peneiramento. Abaixo a figura mostra o ensaio com solo passando por peneiras que variam de 1” a peneira No200:

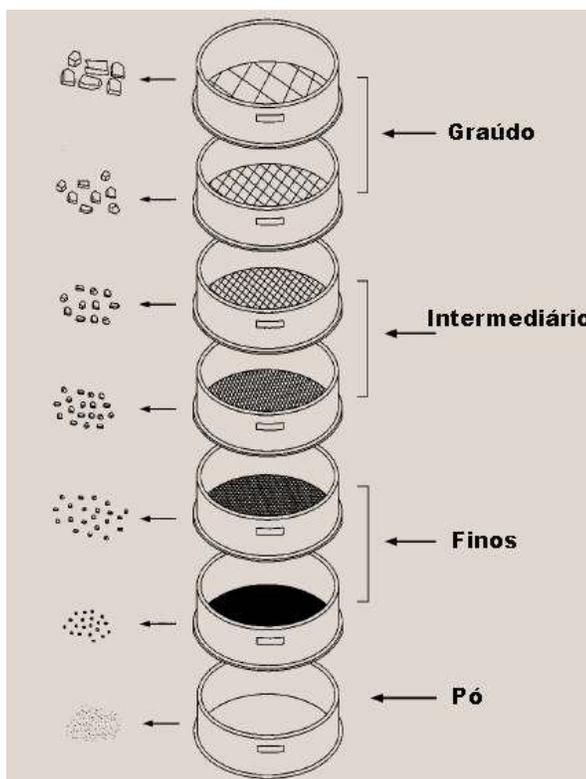


Figura 13: ensaio de peneiramento (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

Os resultados de um ensaio de peneiramento é um gráfico: porcentagem de solo retida versus diâmetro dos grãos (mm). É obtido um gráfico como mostra a figura abaixo:

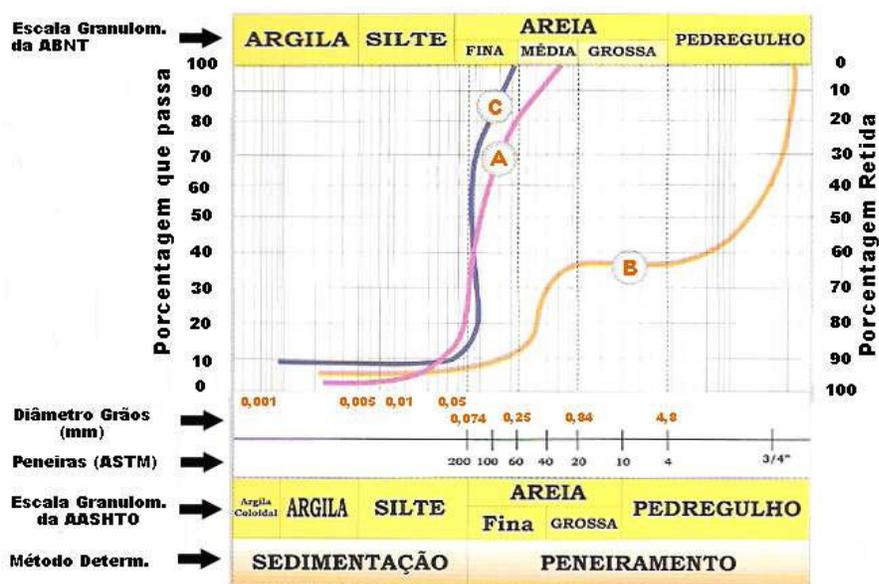


Figura 14: ensaio de peneiramento (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

Segundo a figura 14, é mostrado os resultados de três ensaios granulométricos. Podemos verificar que a curva A apresenta uma granulometria “contínua”, a curva B “descontínua”, já a C apresenta uma granulometria “bem graduada”.

Seguindo sugestões da Agência de Transportes do Estado de Dakota do Sul nos Estados Unidos da América (South Dakota Transportation Assistance Program – SD LTAP), uma graduação que forneça ao pavimento boa resistência e coesão, deve apresentar valores iguais ou aproximados referentes a tabela 1 em um ensaio de peneiramento.

| Peneiras | % passante |
|----------|------------|
| 3/4"     | 100        |
| No. 4    | 50-78      |
| No. 8    | 37-67      |
| No. 40   | 13-35      |
| No. 200  | 4-15       |
| IP       | 4 - 12     |

Tabela 1: graduação ideal para pavimentos  
(Fonte: South Dakota Local Transportation - USA, 2000)

Dois amostras de solos coletados em jazidas de São Martinho da Serra e Silveira Martins, localizados na região de Santa Maria, apresentam distribuição granulométrica apresentada nas figuras 15 e 16, com pequena discrepância nos resultados obtidos nos ensaios de

granulometria realizados para ambos. No solo de São Martinho da Serra, há um predomínio de grãos do diâmetro que variam de 1 a 10 milímetros (aproximadamente 65%), o que caracteriza um solo com muitos pedregulhos e de boa graduação. A amostra de Silveira Martins apresenta a mesma conclusão obtida do outro solo, apenas diminui a proporção de grãos do diâmetro variando entre 1 e 10 milímetros (aproximadamente 40%). Por isso, há necessidade de adicionar materiais para que esteja de acordo com a tabela 1. As figuras abaixo mostram os resultados obtidos para os materiais de São Martinho da Serra e Silveira Martins.

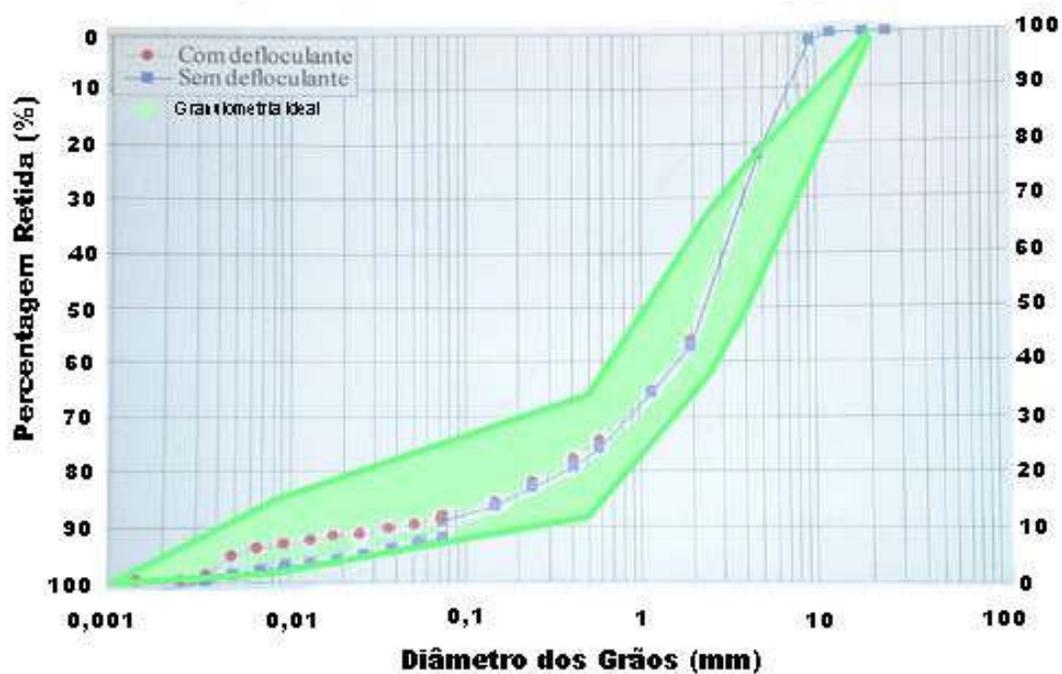


Figura 15: distribuição granulométrica – São Martinho da Serra comparada com a ideal em destaque (Fonte: Peraça, 2007)

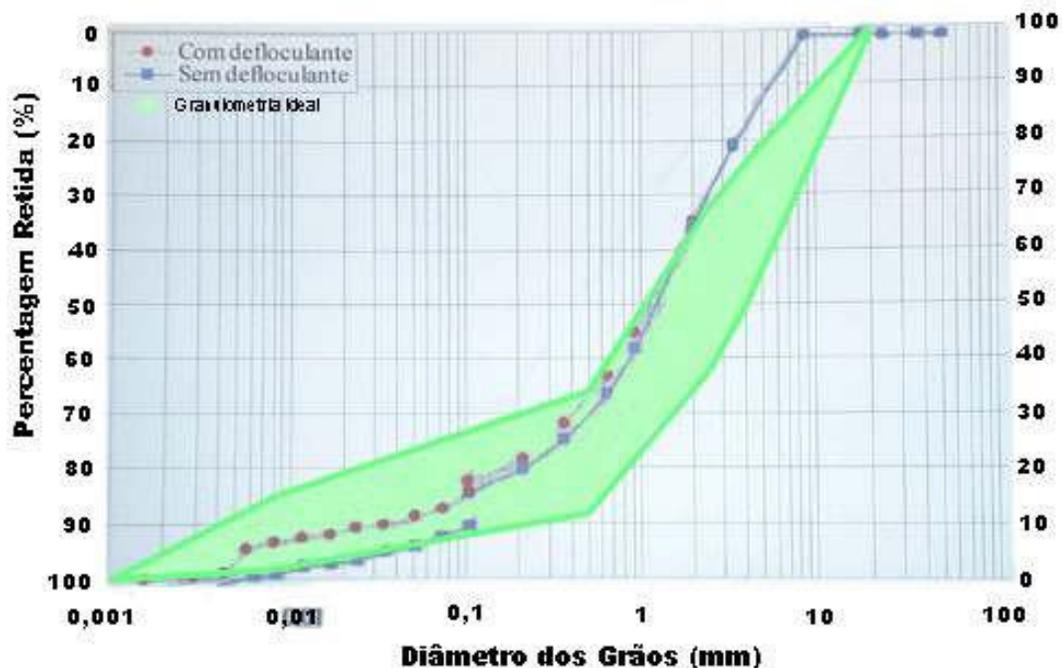


Figura 16: distribuição granulométrica – Silveira Martins comparada com a ideal em destaque (Fonte: Peraça, 2007)

### 3.7 ESPESSURA DA CAMADA DE REVESTIMENTO

Baesso e Gonçalves (2003) afirmam que o dimensionamento da camada a ser executada para o revestimento primário deve levar em conta: o volume e o tipo de tráfego, características do solo presente no subleito com respeito basicamente à sua capacidade de suporte e a presença de trechos críticos apresentados declividade acentuada.

A espessura da camada de revestimento pode variar para cada tipo de solo, e, infelizmente a literatura rodoviária existente no país ainda é muito carente de elementos que permitam aos técnicos do setor estabelecer dados confiáveis para lidarem com as estradas das mais variadas características. Mas a tabela 2 abaixo serve como referência para fixarmos a espessura mínima sugeridas para camadas de revestimento primário.

| Volume estimado de veículos pesados (VDM) | Condição de suporte do subleito (ISC) | Espessura mínima sugerida (cm) |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| 0 a 5                                     | Baixo                                 | 16,5                           |
|   | Médio                                 | 14,0                           |
|   | Alto                                  | 11,5                           |
| 5 a 10                                    | Baixo                                 | 21,5                           |
|   | Médio                                 | 18,0                           |
|   | Alto                                  | 14,0                           |
| 10 a 25                                   | Baixo                                 | 29,0                           |
|   | Médio                                 | 13,0                           |
|   | Alto                                  | 18,0                           |
| 25 a 50                                   | Baixo                                 | 37,0                           |
|   | Médio                                 | 29,0                           |
|   | Alto                                  | 21,5                           |

Observações: Baixo Suporte =  $ISC \leq 3\%$ ; Médio Suporte =  $3 < ISC \leq 10\%$ ; Alto Suporte =  $ISC > 10\%$

Tabela 2: espessuras mínimas sugeridas para camadas de revestimento primário (Fonte: South Dakota Local Transportation - USA, 2000)

#### 4. DRENAGEM

A drenagem tem fundamental importância para o pavimento, cumprindo a função de retirar a água da pista de rolamento e transportá-la para fora da estrada.

A água presa no interior do pavimento é prejudicial ao mesmo, afetando sua funcionalidade, que é de oferecer conforto e segurança aos usuários.

A falha na drenagem pode gerar alguns problemas, como por exemplo, o aparecimento de panelas, devido à infiltração de água no pavimento danificando as camadas subjacentes e a redução da capacidade de suporte (afetando a estrutura da estrada).

Alguns desses problemas podem reduzir a capacidade de suporte no pavimento, afetando sua estrutura. A presença excessiva de umidade na pista de rolamento acaba gerando maiores deformações elástica e permanentes. Segundo Peraça (2007): o aumento do teor de umidade de 2% acima da ótima pode desestabilizar inteiramente a camada de solo.

Esse capítulo é voltado para mecanismos de drenagem superficial de rodovias.

## 4.1 DRENAGEM SUPERFICIAL

Dispositivos são construídos junto a plataforma, com a finalidade de propiciar o escoamento das águas pluviais que caem sobre a pista de rolamento e áreas adjacentes. Baseado nos autores de manuais: Baesso e Gonçalves (2003) e Ken Skorseth (2000), será analisado os dispositivos listados abaixo, e suas determinadas localização esquemática é apresentada na figura 11 logo a seguir.

- a) sarjetas;
- b) bigodes;
- c) leiras;
- d) dissipadores de energia;
- e) valetas de proteção;
- f) caixas coletoras;
- g) caixas de retenção;
- h) bueiros.

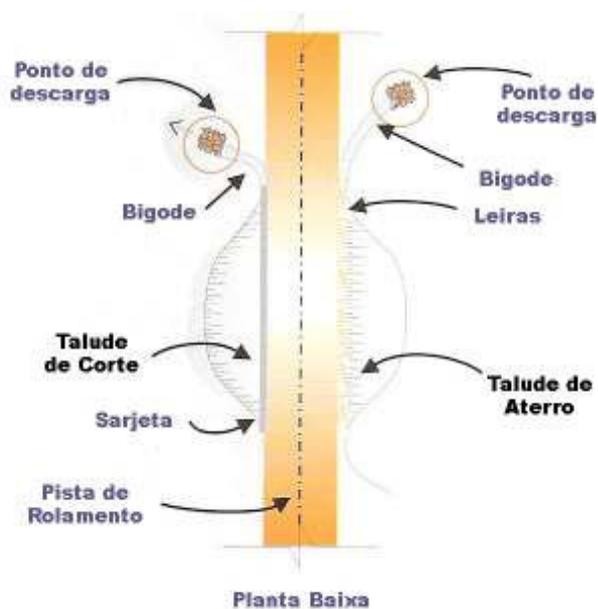


Figura 17: dispositivos para drenagem de rodovias

### 4.1.1 SARJETA

Fazem a coleta das águas de escoamento superficial da pista e dos taludes, e tem como função principal, conduzi-la para um talvegue natural, bueiro ou sangradouro. As figuras 15 e 16 mostram o posicionamento da sarjeta em uma seção transversal e um exemplo de sarjeta em boas condições, respectivamente.

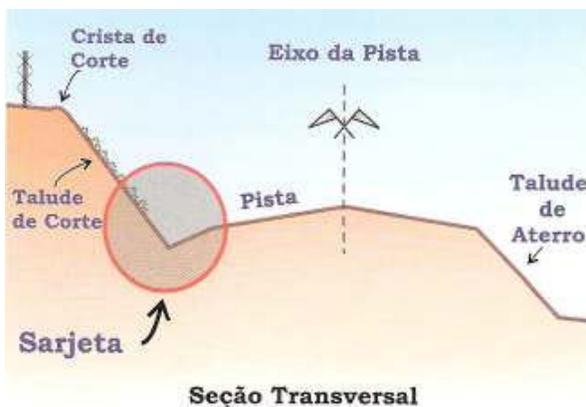


Figura 18: localização da sarjeta em uma seção transversal  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 19: exemplo de uma sarjeta em ótimo estado  
(Fonte: Ken Skorseth, 2000)

#### 4.1.1.1 MANUTENÇÃO DAS SARJETAS:

A seguir segue os passos para a realização da manutenção das sarjetas:

- a) proceder à roçada manual de sua seção, se for o caso;
- b) remover todo o material depositado na linha d'água, transportando-o para local previamente escolhido e localizado fora do corpo da plataforma;
- c) proceder à devida sinalização do local de trabalho desde o início das atividades até sua conclusão.

### 4.1.1.2 RECOMPOSIÇÃO OU APROFUNDAMENTO DA SEÇÃO DA SARJETA

Essa atividade de rotina pode ser executada utilizando dois métodos: Manual ou Mecanizado, listados abaixo.

#### 4.1.1.2.1 MÉTODO MANUAL

O método manual, como o mecanizado que pode ser visto a seguir, tem como objetivo remover o material da sarjeta para obter-se uma seção transversal apresentando forma e declividade correta. Recomenda-se a conformação das sarjetas com a forma triangular fazendo o uso de um gabarito para facilitar a tarefa e obter a seção transversal desejada. Abaixo, a figura mostra um esquema de como deve ser realizado a tarefa:



**Vista em perspectiva**

Figura 20: método manual de reconstrução da sarjeta  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

#### 4.1.1.2.2 MÉTODO MECANIZADO

É recomendado para trechos longos os quais apresentam sarjeta em forma triangular e que possam durante as operações de limpeza e manutenção, permitir uma grande produção diária, sendo as operações de limpeza e manutenção, permitir uma grande produção diária, sendo esta operação tradicionalmente executada através de motoniveladora. A motoniveladora deve

sempre trabalhar no mesmo sentido do fluxo de água nas sarjetas. As figuras abaixo mostram esquematicamente as etapas dessa tarefa:

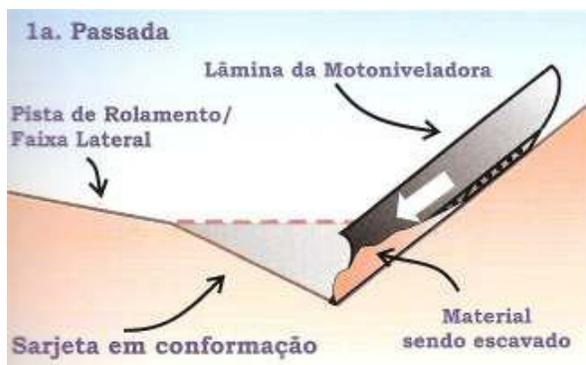


Figura 21: a regularização inicia-se pela face oposta da sarjeta, para alcançar a profundidade desejada e regularizar um lado da sarjeta (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

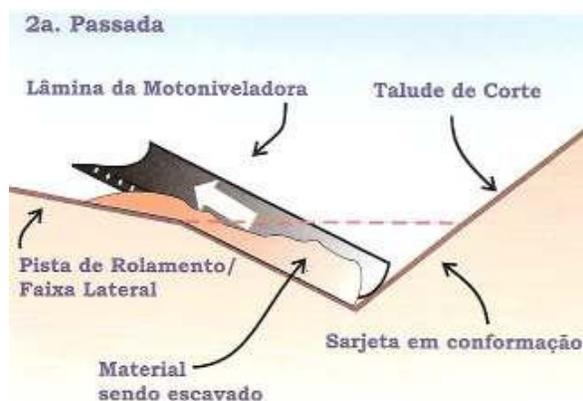


Figura 22: a segunda passada da motoniveladora remove o solo depositado no fundo da valeta, promovendo a regularização da sarjeta (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 23: a terceira e última passada da motoniveladora remove todos os materiais da sarjeta que se acumularam durante o processo (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

#### 4.1.2 BIGODES

São pequenos dispositivos cujo objetivo é o de conduzir as águas das sarjetas e leiras, diretamente para um talvegue natural, caixa de retenção ou outro dispositivo de drenagem.

Devem estar espaçadas em vinte metros nos trechos mais inclinados e a cada quarenta metros nos trechos mais planos. Um exemplo de bigode é indicado na figura 21:

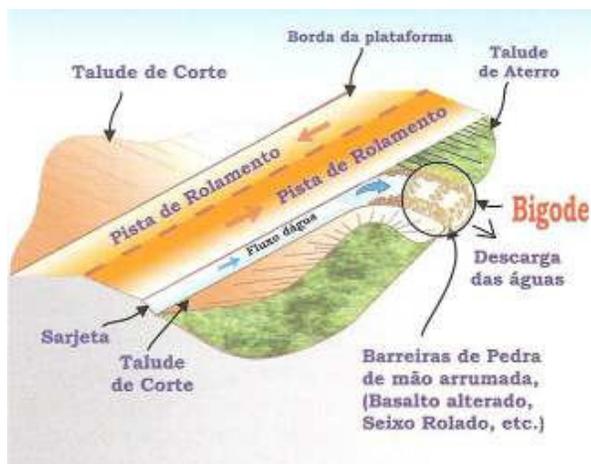


Figura 24: demonstração de como deve estar postado o bigode na estrada. E a presença de pedras no trajeto da água, o que facilita a dissipação de energia da mesma (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 25: bigodes ajudam a manter a estabilidade do volume e velocidade da água nas sarjetas (Fonte: Ken Skorseth, 2000)



Figura 26: motoniveladoras podem criar e fazer a manutenção dos bigodes de forma bastante simples  
(Fonte: Ken Skorseth, 2000)



Figura 27: a motoniveladora criando novo bigode na estrada  
(Fonte: Ken Skorseth, 2000)

#### 4.1.2.1 MANUTENÇÃO DOS BIGODES

O serviço de manutenção dos bigodes é bastante simples, basta adotar as medidas preventivas a seguir:

- a) roçar a vegetação que se instalou no bigode;
- b) desobstruir suas saídas após a chuva;
- c) recompor eventuais erosões que porventura tenham ocorrido ao longo de sua extensão.

#### 4.1.3 LEIRAS

As leiras são dispositivos que conduzem a água para fora da pista de rolamento, mas estão presentes apenas nos trechos constituídos por aterros. São pequenos “montinhos” de material oriundo do corpo dos aterros ou até mesmo do próprio revestimento das estradas. As leiras podem conter vegetação, como arbustos, para ajudar a fixar a mesma na estrada. Abaixo as figuras 22 e 23 ilustram sua localização na pista de rolamento e um exemplo de leira, Respectivamente:

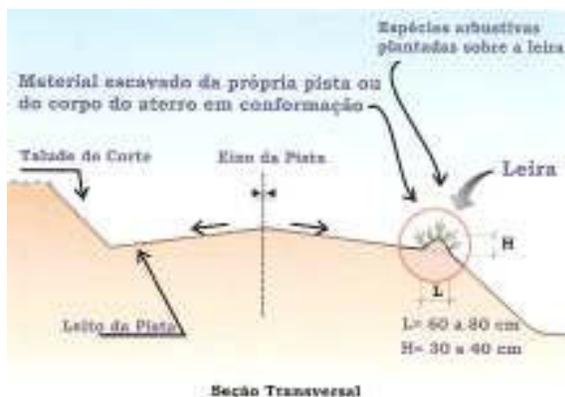


Figura 28: a ilustração acima mostra uma seção transversal que apresenta alguns parâmetros para dimensionamento de uma leira e sua localização na pista de rolamento (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 29: leira muito bem executada. A leira proporciona proteção ao bordo da pista e ao corpo de aterro como um todo. Na ausência dela, teríamos um processo erosivo neste trecho (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

#### 4.1.3.1 MANUTENÇÃO DAS LEIRAS

Ao longo do tempo e pela ação das chuvas, as leiras, caso ainda não possuam vegetação sobre a mesma que as protege, sofrem erosões e precisam ser recompostas para continuar a exercer sua função. Então sua manutenção trata-se de uma tarefa bastante simples: normalmente através da motoniveladora, recompõe o volume necessário para a estabilidade da leira, obedecendo o intervalo de distâncias mostrado na figura 22. Caso a leira seja composta com vegetação, será necessário apenas roçadas periódicas para controlar o crescimento dos vegetais, que se invadirem a pista podem comprometer a segurança dos usuários.

#### 4.1.4 DISSIPADORES DE ENERGIA

As águas superficiais que escoam ao longo da plataforma da estrada são coletadas pelas sarjetas que as conduzem aos pontos de descarga (bigodes, bueiros, etc.). Para evitar processos erosivos, essas águas devem sair rapidamente da plataforma por meio dos pontos de descarga adequadamente localizados no decorrer do traçado.

Entretanto, ocorrem situações em que a plataforma apresenta seção transversal mista (corte/aterro) ou até mesmo cortes nas laterais da pista, o que dificulta ainda mais o escoamento da água e aumenta a velocidade da mesma. O problema pode agravar quando as rampas forem muito extensas e apresentarem declividades elevadas.

Em função disso, deve-se empregar um dispositivo que controle a velocidade da água que percorre a sarjeta de modo a protegê-la contra erosão. Tal dispositivo é chamado “dissipadores de energia” cujo objetivo principal é quebrar a continuidade do regime de escoamento das águas, diminuindo sua velocidade e minimizando seus impactos. Os dispositivos constituem-se de pequenas barreiras construídas ao longo das sarjetas, em espaçamento de acordo com a declividade do greide, com a utilização de pedras de mão, seixo rolado, elevação do solo com proteção vegetal.

Abaixo segue uma tabela que indica o espaçamento dos dispositivos em função da declividade da rampa:

| Grupo de Solos | Potencial de Erosão | Declividade da Rampa (%) |             |
|----------------|---------------------|--------------------------|-------------|
|                |                     | 10 a 15                  | Maior de 15 |
|                |                     | Espaçamento (metros)     |             |
| D              | Muito Alto          | 10                       | 5           |
| C              | Alto                | 15                       | 10          |
| B              | Moderado            | 20                       | 15          |
| A              | Baixo               | 25                       | 20          |

Tabela 3: Espaçamentos em função da declividade da rampa. Fonte: Baesso, 2007



Figura 30: demonstração de dissipadores de energia (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 31: pedras ao longo da sarjeta agindo como dissipadores de energia (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

#### 4.1.5 VALETAS DE PROTEÇÃO

As valetas de proteção são canais abertos próximos à crista dos taludes de corte ou próximos ao pé dos aterros, apresentando seção trapezoidal, retangular ou triangular, dispostos paralelamente ao eixo da estrada, cuja finalidade é a de proteger a estrada contra o efeito erosivo das águas que contribuem à plataforma. A valeta de proteção do pé de aterro é utilizada somente quando a declividade do terreno natural é voltada para o aterro e for superior a 100%. A figura abaixo mostra valetas de proteção em uma seção transversal de uma estrada:

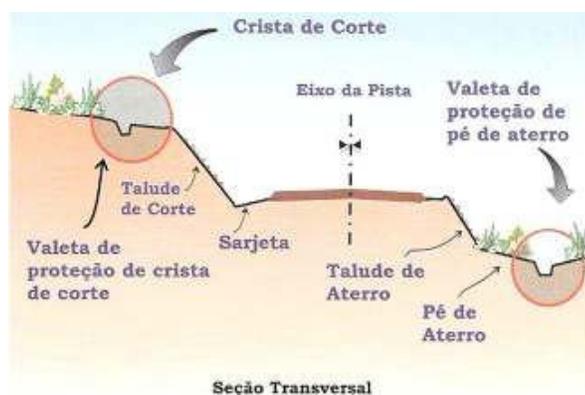


Figura 32: localização de valetas de proteção em uma seção transversal  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

##### 4.1.5.1 MANUTENÇÃO DAS VALETAS DE PROTEÇÃO

Essa atividade consiste dos seguintes passos:

1. caso houver necessidade, roçar a valeta, retirando a vegetação em excesso que possa reter sedimentos e causar redução ou fechamento da seção da valeta;
2. retirar materiais depositados na valeta devido alguma razão e que esteja diminuindo a seção da mesma;
3. verificar a existência de erosões em suas saídas. Caso constatadas a seriedade quanto a intensidade dos impactos causados nestes pontos, implantar dispositivos de contenção em pedra provida da região ao redor. Para assegurar uma melhor capacidade

de sustentação, basta plantar espécies arbustivas ou rasteiras na região lateral da valeta.

#### **4.1.6 CAIXAS COLETORAS**

As caixas coletoras são elementos construídos junto aos bueiros e destinados à captação das águas superficiais que contribuem à plataforma.

São executados nos mais variados tipos com respeito à constituição dos materiais que a compõem, entre eles: alvenaria de tijolos maciços, concreto simples, pedra cortada e pedra de mão argamassada. Os tubos dos bueiros podem variar de 0,4 a 0,6 metros de diâmetro. A figura 28 apresenta um exemplo de caixa coletora:



Figura 33: caixa coletora feita com tijolos, argamassa e os tubos são de concreto

##### **4.1.6.1 MANUTENÇÃO DAS CAIXAS COLETORAS**

A manutenção das caixas é feita periodicamente, principalmente após grandes precipitações, para a retirada de materiais como pedras, solo ou vegetação, que acaba sendo depositada no fundo da caixa. O material retirado deve ser colocado em local adequado para que não retorne mais a caixa. O acúmulo de materiais pode promover o entupimento do bueiro e o escoamento da água fica comprometido.

## 5. EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO PRIMÁRIO

Para garantir um pavimento com boas características para suportar o tráfego, é de extrema importância o cuidado na hora da execução do revestimento primário. Esse procedimento deve ser feito com extrema atenção, pois erros de execução podem ocasionar o aparecimento de imperfeições precocemente, necessitando a realização de serviços de manutenção antes do esperado, resultando mais despesas.

O rol de equipamentos mínimos e necessários à execução de tais operações constitui-se de:

- a) trator com esteiras (em alguns casos);
- b) pá carregadeira de pneus;
- c) caminhões basculantes;
- d) motoniveladora dotada de pelo menos 135 Hp de potência;
- e) rolos compactadores;
- f) caminhão pipa;
- g) veículos leves de apoio.

Algumas medidas iniciais, própria de planejamentos, devem ser tomadas antes do início dos serviços de modo que eles sejam executados de forma mais rápida possível causando mínimos transtornos para o tráfego de passagem, quais sejam:

- a) seleção prévia do material de jazidas a ser utilizado;
- b) checagem das condições do lote de equipamentos necessários;
- c) providências para o abastecimento geral como: graxa, água, óleo para caminhões e equipamentos;
- d) providências visando dotar ao pessoal envolvido nas atividades de acomodações próximas ao canteiro de serviços caso os mesmos estendam-se por mais de um dia;

e) implante da sinalização de tráfego e composta de dispositivos tais como: barreiras, cones, bandeiras, etc.

## 5.1 PREPARO DA PLATAFORMA

Esta fase dos serviços compreende o re-estabelecimento da condição transversal ideal para a pista de rolamento, cuja declividade do eixo central da estrada aos bordos deve ser de 4%.

As faixas laterais (também conhecidas como shoulder) que contribuem para o escoamento da água para as sarjetas também devem ser recompostas, com uma declividade suavemente maior àquelas propostas para a pista de rolamento.

Esse cuidado com o preparo da plataforma permite uma melhor eficiência da drenagem.

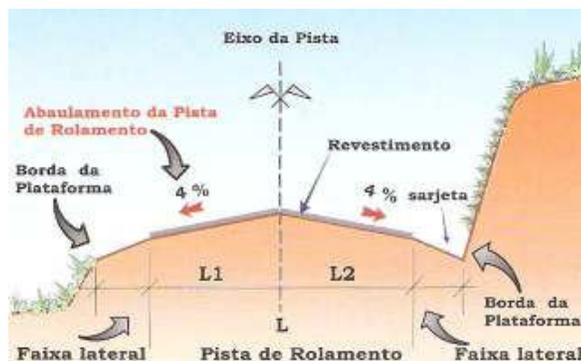


Figura 34: aspecto ideal da plataforma para receber a camada de revestimento  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

As sarjetas necessitam uma atenção especial na forma de sua reconformação em casos de irregularidades ou materiais sedimentados em sua seção de vazão. Tarefa simples, por meio do bico da lâmina da motoniveladora, a sarjeta pode ser facilmente recomposta.

Pontos frágeis no subleito, no que diz respeito às condições de suporte dos materiais, requerem atenção redobrada, sugerindo por vezes sua remoção e substituição por solos de melhor qualidade.

## 5.2 DEPÓSITO DO MATERIAL NA PISTA

O material de revestimento deve ser depositado na área central da pista ou nos bordos, dependendo da largura da plataforma.

Caso haver presença maciça de agregados graúdos na mistura, proceder a escarificação (será visto mais adiante neste capítulo) branda do leito da pista. Abaixo as figuras mostram o material sendo depositado na estrada, onde posteriormente será realizado o espalhamento deste.



Figura 35: caminhão basculante despejando material ao longo do trajeto  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 36: caminhão basculante operando  
(Fonte: Cristovam Silva, 2000)



Figura 37: pilhas de basalto alterado para ser utilizado como camada de revestimento.  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 5.3 ESPALHAMENTO NA PISTA

Após o depósito do material para revestimento é necessário o espalhamento do material homogêneo sobre a pista, e ao mesmo tempo, remover pedras de porte indesejável ou algum outro material estranho. E, havendo a necessidade, pode-se realizar conjuntamente a esse processo, a irrigação do material por um caminhão tanque. O objetivo disso é obter um teor de umidade adequado para a compactação.



Figura 38: caminhão basculante despejando material para revestimento e a motoniveladora espalhando (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 39: caminhão tanque umedecendo a mistura (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

### 5.3.1 UMIDADE DA MISTURA

Para a verificação da umidade da mistura, é sugerido a realização de teste expedito, o qual constituem-se os seguintes procedimentos:

- a) toma-se um punhado do material e fa-se uma leve pressão com os dedos sobre a palma da mão por alguns segundos;
- b) ao abrir a mão e a mistura tender a se desmanchar, ela está seca; ao contrário, se a mesma apresentar características lamacenta, está muito úmida; caso a mistura apresentar a marca dos dedos, o teor de umidade apresenta condições ideais de uso.

A figura 40 mostra esquematicamente o teste expedito.

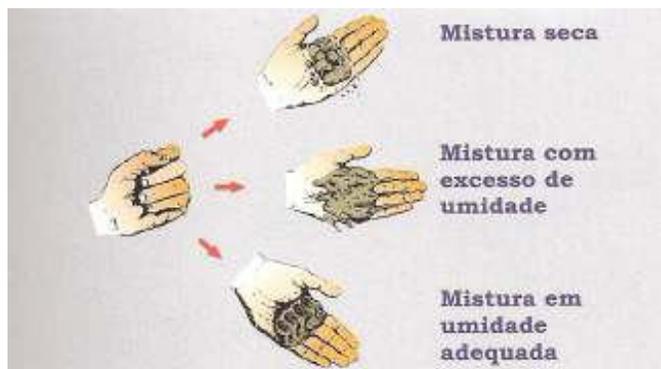


Figura 40: teste expedito que deve ser realizado no campo, para verificação do teor de umidade do material (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

Caso existir a necessidade de umedecer mais o material, deve-se utilizar o caminhão pipa para lançar água no material. Por outro lado, a operação contrária destinada a redução do teor de umidade da mistura através do revolvimento, utilizando para isto o escarificador da motoniveladora, ou ainda por uma grade de discos caso esteja ao alcance.

Por último, deve ser verificado a declividade transversal da pista. Caso não seja alcançada a declividade de 4%, a regularização deve ser repetida.

Após a obtenção dos níveis desejados de declividade, deverá ser iniciada o último passo da operação de execução de revestimento primário: a compactação.

## 5.4 COMPACTAÇÃO DA CAMADA

O material espalhado deverá ser compactado, começando no sentido dos bordos para o eixo central da pista. Nas curvas, a compactação deverá iniciar-se no sentido do bordo interno para o bordo externo. A máquina que compacta o solo deve passar quantas vezes forem necessárias até que o material fique visivelmente bem compactado e apresente boas características de trafegabilidade. Todavia, será necessário contar com a experiência do pessoal de campo, juntamente com alguns testes expeditos para controlar de forma mais eficiente tais tarefas.

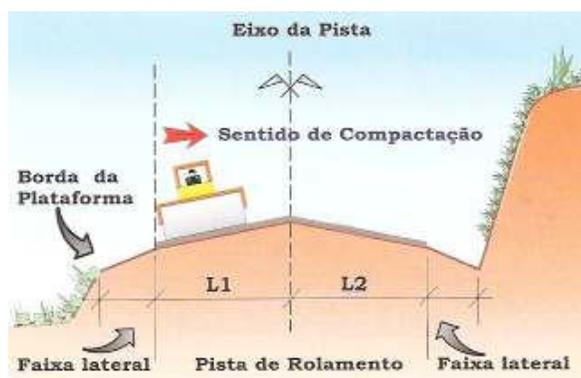


Figura 41: esquema que mostra o serviço de compactação: iniciando pelos bordos em direção ao eixo central da pista (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

Durante o processo de compactação o material não deve ser irrigado, para evitar que partes deste fique aderido ao rolo compressor.

Em casos de serviços de maior porte, recomenda-se a realização de testes de compactação em alguns trechos, para otimizar tempo e economia. Abaixo segue o procedimento que deve ser adotado para realização do teste:

- a) após compactada a superfície, testar a passagem, em pouca velocidade, de caminhões basculantes carregados;
- b) caso o pavimento resista aos esforços gerados e não apresentem deformações na pista, a compactação está aprovada. Caso contrário, dar continuidade a compactação, e após repetir o teste novamente.

Abaixo as figuras mostram um rolo compressor em atividade, e ao lado, uma estrada bem compactada:



Figura 42: Rolo compactador atuando no revestimento  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 43: estrada bem compactada  
(Fonte: Ken Skorseth, 2000)

## **6. A OPERAÇÃO DA MOTONIVELADORA NAS ATIVIDADES ADICIONAIS DE MANUTENÇÃO**

Também conhecida pelo nome de patrol, a motoniveladora é uma máquina de múltiplas aplicações. Constitui-se em instrumento indispensável a quase todos os serviços envolvendo terraplenagem de um modo geral. É uma máquina complexa, sua operação requer boa coordenação do operador, exigindo, por extensão, certa habilidade ao operá-la. Uma boa performance dos operadores é obtida após longas horas de treinamento e de trabalho com a máquina (Baesso e Gonçalves et al, 2003).

### **6.1 COMPONENTES MAIS IMPORTANTES DA MOTONIVELADORA**

Além da checagem operacional com referência aos itens de segurança, combustível, lubrificantes, ar, etc., a motoniveladora precisa de uma checagem adicional sobre as suas ferramentas de trabalho mais importantes. São constituídas dos componentes citados logo abaixo e explicados a seguir:

a) bordas cortantes;

b) escarificador;

c) pneus do eixo tandem;

d) lâmina.

### 6.1.1 BORDAS CORTANTES

As dimensões mais usuais para bordas cortantes são de: 203 x 16 mm (12 pés), 203 x 19 mm (14 pés). E, como as bordas cortantes gastam mais no centro da lâmina no decorrer de sua utilização, após algum tempo pode-se invertê-las de maneira que o centro fique mais alto conforme poderá ser observado nas figuras 44 e 45.

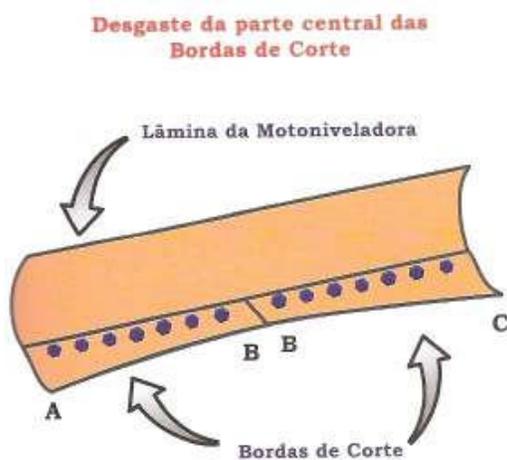


Figura 44: bordas cortantes desgastadas no centro  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

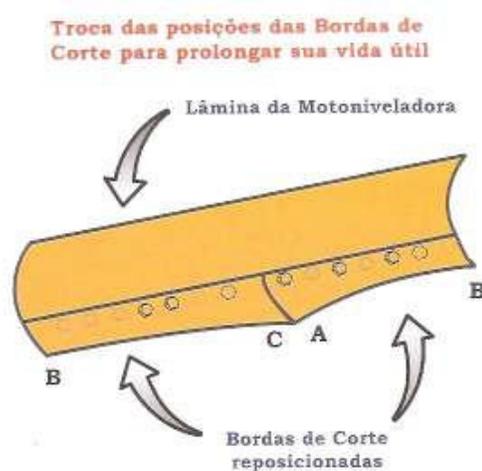


Figura 45: bordas cortantes invertidas  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 6.1.2 ESCARIFICADOR

Os escarificadores são acessórios que podem ser montados na frente, no meio ou na parte de trás da máquina, quanto mais para trás for instalado, maior será a força de escarificação impelida pela motoniveladora.

A operação de escarificação é particularmente importante quando se quer melhorar a trabalhabilidade de pistas de rolamento nas seguintes situações:

- a) preliminarmente às operações de corte, onde as superfícies apresentam-se extremamente duras e que podem acarretar sobrecarga de trabalho para a lâmina da motoniveladora e demais componentes;
- b) revolvimento das camadas saturadas e sua adequação à umidade ótima de compactação;
- c) superfícies de rolamento apresentando intensa perda de frações finas de agregados;
- d) onde a camada de material denote extrema rugosidade e presença de pedras de tamanho excessivo.

As imagens 46 e 47 favorecem a compreensão de sua utilização.



Figura 46: escarificador localizado na traseira da motoniveladora (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 47: escarificador em ação (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

### 6.1.3 PNEUS

Em pesquisa realizada por fabricantes, concluiu-se que os pneus consomem em média, cerca de 54% dos custos de manutenção desses equipamentos. Nesse sentido serão abordados adiante alguns procedimentos a serem adotados pelo pessoal responsável por serviços envolvendo motoniveladoras.

Os fabricantes produzem os pneus com três tipos de sulcos: o normal, profundo e superprofundo. Os primeiros destinam-se às máquinas de transporte rápido que percorrem

grandes distâncias em pista bem conservadas. Os pneus de sulco profundo são empregados em carregadeiras frontais. Já os pneus de sulco superprofundo são projetados para equipamentos de movimentação lenta e que atuam normalmente em solos muito abrasivos. Abaixo uma especificação dos sulcos.



Figura 48: especificação de sulcos nos pneus (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

Experiências realizadas por fabricantes revelam que a vida útil de um pneu pode ser diminuída caso o mesmo não esteja devidamente calibrado. A durabilidade ideal de 100% somente é alcançada se for observada a pressão recomendada pelo fabricante na realização das tarefas sob o uso do equipamento. A figura 49 mostra os efeitos devido as diferenças de pressão nos pneus e como ele estar para seu uso.



Figura 49: pressões internas nos pneus de motoniveladoras (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

#### 6.1.4 LÂMINAS

As lâminas são fabricadas com aço de alto carbono, extremamente resistentes ao desgaste. As mais usuais são: 12 e 14 pés, pois permitem o rodízio das bordas de corte. A preferência pelos engenheiros de campo é o uso de lâminas de 14 pés, devido sua melhor performance.

As bordas cortantes ou lâminas de corte podem ser afiadas (em cunha) ou planas. Ambas podem ser usadas para cortar ou espalhar os materiais, dependendo apenas do ângulo de ataque da mesma. O ângulo de ataque exato é diferente para cada motoniveladora,

dependendo da borda de corte utilizada. Na operação de corte, a lâmina deverá ser inclinada para trás como sugere as figuras 50 e 51.



Figura 50: posição da lâmina de corte  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 51: lâmina em posição de corte  
(Fonte: Joe K. Parker, 2000)

Um ângulo de ataque muito grande faz a lâmina aprofundar demais, aumentando a energia necessária. Por outro lado, um ângulo de ataque muito pequeno faz a lâmina pular, produzindo pequenos calombos. O ângulo de ataque deverá ser testado a cada operação.

De forma geral, consegue-se misturar melhor a lâmina quase na vertical, na forma como indicada na figura 52 e 53.



Figura 52: posição da lâmina para mistura de materiais  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 53: motoniveladora fazendo a mistura dos materiais  
(Fonte: Joe K. Parker, 2000)

Durante as operações de espalhamento de materiais, a lâmina deverá estar inclinada para frente, num ângulo de ataque situado no primeiro quadrante. Entre as posições de corte e de espalhamento, existe uma série de ângulos de ataque possíveis. Por exemplo, ao misturar-se o material de revestimento, o ângulo de ataque dependerá da velocidade da máquina. As figuras 54 e 55 sugerem o comportamento da lâmina para a execução do espalhamento.



Figura 54: posição da lâmina para espalhamento  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 55: motoniveladora fazendo espalhamento dos materiais (Fonte: Ken Skorseth, 2000)

Em situações em que é necessário o uso da motoniveladora para regularização de uma curva vertical, a lâmina deverá ser abaixada de forma a atingir a superfície da pista, caso de curvas verticais côncavas. Em curvas convexas, a operação deverá ser feita de forma contrária, levantando-se a lâmina da motoniveladora. A visualização das figuras abaixo favorece a compreensão.



Figura 56: operação da motoniveladora em curva côncava  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 57: operação da motoniveladora em curva convexa  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

## 6.2 RECONFORMAÇÃO DE TALUDES

Uma das atividades que pode ajudar na manutenção das estradas de revestimento primário é a reconformação dos taludes. Ao executar essa tarefa, as rodas dianteiras da motoniveladora são inclinadas para o lado do talude a fim de neutralizarem a força oposta da lâmina. Há uma tração dos pneus traseiros evitando-se assim sua patinação. A operação é simples mas requer muita atenção do operador da motoniveladora. Abaixo segue alguns exemplos de taludes sendo reconformados.



Figura 58: posição da lâmina para espalhamento  
(Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)



Figura 59: motoniveladora reconformando talude  
(Fonte: Ken Skorseth, 2000)

## **6.3 REGULARIZAÇÃO OU PATROLANDO A PLATAFORMA**

Essa atividade tem como objetivo melhorar as condições da superfície de rolamento das estradas, restringindo-se à correção de pequenas irregularidades na forma de panelas e corrugações na superfície da pista de rolamento. Apresenta uma vida útil bastante curta e, por esse motivo, recomenda-se que a plataforma deva ser bem trabalhada, provida de abaulamento executado em padrões recomendados pela boa técnica. Garantirá, assim, uma maior durabilidade às condições operacionais da pista. A regularização consiste nas seguintes fases:

- a) operação de arraste;
- b) operação final de espalhamento.

### **6.3.1 OPERAÇÃO DE ARRASTE**

A operação de regularização da plataforma ou patrolagem pode ser considerada efetiva somente quando existir material de revestimento suficiente. Sua característica marcante é a manutenção das configurações geométricas de abaulamento da pista de rolamento. Normalmente é realizada em duas passadas e no sentido da mão de tráfego por razões de segurança.

A primeira passada da motoniveladora deve ser feita em velocidades variando na faixa de 3 a 5 km/h, com sua lâmina posicionada em ângulo de 30 ou 45 graus regularizando a superfície por meio de um leve arraste dos materiais, promovendo assim, a eliminação das irregularidades. Em função dessa operação, a lâmina da motoniveladora formará uma leira dos materiais removidos posicionando-a longitudinalmente nas proximidades do eixo da pista de rolamento e na mesma faixa de tráfego onde os trabalhos se iniciam.

Em seguida, tais operações serão repetidas para a faixa de tráfego contrária, enfatizando-se que deverão iniciar-se pela borda da pista. O número de passadas depende da largura da plataforma e, para o caso de pistas de rolamento mais amplas, tais operações devem prescindir de quatro passadas do equipamento.

A figura 56 sugere na fase 1 indicada no final do item 8.3.2, o que foi proposto acima, com as duas passadas do equipamento no pavimento.

### 6.3.2 OPERAÇÃO FINAL DE ESPALHAMENTO

Concluída a primeira fase da regularização, iniciam-se as atividades de espalhamento das leiras de material que foram formadas. Nessa operação em particular, a lâmina da motoniveladora deverá posicionar-se numa angulação de trabalho em faixa variando de 15 a 30 graus, situando-se próxima da superfície com um ângulo de ataque negativo, ou seja, com sua parte superior posicionada mais a frente, de acordo com figura 50 apresentada anteriormente.

A figura 60 apresenta a fase 1 e 2 do processo de regularização do pavimento.

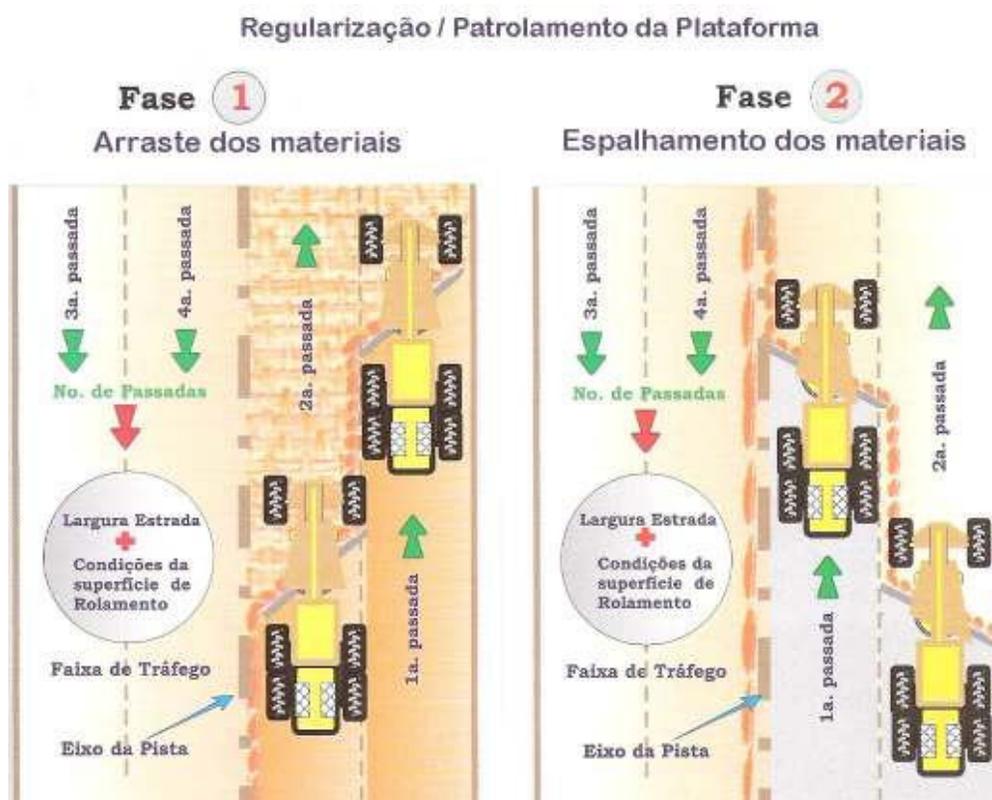


Figura 60: fase 1 e 2 do processo de regularização do pavimento (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

## 6.4 RECONFORMANDO A PLATAFORMA

Essa operação reserva alguma com as atividades de regularização da pista de rolamento descrita anteriormente, diferenciando-se pelo maior nível de seriedade dos danos apresentados na plataforma. Nesse item, a reconformação da plataforma objetiva a eliminação das irregularidades da pista as quais atingem a camada de revestimento bem como sugere uma intervenção junto à drenagem superficial objetivando sua restauração. Adicionalmente, a camada de revestimento deverá ser trabalhada novamente na forma de revolvimento dos materiais que a compõem, sendo o momento apropriado para a reintegração à superfície de rolamento de agregados finos que foram perdidos. Nas figuras abaixo, temos duas estradas rurais cuja pista de rolamento requer uma intervenção no sentido de recomposição de sua configuração transversal.

Os procedimentos apropriados para essa operação recomendam a trabalhabilidade desses materiais em teores ótimos de umidade, uma vez que eles estarão sujeitos a um revolvimento e a uma aeração total de forma a possibilitar, na fase posterior, os serviços de compactação, a obtenção de níveis satisfatórios de preservação da camada de revestimento. Preliminarmente, algumas particularidades de ordem operativa são recomendadas para essa atividade na forma como segue:

- a) a passada inicial de corte é crítica porque dela se controla a aparência final da superfície da pista de rolamento;
- b) em havendo inobservância da correta profundidade inicial de corte, corre o sério risco de não ser completamente removido nessa fase dos serviços, retornando após a compactação dos materiais de revestimento pela ação do tráfego pesado;
- c) a passada de corte pode requerer mais que uma passada da motoniveladora;
- d) antes de serem iniciadas as operações de corte para a reconformação da plataforma, deverá ser redefinida a sua largura e promovida a recuperação do material estocado nas áreas marginais para execução de uma nova mistura;

A figura 56 sugere na fase 1 indicada no final do item 8.3.2, o que foi proposto acima, com as duas passadas do equipamento no pavimento.

## **6.4.1 FASES DA OPERAÇÃO DE RECONFORMAÇÃO DA PLATAFORMA**

Nesse item, todas as fases da operação de reconformação da plataforma será citada progressivamente, e ao final deste, uma figura mostrará as quatro etapas para ajudar a compreensão do leitor.

### **6.4.1.1 CORTE E DESLOCAMENTO**

Nessa primeira fase, os materiais deverão estar úmidos, mas não saturados para evitar a perda de finos. Os materiais a serem recuperados por conta da incorporação à pista de faixas marginais visando a redefinição da plataforma não devem conter argila saturada para não contaminar os materiais de revestimento. O ângulo de avanço da lâmina deve ser o maior possível de forma a possibilitar a transferência de maior potência de forma a possibilitar a operação de corte, permitindo desse modo que, os materiais removidos possam deslocar-se mais rapidamente ao longo da mesma. Com respeito ao ângulo de ataque da lâmina, o mesmo deve situar-se na posição de corte, conforme citado anteriormente no item 6.1.4.

### **6.4.1.2 REVOLVIMENTO OU REPROCESSAMENTO (MISTURA)**

Essa fase destina-se ao restabelecimento do equilíbrio de finos, bem como demais frações de agregados na composição da mistura do material de revestimento, se necessário. Uma boa mistura é obtida levando-se em conta alguns parâmetros de operação:

- a) velocidade da motoniveladora;
- b) angulação longitudinal da lâmina;

c) correto ângulo de ataque.

Caso exista uma quantidade muito grande de material para ser processado, a mistura poderá ser feita em duas etapas. A primeira, misturando e espalhando, servindo dessa maneira de base destinado a segunda mistura.

A melhor performance da motoniveladora para esse serviço é obtida posicionando-se a lâmina de forma centrada em relação ao eixo tandem, como mostra a figura 49.

Com respeito ao ângulo de ataque da lâmina, o mesmo deve situar-se na posição de corte, conforme citado anteriormente no item 6.1.4.

### **6.4.1.3 ESPALHAMENTO**

Essa fase redistribui na pista de rolamento, e eventualmente, nas faixas laterais o material de revestimento que foi processado na fase anterior. É recomendável que o espalhamento se processe em duas operações, caso contrário a lâmina da motoniveladora poderá trabalhar sob sobrecarga.

Ângulo transversal entre 10° e 20° e o ângulo de ataque negativo, parte superior da lâmina a frente para proporcionar alguma pressão de compactação sobre o material, como já foi citado na figura 51.

### **6.4.1.4 COMPACTAÇÃO**

Alguns materiais permitem uma boa compactação sem o uso de equipamentos específicos. Esse é o motivo pelo qual, em alguns casos, o trabalho final da motoniveladora executado sob os moldes anteriormente descritos, aliado à ação do próprio tráfego de veículos que circulam pela estrada são capazes de permitir a obtenção de superfícies bastante estáveis. Em outros casos, dadas as características de alguns materiais, considerando sua constituição granulométrica e espessura de camada os mesmos necessitam receber uma maior energia de compactação para que possam ser obtidos níveis de densidade compatíveis com seu uso para

o que é recomendado o emprego de rolos de compactação. Em regra geral é sempre importante poder contar com sua utilização tendo em vista que tais equipamentos permitem a obtenção de uma maior vida útil às superfícies e camadas sob trabalho.

As figuras 61 e 62 mostram detalhadamente como deve ser feito a reconformação da plataforma.

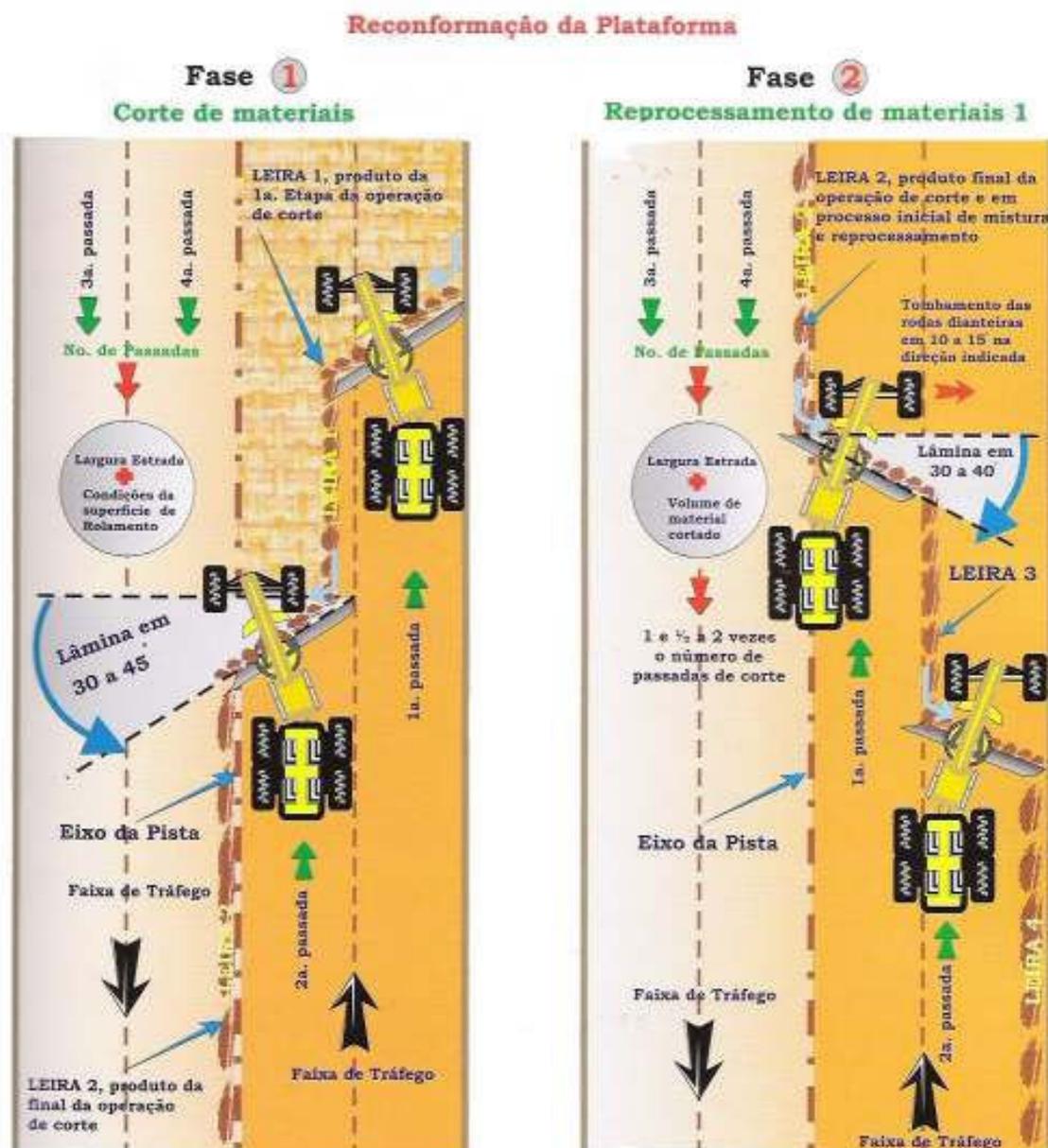


Figura 61: fase 1 e 2 do processo de regularização do pavimento (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

## Reconformação da Plataforma

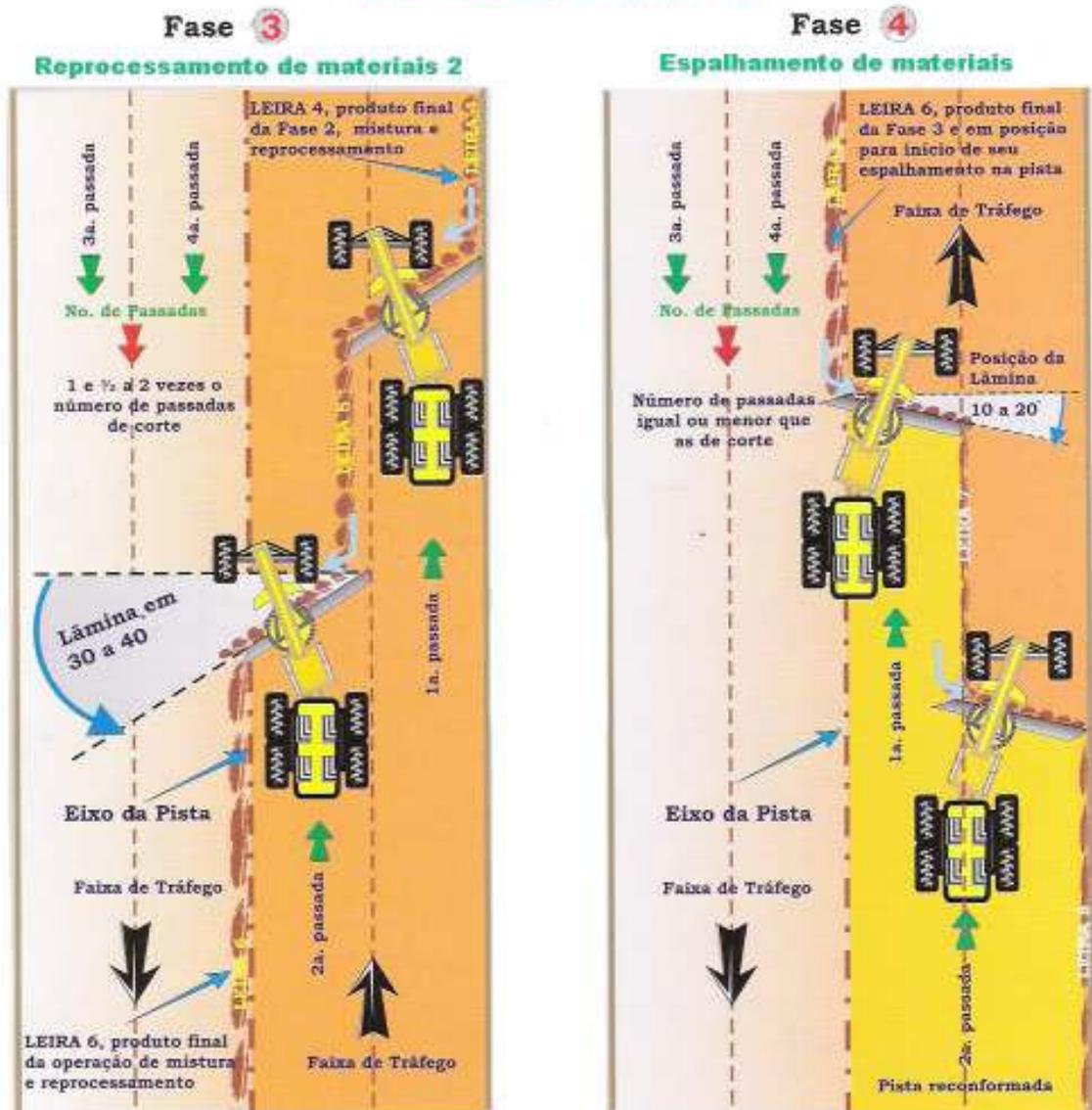


Figura 62: fase 3 e 4 do processo de regularização do pavimento (Fonte: Baesso e Gonçalves, 2003)

## **7. ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONAR OS DEFEITOS MAIS COMUNS EM ESTRADAS RURAIS**

O presente capítulo cita algumas alternativas para solucionar os problemas em estradas rurais vistos no item 3.2 (Defeitos mais Comuns em Estradas Rurais), utilizando todo o conteúdo visto até então neste manual.

### **7.1 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: SEÇÃO TRANSVERSAL IMPRÓPRIA**

A seção transversal deve ser trabalhada com abaulamento da faixa de tráfego em percentual de declividade da ordem de 4% de maneira a prover o ordenamento da condução das águas, sem o que a superfície da pista sofrerá um processo progressivo de deterioração mesmo em casos de pequenas precipitações e sendo dotada de revestimento.

### **7.2 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: DRENAGEM INADEQUADA**

O equacionamento de tais problemas, caso da formação de poças d'água sobre a pista, pode ser resolvido de maneira bastante simples, bastando para isso a recomposição da drenagem superficial (sarjetas), o que pode ser realizado por meio do uso do bico de lâmina da motoniveladora. Neste manual já consta um capítulo especial somente para drenagem, citando seus principais dispositivos e como manter os mesmos.

### **7.3 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: CORRUGAÇÕES**

Um material de revestimento apresentando composição adequadamente balanceada, contando com a presença de fração plástica que lhe confere poder de aglutinação à mistura resiste à formação de corrugações.

Teoricamente, qualquer tipo de revestimento desenvolve leves níveis de corrugações sob a ação do tráfego e o segredo consiste na manutenção da mistura da camada de revestimento em proporções ideais. Em condições de clima seco o operador da motoniveladora deve simplesmente regularizar a pista, enquanto que em presença da umidade, o modo correto de intervenção sugere um revolvimento da superfície por meio de um leve corte em espessura variando para mais ou para menos de uma polegada de profundidade abaixo da cota inferior das depressões.

Sequencialmente, o operador deve realizar a mistura e espalhamento dos materiais que foram objeto de corte. Por último, na ausência de rolos compactadores apropriados, o que seria ideal, a motoniveladora executa o trabalho de compactação.

#### **7.4 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: EXCESSO DE POEIRA**

Os métodos de aplicação dos redutores de pó aplicados no estudo em questão, os mesmos consistiram das seguintes etapas:

- a) escarificação da camada final da pista de rolamento;
- b) regularização e reconformação da superfície escarificada, envolvendo passadas da motoniveladora objetivando o revolvimento e mistura dos materiais;
- c) aplicação do redutor pelo método de espargimento sob alta pressão em quantidades suficientes ao efetivo controle da formação de pó (taxa de 2,3 litros/m<sup>2</sup>);
- d) procedimentos finais de operação envolvendo o abaulamento final da superfície de rolamento, compactação na umidade ótima e restauro da drenagem superficial.

#### **7.5 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: BURACOS**

Dependendo do nível de ocorrência dos buracos em um determinado segmento de estrada rural, a estratégia de ataque pode envolver desde uma simples operação de tapa-buraco, até o emprego da motoniveladora para reconformação da superfície de rolamento.

No primeiro caso, a tarefa de eliminação das depressões é rápida, bastando para tanto a execução de uma leve regularização por meio da motoniveladora, a qual por meio de “arraste” realizará uma espécie de nivelamento da superfície de rolamento, sem descuidar quanto à configuração do abaulamento ideal para a pista de rolamento apresentando a presença de pequenos buracos distribuídos de forma mais esparsa, recomenda-se o seu preenchimento de forma manual através da utilização de material selecionado.

Quanto ao segundo caso, ou seja, àquele envolvendo a recomposição de trecho apresentando elevada taxa de buracos, a atividade sugere o envolvimento da motoniveladora na operação, onde, através de corte com sua lâmina, a uma profundidade não menor que àquela das depressões, o equipamento realiza uma reconformação da plataforma procedendo a um revolvimento e mistura dos materiais. Passadas subseqüentes executam o espalhamento do material que foi cortado, concomitante com o acabamento final da superfície de rolamento na forma de seu abaulamento.

## **7.6 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: TRILHA DE RODA**

Estratificaremos as intervenções para seu equacionamento sob três situações bastante distintas, as quais tomam por base o nível de severidade do problema sob enfoque da seguinte forma:

- a) em casos de menor nível de severidade das trilhas de roda que se formaram, analisadas preliminarmente as causas que as originaram, a simples regularização da plataforma pela motoniveladora pode prover uma maior vida útil à superfície de rolamento;
- b) o segundo caso, pode envolver a regularização e conformação da pista de rolamento, envolvendo a adição de materiais para balanceamento da mistura, seu espalhamento e posterior compactação com equipamentos adequados;
- c) a última situação, caso de trilhas de roda mais profundas e onde se constate a presença de elevados níveis de umidade na camada de revestimento ou superfície do sub-leito ou base, recomenda-se uma intervenção mais radical, envolvendo: serviços

de drenagem; recomposição da área afetada através da substituição de solos ou adição de materiais com posterior revolvimento e aeração para compactação final na umidade ótima; e execução de camada de revestimento.

## **7.7 SOLUÇÕES PARA O DEFEITO: PERDA DE AGREGADOS**

A forma de ataque deste tipo de defeito pode presumir a adoção dos seguintes procedimentos:

- a) regularização pura e simples da superfície de rolamento;
- b) regularização envolvendo a adição de fração de material ausente na mistura ou, caso o nível de desagregação se mostre intenso;
- c) corte de toda a camada, adição de frações de agregados ausentes, mistura, umedecimento em teores ótimos, reconformação da pista e compactação final.

## REFERÊNCIAS

BAESSO, D. P.; Gonçalves, F. L. (2003) Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção. Florianópolis/SC.

ARNOLD, G.P. (1993). Estudo do comportamento mecânico de basaltos alterados do Rio Grande do Sul para emprego em pavimentos rodoviários. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

NÚÑEZ, W.P. (1997) Análise Experimental de Pavimentos Rodoviários Delgados com Basaltos Alterados. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OLIVEIRA, J.A. (2000). Materiais alternativos de pavimentação a necessidade de praticá-los. In:II Simpósio de prática de engenharia geotécnica da região sul, Porto Alegre/RS.

LEMOS, R. C.; Santos, R. D. (1982). Manual de descrição e coleta de solos no campo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995). Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. Editora Villibor. São Paulo/SP.

SKORSETH, Ken, et SELIM, Ali A. (2000). Gravel Roads: maintenance and design manual. South Dakota Local Transportation Program – SD LTAP, US Department of Transportation, Federal highway Administration – FHWA.