

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E  
GEOCIÊNCIAS

Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução  
de Santa Maria (CISM).

Dissertação de Mestrado

Graciele Carls Pittelkow

Santa Maria, RS, Brasil  
2013

# EROSÃO EM ESTRADA DE TERRA NO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)

Graciele Carls Pittelkow

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração em Meio Ambiente, Paisagem e Qualidade Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Andréa Valli Nummer

Santa Maria, RS, Brasil  
2013



Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

EROSÃO EM ESTRADA DE TERRA, NO CAMPO DE INSTRUÇÃO  
DE SANTA MARIA (CISM)

elaborada por  
Graciele Carls Pittelkow

como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Andréa Valli Nummer, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr (UFSM)  
(Co-orientador)

Mauro Kumpfer Werlang, Dr (UFSM)

Elsbeth Léia Spode Becker, Dr<sup>a</sup> (UNIFRA)

Santa Maria, 28 de novembro de 2013.

## DEDICATÓRIA

À família e em especial aos meus pais Ilson e Nelci, em especial à minha irmã Juliane; pela confiança, perseverança e credibilidade depositadas em mim.

À minha avó Emelda Dalia Juchem Carls (*in memoriam*), e ao meu avô Osvino Carls pelos conselhos e incentivos.

Aos professores, colegas e principalmente, aos verdadeiros amigos, por me acompanharem nessa caminhada

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Naturais e Exatas, ao Departamento de Geociências e ao curso de Pós-graduação em Geografia e Geociências (PPGEO).

Aos professores e funcionários do PPGEO, pelos conselhos, ajuda e ensinamentos prestados ao longo do curso. E em especial a minha professora orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Valli Nummer pelas orientações e ajuda oferecida ao longo dos cinco anos de trabalhos no Lageolam; e também ao meu co-orientador o Prof<sup>o</sup> Dr. Rinaldo J. B. Pinheiro.

Agradeço aos colegas da Engenharia Civil, Lucas R. Debus, Lennon F. Tomasi, Daniel Moraes e Elisa Porto, pela enorme ajuda na coleta de amostras e realização dos ensaios. Também agradeço ao técnico de laboratório Rômulo, ao Prof. Dr. Romário Trentin; assim como toda a equipe do Lageolam, pelas discussões e trocas de ideias ao longo do período de elaboração da dissertação.

Agradeço à minha irmã, Juliane C. Pittelkow, pelos constantes conselhos, amizade e paciência. Aos meus pais, Ilson e Nelci, toda a gratidão possível por apoiar minha vida acadêmica e não medirem esforços pela minha felicidade. E sem dúvidas ao meu avô Osvino Carls, grande presença na formação de meu caráter.

Agradeço aos inúmeros amigos e conhecidos, que compartilharam risos e choros, ao longo da labuta acadêmica, não os citarei, pois corro o risco de falhar com algum deles.

Agradeço por fim, ao Exército Brasileiro por permitir a pesquisa em uma de suas áreas e aos militares do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM), em especial ao Tenente Ayrton Cavalheiro pela sua disponibilidade em relação aos trabalhos de campo.

"a ciência é o ópio do povo"  
*Marilena Chauí.*

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências  
Universidade Federal de Santa Maria

### **EROSÃO EM ESTRADA DE TERRA, NO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)**

**AUTOR: GRACIELE CARLS PITTELKOW**

**ORIENTADOR: ANDREA VALLI NUMMER**

**Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de novembro de 2013.**

A erosão é um fenômeno geológico natural que ocorre nas camadas mais superficiais da Terra, mas que pode ser acelerada pelo homem principalmente, quando a utiliza de forma inadequada. Uma grande perda de solo pela erosão se dá nas estradas de terra o que foi diagnosticado na área do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) onde ocorrem treinamentos militares com blindados e outras viaturas de grande porte. Este trabalho teve como objetivo principal compreender como se estabeleceram e de que forma se desenvolvem os processos erosivos em uma estrada de terra localizada no CISM e como objetivos específicos buscou compreender a forma como a área utilizada; o tipo de material envolvido e sua resistência ao processo erosivo utilizando para isto ensaios de caracterização física e de erodibilidade. Os resultados desta pesquisa poderão contribuir no planejamento integrado das atividades de manutenção e construção das estradas do CISM. Esta pesquisa iniciou com uma revisão teórica sobre a temática, foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento da área, descrição das feições erosivas e coleta de amostras que foram ensaiadas para caracterização física e de erodibilidade. Os pontos amostrados da estrada foram: a crosta, E2, E6 e E7 e da Jazida os horizontes B e C. Os ensaios de erodibilidade foram realizados com as amostras E2, E7 e Crosta e comparados aos dados da jazida obtidos por Sant'Ana, 2012. A estrada encontra-se sobre uma área de terraço aluvial onde se desenvolveu um argissolo, e atravessa uma feição de colina de topo plano com direção NW-SE. Foram descritas no local sulcos e ravinas relacionadas à falta de drenagem, à presença de camada compactada (crosta) com gretas de contração, alcovas de regressão, dutos e painéis. As feições na porção NW são mais abertas e menos profundas que as de SE. Os ensaios geotécnicos comprovam a natureza frágil dos solos locais, e reafirmam a ação humana como acelerados dos processos erosivos na área.

Palavras-Chave: Erosão, feições erosivas, estrada de terra.

## **ABSTRACT**

MASTER'S DISSERTATION  
GRADUATE PROGRAM IN GEOGRAPHY AND GEOSCIENCES  
FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA

### **EROSION ON DIRT ROAD IN THE CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)**

**AUTHOR: GRACIELE CARLS PITTELKOW**

**SUPERVISOR: ANDREA VALLI NUMMER**

**DATE AND VENUE OF DEFENSE: SANTA MARIA, NOVEMBER 28, 2013.**

Erosion is a natural geological phenomenon that occurs in the upper layers of the Earth, but can be accelerated by man especially when used improperly. A large loss of soil by erosion occurs on the dirt roads that was diagnosed in the 'Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)' where training occurs with armored vehicles and other large area. This study aimed to understand and to set the erosive processes on a dirt road located in CISM and how specific objectives sought to understand how the area used, the type of material involved and its resistance to the process erosive using for this test of physical characterization and erodibility. The results of this study may contribute to the maintenance of roads CISM. This research began with a literature review on the topic, fieldwork for recognition of the area, for description of erosional features and gathering of samples for be tested through test physical characterization and erodibility. The sampled points of the road were: the Crust, E2, E6 and E7, and the horizons B and C of the borrow pit. The tests of the erodibility were performed with the samples E2, E7 and Crust and compared to data obtained by Sant'Ana, 2012. The road lies over an area of alluvial terrace where if find argisil. The road crosses a flat-topped hill with NW-SE direction. Were described in place, ridges and ravines related to lack of drainage, the presence of compacted layer (crust) with mud crack, alcoves of the regression, ducts and pot erosion. Geotechnical tests confirm the fragile nature of local soil, reaffirming human action a accelerator of the erosion in the area.

Keywords: Erosion, erosive features, dirt road.

## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de Localização da estrada de terra, estudada no território do CISM ...	17
Figura 2: Tipos de voçoroca .....	33
Figura 3: Esquema do processo erosivo.....	36
Figura 4: Critério de erodibilidade MCT segundo Nogami e Villibor (1995).....	50
Figura 5: Terraços fluviais. ....	53
Figura 6: Evolução da distribuição dos quartéis, no município de Santa Maria/RS. ....	57
Figura 7: Blindados do Exército Brasileiro .....	62
Figura 8: Rotas e área de maneabilidade .....	65
Figura 9: Reunião técnica com militares do CISM .....	68
Figura 10: Coleta de pontos de GPS .....	69
Figura 11: Coleta de amostras indeformadas. ....	70
Figura 12: Esquema representativo, do ensaio de desagregação.....	72
Figura 13: Esquema do ensaio de Perda por Imersão. ....	73
Figura 14: Esquema do ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT.....	74
Figura 15: Curva típica do deslocamento do menisco X tempo para o ensaio de infiltrabilidade. Metodologia MCT .....	74
Figura 16: Fotografia aérea, de porção do território do CISM, com destaque área a sede, e destacada pelo círculo amarelo o terraço e estrada de terra estudada.....	76
Figura 17: Perfil topográfico do terraço, com distâncias vertical e horizontal, dadas em metros.....	77
Figura 18: Trecho central da estrada, em topo plano de colina (ponto E4 do perfil topográfico); e com presença de vegetação nas laterais da estrada.....	78
Figura 19: Sulcos e ravinas profundos, na rampa SE.....	79
Figura 20: Sulcos e ravinas, menos profundos na vertente NW,.....	79
Figura 21: Horizonte de solos, na jazida de empréstimo do CISM.....	80
Figura 22: Ponto 3, visão de E3 em direção à E1. Rampa NW.....	81
Figura 23: sulcos transversais.....	81
Figura 24 e 25: Formação de capa de compactação.....	82
Figuras 26, 27: alcovas de regressão. ....	83
Figura 28 e 29: Formação de painéis e dutos subterrâneos .....	83
Figura 30 e 31: ligações entre as alcovas, dutos e painéis. ....	84
Figura 32 e 33: vista parcial da área de estudo. Ao fundo, encontra-se a área de assoreamento .....	84
Figura 34: Paisagem observada do ponto E1 em direção ao ponto E3 .....	85
Figura 35, 36: Avanço da crosta de compactação com formação de degraus.....	86
Figura 37: Topo do terraço. Formação de sulcos, devido à passagem de veículos.....	86

Figura 38 e 39: Vista do primeiro degrau, com direção do E5 ao E6 ao E8.	
Solapamento e formação de degrau.....	87
Figura 40: crosta.....	88
Figura 41: Deposição de areia nos canais principais, da estrada.....	88
Figura 42: Lâminas de argila, gretas de contração e alguns materiais grosseiros encontrados.....	89
Figura 43: Gráfico de Curva Granulométrica dos materiais da estrada.....	91
Figura 44 e 45: Macroscopia do material retido em peneira 4,75 mm (Amostra E2) ....	93
Figura 46, 47: Macroscopia do material retido em peneira de 2mm (Amostra E2). ....	94
Figura 48 e 49: Macroscopia do material retido em peneira 2 mm e 4,75, respectivamente. ....	95
Figura 50: Macroscopia do material retido em peneira 2 mm (crosta) .....	96
Figura 51: Ensaio de Desagregação.....	97
Figura 52: Evolução do ensaio de desagregação, das amostras E2, E7 e Crosta.....	99
Figura 53: Evolução do ensaio de desagregação E2 e E7 .....	99
Figura 54: Ensaio de Infiltrabilidade - Amostra Crosta.....	102

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Perda de solo e água conforme tipo de uso e coberturas vegetal.....	26
Tabela 2: Organizações Militares que utilizam o CISM. ....	63
Tabela 3: Comparação entre as metodologias ABNT e Embrapa.....	70
Tabela 4: Normas ABNT utilizadas .....	71
Tabela 5: Cálculo de perda de solo em vertente.....	79
Tabela 6: Frações Granulométricas .....	90
Tabela 7: Índices Físicos.....	92
Tabela 8: Ensaio de desagregação com amostras na condição secas ao ar.....	97
Tabela 9 : Desagregação de amostras na condição de umidade natural.....	100
Tabela 10: Resultado dos ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão.	104

## Lista de gráficos

Gráfico 1: Gráfico do Ensaio de Infiltrabilidade - Amostra Crosta.....	103
Gráfico 2: Ensaio de Infiltrabilidade da amostra, horizonte B (generalizado para E2 e E7). .....	103
Gráfico 3: Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT .....	105

## Sumário

INTRODUÇÃO .....	15
1 REVISÃO TEÓRICA .....	20
1.1 Erosão: conceitos e classificação .....	20
1.1.1 Classificação dos processos erosivos.....	25
1.1.2 Condicionantes dos processos erosivos .....	35
1.2 Erosão em estradas de terra.....	44
1.3 Avaliação da erodibilidade: ensaios geotécnicos .....	48
1.4 Formação de terraços fluviais (ou terraços aluviais).....	51
2. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA .....	55
2.1 Treinamentos militares no CISM .....	61
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS .....	66
3.1 Etapa de gabinete .....	67
3.2 Etapa de campo .....	68
3.3 Etapa de laboratório .....	70
3.3.1 Ensaio de caracterização física .....	71
3.3.2 Ensaio de desagregação ( <i>slaking test</i> ) .....	72
3.3.3 Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) .....	72
a) Perda de massa por imersão .....	73
b) Infiltrabilidade .....	73
4. RESULTADOS .....	75
4.1 Caracterização da estrada de terra.....	75
4.2 Feições erosivas na estrada de terra estudada. ....	80
4.3 Análises geotécnicas.....	90
4.3.1 Caracterização Física.....	90
4.3.2 Ensaio de Desagregação.....	96
4.3.3 MCT – Miniatura, Compactado, Tropical. ....	101
CONCLUSÕES .....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

## INTRODUÇÃO

A erosão é um fenômeno geológico natural, que ocorre nas camadas mais superficiais da crosta terrestre, definida por Bertoni e Lombardi Neto (2005) como um processo de desagregação e deslocamento de partículas sólidas que acontecem na superfície do solo ou nos leitos de canais, devido a diversos agentes como o impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial e subsuperficial.

Para Camapum de Carvalho et al (2006), o processo erosivo depende tanto de fatores externos como o potencial de erosividade da chuva e o escoamento superficial, quanto de fatores internos relacionados à desagregação e à erodibilidade do solo.

Sabe-se que a erosão é tida como um dos problemas ambientais de maior importância, principalmente, diante da sua visibilidade física, materializada no espaço geográfico. Embora seja um processo natural, a ação antrópica por meio em especial da agricultura e da urbanização, tem uma grande influência na sua origem e desenvolvimento visto que o homem pode ser considerado um agente ativo na modelagem e alteração da paisagem. Esta ideia do homem como potencializador da erosão vem sendo compartilhada por autores como Panachudi et al (2006) e Aragão et al (2011) entre outros.

Para Suertegaray (2000) o homem jamais influenciará na geologia e geomorfologia como o fazem os grandes eventos tectônicos e erosivos, porém, em uma escala histórico-geográfica, as atividades humanas podem ser comparadas a agentes geológicos, ou seja, capazes de produzir eventos que alterem a paisagem.

A erosão hídrica segundo Panachudi et al (2006) é o processo de degradação que mais tem afetado a produção do solo devido, principalmente, a práticas inadequadas de manejo agrícola, resultando numa erosão acelerada.

Outro tipo de intervenção antrópica que contribui enormemente para a perda de solo por erosão são as estradas não pavimentadas, conhecidas como estradas de terra ou vicinais. Maciel Filho e Nummer (2011) apresentam estudos realizados para uma estrada de terra (datada do ano de 1960) no município de Santa Maria, RS e estimaram uma taxa de erosão de  $8.856\text{m}^3$  por

quilometro, onde a maior parte do material erodido foi transportado para os rios, assoreando-os. A malha viária como se constitui hoje, surgiu da rede de caminhos, inicialmente estabelecidas pelo homem, quando da ocupação territorial. A princípio tratavam-se de caminhos rústicos para o deslocamento de animais como meio de transporte, e mais tarde, após a invenção da roda, quando surgiram as carroças é que estes foram aperfeiçoados, buscando maior conforto e comodidade, chegando ao modelo que se tem atualmente. (Cruz, 2005).

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

Dados publicados no ano de 2000, pelo Departamento Nacional de Estrada e Rodagem - DNER, atualmente DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), revelam que a malha viária brasileira é constituída de aproximadamente 1.724.929 km de estradas, das quais aproximadamente 90,4% são de estradas não pavimentadas. Cabe destacar que esta informação não inclui a rede de estradas florestais cuja maior parte também não é pavimentada o que, segundo Machado e Malinovski (1986), atinge cerca de 600.000 km de extensão.

No que tange as estradas sob tutela dos municípios brasileiros (84% da malha rodoviária), apenas 1% encontra-se pavimentada. Os outros 83% permanecem constituídos por estradas não pavimentadas (Baesso e Gonçalves, 2003).

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

A forma inadequada de manutenção das estradas não pavimentadas e seu abandono por um longo período de tempo trazem como consequência, um leito estradal muitas vezes intrafegável além de provocar sérios problemas ambientais, como o assoreamento de corpos d'água e o lançamento sobre áreas agricultáveis, de sedimentos provenientes de material carreado pelas águas das chuvas (Santos *et al.*, 1988).

Erosões em estradas de terra foram diagnosticadas por Sant'Ana (2012) na área do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM), localizado a sudoeste da área urbana, no Bairro Boi Morto, tendo por localização geográfica as coordenadas 53° 48' 12"; 53° 53' 23" de longitude oeste e 29° 42' 31"; 29° 47' 39" de latitude sul (Figura 1). Seu acesso é feito pela BR 158, e Avenida do Exército. Situa-se na bacia do Arroio Cadena, sendo o mesmo seu limite natural a leste, ao sul seu limite natural é o Arroio Sarandi, sendo seu limite ao norte o quartel CIBId (Centro de Instrução de Blindados) e a oeste a estrada de terra municipal.

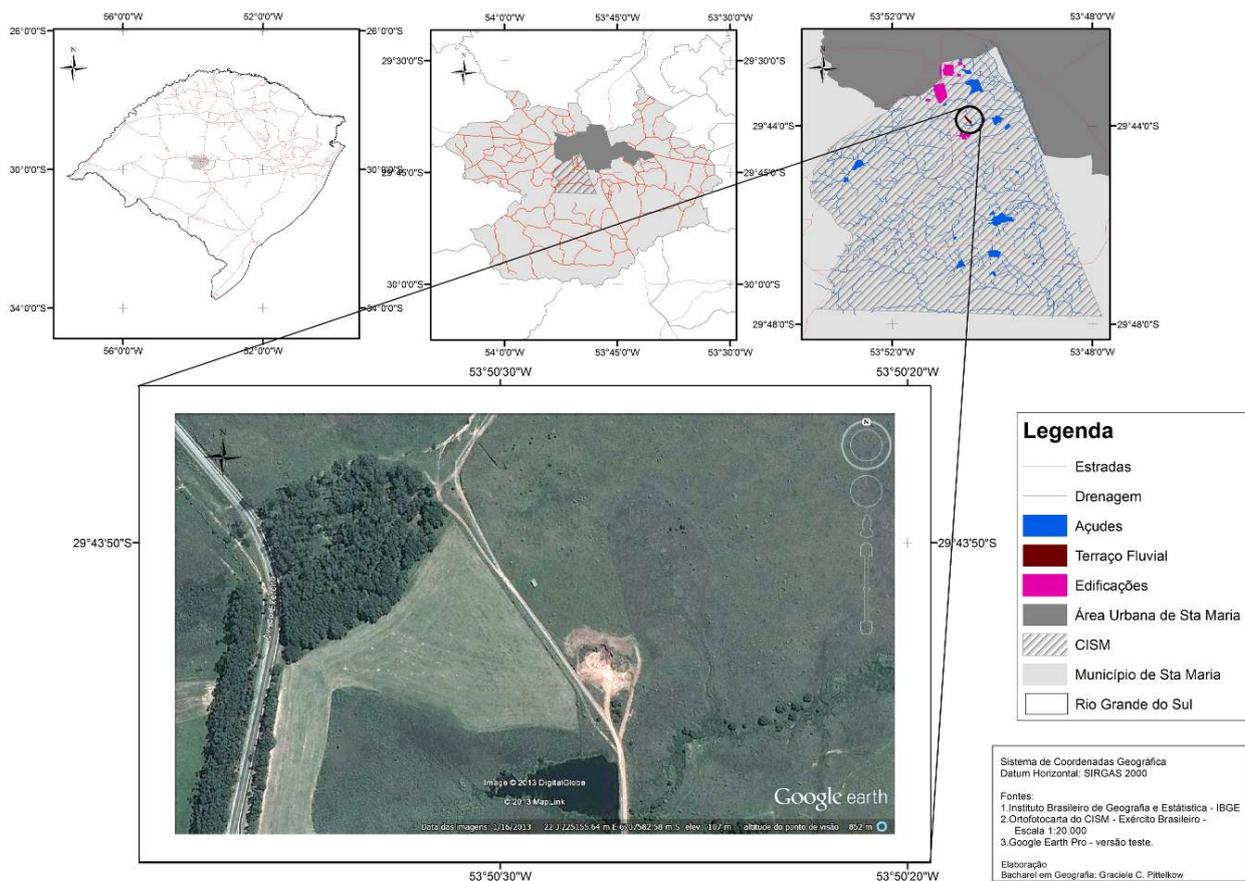


Figura 1: Mapa de Localização da estrada de terra, estudada no território do CISM  
Organização: Pittelkow, G.C.

O CISM é utilizado para treinamento de tropas blindadas e ocupa uma área de aproximadamente 5 mil hectares ao sul do município e onde aproximadamente 15 mil militares executam exercícios com blindados e viaturas sobre rodas neste local, por ano. Segundo Sant'Ana (2012), a forma como a área é utilizada contribui para a ocorrência de processos erosivos visto que, por si só, ela é naturalmente frágil. As ações de treinamento, nas quais são utilizados carros blindados e viaturas sobre rodas, aceleram o processo erosivo principalmente, nos leitos das estradas e nas margens dos cursos d'água quando da transposição de uma margem à outra, por viaturas de grande porte. Como consequência deste processo ocorre o assoreamento dos arroios e barragens próximas.

Procurando colaborar com o Exército Brasileiro na recuperação desta área, em 2011 foi firmado um convênio entre UFSM e comando Militar do Sul para desenvolvimento de um projeto intitulado "Diagnóstico ambiental e plano de manejo do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)" envolvendo pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento sendo que esta dissertação é, portanto, parte desta pesquisa.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar os processos erosivos em uma estrada de terra localizada no Campo de Instrução de Santa Maria, procurando entender como estes evoluíram. Como objetivos específicos, procurou-se: avaliar as características físicas do terreno, como o tipo de material envolvido (solos e rochas) e suas resistências ao processo erosivo; realizar ensaios de caracterização física e de erodibilidade de amostras de solos, verificar a forma de uso da área em questão.

Espera-se que os resultados obtidos desta pesquisa possam auxiliar no planejamento integrado das atividades de manutenção e construção das estradas do CISM, dando subsídio para o emprego de técnicas mais apropriadas que poderão melhorar suas condições, além de minimizar os impactos ambientais naquele local.

Portanto, este trabalho se propôs a contribuir para a produção do conhecimento enriquecendo o debate acerca da importância de estudos

ambientais para subsidio aos planos de manejo, em especial o plano de Manejo do CISM.

Esta dissertação foi estruturada da seguinte forma: Na introdução encontra-se a apresentação do tema de pesquisa, seus objetivos e justificativas; posteriormente segue-se uma revisão teórica sobre a temática erosão e suas formas de avaliação, com ênfase para a erosão em estradas de terra. A fim de conhecer melhor a área de estudo, tem-se na sequencia a caracterização geográfica do local, seguida dos procedimentos metodológicos e técnicos utilizados para a elaboração da dissertação. A seguir encontram-se os resultados obtidos e por fim as conclusões e sugestões para estudos futuros.

# 1 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a base teórica utilizada nesta pesquisa a fim de compreender como ocorrem os processos erosivos e desta forma estabelecer uma base de conhecimento que tornou possível a correlação entre as informações obtidas e o material cartográfico gerado.

A revisão bibliográfica baseou-se principalmente, na temática de erosão contendo: principais conceitos, classificações e condicionantes; conceito de erodibilidade e ensaios geotécnicos para a sua avaliação. Além disso, buscou-se aprofundar os conhecimentos sobre erosão em estradas de terra (uma constante da área de estudo). Procurando compreender o comportamento dos materiais fez-se também uma revisão bibliográfica sobre a formação de terraços fluviais/aluviais, visto que a estrada de terra, o objeto de estudo, encontra-se situado sobre um terraço dessa origem.

## 1.1 Erosão: conceitos e classificação

A formação dos solos e do relevo em geral, resulta da interação de diversos processos, geomorfológicos e geológicos e retratam uma variação espacial e temporal que ocorre dentro de um sistema dinâmico. De acordo com, Guerra e Vitte (2004, p. 227), “os solos e paisagens comportam-se como sistemas abertos, na medida em que ganham e perdem matéria e energia, além das suas fronteiras”. Segundo os autores, “o fato de os solos e as paisagens atuarem como sistemas abertos tem implicações tanto teóricas como práticas, na escolha dos parâmetros que serão mensurados no campo, com o objetivo de determinar o estágio de um sistema”.

Dentro de um sistema, os elementos que o compõem podem ser transportados de um local para outro, e/ou ter algumas de suas propriedades físicas alteradas, em geral por meio de reações químicas. Assim, “existe um componente no qual a energia diminui gradativamente, e, conseqüentemente, o sistema acaba sendo exaurido”, (Guerra e Vitte; 2004 p. 227). Dessa forma, podemos relacionar os processos superficiais, como desencadeadores e/ou agentes ativos, na exaustão deste sistema.

Um dos processos superficiais, de grande importância no equilíbrio de um sistema, é a erosão dos solos. O termo erosão tem origem no latim com a palavra *'erodere'*, que significa escavar. No meio científico o termo erosão é usado para designar o processo de desagregação de partículas do solo e/ou de rochas, seguido do seu transporte e sedimentação; sendo que esta sedimentação depende de outros fatores que determinam as condições do fluxo das partículas desagregadas.

Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1986), a erosão é entendida como o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou das rochas pela associação da ação da gravidade (g) com a ação da água, gelo, vento e organismos.

Para Carolino de Sá (2004), erosão é o transporte de partículas de solo por agentes naturais, portanto, conceitualmente, pode-se dizer que se trata de processos de desgaste da superfície terrestre, devido à ação de agentes naturais (água, vento, gelo) e de organismos vivos (animais e plantas).

A erosão é, portanto, um processo geomorfológico<sup>1</sup> natural, que pode ocorrer relacionada à ação do vento (eólica), do gelo (glacial), da água (hídrica), e de organismos (organogênica) influenciando de forma direta na gênese e evolução das vertentes. Esse processo, de acordo com Bigarella (2003), pode ser assim definido:

O conceito de erosão. implica na relação de fragmentação mecânica das rochas ou na decomposição química das mesmas, bem como na remoção superficial ou subsuperficial dos produtos do intemperismo. (Bigarella, 2003, p. 884)

Segundo o Manual de Geotecnia do Departamento de Estrada e Rodagem (DER), publicado em 1991, a erosão é “um processo que ocasiona a destruição da estrutura do solo e sua remoção, sobretudo pela ação das águas de escoamento superficial, depositando-o em áreas mais baixas do relevo”. Ainda de acordo com este manual, os “processos de erosão apresentam

---

1 Os processos geomorfológicos geralmente são complexos, refletindo não somente a inter-relação entre as variáveis causais, mas também a sua evolução no tempo. Portanto, ao se tratar de processos, deve-se sempre ter em mente a noção do espaço em que o processo ocorre e a sua velocidade. Nos processos erosivos, é necessário que se considere a origem da ação dinâmica, o local, o momento e a velocidade de ocorrência. (Camapum de Carvalho, 2006, p.41)

normalmente uma peculiaridade que é a velocidade lenta, porém contínua e progressiva ao longo do tempo. Sendo assim, a erosão dos solos é um processo físico, químico e biológico natural, mas que, se esta ocorrer de forma acentuada pode ser problemática”.

Assim, erosão enquanto processo natural de “desenho” da paisagem<sup>2</sup> é compreendida como a retirada, transporte e deposição de matéria de montante para jusante das vertentes; em busca do equilíbrio entre a pedogênese (formação do solo) e a morfogênese (desenvolvimento do relevo).

Nesse processo, de acordo com Thornes, (1980 *apud* Guerra e Cunha, 1998, p. 165), “os mecanismos dos processos erosivos básicos variam no tempo e no espaço, e a erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aqueles que tendem a resistir à remoção”.

Conforme Bigarella (2003, p. 895), “desde o Neolítico, o homem vem afetando o ambiente de forma mais ou menos intensa, modificando as condições naturais, criando novas situações para a atuação de fenômenos erosivos acelerados”. O autor, afirma ainda que a erosão antropogenética desenvolve-se com taxas muito incrementadas quando comparadas àquelas de erosão geológica; e iniciam de forma lenta, acelerando-se devido interferências posteriores ao seu início.

De forma geral podemos afirmar que, a modificação das formas de relevo, por meio de processos erosivos, dá-se de forma lenta e gradual ao longo do tempo. Contudo, cabe destacar que o processo natural de erosão do solo pode ser acelerado pelo homem através da ocupação inadequada do meio físico. Nessa perspectiva, Carolino de Sá (2004), afirma:

“Foi a erosão geológica que ‘esculpiu’, ao longo de bilhões de anos (...) a paisagem que conhecemos hoje, num processo lento. Em condições naturais, a quantidade de solo erodido é muito pequena, sendo naturalmente recomposta pela natureza. Isso caracteriza uma condição de equilíbrio.” (Carolino de Sá, 2004, p.1)

---

2 Paisagem é o conjunto de formas, que num dado momento, exprimem as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre homem e natureza. (Casseti, 2005, sem página)

É essa condição de equilíbrio que a intervenção humana altera, acelerando os processos naturais de “esculturação” da paisagem. Expõem-se assim a falta de planejamento do uso do solo, tanto urbano quanto rural, como fator primordial para o desencadeamento de processos erosivos de diversas causas; e com resultados diversificados na alteração paisagística, nas dinâmicas naturais dos elementos paisagísticos; e culturais das sociedades.

Assim conforme averiguado na literatura especializada, acerca da temática, existe duas formas de erosão: geológica e acelerada. A primeira ocorre de forma natural sem intervenção humana; já a segunda, também chamada de antrópica ou antropogenética, decorrente de processos desencadeados e/ou acelerados pela intervenção humana.

As principais causas, dos processos de erosão acelerada estão no desmatamento e posterior uso do solo para atividades agrícolas e pastoris (Guerra e Vitte, 2004). A construção civil, o crescimento das cidades, a mineração e outras atividades de cunho econômico, também contribuem de forma direta para o surgimento e agravante de situações de erosão acelerada e quase sempre irreversíveis.

Em suma, as erosões no que tange a seu agente desencadeador, podem ser de origens eólica, hídrica, glacial e organogênica. No desenvolver deste trabalho, enfatiza-se a erosão de caráter hídrico buscando sua compreensão, identificação e classificação, bem como as ações antrópicas que podem acelerar este processo.

No que aborda a erosão de origem hídrica, a ação da água (agente ativo), tem grande importância ao declinar ou aumentar o processo erosivo. Isto porque proporciona a umidade necessária para a fixação dos agregados do solo evitando seu desprendimento, e também influi na capacidade do armazenamento do mesmo.

Assim quando a umidade do solo exceder sua capacidade de absorver água, o mesmo fica saturado, dando início ao escoamento superficial, e conseqüentemente ao transporte de partículas/sedimentos. O escoamento superficial ocorre, portanto, quando houver excesso de precipitação e o solo não comportar mais a infiltração da água; assim se nesse processo o solo

estiver desprotegido, ocorreram estrias de erosão e ravinas, iniciando-se, portanto, o processo de erosão.

A erosão como processo, apresenta-se de formas diferenciadas na paisagem: laminar, sulcos, ravinas e voçorocas. Estas formas originam-se por meio de agentes como clima, geologia, geomorfologia, solo, cobertura vegetal, hidrografia e uso/ocupação da terra. Os processos que ganham maiores destaque são aqueles que se dão pela ação hídrica e em especial pela ação das chuvas; assim pode-se afirmar que “o ciclo hidrológico é o ponto de partida do processo erosivo” (Guerra e Cunha, 1998, p.166).

Essas - lâminas, ravinas, sulcos e voçorocas – tratam-se de formas visíveis na paisagem, Entretanto, têm-se ainda as formas que se processam no interior do solo ou rochas gerando, o que alguns autores chamam de, esqueletização<sup>3</sup> do maciço. Essas formas “internas” (dutos ou *piping*) contribuem para o desenvolvimento das erosões exteriorizadas, e contribuirão diretamente para o desencadeamento de novos processos como os movimentos de massa, por exemplo. Mas referindo-se especificamente, à importância da erosão hídrica, temos que a mesma:

“atua com desprendimento das partículas do solo devido ao impacto da gota da chuva. A partir daí o escoamento superficial, atua transportando fragmentos de solo e partículas de rochas. Esse processo da origem a erosão laminar. Quando as chuvas são mais intensas e são favorecidas por parâmetros naturais, como a declividade e a forma côncava da vertente, ou intervenções antrópicas a erosão pode se desenvolver por escoamento concentrado ou linear, formando sulcos na superfície do terreno; estes sulcos podem evoluir para ravinas até atingir a configuração de voçorocas (Casagrande, 2004, p.8).

A erosão hídrica dá-se primeiramente com a desagregação do solo devido ao impacto das gotas de chuva, sobre o solo descoberto. Após essa desagregação tem-se o transporte dessas partículas, pela água que não infiltra e escoar superficialmente. Esses sedimentos transportados irão depositar-se em áreas de menor declive, formando depósitos.

---

3 Processo de degradação física do solo que aumenta a sua porosidade, e surge em consequência do transporte de partículas ou de compostos ou de elementos químicos solubilizados O aumento da porosidade do solo gera instabilidade dos taludes de erosão, sendo parte essencial na evolução das ravinas e voçorocas. Pode também ser processo desencadeador de erosões em áreas de instabilidade de encostas e/ou submetidas à uso inadequado (Camapum de Oliveira *et al*, 2006, p. 55)

Esse tipo de erosão ocorre basicamente de três formas: laminar - remoção de uma fina camada superficial, percebida pela exposição de raízes das plantas e assoreamento de cursos d'água, reservatórios e áreas à jusante, além também de poder ser percebida pela coloração do solo devido a perda de elementos químicos; sulcos - quando a enxurrada se concentra em alguns pontos, abrindo "valetas" de alguns centímetros de profundidade; e voçorocas - quando os sulcos atingem grandes profundidades.

Em resumo, a erosão hídrica, ocorre quando o solo superficial fica saturado, promovendo a movimentação superficial da água da chuva, devendo-se considerar que para tal processo, fatores como volume, duração, velocidade, frequência, e intensidade da energia cinética da água das precipitações. Associa-se nessa atuação de fatores, juntamente com o tipo de solo e suas propriedades físicas e químicas, a vegetação, geologia, declividade das encostas e intensidade da interferência da ação antrópica. Ou seja, é a soma de um conjunto de fatores que vão determinar o surgimento ou não de feições erosivas.

#### 1.1.1 Classificação dos processos erosivos

A erosão geológica, por si só, está constantemente esculpindo e modelando a superfície terrestre, e um dos fatores que influi significativamente no desencadeamento deste processo, é a condição climática, a que as rochas são expostas, sofrendo intemperismos. Assim sendo, os diferentes tipos climáticos (úmidos, frios e secos) influem diretamente no nível de erosão.

De acordo com Guerra (2004), esses diferentes níveis de erosão possuem conseqüentemente uma classificação, segundo as formas pelas quais se dão. Assim temos, erosões: superficial ou laminar, erosão interna ou *piping*, e sulcos, ravinas e voçorocas. Muitos desses processos naturais são acelerados, devido ao tipo de uso e ocupação dos solos e vertentes, ocasionando diversas alterações no quadro natural de propriedade dos solos e alterações paisagísticas .

De maneira simplificada, temos que os processos erosivos provocados pela ação das chuvas, desenvolvem-se primeiramente pelo superficial laminar, evoluindo para a formação de sulcos que por sua vez transformam-se em ravinas para posteriormente atingirem um estágio mais impactante, chamado de voçoroca (geralmente atingindo o lençol freático).

Erosão Superficial ou laminar: Caracteriza-se pela remoção uniforme do solo ao longo da vertente, podendo ou não estar relacionada ao surgimento de sulcos. Está relacionada ao escoamento superficial da água da chuva e transporte de partículas ou agregados desprendidos do maciço devido ao impacto das gotas de chuva com o solo.

Casseti (2005) trata o fluxo laminar como um processo lento e insidioso, pois ocorre de forma quase imperceptível a curto e médio prazo; porém ocasionando grandes perdas de solo. Por não ocasionar cicatrizes no terreno, ganha menos atenção em relação aos processos lineares e, ações de recuperação, tendem a serem executadas tardiamente.

A forma continua com que ocorre o processo laminar, sem a presença de estrias e marcas no terreno, o torna grandioso, do ponto de vista da quantidade de massa de terra erodida. Casseti (2005) retoma dados de pesquisas realizadas, por ele, na década de 1980, e que apontam áreas agrícolas (cultivo) e de pastagens, como os principais pontos de perda de solo por erosão laminar. A Tabela 1 a representa os valores de perda de solo e água conforme diferentes tipos de uso e coberturas vegetais.

Tabela 1: Perda de solo e água conforme tipo de uso e coberturas vegetal.

Modalidade de uso/cobertura vegetal	Perda de solo (t/ha/ano)	Perda de água (% da chuva)
Mata tropical	0,021	0,53
Pastagem	0,131	2,50
Cultivo (plantio de arroz)	41,650	11,81

Fonte: Casseti, 2005.

Conforme a tabela 1 pode-se observar que em áreas com vegetação arbórea e de campo, a perda de solos é muito menor bem relação à área de cultivo agrícola (no caso, plantio de arroz). Tal relação também é aplicável para a quantidade de água que o solo perde, quanto mais densa a vegetação, menor essa perda.

No exemplo utilizado, tem-se uma perda anual de 21 kg de solo em áreas com mata, e 131 kg em áreas recobertas por campo; chegando a 41.650 Kg de solo, perdido pelo cultivo de arroz. Isso mostra quão importante são as formas de manutenção do solo, tanto nas atividades agrícolas, quanto na construção de estradas e demais obras.

Esses dados podem servir para algumas generalizações, Entretanto, deve-se ponderar as condições climáticas inerentes a cada região da superfície terrestre, assim como as propriedades vegetais, litologias, geomorfológicas e pedológicas dessas regiões.

Conforme o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo - IPT (1989), a erosão laminar, depende de diversos fatores naturais, pertencentes a três grandes blocos de análise: natureza do solo (propriedades físicas e morfológicas); morfologia do terreno (encosta, declive e comprimento de rampa); e o clima (dados pluviométricos).

É após esse processo de remoção laminar, ser exaurido em determinados pontos, que tem-se o surgimento de processos com incisões lineares. Segundo Camapum de Carvalho *et al* (2006, p.46), “o poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e da velocidade de escoamento, bem como da espessura de lâmina d’água e, principalmente, da inclinação da vertente ou relevo. A formação de filetes no fluxo superficial amplia o potencial de desprendimento e arraste das partículas de solo, dando, quase sempre, origem aos sulcos que evoluem para ravinas podendo chegar à condição de voçoroca.

Ressalta-se que a ocorrência do escoamento superficial está diretamente ligado as condições de infiltração no solo; sendo que esta infiltração descrese com a continuidade da chuva. Não se deve desconsiderar que também interferem na infiltração fatores como a intensidade das chuvas, proximidade do lençol freático, grau de compactação e porosidade do solo, além da vegetação, da topografia e do clima. Dentro do quesito topografia, temos que quanto maior a declividade, menores serão as áreas de acúmulo de água e, portanto, mais uniforme será o fluxo de escoamento superficial.

Em suma, podemos citar Guerra e Cunha (1998, p.179), que descrevem: “Essa forma de escoamento ocorre, quase sempre, sob condições de chuva

prolongada, quando a capacidade de armazenamento de água no solo e nas suas depressões e irregularidades, satura”.

Ainda associado ao escoamento superficial e, portanto, à erosão laminar tem-se o efeito *splach* (também conhecido na literatura brasileira, como salpicamento). Trata-se do efeito causado pela queda das gotas de chuva soltando partículas de solo que ficam em suspensão e que posteriormente, serão carregadas pelo escoamento em lençol.

O salpicamento é, portanto, a etapa inicial dos processos erosivos; e seus efeitos ocasionam a retirada e transporte de material desagregado. Geralmente o *splash* tem seus efeitos agravados, pela remoção da cobertura vegetal, que seria a proteção natural dos solos, contra a erosão.

Sem essa cobertura vegetal as águas pluviais, tendem a atingir o solo com grande energia cinética, desagregando/soltando partículas do solo. Essas partículas por sua vez serão arrastadas pelas águas, pelo escoamento superficial.

Em áreas rurais está associada a práticas incorretas de manejo dos solos e em áreas urbanas está geralmente associada a loteamentos recém-implantados com terrenos sem cobertura vegetal e em ruas não pavimentadas.

Lineares: Sulcos, ravinas e voçorocas: Essa classificação dos processos erosivos possui diversos critérios, para sua realização, variando de simples definição de geometria até aspectos geomecânicos e de concentração de fluxo. Segundo Selby (1994) *apud* Casseti (2005, sem página), “as voçorocas se formam quando pelo menos três fatores se fazem presentes: aumento local da declividade, concentração de fluxos de água e remoção de cobertura vegetal”.

Abdo, *et al.*(2008, p. 135), traz uma descrição muito interessante acerca da classificação de processos de erosão hídrica linear:

Alguns autores dividem a erosão hídrica linear, apresentando três tipos: em sulcos (pequenas incisões na superfície em forma de filetes muito rasos perpendiculares às curvas de nível), em ravinas (aparecimento de canal de escoamento no solo, atingindo horizontes inferiores e de profundidade maior que 0,50 m, muito rápida e de perfil transversal em “V”) e voçorocas (de grande porte, com formas variadas e de difícil controle, em geral são ramificadas, de grande profundidade, com paredes irregulares e perfil transversal em “U”). Esta última forma de erosão é mais complexa e mais destrutiva, pois é produto da ação

combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, acarretando o desequilíbrio morfo-hidropedológico, em decorrência do inadequado uso e ocupação do solo. (Abdo, *et al.* 2008, p. 135)

Na literatura brasileira acerca do assunto, é comum a classificação conforme a profundidade das fissuras, ou seja, usa-se o critério geométrico de profundidade, principalmente, para sulcos. Já as voçorocas e ravinas<sup>4</sup>, são classificadas pelo fato de atingirem ou não o lençol freático, porém não há especificidade no que se refere à intermitência do lençol freático.

Assim temos que, os sulcos são pequenos canais, de até 10 cm de profundidade, onde não há grandes concentrações de água. A evolução de determinados sulcos, devido à concentração de água, dá origem às ravinas e voçorocas. Ravinamentos permanentes podem formar estágios iniciais de evolução de redes de drenagem.

O termo ravina deveria ser aplicado para os canais com profundidade superior a 10cm, com profundidade máxima limitada à 50cm ou àquela para a qual começa a ocorrer instabilidade dos taludes por deficiência de coesão real e de cimentação, adotando-se a maior delas. O limite de 50cm se encontra atrelado à estabilidade de talude, pois o mesmo para solos granulares a impregnação de matéria orgânica e a presença de matéria orgânica assegura-lhe certa estabilidade até certa profundidade. (Camapum de Carvalho *et al.*, 2006, p.53)

Assim conforme citado, acima de 50 cm, ter-se-ia processos classificados como voçorocamentos, onde a instabilidade de taludes pode ou não associar-se à erosão interna ou de esqueletização. Ainda ao que se refere as ravinas, as mesmas, quase sempre, iniciam-se a uma distância crítica do topo da encosta, onde tem-se um escoamento superficial canalizado. “Elas podem ser formadas nas proximidades da base das encostas, onde uma pequena incisão recua em direção ao topo da encosta”. (Guerra, Cunha, 1998, p.181).

Conforme os autores, Guerra e Vitte (2004), em publicação posterior, expõe que as próprias irregularidades do terreno podem provocar a formação de fluxos lineares, que posteriormente evoluem pra microrravinas, que podem

---

4 Na literatura inglesa, por exemplo, são chamadas de *gullies*, e não existe menção sobre uma distinção ou não do lençol freático. (Camapum de Carvalho *et al.*, 2006, p. 53).

por sua vez evoluir para o desenvolvimento de bifurcações, através dos pontos de ruptura de ravinas, atingindo toda a encosta, formando uma rede de ravinas. Com o aprofundamento e alargamento das ravinas devido a canalização do fluxo d'água, essas feições acabam transformando-se em voçorocas.

Essas feições erosivas caracterizam-se por apresentar paredes laterais íngremes, fundo chato, e com ocorrência de fluxo d'água no seu interior, durante eventos chuvosos. Em sua formação, atuam em conjunto ou separadamente, processos de erosão superficial, interna, solapamentos, desabamentos, escorregamentos de taludes e quedas de bloco.

Na interpretação de Modaelli *et al* (2009), o início de uma voçoroca está associada a um entalhe inicial no solo provocado por escoamento superficial, sendo que “neste primeiro estágio a forma de seu vale é em V. Diversos processos de deslizamentos dos taludes íngremes e a contínua remoção desse material pelo fluxo ampliam gradativamente a seção. Uma vez atingido o lençol freático, o fluxo de água subterrânea desencadeia outros processos, (...) e provoca o alargamento da seção, que tende à forma de U”.

Complementando tal afirmação ressalta-se que a erosão por ravinamento e por voçorocamento ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais, porém todas derivam dos caminhos/rotas que os fluxos de água seguem, tanto em superfície quanto em subsuperfície. Esta dissertação se utiliza da conceituação e gênese de voçoroca segundo Magalhães (2001):

Voçoroca é o estágio mais avançado de erosão acelerada correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de surgência d'água. Diversos processos estão presentes na voçoroca, dentre eles podemos citar os relacionados com o escoamento pluvial (lavagem superficial e formação de sulcos), de erosão interna do solo (piping), solapamentos e escorregamentos dos solos, além da erosão feita pela água do escoamento pluvial.(Magalhães 2001).

A ação conjunta desses mecanismos torna o processo erosivo de voçorocamento complexo, influenciando na rapidez com que evolui, assim como na magnitude que irá ter quanto ao caráter destrutivo. Portanto, devido ao caráter destrutivo e de alteração na paisagem e também devido ao fato de ser um problema ambiental decorrente e de grande influência na ocupação

urbana, tanto de solos urbanos quanto rurais, dar-se-á maior destaque neste trabalho este tipo de feição.

Em geral, as voçorocas originam-se, conforme Dener *et al* (2010), no meio urbano, devido à ampliação do volume e concentração de águas superficiais e por lançamento inapropriado das drenagens de águas pluviais. Outro problema comum em meios urbanos é o lançamento de águas servidas nas canalizações de águas pluviais, o que acaba por sobrecarregar, na maioria das vezes o sistema de drenagem de captação de águas pluviais.

Interpretando ainda as palavras de Dener *et al* (2010), cabe apontar, relacionada de forma direta à ação antrópica, os processos de voçoroca e ravinas, junto às rodovias, ferrovias entre outras obras de engenharia, pela ausência ou ineficiência de obras de drenagem.

Já no meio rural, a presença de voçorocas, está associada ao manejo incorreto do uso do solo, e em especial ligadas à alteração hidrológica na bacia de drenagem devido ao desmatamento, alteração na taxa de infiltração e regime de vazão de cursos d'água.

Conforme a literatura específica, a formação das voçorocas enquanto processo natural se dá de forma cíclica ocorrendo em quatro fases: erosão de canal e encaixamento; retrocesso de cabeceira e alargamento; recomposição e estabilização. Porém a ação antrópica pode desencadear e/ou acelerar tais processos, e as voçorocas tendem a se formar onde as águas se concentram pela ação do homem.

De forma ampla podemos dizer conforme Bigarella (2003), que as voçorocas resultam geralmente em um sistema ramificado, distribuída em uma área de contorno elipsoidal e abrange grandes extensões; e caracteriza-se por ser estreita em sua jusante, alargando em direção a montante.

Morfologicamente, o autor, descreve a evolução das voçorocas como um fenômeno hídrico, que envolve tanto a ação de águas superficiais como subsuperficiais. O processo se inicia pela concentração de águas superficiais nas vertentes - que assume aspecto importante durante as enxurradas - originando pequenos canais, que evoluem para formas mais profundas como sulcos e ravinas.

Nas cabeceiras de voçorocas, a vertente é constituída de material inteiramente inconsolidado, ocorrendo segundo Bigarella (2003), rupturas abruptas de declives em forma de degraus, sendo que nestes locais, ocorre o rápido aprofundamento devido ao fluxo de água superficial. Como consequência tem-se que as paredes do estreito canal do fluxo concentrado - junto aos degraus de ruptura de declive – se liquefazem ocorrendo movimentos de massa no interior das voçorocas.

Além do desmoronamento de cabeceiras descrito acima, têm-se também solapamentos na base das cabeceiras, intensificados com a surgência de água subterrânea junto às bases das paredes verticais/laterais. Dessa forma, Bigarella (2003, p.933), expõem que “a ação da água subsuperficial é essencial para a evolução da voçoroca, contribuindo para o desmoronamento das paredes laterais e para a formação dos novos ramos”.

Ainda apresentando formas de classificação para voçorocas, temos conforme Vieira e Albuquerque (2004), uma classificação relacionada à rede de drenagem, na qual se tem três tipos de voçorocas: tipo I - conectadas à rede de drenagem, tipo II - desconectadas à rede de drenagem e tipo III - integração dos dois tipos anteriores, representadas na Figura 2.

Detalhando estes tipos temos que, as voçorocas do Tipo I, são conectadas à rede de drenagem e situam-se na jusante da encosta. Já as voçorocas do tipo II, são desconectadas da rede de drenagem e encontram-se no topo das encostas. Desenvolvendo-se desde o topo da encosta até a jusante, têm-se as voçorocas do tipo III, que são a integração entre os tipos I e II.

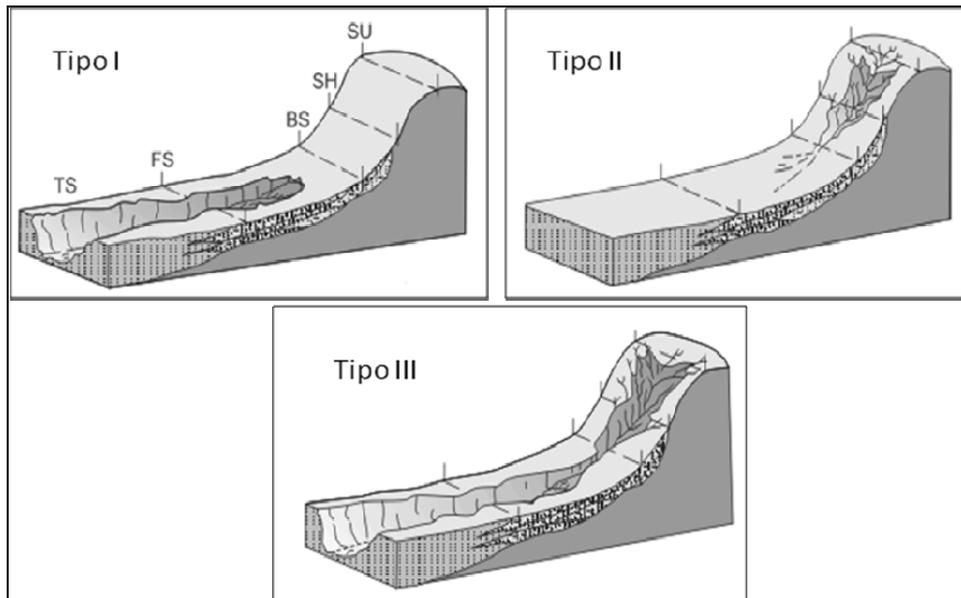


Figura 2: Tipos de voçoroca  
 Fonte: (Vieira e Albuquerque, 2004)

De acordo com as leituras realizadas, sobre essa questão; em geral tem-se maiores perdas de massa, em voçorocas conectadas, em relação às desconectadas. Isto pode ser relacionado, com as taxas pluviométricas elevadas em alguns períodos do ano.

Feições erosivas encontradas no interior de ravinas e voçorocas como dutos ou *piping*, alcovas de regressão, marmitas ou panelas e esqueletização do maciço podem indicar os processos atuantes momento de sua formação e desenvolvimento da erosão.

Erosão interna ou *piping* conforme Camapum de Carvalho *et al* (2006) trata-se de um fenômeno subterrâneo no qual a percolação da água causa a remoção de partículas do interior do solo, originando cavidades que avançam para o interior do maciço. Em locais onde se observa este tipo de processo erosivo, o enfraquecimento do solo estabelece regiões de percolação preferencial, “por vezes com afundamentos de uma porção superficial do terreno, o que é conhecida como subsidência”. (Camapum de Carvalho *et al*, 2006, p.48).

Para Guerra e Vitte (2004), a formação de dutos pelo escoamento subsuperficial, gera uma perda de sedimentos e aumento do diâmetro desses dutos; o que leva ao colapso do teto desses dutos, originando voçorocamentos.

Podemos inferir com base em Camapum de Carvalho *et al* (2006), que geralmente as erosões internas, ocorrem em decorrência de três situações:

1) A força de percolação da água ultrapassa a resistência do solo, e ocorre em locais de descarga, onde solo toma características de liquefação, sendo suas arrastadas partículas de solo e abrindo pequenos orifícios, por onde se concentra o fluxo.

2) Quando o gradiente hidráulico ultrapassa o gradiente crítico do solo, devido ao rebaixamento do nível d'água, devido o surgimento de voçorocas. Com isso formam-se canais que dão origem à erosão subterrânea.

3) Quando a fração grossa do solo não filtra a porção fina, que é lavada pela percolação da água; resultando no surgimento de cavidades no interior do maciço. (Camapum de Carvalho *et al* 2006, p. 49)

Conforme Hargerty, (1991<sup>a</sup>) *apud* Camapum de Carvalho *et al* (2006), locais de terrenos estratificados apresentam condição geológica favorável ao surgimento de *piping*, principalmente, devido ao fato do fluxo ser geralmente concentrado em uma determinada camada; ou seja, origina-se em contato de solo poroso com substrato impermeável. Outro fator condicionante, aliado a diferença estrutural de camadas estratificadas é o relevo ondulado.

Caseti (2005) caracteriza o surgimento de um *piping*, de uma maneira muito objetiva:

evidencia-se o *piping*, comumente relacionado às diferenças texturais de sequências litoestratigráficas ou de horizontes pedológicos estruturais que respondem por escoamento de subsuperfície, podendo ser acompanhado pela solução química de certos componentes minerais. O processo evolutivo de formas associadas ao *piping* responde pela origem de sistema de cavernas ou dutos. Na área de saída do fluxo confinado pode-se ter a presença de alvéolos nas paredes, também denominados de “alcovas de regressão”, por encontrarem-se associadas à erosão remontante. (Caseti, 2005, sem página)

As alcovas de regressão são segundo Oliveira (1999, p. 70), indicadores de: “escoamento superficial na forma de filetes subverticais<sup>5</sup>, quanto pela infiltração do lençol freático, ou ainda pela combinação desses dois mecanismos”. Paisani e Oliveira (2001), afirmam que as alcovas, são escavadas pelo turbilhonamento da água empoçada, provocada pelo escoamento concentrado por filetes subverticais.

---

5 De acordo com Oliveira (1999) é o escoamento da água em filetes ao longo de paredes pouco coesas.

Oliveira (1999) indica o surgimento de marmitas ou panelas, quando existe queda d'água na base de taludes ou degraus, ocorrendo frequentemente em áreas com presença de seixos e cascalhos que se depositam nas depressões das áreas erodidas, que ao entrarem em atrito esculpem as panelas. Para Paisani e Oliveira (2001) essas formas possuem geometria assimétrica e sua profundidade varia conforme a localização na voçoroca: rasas na jusante e profundas na montante.

Já a esqueletização do maciço é dito como o processo de degradação física do solo que aumenta a sua porosidade, e surge em consequência do transporte de partículas ou de compostos ou de elementos químicos solubilizados. O aumento da porosidade do solo gera instabilidade dos taludes de erosão, sendo parte essencial na evolução das ravinas e voçorocas. Pode também ser processo desencadeador de erosões em áreas de instabilidade de encostas e/ou submetidas ao uso inadequado (Camapum de Oliveira *et al*, 2006, p. 55)

### 1.1.2 Condicionantes dos processos erosivos

Se interpretarmos a teoria geral dos sistemas, de Bertalanfly (1977), temos que a compreensão dos processos erosivos envolve o conhecimento de diversas variáveis, e que formam um fenômeno sistêmico e complexo, que dependendo de seu grau de evolução, pode ser de difícil entendimento. Essa evolução está relacionada a um sistema complexo de múltiplos fatores que atuam concomitantemente ou não, para o desencadeamento de feições erosivas. Conforme combinadas as ações desses agentes/condicionantes, tem-se maior ou maior proporção e evolução de erosões e fenômenos interligados à ela.

Na literatura sobre a temática, consideram-se como fatores primordiais para o desencadeamento dos processos erosivos a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo e a cobertura vegetal. Conforme Pejon (1992), naturalmente os processos erosivos dependem de fatores naturais, que ao serem modificados pelas ações humanas, sofrem alterações.

Autores como Galeti (1985), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Guerra e Mendonça (2004), entre outros, apontam os seguintes fatores como condicionantes da erosão: (I) clima; (II) relevo; (III) cobertura vegetal; (IV) ação antrópica; e (V) natureza do solo. A Figura 3 mostra o esquema elaborado por Ramos (1982) *apud* Casseti (2005), com os fatores condicionantes dos processos erosivos pertencendo a um sistema, onde a combinação de todos eles resultam, no processo de erosão propriamente dito.

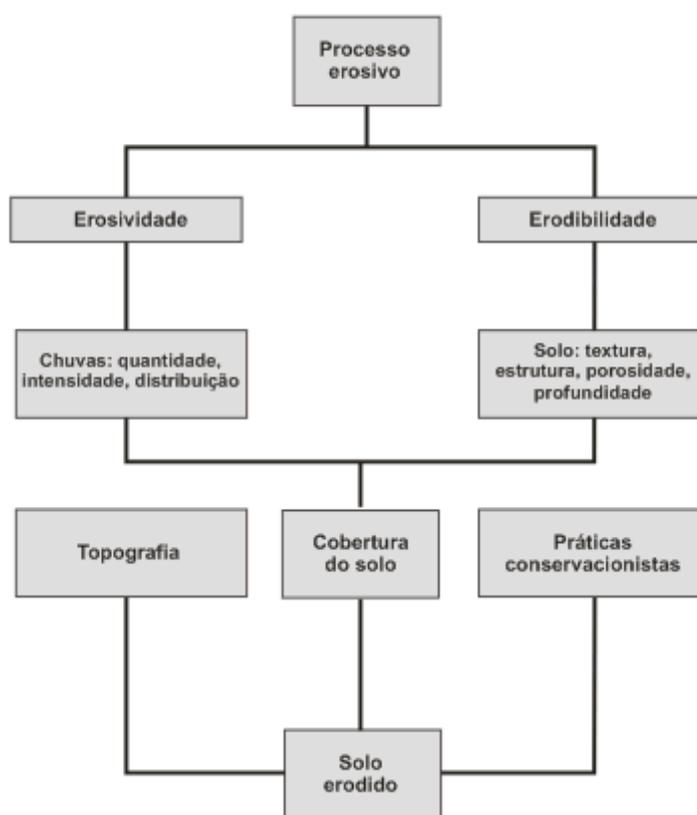


Figura 3: Esquema do processo erosivo  
Fonte: Ramos (1982) *apud* Casseti (2005).

O clima influi de forma direta na formação pedológica, devido sua contribuição no intemperismo (químico), por meio do processo de desagregação de rochas, formando o solo. Conforme Salomão e Antunes (1998) *apud* Sant’Ana (2012, p. 21) “os aspectos climáticos mais importantes no desenvolvimento pedogenético são representados pela precipitação pluviométrica e a temperatura”.

Lugares quentes e úmidos tendem a favorecer o intemperismo químico. Frendrich *et al* (1991) enfatiza que em locais de climas úmidos, tropical quente

e temperado, com a presença de invernos secos e verões chuvosos, os solos tornam-se mais propícios aos processos de intemperismo e desagregação, contribuindo para a formação de processos superficiais.

Em relação ao processo erosivo propriamente dito, a variável precipitação é determinante. A precipitação contribui para a erosividade, variando esta conforme a intensidade, duração (frequência) e velocidade das chuvas. Chuvas de grande intensidade e frequência possuem alto poder de erosão, sendo chamada de erosividade a capacidade que a água possui em desagregar, transportar e depositar as partículas de solo.

Conforme Guerra e Mendonça (2004), as particularidades das gotas de chuva como seu diâmetro, velocidade de queda, influenciam no efeito *splash*, que é responsável por soltar as partículas do solo e dar início ao processo erosivo.

A declividade do terreno, as formas do relevo, irregularidade e extensão do declive têm influência direta na erosão. De acordo com Nishiyama (1995), o comprimento de rampa é fator importante na erosão do solo, pois com o aumento do comprimento da rampa, ocorre um aumento no volume de escoamento superficial, produzindo um aumento na intensidade de erosão, principalmente, sob a forma de sulcos.

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2005), mantendo-se fixos os demais fatores intervenientes na erosão, ao se duplicar o comprimento de rampa a perda de solo triplica. Para Carolino de Sá, (2004) a topografia influi, sendo que em áreas acidentadas, a enxurrada atinge maior velocidade causando maior erosão do que em áreas de topografia mais suave. Isto se deve ao fato de que quanto maior a declividade, mais força terá a enxurrada e o escoamento superficial, ou seja, maior a erosão superficial.

Outro fato que influencia é a forma da vertente, quando convexa tendem a sofrer maiores processos erosivos, visto que são coletoras de água do escoamento superficial, do que as côncavas.

Ou seja, fatores como comprimento de rampa, declive e tipo de vertente, por influenciarem no trajeto a ser percorrido pelas águas da chuva, tendem a aumentar ou diminuir a velocidade de escoamento superficial, e, portanto, na quantidade de material transportado pela erosão laminar. Pode-se,

portanto, tecer a relação de que o processo erosivo e essas características do relevo são diretamente proporcionais.

Para Ayres (1960), a cobertura vegetal tem grande importância na vista ser a defesa natural do solo, contra processos erosivos, amortecendo o impacto das gotas de chuva.

Ainda segundo o autor, a vegetação é uma proteção natural do solo contra o impacto das gotas de chuva, contribuindo para a maior infiltração da água da chuva, devido as suas raízes. Também têm relação direta com a quantidade de matéria orgânica no solo, devido ao aumento na porosidade do mesmo. Da mesma forma relaciona-se a presença de cobertura vegetal, na diminuição da velocidade da água do escoamento superficial e das águas de enxurradas.

Além disso, as folhas das árvores, ajuda na dispersão da água, interceptando e contribuindo para a evaporação de parte dessa água, antes que atinja o solo. Assim, as gotas chegam com menor velocidade e força de impacto ao solo.

Conforme Sant'Ana (2012, p.24), há estudos que “mostram que as áreas cobertas por mata têm a menor perda de solo t/h e água por erosão, o que nos remete a importância da Legislação sobre conservação de Áreas de Preservação Permanente, visto sua importância no controle da erosão e preservação dos recursos hídricos”.

Uma das propriedades de comportamento do solo frente à erosão, que está relacionada, mais especificamente a sua natureza, é a erodibilidade. Enquanto que a erosividade é segundo Camapum de Carvalho et al., (2006), a capacidade dos agentes erosivos, como a água da chuva em causar erosão; a erodibilidade, conforme Freire (2001), pode ser entendida como:

a suscetibilidade do solo aos processos erosivos, e que vem sendo pesquisada nas diversas áreas das ciências naturais. As primeiras experiências utilizaram medidas diretas obtidas em áreas demarcadas, com sistemas de coleta de material e sua posterior quantificação (Freire, 2001, p.3).

A erodibilidade é o elemento passivo, referindo-se ao quão susceptível o solo é ou não à ação de agentes erosivos. Complementando esses dois elementos, tem-se a interferência de fatores moduladores, que podem facilitar ou dificultar o surgimento e/ou agravamento de processos erosivos.

Bastos et al. (1998) trata a erodibilidade, como a propriedade que retrata a facilidade com que partículas do solo são destacadas e transportadas, e para a qual é pertinente o uso de métodos adequados, que a caracterizam para fins de engenharia. De acordo com Freire (2001), a erodibilidade é uma propriedade do solo, que reflete a sua maior ou menor susceptibilidade a erosão e também é definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área.

A erodibilidade dos solos depende praticamente da capacidade de desagregação e transporte de suas partículas. Portanto, pode ser entendida como um dos principais fatores condicionantes de processos erosivos, e desta forma, a execução de ensaios que avaliam a erodibilidade pode fornecer importantes subsídios para a caracterização dos mecanismos atuantes nos processos erosivos.

De acordo com Carolino de Sá (2004) temos relativo à tendência à alta e baixa erodibilidade dos solos:

De maneira geral, solos arenosos, embora apresentem alta permeabilidade, são mais susceptíveis à erosão, sendo considerados solos de alta erodibilidade, pois as partículas de areia são facilmente desagregadas pela chuva. Já solos argilosos, quando apresentam boa permeabilidade, resistem mais à erosão, sendo considerados de baixa erodibilidade. A fertilidade de um solo também influi na sua resistência à erosão: solos naturalmente férteis (...) propiciam um melhor desenvolvimento de plantas (...), protegendo-o da erosão. (Carolino de Sá, 2004, p.1).

A natureza do solo influi de forma direta na sua susceptibilidade a sofrer maior ou menor ação erosiva. A infiltração de água no solo depende do tamanho das partículas que o constitui e da disposição dos espaços porosos. Em virtude da estrutura em que as partículas estão dispostas, alguns solos considerados altamente permeáveis, podem não o ser, como por exemplo, a relação realizada por Fernandes (2011), entre solos argilosos que por vezes podem ser mais porosos que alguns de origem arenosa.

Em geral, por serem mais porosos, espera-se que solos arenosos possuam maior velocidade de infiltração, em relação aos argilosos. Reforçando tal ideia, temos conforme Bigarella (2003) e Camapum de Carvalho *et al* (2006), que quando o material coloidal do solo (característica dos argilosos) apresenta grande expansão quando saturado, e, portanto, diminui o espaço poroso e diminui a infiltração. Já quando as partículas finas do solo se agregam, o espaço poroso aumenta e conseqüentemente a infiltração também tende a aumentar.

Bertoni e Lonbardi Neto (1985) apontam os solos arenosos mais vulneráveis à erosão, visto que partículas com menor quantidade de partículas no tamanho argila tendem a ter baixa coesão, tendo pouca resistência aos processos erosivos, mesmo em pequenas precipitações e escoamentos superficiais (enxurradas).

Fatos também importantes são graus de saturação quando do começo da chuva; a sucção (relacionada ao poder de infiltração) e o grau de agregação do solo (relacionada ao quão rápido o solo pode desagregar, ou não). Além disso, deve-se considerar a textura do solo (relação ao tamanho das partículas do solo), que influi na capacidade de infiltração da água de chuva, e no escoamento superficial.

Considera-se também a estrutura do solo, ou seja, as formas como as partículas se arranjam no solo; que juntamente com a textura definem a porosidade do solo, que por sua vez influi na permeabilidade do mesmo. Já a matéria orgânica está atrelada à estabilidade de agregados do solo, principalmente, das frações silte, além de aumentarem a capacidade de infiltração do solo.

Segundo Fernandes (2011), em literaturas especializadas, há ressalvas, referentes às propriedades litológicas (foliações, xistosidade, estratificação, falhas, dobras), além de características como espessura da camada de solo, e contato com o substrato rochoso. Esses fatores estariam relacionados à infiltração.

Segundo Camapum de Carvalho *et al* (2006), grande parte dos processos erosivos ocorre de modo direto e previsível, decorrente da ação humana no meio. Em meio urbano em geral estão associadas às praticas de

impermeabilização do solo, concentração de fluxo e lançamento inadequado de drenagens pluviais e esgotamento. Em áreas rurais, estão em geral relacionadas às atividades agrícolas e pecuárias.

A erosão acelerada, por estar relacionada às ações antrópicas, permeia campos sociais, políticos e econômicos. Tal afirmação encontra-se baseada nas perdas materiais (casas, obras públicas – estradas, prédios), economicamente têm-se grandes perdas agrícolas e, portanto, oscilações financeiras. De cunho social, têm-se as realocações de pessoas que residiam em áreas de risco, tanto em torno de áreas de processos erosivos, como em áreas próximas a cursos d'água assoreados.

Para Ross (1997), a falta de compreensão do relevo e dos elementos constituintes da paisagem, leva o homem a acelerar processos naturais; agindo como agente modelador do relevo e, portanto, como agente ativo em alguns processos erosivos. Uma dessas formas está na alteração de vertentes, para maior aproveitamento de espaços naturais.

Claro que algumas alterações espaciais, originam erosões onde a possibilidade de ocorrência, não é algo sujeito a previsão direta. Entretanto, se medidas de prevenção e controle, não forem efetivadas, a tendência é a grande perda de material, em um tempo relativamente curto, do ponto de vista geológico, e acarretar o surgimento de feições erosivas de grande dimensão.

Camapum de Carvalho (2006) trata com grande destaque a erosão antrópica em áreas urbanas, e aponta o fenômeno de urbanização com um grande catalisador. Além do mais, ainda conforme o autor, as erosões urbanas nem sempre são lineares e não necessariamente passam pelas fases de sulco e ravina, antes de atingirem o estágio de voçorocamento. Muitos problemas de caráter ambiental, decorrentes de ações humanas, podem ser explicados, como negligência diante de leis de uso e ocupação do solo, e de leis regulamentadoras de caráter ambiental. Essas leis, em geral trazem premissas quanto à utilização do relevo, do ponto de vista ecológico.

Muitos processos erosivos, portanto, têm origem em infraestruturas precárias ou inadequadas, escolha de áreas desfavoráveis à ocupação, como as áreas de altas declividades, alta susceptibilidade natural à erosão, fundos de vale ou terrenos comprometidos por processos erosivos anteriores.

De acordo com Camapum de Carvalho (2006), muitas práticas e/ou eventos ocorridos em meio urbano, como canalizações com tubulação de porte inadequado, rompimentos de canalizações de esgoto e de abastecimento de água potável, desencadeiam processos erosivos, rompimento de taludes, solapamentos, entre outros problemas.

Os custos econômicos e sociais para recuperar essas áreas tornam-se algo muito dispendioso aos cofres públicos e às vezes privado, e em muitos casos acabam por não representar os resultados esperados e/ou satisfatórios.

Para Guerra e Vitte (2004) estes prejuízos econômicos e sociais, ocorrem não somente no local (*onsite*), mas também em áreas próximas ou afastados do local (*offsite*) de erosão propriamente dito. Em geral os efeitos *onsite* estão ligados à perda de fertilidade e nutrientes do solo, diminuição de retenção de água, interferência no cultivo de plantas, além da alteração paisagística local. Já os efeitos *offsite*, referem-se ao escoamento de água e sedimentos às áreas próximas e/ou altitudes menores, além de assoreamento e contaminação de corpos d'água naturais ou implantados no meio, além de enchentes.

Estes custos compreendidos em fatores econômicos, sociais e antrópicos; interferem no tráfego de automóveis e pessoas, além de perdas patrimoniais e de arrecadações municipais devido à desvalorização imobiliária que ocorre. Quanto aos fatores sociais e antrópicos podemos citar a intranquilidade da população, diminuição da produtividade social e por vezes a migração de indivíduos para áreas que ofereçam maior segurança.

Conforme Dener; Cunha; Carvalho (2010), a ação antrópica é apontada de forma quase unânime como acelerador e até catalisador da dinâmica de alguns processos erosivos, por meio da retirada de cobertura vegetal, caracterizando os primeiros impactos sobre a paisagem. Estes impactos são ressaltados pelos distintos usos do solo, e que em geral tendem a contribuir para que a fragilidade pedológica do local resulte em processos erosivos.

A intervenção antrópica em áreas de encostas aliada a declividade e a maior facilidade de escoamento superficial das águas nestes locais geralmente resulta em processos erosivos, e em geral, a formação de ravinas nas

encostas. Associado ao uso do solo tem-se também, a expansão urbana, que como agente participante do processo erosivo, os autores apontam:

A expansão urbana em que ocorre a instalação de loteamentos em áreas de risco, implantação de malha viária com traçado perpendicular aos cursos d'água (concentrando o fluxo pluvial e conseqüentemente aumentando sua energia), execução de cortes e aterros alterando significativamente a topografia e o comportamento hídrico da área. (Dener, *et al*, 2010).

Ainda acerca da temática da erosão Facincani (1995) *apud* Dener, Cunha, Carvalho (2010), afirma que os processos erosivos em áreas urbanas - e também rurais, refletem modelos de ocupação calcados em ações tomadas sem conhecimentos prévio das características físicas de determinados locais. Dessa forma tem-se que a predisposição natural de algumas áreas para serem erodidas acaba sendo estimulada, dando início a dinâmicas de processos lineares.

Já nas áreas rurais os solos tornam-se vulneráveis devido à retirada de vegetação para abertura de áreas agrícolas. Segundo Nunes e Cassol (2008), a agricultura realizada em relevos acidentados e a prática de queima de restos de culturas entre outras praticas de manejo, são formas de aceleração da erosão.

Ainda conforme os autores, o uso inadequado de maquinários agrícolas, a forma incorreta das curvas de nível nas lavouras e a compactação do solo causada pelo pisoteio do gado em área de pecuária extensiva também são fatores que contribuem para acelerar o processo erosivo.

Referente tanto ao meio rural quanto ao urbano, tem-se a questão das estradas de terra – não pavimentadas – que tendem a sofrer com processos erosivos das mais diversas magnitudes e que economicamente caracterizam-se com um grande problema para a gestão pública. Esses processos erosivos estão em geral atrelados à rede de drenagem inexistente, e a presença de valetas sem canalizações, nas bordas das pistas.

## 1.2 Erosão em estradas de terra.

Segundo Griebeler *et al* (2005), as estradas são faixas do terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos e devem se encontrar em condições favoráveis ao tráfego sob as mais variadas condições climáticas para que possam cumprir de forma satisfatória a sua função.

Para Anjos Filho (1998), citando o caso do estado de São Paulo, essas estradas são responsáveis por aproximadamente metade das perdas de solo em virtude da erosão. Já em áreas florestais, autores como Grace III *et al.*, (1998) afirmam que mais de 90% do sedimento produzido provêm das estradas devido, principalmente, à drenagem inadequada.

Para Nunes (2003), estes tipos de estrada geralmente são revestidas por solo local, e por vezes com mistura de material granular, decorrente das praticas de manutenção.

Nunes (2003), ainda ressalta que as condições físicas em que se encontram as estradas de terra, dependem de inúmeros fatores específicos à cada região do globo (clima, solo, topografia) e da ação antrópica exercida nela (tráfego, forma e frequência da manutenção). Esses fatores seriam os condicionantes para o surgimento ou não de problemas ambientais que possam vir a ser responsáveis pela interrupção e determinadas vias.

Na interpretação de Carvalho (1992) as propriedades geométricas das vias de circulação são resultantes do aproveitamento de trilhas e caminhos existentes e assim, é comum apresentarem curvas fechadas (raio reduzido) e rampas declivosas. Cabe também mencionar, conforme o autor, que estas vias apresentam larguras variadas, decorrentes das necessidades e fluxos de tráfego à elas condicionadas. O tipo de tráfego, também contribui, de forma direta, nos tipos de problemas relacionados a essas vias de circulação, tanto no aspecto do conforto para quem circula por elas, quanto no ponto de vista ambiental.

O leito das estradas conforme Nori *et al* (2005) deve apresentar características adequadas para suportar a carga a que será submetido em que ocorra deformação capaz de modificar a conformação original do projeto. Para

os autores, as estradas devem também ser adequadamente drenadas para que a umidade não altere suas características de resistência e a erosão não comprometa sua utilização.

A degradação das estradas de terra é considerada como um grande problema ambiental visto que a dinâmica dessa degradação afeta áreas mais amplas do que a área da estrada em si.

Um dos principais processos que causam a degradação das estradas não pavimentadas afetando a sua trafegabilidade é a erosão que pode ter consequências também nas áreas marginais provocando prejuízos aos mais variados setores da economia e da sociedade.

Em geral, conforme Maciel Filho e Nummer (2011), a questão principal do desenvolvimento de processos erosivos em estradas de terra, deve-se ao fato de a maioria desse tipo de acesso ser construído sem projeto de engenharia, na maioria das vezes atendendo de forma precária as necessidades do local. Também é normal o surgimento de estradas, a partir de caminhos (trilhas de acesso), que são melhorados e redimensionados para atender demandas locais.

Griebeler *et al* (2005) *remetem* à erosão hídrica no leito e nas margens das estradas como responsáveis por mais da metade da perda de material nestes locais. Os autores ainda destacam que maior parte dos sedimentos nas estradas de terra apresenta granulometria inferior à 2mm; e estes são os grandes vilões que, ao atingirem cursos d'água, estabelecem as condições para o assoreamento.

Para os autores, outro fato que intensifica a presença de processos erosivos é a passagem de veículos que não permite a presença de vegetação rasteira nos lugares onde formam os trilhos por onde passam os rodados. Nesses pontos ocorre uma sobrecarga que pode dar origem aos sulcos ao longo da estrada. Devido a falta de uma camada que proteja a superfície das estradas de terra, a evolução de feições erosivas ocorre de forma mais intensa, e os sedimentos oriundos dos ciclos erosivos, tende a depositar-se em regiões mais baixas, originando bacias de sedimentação. Esta sedimentação influi em áreas agrícolas e em áreas de mananciais e cursos d'água.

Além dos problemas já relacionados às estradas de terra, tem-se a presença de áreas de rebaixamento, que precisam ser niveladas ao restante da estrada, para continuar possibilitando a utilização da mesma. Além do mais, esse rebaixamento do nível do terreno, interfere de forma negativa na drenagem e escoamento de águas pluviais, além do mais, esses locais em geral estão alagadiços, formando atoleiros (borrachudos).

Mariotani (1987) afirma ser comum às estradas de terra o surgimento de pontos com ondulações, atoleiros, erosões, acúmulos de sedimentos (arreiões); isso em decorrência de falhas da drenagem, e má dimensão do uso em relação à capacidade de suporte que as camadas que recobrem a estrada, possuem. Ainda relacionado às estradas de terra, o autor cita a presença de atoleiros em locais onde há grande presença de siltes, e/ou afloramento de água subterrânea.

Conforme Maciel Filho; Nummer (2011), a presença de rodeiros (sulcos devido à compactação pelo trânsito), ondulações e atoleiros, devem-se pela falta de suporte do subleito da estrada.

A capacidade de suporte de um solo está diretamente ligada à resistência aos processos superficiais e à degradação decorrente da circulação de veículos. Coadunando-se com a assertiva, temos Santos (1988).

os defeitos comumente encontrados em estradas não pavimentadas devido à falta de capacidade de suporte, são as ondulações transversais e as trilhas de rodas. Em períodos chuvosos, a baixa capacidade de suporte favorece, ainda, a formação de atoleiros. (Santos, 1988, p. 21).

Outro fato é a erosão em aterros que ocorre quando o material utilizado é muito erodível, apresentando um alto grau de erodibilidade. Também podemos listar surgimento de processos erosivos em estradas, associado à falta de manutenção de bueiros, que resulta em solapamentos e erosão interna.

De acordo com Nogami e Villibor (1995) a erodibilidade é um dos fatores mais importantes para a escolha do projeto mais apropriado para controlar a erosão ao longo das rodovias. Bastos (1999) salienta que a erodibilidade é uma

das características mais complexas do solo, em virtude do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

Outro fator que contribui para o desencadeamento de processos erosivos é a localização do eixo da estrada em relação ao nível natural do terreno, ou seja, qual a direção do corte da estrada em relação às linhas de fluxo do terreno. Da Cruz (2005), lista as três formas de corte transversal das estradas:

Seção transversal em corte: correspondente à situação em que o leito da estrada encontra-se implantado abaixo da superfície natural do terreno. Seção transversal em aterro: corresponde à situação onde a rodovia situa-se acima do terreno natural. Seção transversal mista: ocorre quando, na mesma seção, a rodovia resulta de um lado, abaixo do terreno natural, e do outro, acima do terreno natural. (Da Cruz, 2005, p.28-29).

A posição da estrada em relação ao nível natural do terreno tenderá a influenciar na drenagem das águas pluviais e no comportamento diferente entre os variados segmentos de uma mesma estrada, visto a alternância de material de recobrimento, que a mesma terá.

Segundo Griebeler *et al.* (2005a), os custos para a construção e manutenção das estradas são bastante elevados, razão pela qual sua construção deve ser realizada de maneira a se considerar todos os fatores passíveis de prejudicar a sua estrutura

Referente à manutenção e conservação de estradas, Soares Jr e Ferreira (2008), utilizam como exemplo, os custos financeiros agregados à manutenção das estradas não pavimentadas no estado de Goiás, no ano de 2007.

Em Goiás, segundo dados da Agência Goiânia de Transportes e Obras (AGETOP, 2007), o Estado possui cerca de 11.248 Km de rodovias não pavimentadas que custam mensalmente, R\$ 240,97 (duzentos e quarenta reais e noventa e sete centavos) por quilômetro, para manutenção e conservação das mesmas. Soares Jr e Ferreira (2008, p. 4).

Outro exemplo de manutenção de estradas é a experiência do município de Maringá, descrito por Maciel Filho e Nummer (2011). Nesse caso, para tentar solucionar os problemas de erosão na estrada, foi levantado o seu leito da estrada, em aproximadamente 1 metro utilizando material das laterais,

umentando dessa forma a sarjeta. Assim as laterais ficaram rebaixadas e largas. Quando chove a água que acumula nas faixas laterais é desviada para os terraços usados para o plantio. Essa água infiltra aos poucos, ou então é direcionada a algum corpo d'água próximo. Ainda segundo os autores, esses terraços possuem uma inflexão junto às estradas, criando assim o que chamam de bacia de infiltração, na parte rebaixada.

### **1.3 Avaliação da erodibilidade: ensaios geotécnicos**

Uma forma de avaliar, e quantificar os processos erosivos é por meio de ensaios diretos e indiretos de avaliação da erodibilidade, de amostras de solos e rochas. Assim na literatura específica encontram-se diferentes ensaios geotécnicos que sozinhos ou combinados têm sido utilizados para avaliar a erodibilidade dos solos e rochas.

Os ensaios de erodibilidade são utilizados para determinar, caracterizar e mensurar os processos erosivos, podendo contribuir para a elaboração de planos de manejo de áreas com grande fragilidade natural.

Camapum de Carvalho (2006), afirma que a avaliação da erodibilidade dos solos pode ser determinada de maneira direta e/ou indireta. Para a avaliação indireta da erodibilidade usam-se ensaios de caracterização física, caracterização mineralógica, e os ensaios de infiltrabilidade e de perda de massa propostos na metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) de Nogami e Vilibor (1979) – para esse trabalho as informações foram extraídas de material publicado pelos mesmos autores em 2009)

Já para a avaliação direta segundo Jacintho *et al.* (2006) e Camapum de Carvalho (2006), podem ser utilizados os ensaios de Inderbitzen e de desagregação.

Bastos (2002 a e b) apresentou uma nova proposta metodológica com uma abordagem geotécnica para avaliação da erodibilidade de solos residuais. Tal proposta consiste em uma avaliação indireta e uma avaliação direta da erodibilidade. A avaliação indireta é realizada em campo, com base em diferentes critérios estabelecidos na literatura técnica como a Estimativa do fator erodibilidade  $K_{USLE}$  da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) entre

outros. A avaliação direta se dá por meio dos ensaios de Inderbitzen em laboratório, complementada com os ensaios de resistência ao cisalhamento direto com controle de sucção.

Os ensaios de caracterização física são considerados essenciais não só para a avaliação da erodibilidade, como também para qualquer outro tipo de estudo que envolva solos e rochas sedimentares. Sua inter-relação com a erodibilidade não é considerada simples e direta para alguns autores, como Jacintho *et al.* (2006). Para estes autores, os solos tropicais possuem a característica de serem agregados quando intemperizados, sendo um equívoco a relação direta entre a granulometria do solo e a erodibilidade, por exemplo.

Para Cardoso (2002), não é válida a relação entre plasticidade e erodibilidade, visto que em solos tropicais com oxi-hidróxido de ferro, que tende a apresentar maior estabilidade e resistência, aos processos erosivos, mesmo apresentando uma baixa plasticidade.

Jacintho *et al.* (2006), consideram a porosidade e a distribuição dos poros como uma das propriedades físicas mais relevantes na inter-relação com a erodibilidade. Isto porque segundo os autores, os fenômenos de sucção, coesão e permeabilidade são afetados pela estrutura em que se encontram as partículas do solo. Os autores ainda propõem a desconsideração do peso específico real dos grãos, visto que são muito variáveis nos solos tropicais.

De acordo com Fácio (1991) a erodibilidade é inversamente proporcional ao grau de saturação não apresentando tendência com os demais parâmetros geotécnicos estudados isoladamente. Vale ressaltar que, que a caracterização química, mineralógica e microestrutural são de grande importância, para a avaliação da erodibilidade, por ser uma propriedade do solo de grande complexidade devido aos inúmeros fatores intervenientes.

A metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) envolve um conjunto de ensaios para solos tropicais e subtropicais, utilizado para estudos em rodovias e estradas vicinais. Assim, tem como objetivo quantificar e classificar os solos em relação ao grau de erodibilidade; baseada em dois parâmetros: o coeficiente de sorção ( $s$ ), obtido no ensaio de infiltrabilidade, e o coeficiente de perda de massa ( $\pi$ ) por imersão modificado. O ensaio de perda de massa imersão modificado consiste em submergir por certo período de

tempo, amostras solo confinadas pelo anel; recolhendo no final do ensaio, o solo desprendido deste anel. Após é seca em estufa. A perda de massa por imersão é calculada pela relação entre o peso do solo seco desagregado e o peso do solo seco total da amostra.

Através da divisão do parâmetro  $\pi$  por  $s$ , é determinada a classificação dos solos, quanto ao seu grau de erodibilidade. Solos erodíveis são aqueles que apresentam valor superior à 52, para essa relação conforme a Figura 4. Para Pejon (1992) afirma que os solos podem ser classificados como erodíveis, quando essa relação entre  $p$  e  $\pi$ , for maior que 40.

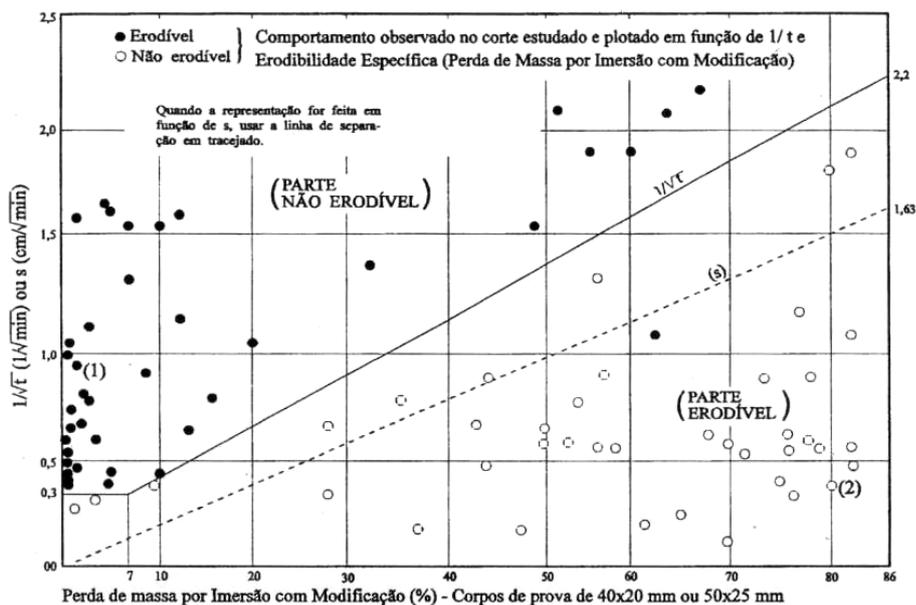


Figura 4: Critério de erodibilidade MCT segundo Nogami e Villibor (1995).  
Fonte: Bastos (1999a)

Os critérios de erodibilidade, baseados nessa metodologia MCT, foram confirmados por Bastos (1999a) ao estudar de solos residuais não saturados na região metropolitana de Porto Alegre, assim como por Tatroo *et al.* (2007) em uma voçoroca no oeste do Rio Grande do Sul.

O ensaio de desagregação é uma forma de avaliação direta e qualitativa da estabilidade de uma amostra de solo, verificando a instabilidade à desagregação de uma amostra de solo, ao ser submersa em água. Em suma, é um ensaio de simples realização, servindo para direcionar os demais ensaios. Esse ensaio também é chamado de “*slaking test*”, e evoluiu do chamado “*crumb test*”, ensaio preconizado para identificação de solos dispersivos através da imersão gradual de uma amostra de solo em água com a descrição

qualitativa dos fenômenos observados. Este ensaio pode ser relacionado com as fases do processo erosivo, conforme Santos (1997), pois o solapamento, por exemplo, é um dos eventos que compromete a estabilidade de um talude, assim como ocorre nas amostras imersas.

Cabe porem lembrar, que de acordo com Bastos (1999), esse ensaio não pode verificar uma relação com níveis intermediários e baixos de erodibilidade, visto que somente solos de alta erodibilidade irão desagregar completamente durante o ensaio.

Conforme Camapum de Carvalho (2006) e Santos (1997), pode-se afirmar que na descrição qualitativa da amostra, pode-se observar as seguintes dinâmicas na amostra: (i) abatimento (*slumping*); (ii) fraturamento no topo; (iii) rupturas nas bordas; (iv) velocidade de desagregação; (v) grau de dispersão das partículas de solo; (vi) velocidade de ascensão capilar; e (vii) inchamento, (viii) sem resposta.

Lima (1999) realizou ensaios de desagregação em amostras de solo em erosões da cidade de Manaus, coletadas entre 5,0 e 8,5 m de profundidade, sendo submersas totalmente durante sete dias, não mostrando nenhuma desagregação, tendo como resultados a associação da estrutura geológica ao processo de evolução da erosão.

Um exemplo de aplicabilidade desse ensaio é o estudo de Welter e Bastos (2003), no qual realizaram o ensaio utilizando amostras compactadas no equipamento miniatura com diâmetro e altura de 5 cm na condição de umidade ótima de compactação ( $W_{ótima}$ ) e previamente secas ao ar, sendo submetidas ao processo de imersão parcial apenas onde concluíram que este ensaio tem boa aplicabilidade para a avaliação da erodibilidade.

#### **1.4 Formação de terraços fluviais (ou terraços aluviais)**

Após delimitar a área de estudo, constatou-se que a estrada de terra, escolhida para análise, encontra-se em área de terraço fluvial. Buscando compreender o processo erosivo no local, considerando a composição

granulométrica, geomorfologia e propriedades dos solos<sup>6</sup>, tornou-se relevante uma revisão teórica acerca da formação dos terraços fluviais e das características inerentes aos mesmos.

Para Christofolletti (1981), os terraços fluviais são compostos por material detrítico aluvial cujas estruturas sedimentares refletem os mecanismos e os processos deposicionais do leito fluvial, dos cordões marginais convexos, dos diques marginais, das bacias de inundação e de outros elementos das planícies de inundação. Estão situados à determinada altura acima do curso de água atual e as inundações e os transbordamentos não conseguem recobri-los.

O mesmo autor, ainda destaca a necessidade de duas fases primordiais para ocorrer à formação de um terraço: fase deposicional (formação da planície de inundação), e a fase de entalhamento, na qual o canal fluvial escava e aprofunda o leito.

Coadunando-se a esta ideia, Suguio (1990) ao trabalhar com as superfícies geomorfológicas<sup>7</sup> - superfícies que são aperfeiçoadas por processos erosivos e/ou deposicionais fluviais (terraços fluviais) ou marinhos – compara os terraços fluviais aos níveis de antigos rios, com cobertura de areia e/ou cascalhos de origem fluvial.

Para Suguio e Bigarella (1990, p. 72), os terraços “são basicamente os produtos da erosão fluvial e do encaixamento do talvegue” do rio, sendo formados quando o rio corta os sedimentos que estão depositados na planície de inundação, conforme ilustra a Figura 5. Esta figura é descrita em Bigarella (2003) como terraços fluviais da seguinte maneira: a representação de um vale preenchido por aluviões (figura 5.1), e posteriormente, erodido em forma de terraço. Já na representação da Figura 5. 2 tem-se os terraços relacionados com a forma de abandono da planície inicial; em “a” um terraço embutido e em “b”, um terraço encaixado.

---

6 Utiliza-se nesse trabalho, o termo solo, conforme é empregado no Manual Técnico de Pedologia, elaborado pelo IBGE: “o termo solo se refere a todas as partes do perfil do solo, presentes acima do material de origem (camadas e horizontes genéticos)”. (IBGE, 2007, sem página)

7 Corresponde a uma superfície do terreno, bastante plana e mais ou menos contínua, formada ao mesmo tempo por processos erosivos ou deposicionais (marinhos, fluviais, glaciais, etc.) atuantes na porção externa da Terra.

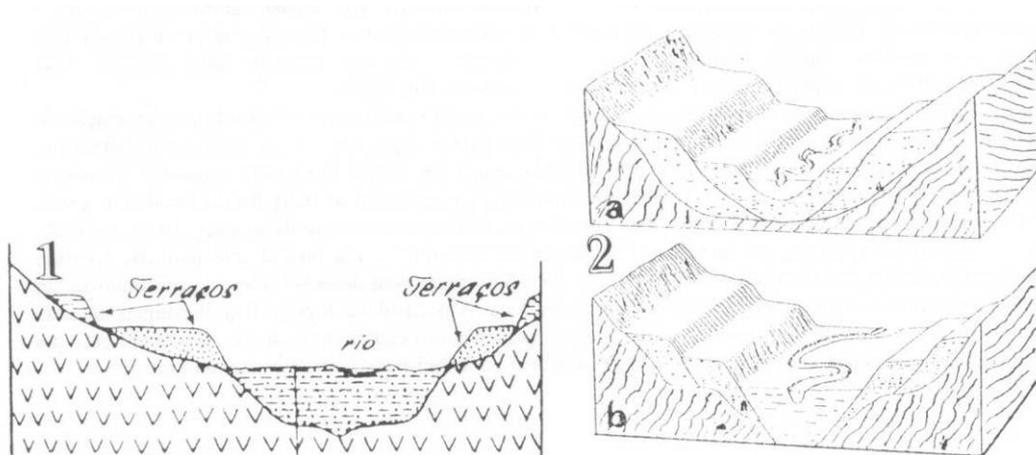


Figura 5: Terraços fluviais.  
Fonte: Bigarella, 2003.

Suguio e Bigarella (1990), ainda trazem referências quanto aos questionamentos de duas causas prováveis para a formação dos terraços: tectônica e/ou climática. Os fatores climáticos seriam responsáveis, por condicionar a formação de terraços, enquanto que a ação tectônica atuaria na acentuação a diferença de nível, entre os vários terraços existentes. Suguio e Bigarella (1990), assim explicam:

Os fatores climáticos parecem ser os condicionantes, enquanto que os tectônicos contribuem para acentuar com o tempo as diferenças de nível entre os vários terraços. As múltiplas e profundas mudanças climáticas ocorridas durante o Quaternário teriam influência decisiva nas mudanças das condições hidrodinâmicas do sistema fluvial, devido a implicações no revestimento vegetal e distribuições das chuvas. (Suguio e Bigarella, 1990, p.73).

Conforme Leopold, *et al* (1964) *apud* Suguio e Bigarella (1990), os movimentos tectônicos são responsáveis por realocar os divisores d'água em meio climático diferente, o que modificaria as formas de vertente e os sedimentos fornecidos ao leito do rio. Entretanto, Suguio e Bigarella (1990), questionam a lentidão dos processos tectônicos, sugerindo que os terraços mais recentes teriam além da influência de movimentos epirogênicos positivos, a influência de controles climáticos que têm condições de alterar o ciclo hidrológico, o que afeta, por conseguinte, o fornecimento de água e sedimentos aos cursos d'água.

Christofolletti (1936, p.259) já considerava esta hipótese; afirmando que as oscilações climáticas “interferem nas relações entre a carga detrítica e o débito fluvial, desencadeando seja a acumulação ou o entalhamento do leito”.

Na interpretação de Press, *et al* (2006), a formação de um terraço se dá quando um rio cria uma planície de inundação, após isso, por algum movimento tectônico, pode haver um rápido soerguimento da área, mudando o perfil de equilíbrio do rio, que tenderá a entalhar mais profundamente a própria superfície de inundação. Ao longo do tempo o rio, entrará em equilíbrio<sup>8</sup> em um nível inferior. Em suma, os terraços marcam o que antigamente foi uma planície de inundação.

Para Press *et al* (2006; p.355), essas planícies, formam-se quando um rio muda seu curso, erodindo o substrato rochoso ou o sedimento inconsolidado. Quando ocorre uma cheia ou alagamento, “o rio diminui sua velocidade e perde a sua capacidade de carregar sedimentos”.

Segundo Nunes *et al* (1995, p.16), em seu trabalho publicado no Manual de Geomorfologia, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os terraços fluviais ocorrem em margens de planícies fluviais, em trechos entalhados pelo rio “em decorrência da retomada de erosão causada por mudanças do sistema morfogenético ou do nível de base regional”.

Dessa maneira a corrente acaba por depositar os materiais mais grossos (areia e cascalho) ao longo da borda do canal, formando diques naturais. Também ao longo das cheias, há o transporte de sedimentos finos (siltes e argilas), cobrindo a área de inundação, sendo esses locais os de preferência para a agricultura, por exemplo.

---

8 Um rio em equilíbrio é segundo Press (2006, p.354), “aquele em que a declividade, velocidade e descarga combinam-se para transportar sua carga sedimentar, sem que haja erosão nem sedimentação”.

## **2. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA**

A caracterização geográfica do CISM apresenta o histórico da área, sua forma de utilização e suas principais características físicas tendo como base autores como Maciel Filho (1990), Marchiori (2009) e Sant'Ana (2012) principalmente.

Santa Maria tem em sua história entrelaçada com a história das ocupações militares na região sul do país. Assim sendo, inúmeras áreas do município encontram-se sob jurisdição militar.

Ao longo da história do município, o número de quartéis teve um aumento significativo e, conseqüentemente o contingente militar também aumentou. Dessa maneira as organizações militares (OM) se espalharam pela área urbana e além do perímetro urbano, como o caso do CISM. Desta forma as OM's possuem domínio sobre diversas áreas do município, constituindo esses espaços em territórios a parte das legislações vigentes, para o restante do perímetro municipal.

Estas áreas configuram-se em excelentes locais para pesquisa, sobretudo ligadas a processos naturais Tendo em vista a utilização desses espaços, para o desenvolvimento de pesquisas foi realizado um convênio, no ano de 2010 entre a UFSM e o Exército Brasileiro com o objetivo de elaborar o diagnóstico ambiental do Campo de Instrução de Santa Maria que pudesse dar suporte técnico para ações de manutenção e recuperação daquele espaço naturalmente frágil.

A territorialização militar na região central do Rio Grande do Sul, segundo Macedo (2012), inicia-se com a ocupação ibérica, a partir da segunda metade do século XVII, com a vinda dos primeiros missionários da Companhia de Jesus que chegam às imediações da atual Santa Maria, refugiando-se de ataques dos bandeirantes. Esse território ao longo da história teve seu destino traçado por diversos tratados e acordos geopolíticos entre os povos luso-espanhóis.

Conforme Beltrão (1958), no século XVIII, houve inúmeras instalações e acampamentos militares na região, sendo somente no início do século XIX que a região passou a ser considerado um povoado. Em geral, as diversas fontes consultadas, divergem quanto a localizações e algumas nomenclaturas, Entretanto, todas atrelam origem do município de Santa Maria às questões platinas e de caráter militar.

Atualmente, em Santa Maria, encontra-se um dos maiores contingentes militares do país, sob referencial bélico. A importância da presença militar no município torna-se fator inquestionável, assim como afirma Machado (2012):

Toda essa herança histórica, militar e geopolítica envolvendo Santa Maria faz dela um referencial para a instalação de unidades militares federais, que foram transformando o espaço geográfico da cidade com a construção de quartéis, materializando um determinado tempo histórico do país e até mesmo a própria cidade. A instalação dessas unidades marcou o novo reordenamento espacial na cidade, caracterizado pela presença institucional das forças terrestres que, com o passar do tempo, foram tornando-se cada vez mais numerosas no município. A partir do século XX, Santa Maria passa a ter unidades do Exército, e mais tarde a fundação da Base Aérea. (Machado, 2012):

No início do século XX, as forças armadas eram relativamente muito inferiores as que hoje atuam nesse território. Conforme os mapas (Figura 6) elaborados por Machado em 2008 e publicados em 2012, a presença militar em termos territoriais teve um enorme avanço, ocupando grandes áreas, e muitas delas com localização geográfica, muito favorável em termos geopolíticos.

Tal histórico militar, relacionado ao surgimento do atual município de Santa Maira, reafirma a importância do acesso a estas áreas, como laboratórios para pesquisa e extensão; criando laços entres instituições de ensino e militares.

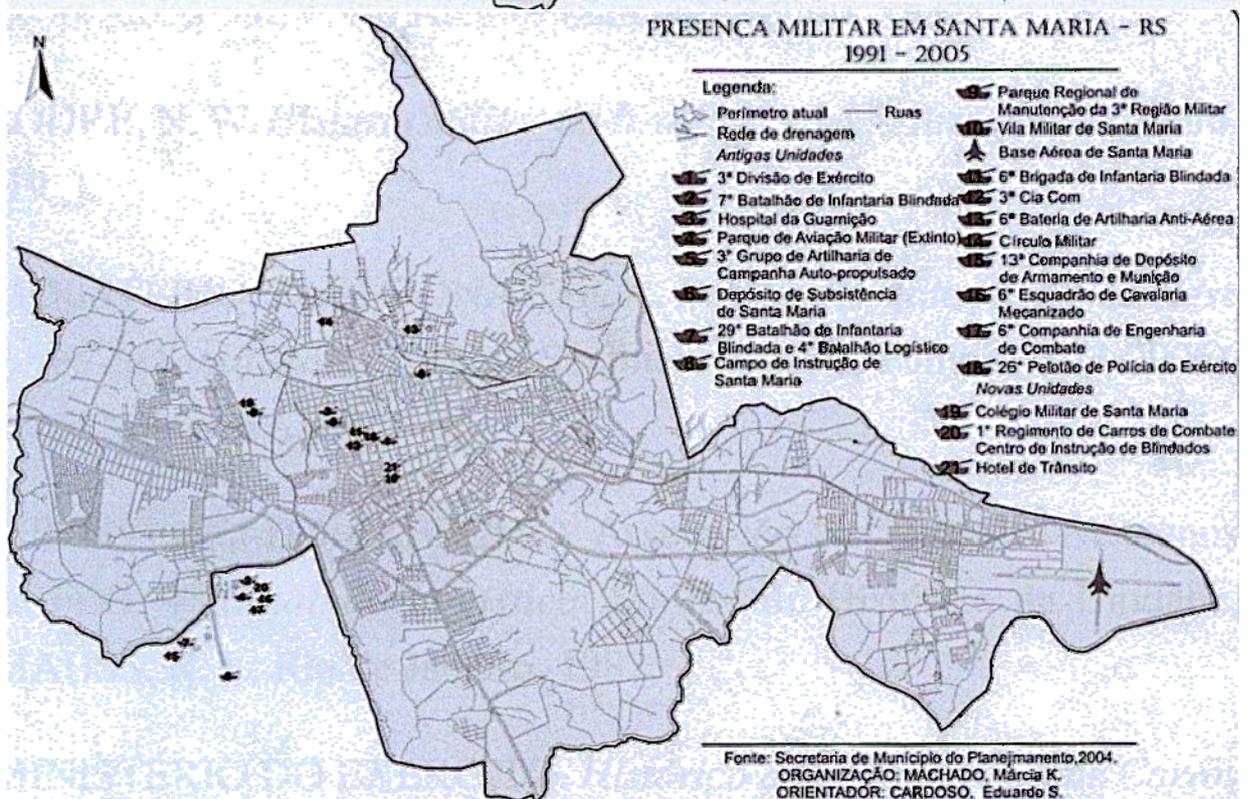
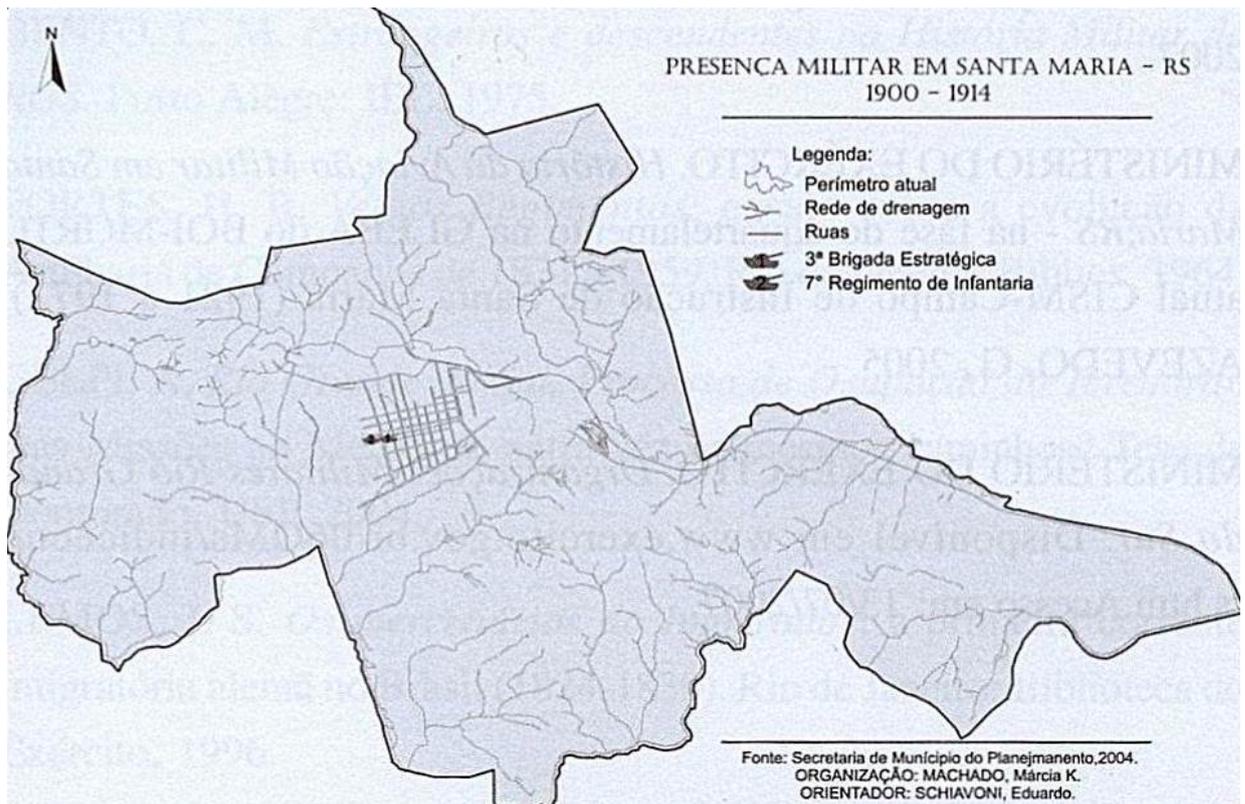


Figura 6: Evolução da distribuição dos quartéis, no município de Santa Maria/RS.  
Fonte: Ribeiro e Weber (2012).

O Campo de Instrução (CISM) faz parte do contingente militar que se estabeleceu no município de Santa Maria. É uma Organização Militar (OM) do

Exército Brasileiro, fundada no ano de 1956, que abrange uma área total de 5.855,9 ha, e destinada ao treinamento das “tropas blindadas” da Guarnição de Santa Maria.

Conforme material cedido pelo Tenente do Campo de Instrução Ayrton Cavalheiro, a criação do CISM encontra-se entrelaçada com a instalação do Parque de Aviação Militar em Santa Maria, no ano de 1922. Atualmente nesse local encontram-se o 29º Batalhão de Infantaria Blindado e o 4º Batalhão Logístico. Em 1937 o parque de aviação foi transferido para o município de Canoas, e em 1945, o General Henrique Baptista Dufles Teixeira Lott, levou aos seus superiores, a necessidade da criação de uma área para a realização de treinamentos das tropas blindadas.

Em 1945, esse mesmo general ao ser nomeado ministro da Guerra, e sob o aval do então presidente da república Juscelino Kubitschek, autorizou a desapropriação de alguns imóveis, que fosse de interesse ao serviço do Exército Brasileiro.

Assim, conforme Sant’Ana (2012):

A área desapropriada era composta de terrenos pertencentes ao então Ministro do Supremo Tribunal Federal, Carlos Maximiliano Pereira dos Santos; sucessores do Sr. Ramiro de Oliveira; sucessores da Sra. Lydia Campos de Barros, de proprietários não identificados, num total de aproximadamente 6.000 hectares, tendo custado à União Cr\$ 25.500.000,00 (...). Hoje, o CISM está registrado no Cartório de Registro de Imóveis de Santa Maria/RS sob as matrículas 70.467 (1.398 ha), 21.998 (2.915 ha), 22.448 (309, 0573 ha) e 5.152 (1.244,9335 ha), somando uma área total de 5.866,9908 ha e localiza-se no Bairro Boi Morto. (Sant’Ana, 2012, p.50).

Em 1957, o Campo de Instrução foi inaugurado, com o nome de Campo de Instrução General Teixeira Lott (CISM). Em 1974, foi inaugurada sua sede, nomeada como “Sede Marechal Castello Branco”.

Em termos gerais, cabe ao CISM, como Organização Militar (OM), proporcionar às demais OM’s, o apoio técnico cabível, para a instrução de tropas militares. Aproximadamente 15 mil homens realizam treinamentos específicos no local, que é dividido em áreas de treinamentos definidas por três entradas principais de acesso, visando o treino simultâneo de quartéis. Além de

militares brasileiros, militares estrangeiros também realizam treinamentos na área, no ano de 2010, segundo Sant'Ana (2012), militares argentinos e chilenos também utilizaram a área para treinamentos.

Atualmente o número de “blindados<sup>9</sup>” utilizados para treinamentos, compreendem um efetivo de 140 veículos, que possuem entre 22 e 45 toneladas. Os treinamentos militares na área do CISM concentram-se entre os meses de Março a Novembro, com uma frequência de dois dias por semana.

Além dos “blindados”, outros carros relativamente pesados, percorrem a área do Campo de Instrução como as “viaturas sobre rodas” que podem pesar até cinco toneladas.

Estas operações têm causado um grande impacto em determinados locais do Campo de Instrução, relacionados à compactação do solo, erosão em estradas de terra (sulcos, ravina e voçorocas), surgimento de campos de areia devido à desagregação do solo, assoreamento, destruição da cobertura vegetal. Os veículos, de grande porte, utilizados, em solo frágil como o da área, tendem a gerar grandes impactos ambientais, acelerando os processos erosivos no local (*onsite*), influenciando as áreas próximas ou afastadas (*offsite*). As consequências *offsite*, incluem os impactos sociais, e justifica-se pelo processo de assoreamento de arroios próximos, como o Arroio Cadena, que é limite natural da área militar em questão.

Diante desta realidade de fragilidade ambiental natural, o Exército adotou algumas medidas de emergência visando amenizar o impacto ambiental na área do CISM acarretado por esses treinamentos. Dentre essas medidas, estão a elaboração de uma norma de circulação de “viaturas” blindadas e sobre rodas, restringindo a movimentação em determinadas áreas e a elaboração e execução de um projeto de engenharia, objetivando a construção de passagens (*vaus*) para as viaturas (principalmente, as blindadas), procurando canalizar o movimento dessas áreas. Estas medidas, a médio e longo prazo tendem a minimizar os impactos gerados pelo uso do campo, porém, ainda não foram pensadas ações que possam recuperar as áreas já impactadas.

---

9 “Blindados” são veículos que possuem proteção de aço contra armas de pequeno calibre, por isso tem grande peso pela espessura da blindagem. “Viaturas” é qualquer veículo militar, seja ele blindado ou não.

Para compreender a realidade do local de estudo, se faz necessário avaliar a área sob diferentes aspectos físicos, entre eles o relevo. Para iniciar a análise do relevo foram utilizados os mapas hipsométrico, de declividade e de drenagem. O cruzamento desse material cartográfico contribui para a compreensão do uso do solo. Questões referentes às precipitações, também influi no desenvolvimento de processos erosivos.

Essa região encontra-se sobre o domínio do clima subtropical com as quatro estações bem definidas, com verões quentes e invernos frios; lembrando que segundo Barros Sartori (1979) as temperaturas têm uma média anual em torno dos 22°C, e precipitação média varia de 1.322 a 1.369 mm.

Relacionada à umidade, tem-se a frequente presença de nevoeiros, o que resulta na menor disponibilidade de insolação e radiação solar do RS, sendo estes nevoeiros associados às condições orográficas da região. Essa condição climática fornece configurações de fatores, essenciais à erosão.

Tendo em vista o estudo dos processos erosivos terem ocorrido em uma estrada de terra, a caracterização física apresentada a seguir se refere exclusivamente a esta porção da área estudada. Para tal, foram utilizadas informações retiradas da dissertação de Sant'Ana (2012) intitulada: Diagnóstico Ambiental do Meio Físico do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM).

A estrada estudada encontra-se junto a vertente de uma colina (com declives menores de 2% e entre 5 e 15%), entre as cotas altimétricas de 90 e 100 metros, com predomínio de comprimentos de rampas longos. Esses elementos configuram um relevo de colina suave, com a presença de áreas de dissecação, próximas as drenagens. A estrada está orientada na direção NW – SE, e possui 472 metros de extensão e aproximadamente 10 metros de largura.

De certa forma essa característica de relevo proporciona maior intensidade de tráfego e conseqüentemente maior impacto ambiental, ao contrario do relevo acidentado (colina ondulada) que garante maior integridade aos solos, pois impossibilita o uso com tráfego intenso de veículos pesados.

Em relação a geologia, a estrada está sobre um depósito de Terraço Aluvial cuja origem está relacionada aos arroios Taquarichim e Cadena e abaixo dele encontram-se os arenitos da Formação Caturrita. Os arenitos da

formação Caturrita variam desde finos à conglomeráticos, com estratificações cruzadas, acanaladas e planares de pequeno a médio porte.

No depósito de Terraço Aluvial desenvolveu-se, conforme Sant'Ana (2012), um argissolo vermelho-amarelo distrófico.

Como características importantes, quanto à fragilidade natural de tais solos, tem-se que os Argissolos Vermelhos a Vermelhos-Amarelos com textura arenosa nos horizontes superficiais (A+E) há uma rápida infiltração da água, que diminui no horizonte B textural devido a sua menor permeabilidade, o que é mais acentuado quando há uma mudança textural abrupta. Conseqüentemente a saturação com água nos horizontes superficiais será alcançada tanto mais rapidamente quanto menor for a espessura dos horizontes A+E, dando início ao escoamento superficial da água. Como resultado tem-se erosão em sulcos, culminando com a formação de voçorocas.

Assim, em condições de mesma declividade, quanto mais próximo da superfície for o início do horizonte B textural, tanto mais rapidamente se evidencia a drenagem impedida e o processo de erosão, menor tolerância à perda de solo.

A composição vegetal da área de entorno da estrada é um mosaico de fragmentos de matas, florestas e campos nativos. Conforme Sant'Ana (2012), a predominância de campos torna viável, o uso para o manuseio de veículos pesados, assim como a grande presença de açudes/barramentos, decorrentes da necessidade de tais locais, para a realização dos treinamentos militares. Já a estrada desenvolve-se em uma área de campo.

## **2.1 Treinamentos militares no CISM**

O Campo de instrução de Santa Maria CISM, é utilizado para o treinamento militar de tropas blindadas, o seu público é oriundo de diversas Organizações Militares (OM).

Conforme dados da 3ª Seção da 6ª Brigada de Infantaria Blindada (BIA) e da 3ª Divisão de Exército (DE), tabelados por Sant'Ana (2012), e fornecidos pelo militar Ten. Ayrton Cavalheiro, as tropas blindadas utilizam os seguintes veículos: M60 (48,7 toneladas), Leopard A1 Sabiex (45 toneladas), Leopard

1A1 (42,4 toneladas), Leopard 1A5 (42,4 toneladas); viaturas blindadas de transporte de pessoas, caminhões e jipes (3 toneladas). A frota circulante pelo CISM equivale a aproximadamente 140 veículos. A figura 7 abaixo, mostra alguns dos blindados que circulam na área em épocas de treinamento militar.



Figura 7: Blindados do Exército Brasileiro  
Fonte: Kariza Dias Sant'Ana (2012)

Conforme Sant'Ana (2012) os quartéis que mais utilizam o CISM são os de Santa Maria como CIBLD (Centro de Instrução de Blindados), 1º RCC (1º Regimento de Carros de Combate) e o 29º BIB (29º Batalhão de Infantaria Blindado). Na tabela 2 tem-se a relação das Organizações Militares, que utilizam o CISM e sua localização.

Segundo dados coletados pela autora, os treinamentos ocorrem nos meses de fevereiro a novembro, e não existe um planejamento relativo ao uso associado às condições climáticas, principalmente, ligadas aos índices pluviométricos.

Tabela 2: Organizações Militares que utilizam o CISM.

<b>Unidades</b>	<b>Origem</b>
BOE (Batalhão de Operações Especiais)	Santa Maria/RS
4º B LOG (4º Batalhão Logístico)	Santa Maria/RS
6ª BIA (6ª Bateria de Artilharia Anti-aérea)	Santa Maria/RS
29º BIB (29º Batalhão de Infantaria Blindado)	Santa Maria/RS
1ª BDA C MEC (1ª Brigada de Cavalaria Mecanizada)	Santiago/RS
2ª BDA C MEC (2ª Brigada de Cavalaria Mecanizada)	Uruguaiana/RS
CCOMGEX (Centro de Comunicações e Guerra Eletrônica do Exército)	Brasília/DF
CIBLD (Centro de Instrução de Blindados)	Santa Maria/RS
3ª CIA COM (3ª Companhia de Comando)	Santa Maria/RS
CMSM (Colégio Militar de Santa Maria)	Santa Maria/RS
3ª DE (3ª Divisão de Exército)	Santa Maria/RS
6º ESQ C MEC (6º Esquadrão de Cavalaria Mecanizado)	Santa Maria/RS
3º GAC AP (3º Grupo de Artilharia de Campanha Autopropulsado)	Santa Maria/RS
GOE (Grupo de Operações Especiais)	Santa Maria/RS
PQ MNT/3 (Parque Regional de Manutenção da 3ª Região Militar)	Santa Maria/RS
EASA (Escola de Aperfeiçoamento de Sargentos)	Cruz Alta/RS
ESAO (Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais)	Rio de Janeiro/RJ
1º RCC (1º Regimento de Carros de Combate)	Santa Maria/RS
SISTAB (Sistema de Simulação Tática de Adestramento de Brigada)	Santa Maria/RS
CIOESP (Centro de Instruções Operações Especiais)	Rio de Janeiro/RJ
7º BIB (7º Batalhão de Infantaria Blindado)	Santa Cruz do Sul/RS
26º Pel PE (26º Pelotão de Polícia do Exército)	Santa Maria/RS

Organização: Sant'Ana (2012)

Fonte: Exército Brasileiro

Entretanto o espaço em análise, já se encontra subdividido em áreas de maneabilidade, a fim de orientar quanto à localização dos pontos em utilização. Algumas dessas áreas, devido ao intenso uso, se encontram em maior grau de destituição das propriedades naturais. A Figura 8 mostra áreas de maneabilidade, destinadas a determinados tipos de treinamentos, associados às condições naturais do terreno no ano de 2009. Com base nestas demarcações e nesta imagem e no conhecimento da área os militares do CISM enviaram um mapa de rotas procurando preservar algumas áreas já bastante impactadas.

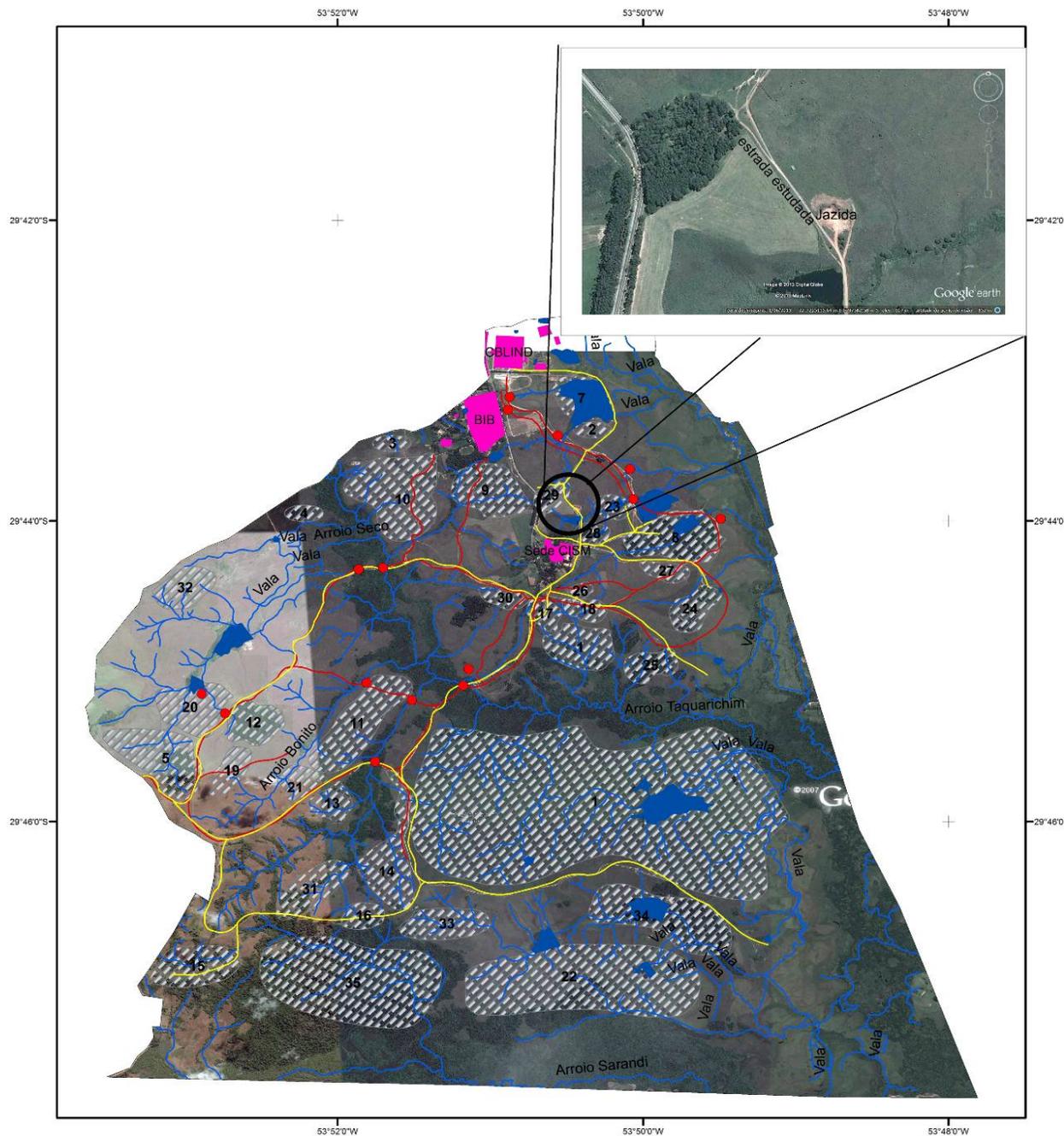
Ao todo, são 38 áreas delimitadas: 1A Manga de Segurança, 1B Manga de Segurança, Araras, Martelo, Nelson Barros, Capão da Infantaria, General Mourão, Açude General Décio, Gravatás I, Gravatás II, Gravatás III, Pista MMM, Coxilha Jacaré, Capão Bonito, PO (Ponto de Observação) do Jacaré, Coxilha Pelada, Bela Vista, Bela Vista (Chata), PO (Ponto de Observação) do General, Maximiliano, Redutor Calibre Canhão, VBC/CC, Alvo Móvel, Regimento Fazenda Sarandi, Pista de Cordas, Estande de Tiro, Pista de Tiro Instintivo, Pista de Pouso 6ª BIA, Área Pós-gravatás, Bosque das

Comunicações, Bosque dos Pinus, PO (Ponto de Observação) da Artilharia, Coxilha Suja, Coxilha Gaúcha, Triunfo e Fazenda Sarandi, Capão do Piquenique e Mata Densa.

Destas áreas, as mais utilizadas, segundo Sant'Ana são Gravatás I, II e III, Araras, Estande de Tiros, PO do General, Maximiliano e Bosque dos Pinus. Para chegar a estas áreas os blindados e viaturas entram no CISM pelo CIBLD (preferencialmente) e pelo bosque do Pinus e por isto, as estradas que leva a estes locais são as mais impactadas.

A Figura 8, mostra também às rotas dos diferentes tipos de veículos, que circulam no CISM onde se vê que a estrada escolhida como tema deste estudo é passagem para as áreas de treinamentos mais utilizadas como Gravatás e Araras o que justifica, em parte, a presença de processo erosivo acelerado neste local.

Procurando minimizar os impactos causados pela erosão, a direção do CISM teve a iniciativa de restringir o uso de algumas rotas para a passagem de blindados em determinadas épocas do ano.



# Campo de Instrução de Santa Maria

## Legenda

- Passagem de Vau
- Sobre Rodas
- Rota de blindados
- Drenagem
- Açudes
- Edificações
- Açudes
- Áreas de maneabilidade

## Áreas de maneabilidade

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| 7 - Açude General Décio   | 9 - Pista MMM               |
| 2 - Post. Art. Araras     | 10 - Martelo                |
| 29 - Bosque dos Pinus     | 3 - Pos. Art. Martelo       |
| 23 - Pista das Cordas     | 4 - Pos. Art. Nelson Barros |
| 28 - Bosque das Com       | 32 - Coxilha Gaúcha         |
| 06 - Gravatás I, II e III | 20- 20                      |
| 8 - Post. Art. Gravatás   | 12 - Capão Bonito           |
| 26 - 26                   | 5 - Capão de Infantaria     |
| 24 - Estande de Tiro      | 19 - Posição de tiro        |
| 18 - 18                   | 21 - Alvo Móvel             |
| 17 - PO do General        | 13 - Coxilha do Jacaré      |
| 1 - 1A                    | 0 - 1B Manga Segurança      |
| 25 - 25                   | 33 - Fazenda Sarandi        |
| 11 - 11                   | 14 - Coxilha Pelada         |
| 31 - 31                   | 16 - Chata                  |
| 35 - Mata Densa           | 15 - Bela Vista             |
| 34 - Capão do Piquenique  | 22 - Coxilha Longa          |

### Projeção Geográfica

Datum Horizontal: WGS84

### Fontes:

1. Ortofotocarta do CISM - Exército Brasileiro. Escala 1:20.00.
2. Fotografia Aérea - 03/05/1996. 1°DL.
3. Imagem Google Earth Pro - versão teste

Elaboração: Graciele C. Pittelkow

Figura 8: Rotas e área de maneabilidade  
Elaboração: Graciele C.Pittelkow

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICOS

No que se refere aos procedimentos metodológicos, do presente trabalho, podemos dizer que o mesmo teve um caráter quantitativo e qualitativo, dentro de uma abordagem descritiva. Conforme Denker (2000) este tipo de abordagem, pressupõe uma série de técnicas quantitativas ou qualitativas para o levantamento de dados. Assim, o caráter qualitativo compreende a descrição das variáveis estudadas - área de estudo e suas formas de ocupação, ensaios a serem realizados. Já no âmbito quantitativo, tem-se a análise dos processos erosivos, por meio de mensurações obtidas por meio de ensaios geotécnicos, em amostras de solo coletadas no local de estudo.

Conforme Oliveira (2012), o caráter qualitativo da pesquisa, “facilita a apresentação de resenhas, descrição detalhada dos fatos e fenômenos estudados”. Ainda conforme Oliveira (2012):

Esse procedimento visa buscar informações fidedignas para se explicar em profundidade o significado e as características de cada contexto em que se encontra o objeto de pesquisa. (Oliveira, 2012, p. 60)

Já o caráter quantitativo é alcançado por meio das análises laboratoriais, e dados numéricos, obtidos por meio de trabalho de campo. Ainda temos que o uso de técnicas quantitativas, conforme Baptista (2003, p.32) “se caracteriza pela adoção de uma estratégia de pesquisa modelada nas ciências naturais e baseada em observações empíricas para explicitar e fazer previsões”.

O que se pretendeu foi mesclar a visão sistêmica de uma abordagem com a mensuração fornecida por outra, buscando maior credibilidade aos resultados da pesquisa. Conforme Duffy (1987) *apud* Oliveira (2012, p.40) dentre os benefícios da associação de técnicas quantitativas e qualitativas, tem-se a “possibilidade de congregar a identificação de variáveis específicas com uma visão global do fenômeno”, além de reafirmar a validade dos resultados obtidos, por meio de técnicas diferentes.

Coadunando-se com tais ideias, temos como base os procedimentos técnicos adotado por Tatto (2007) e Sant’Ana (2012). Desta forma dividiu-se a pesquisa em três etapas distintas, que em diversas circunstâncias, ocorrem

concomitantemente: etapas de gabinete, campo e laboratório.

### **3.1 Etapa de gabinete**

Esta etapa compreende basicamente o levantamento bibliográfico referente à temática pesquisada, para elaboração do referencial teórico-metodológico da pesquisa. Tal levantamento foi realizado em livros, artigos das áreas de geografia, engenharia civil, geologia e agronomia. Para a revisão teórica foram realizadas leituras sobre os seguintes assuntos: erosão, estradas não pavimentadas (estradas de terra), ensaios geotécnicos, erodibilidade e, gênese e caracterização de terraços fluviais, e histórico do CISM.

Ainda dentro da etapa de gabinete; está o levantamento de dados para a caracterização geográfica do campo de Instrução de Santa Maria, e geração e adaptação de materiais cartográficos, no *software ArcGis*. Alguns destes dados foram extraídos e reorganizados, a partir do trabalho realizado por Sant'Ana (2012), sendo detalhados apenas para o terraço fluvial, pelo qual cruza a estrada de terra; objeto de estudo deste trabalho com a utilização de aerofotogramas na escala 1:20.00 e imagens do Google Earth Pro – versão teste.

Ainda na etapa de gabinete, foram realizadas duas reuniões (Figura 9) com os militares responsáveis pela administração do CISM e seus usuários, para a discussão dos resultados preliminares, a fim de obter informações quanto ao uso do local, e os principais problemas e impactos ambientais observados.

Em decorrência dessa etapa, concluiu-se que há grande ocorrência de processos erosivos junto às estradas de terra o que, segundo os militares, é um problema visto a necessidade da criação de rotas alternativas, para a circulação dos veículos de combate em período de treinamento.



Figura 9: Reunião técnica com militares do CISM  
Fonte: Dr<sup>a</sup>. Andrea V. Nummer

Assim, após as reuniões e tendo em vista a grande extensão territorial do CISM, foi delimitada como área de estudo e de coleta de amostras, uma estrada situada em uma área de terraço fluvial, junto à jazida de material de empréstimo, e que se encontra em acelerado processo erosivo.

### **3.2 Etapa de campo**

Foram realizadas três saídas para trabalhos de campo, onde foram avaliados os solos, litologia, relevo, forma de uso, regiões mais impactadas e também foram coletadas as amostras de solos e rochas para serem ensaiadas no laboratório (etapa de laboratório). Para apoiar os trabalhos de campo foram utilizadas imagens de satélite, fotografias aéreas, GPS, bússola e máquinas fotográficas.

Na fase de campo de detalhamento foram coletadas as coordenadas geográficas (GPS de navegação e topográfico), para a elaboração do perfil da estrada a ser estudada visando melhor compreender o relevo restrito à estrada de terra e ao terraço sobre o qual ela se situa. Nesse perfil, está representada a segmentação em sete trechos delimitados por oito estacas, alocadas ao longo da estrada de terra. Ao percorrer esses trechos, elaborou-se uma descrição dos principais eventos erosivos observados ao longo do percurso, procurando analisar o contexto geral da área, as possíveis causas para esses fenômenos. Na Figura 10, abaixo, tem-se os pontos de coleta de coordenada geográfica, com vista a delimitar o perímetro do terraço, assim como a estrada

de terra escolhida como objeto de estudo e a jazida de material de empréstimo.



Figura 10: Coleta de pontos de GPS

Fonte: Google Earth Pro. Organização: Prof Dr. Romário Trentin.

Nessa etapa, foram coletadas amostras deformadas<sup>10</sup> e indeformadas<sup>11</sup> (Figura 11) de solo e rocha nos pontos georreferenciados da estrada bem como da área de empréstimo (Jazida) que fica junto a estrada, na mesma unidade geomorfológica de terraço aluvial a fim de comprovar, por meio de dados laboratoriais as assertivas observadas em campo.

Assim, foram coletadas amostras deformadas para os ensaios de caracterização física ao longo da estrada de terra, nos pontos E2, E6, E7 e camada superficial (Crosta). Os ensaios de erodibilidade foram realizados com as amostras E2, E7 e Crosta. Os dados de caracterização física e erodibilidade dos materiais da jazida (horizonte B e B/C) foram retirados de Sant'Ana (2012) e utilizados, juntamente com o material ensaiado neste estudo para a avaliação da erodibilidade

---

10 amostras deformadas: ao serem coletadas, em geral com pás, ocorre a desagregação da estrutura do solo. Nessas amostras, não existe a preocupação com a preservação da umidade natural.

11 amostras indeformadas são coletadas usando-se materiais indeformados para comportá-las, como por exemplo, anéis de PVC ou metálicos. Essas amostras são envoltas em uma camada de parafina, a fim de manter a sua umidade natural para a realização dos ensaios em laboratório. Dessa forma, o solo permanece da mesma forma como se encontra em campo, tanto na estrutura de seus agregados, como no teor de umidade natural.



Figura 11: Coleta de amostras indeformadas.  
Fonte: Arquivos da profª Drª. Andrea V. Nummer

### 3.3 Etapa de laboratório

Nessa etapa foram realizados os ensaios geotécnicos para caracterização física e avaliação da erodibilidade das amostras coletadas e as análises macroscópicas das frações granulométricas maiores

A análise macroscópica foi realizada com uma lupa binocular com aumento de 10x22x6,7 de todas as frações das amostras que fossem possíveis de descrever com o auxílio deste equipamento. O objetivo desta análise foi buscar informações da forma dos grãos que pudessem ser relacionadas com a maior ou menor erodibilidade dos materiais ensaiados.

A divisão de classes granulométricas adotada para as frações constituintes do solo foi a proposta pela ABNT NBR 6502 e a metodologia da EMBRAPA (Laboratório de Sedimentologia) utilizada para as frações tamanho pedregulho conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Comparação entre as metodologias ABNT e Embrapa

ABNT	EMBRAPA
Pedregulho	Grânulo

	Seixo
Areia muito grossa	Areia muito grossa
Areia Grossa	Areia Grossa
Areia Media	Areia Media
Areia Fina	Areia Fina

Fonte: Embrapa e ABNT

As amostras da fração pedregulho (segundo a ABNT NBR 6502), correspondem a fração grânulo e seixo da EMBRAPA e são os materiais passantes na peneira 2mm e na peneira 4,75 mm, respectivamente.

Foram realizados ensaios de avaliação indireta da erodibilidade como: caracterização física, ensaio de desagregação, e os ensaios da metodologia MCT (infiltrabilidade e de perda de massa por imersão).

### 3.3.1 Ensaio de caracterização física

De forma geral, deve-se considerar que a influencia das características estruturais e mineralógicas dos solos, possuem variações relacionadas a fatores diversos, o que certamente deve ser considerado na análise dos comportamentos geomecânicos dos solos.

A caracterização física compreende uma série de características inerentes aos solos, e para identificá-las são realizados alguns ensaios específicos, cuja mensuração poderá auxiliar na avaliação da erodibilidade de um solo indicará se o solo é erodível. Assim tem-se na Tabela 4 relação dos ensaios realizados e as normas técnicas utilizadas, para tais mensurações.

Tabela 4: Normas ABNT utilizadas

Norma	Especificação
ABNT NBR 6502/95	Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação
ABNT NBR 6508/84*	Determinação do peso específico real dos grãos
ABNT NBR 6459/84	Determinação do limite de liquidez
ABNT NBR 7108/84	Determinação do limite de plasticidade

\*Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Método do picnômetro.

### 3.3.2 Ensaio de desagregação (*slaking test*)

Trata-se de uma avaliação direta e qualitativa da estabilidade de uma amostra de solo, quando submersa em água. Neste ensaio observa-se a dinâmica da amostra como a ocorrência de: abatimento, fraturamento do topo, rupturas nas bordas, velocidade de desagregação, grau de dispersão das partículas do solo, velocidade de ascensão capilar, inchamento.

A **Figura 12**, mostra de forma esquemática a realização do ensaio de desagregação que foi realizado com amostras nas condições de umidade natural, e seca ao ar. Tal ensaio nos permite avaliar, como se comporta o solo diante o processo de saturação do mesmo.

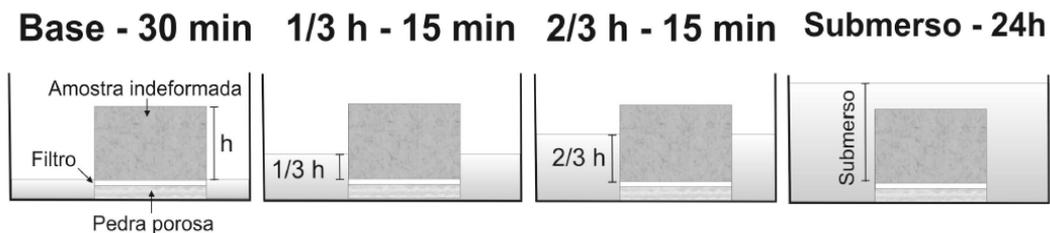


Figura 12: Esquema representativo, do ensaio de desagregação.  
Fonte: Tatoo (2007)

### 3.3.3 Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)

Tem como objetivo classificar e quantificar os solos em relação ao grau de erodibilidade; ou seja, prever o comportamento dos solos frente à erosão, sendo baseada em dois parâmetros: o coeficiente de absorção ( $s$ ), obtido no ensaio de infiltrabilidade, e o coeficiente de perda de massa por imersão ( $\pi$ ). Através da relação  $\pi/s$ , Villibor e Nogami (2009) classificam os solos em relação ao grau de erodibilidade, sendo que valores superiores a 52 são considerados solos erodíveis.

### **Perda de massa por imersão**

Este ensaio determina a erodibilidade específica, e consiste em submergir por 20 horas, amostras de solo confinadas em um anel cilíndrico. Após esse período; recolhe-se o solo despreendido deste anel e determina-se a sua massa seca, sendo o valor da perda a relação entre o peso do solo seco desagregado e o peso do solo seco total da amostra (antes do ensaio).

$$P_i (\%) = (\text{peso do solo seco desagregado} / \text{peso do solo seco da amostra}) * 100$$

Tal procedimento, no esquema da Figura 13: é realizado com amostras naturais secas ao ar por 72 horas, e também com amostras saturadas.



Figura 13: Esquema do ensaio de Perda por Imersão.  
Fonte: Arquivos de Graciele Pittelkow.

### **Infiltrabilidade**

Trata-se do ensaio que quantificação a ascensão capilar nas amostras de solo, sendo realizado com amostras indeformadas com umidade natural, seca ao ar e pré-umedecidas.

O ensaio consiste em uma superfície plana, na qual esta acoplada um tubo capilar e uma régua graduada. Esse sistema é ligado a um reservatório com topo livre, sobre o qual encontra-se uma pedra porosa. O tubo capilar é cheio com água, ate que ela transborde no topo do reservatório, após é colocada a amostra sobre um papel filtro, sobre este reservatório. Assim, a água infiltra na amostra (Figura 14).

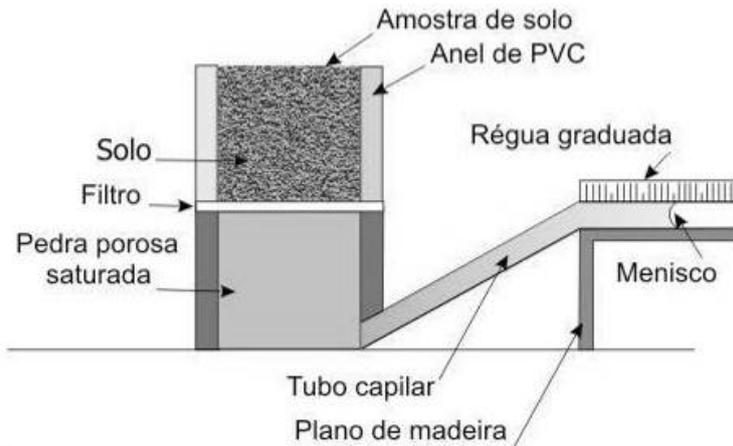


Figura 14: Esquema do ensaio de infiltração da metodologia MCT.  
Fonte: Tatto (2007).

Para medir a quantidade e a velocidade de infiltração e, realiza-se a leitura dos valores, obedecendo a uma escala de tempo (“15”, “30”, “45”, “1”, “1’15”, “1’30”, “1’45”, “2”, “4”, “9”, “16”, “25”, “49”, “64”, “81”, “100”, “121”, “144” e 24 horas). Por meio dos valores coletados dentro destes intervalos de tempo, pode-se estabelecer uma relação que nos fornecerá o coeficiente de sorção do solo, representado por “s”, e sendo sua grandeza  $\text{cm}/\text{min}^{1/2}$ . Tal relação é expressa na fórmula matemática a seguir, e pela Figura 15.

$$s = (L_2 - L_1) \cdot S / 10(t_2 - t_1) \cdot A$$

Onde:

S = área da seção do tubo capilar      L1 = leitura no tempo t1  
A = área da seção da amostra      L2 = leitura no tempo t2

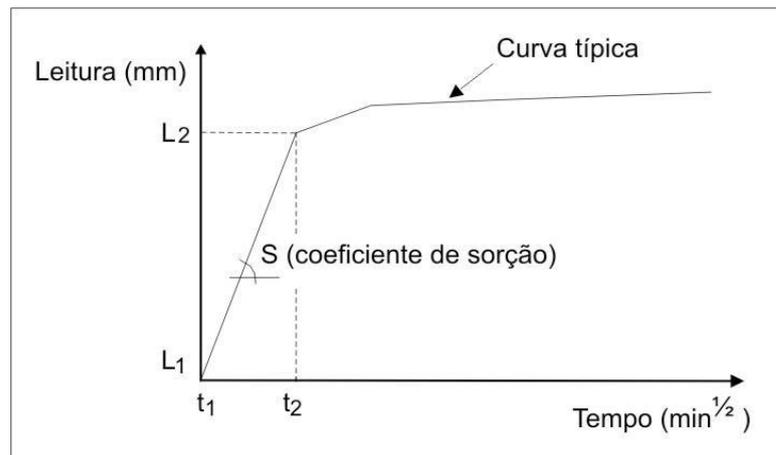


Figura 15: Curva típica do deslocamento do menisco X tempo para o ensaio de infiltração. Metodologia MCT  
Fonte: Bastos (1999)

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Caracterização da estrada de terra**

Como já mencionado, em virtude da grande extensão territorial (aproximadamente 6 mil ha), e das observações realizadas, em saídas de campo, decidiu-se analisar uma estrada já apontada pelo Exército como muito impactada, para desenvolver a presente pesquisa, em especial a análise das estradas de terra, visto que a presença de processos erosivos nestas, é significativo e compromete a utilização, do CISM, em relação ao seu objetivo.

Diante disso, analisou-se a estrada de terra, que se situa próximo uma jazida de empréstimos, que existe no CISM. Tal ponto localiza-se no centro da porção norte, da área militar, e devido aos processos de erosão acelerada no local. Essa estrada liga a área da sede, até algumas áreas de maneabilidade, como o Bosque das Com., localizado a SO da sede, além de ligar também as áreas do Bosque dos pinus (NE da sede), Açude Gen. Décio e Araras, entre si e com a Sede do CISM.

A estrada estudada está destacada no círculo amarelo, da Figura 16. Encontra-se em uma porção mais elevada do relevo (colina) em relação ao seu entorno, entre as cotas altimétricas de 90 a 100 metros, cujos comprimentos de rampa podem ser considerados mediano a curto.



Figura 16: Fotografia aérea, de porção do território do CISM, com destaque área a sede, e destacada pelo círculo amarelo o terraço e estrada de terra estudada.  
Fonte: Exército Brasileiro.

A estrada corre na direção NW – SE, tem 472 metros de extensão e aproximadamente 10 metros de largura. A declividade de sua vertente NW é de cerca de 22° e da SE é de 24°, e está sobre uma área de terraço fluvial depositado sobre arenitos da Formação Caturrita. No terraço se desenvolveu um perfil de Argissolo, com horizonte A de aproximadamente 1 metro de espessura, e B variando até 2 metros. Abaixo dele ocorre material de alteração do terraço. O depósito de terraço apresenta aproximadamente 4 metros de espessura na área da jazida (próxima ao local da estrada).

A estrada corta as curvas de nível, o que contribui para o processo erosivo, aumentando a velocidade de água que escoar sobre ela. Essa condição, associada à falta de drenagem e vegetação nas suas laterais, conduzem o fluxo de águas pluviais, para o leito da estrada, que em decorrência da estrutura frágil do material, tende a apresentar sulcos e ravinas. Outro fator importante no desencadeamento da erosão é a sua utilização como rota para o tráfego de blindados. Estes veículos pesam até 48 toneladas e andam em baixa velocidade, o que causa a compactação das camadas superficiais (horizontes A e B), dificultando a infiltração da água da chuva e aumentando o processo de escoamento superficial e a desagregação da mesma.

Desde o ano de 2011, a estrada encontra-se sem condições para tráfego de blindados maiores, ocorrendo somente o tráfego de veículos sobre-rodas e blindados menores como o M 113, por exemplo, que trafegam na região entre sulcos. Durante o período em que se realizou o estudo no local, a estrada em questão encontrava-se sem condições de tráfego, e carente de medidas de mitigação, a fim de amenizar os processos e tentativa de recuperação para uso com tráfego de veículos de médio e pequeno porte.

O perfil topográfico da estrada (elaborado ao longo do seu traçado) está representado na Figura 17. O trecho central da estrada encontra-se no topo plano de uma colina, onde encontra-se o horizonte A do solo, compactado pela passagem de blindados (ponto E3, E4 e E5 do perfil). Neste local a vegetação (gramíneas) está presente nas laterais da estrada, auxiliando no escoamento e infiltração das águas pluviais, contribuindo para que não ocorram processos erosivos, conforme a Figura 18.

Os pontos E3, E4, E5 e E6 encontram-se no horizonte B, já os pontos E1 e E8 encontram-se em material de alteração do terraço. Os pontos E7 e E2 encontram-se no horizonte C.

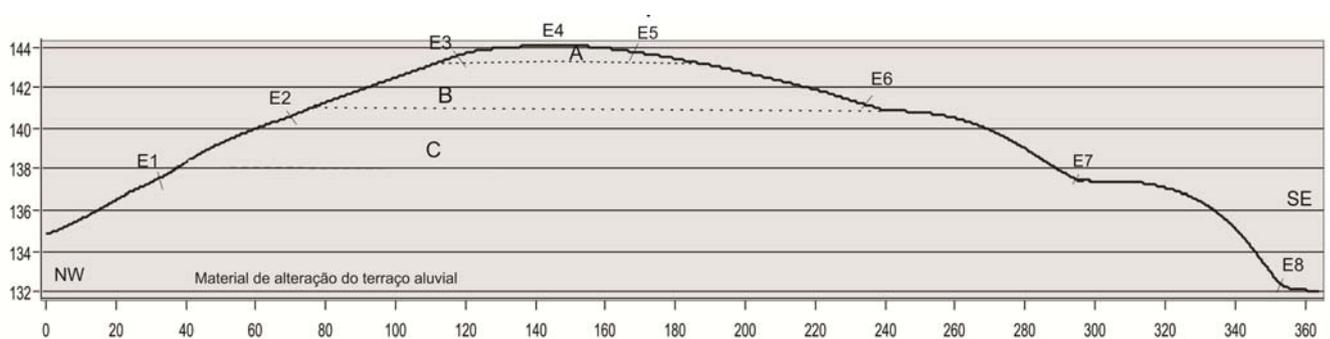


Figura 17: Perfil topográfico do terraço, com distâncias vertical e horizontal, dadas em metros. Organização: Pittelkow, G.C.



Figura 18: Trecho central da estrada, em topo plano de colina (ponto E4 do perfil topográfico); e com presença de vegetação nas laterais da estrada.

Observa-se que tanto a vertente NW quanto a SE apresentam declividades muito semelhantes em torno de 22 a 25°. Na vertente SE, onde estão localizados os pontos E8, E7 e E6, as incisões (sulcos e ravinas) são mais profundas e estreitas (Figura 19) diferentemente do que ocorre na vertente NW onde observou-se que as incisões são menos profundas e mais largas (Figura 20), e são comuns as erosões originadas por fluxo subsuperficial (dutos).

Como as vertentes estão sobre mesmo material, possuem aproximadamente a mesma declividade, a diferença de profundidade e largura, dos sulcos e ravinas, de uma vertente para a outra pode ser explicado pela diferença do comprimento de rampa de cada uma delas.

A vertente SE apresenta comprimento de rampa de 197m, maior que a NW que possui apenas 125m. O comprimento de rampa maior significa um aumento do caminho de percolação da água e conseqüentemente o aumento do volume e da velocidade da água o que aumenta sua energia acumulada, provocando maior erosão. Ou seja, devido a maior extensão da rampa, a água permanece mais tempo em contato com o solo, ganhando mais energia e erodindo mais, sendo o inverso para vertentes com comprimento de rampa menores.

Assim, ao simularmos a perda de solo com base na equação do efeito de rampa (Bertoni e Lombardi neto, 2005) para as rampas SE e NW temos o seguinte resultado (tabela 5):

Equação:  $T = 0,166 \times C^{1,63}$

Onde:

T= perda de solo em Kg/ unidade de largura.

C = comprimento de rampa (metros)

0,166 = constante de variação

1,63 = expoente

Tabela 5: Cálculo de perda de solo em vertente

Vertente	Comprimento de rampa	Resultado
SE	197 metros	T= 912,196 Kg/un.largura
NW	125 metros	T= 434,582 Kg/un.largura

Ou seja, a vertente SE perderia 2,1 vezes mais material, do que a vertente NW, comprovando assim, a grande influencia do comprimento de rampa para o estudo em questão.



Figura 19: Sulcos e ravinas profundos, na rampa SE



Figura 20: Sulcos e ravinas, menos profundos na vertente NW, comparado com a vertente SE.

Próximo à estrada, em área utilizada como jazida de empréstimo (Figura 21) foi descrito um perfil dos materiais procurando associar este material ao encontrado na estrada. A Figura 21 mostra um perfil de solo desenvolvido sobre depósito de planície aluvial com cerca de 4 metros de espessura, onde pode-se identificar três horizontes.

O horizonte A, arenoso, atinge cerca de 1 metro de espessura, apresenta coloração mais escura, em tom amarronzado. Logo abaixo, ocorre o horizonte B, argiloso, com até 2 metros de espessura, com coloração marrom-avermelhado. Abaixo desse horizonte, ocorre horizonte C, relacionado ao material de alteração do terraço fluvial. Na base da jazida, ocorre um arenito de cor rosada, pertencente à Formação. Caturrita.

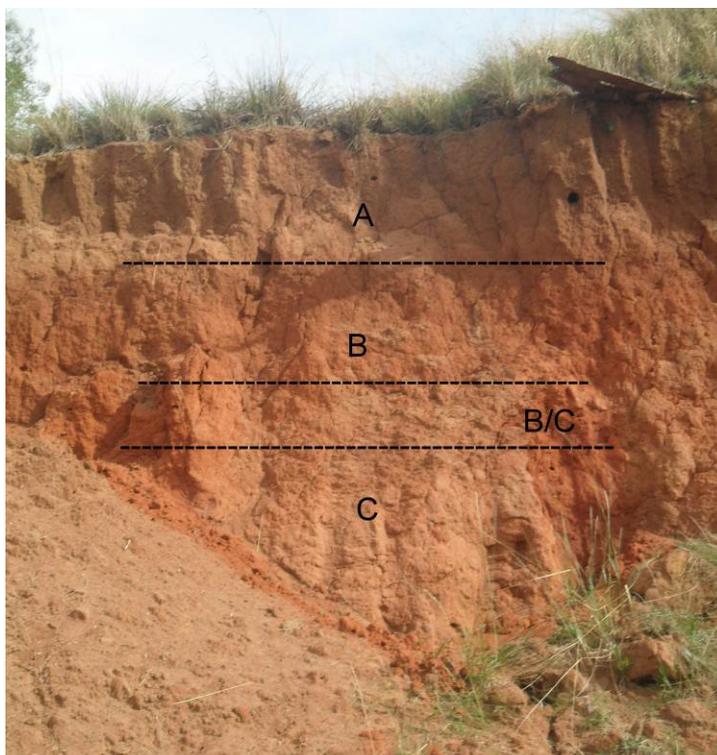


Figura 21: Horizonte de solos, na jazida de empréstimo do CISM.

### **Feições erosivas na estrada de terra estudada.**

Nesse item serão descritas as feições erosivas que foram observadas ao longo da estrada, procurando compreender os mecanismos que influenciam na erosão.

A Figura 22 mostra a estrada do sentido SE para NW onde se tem a visão de E3 em direção à E1, e se observa a presença de sulcos e ravinas, associados a falta

de um sistema de drenagem na estrada. Os sulcos e ravinas nesta porção são mais abertos, isto é, nas paredes laterais as incisões têm menor declividade e menos profundidade.



Figura 22: Ponto 3, visão de E3 em direção à E1. Rampa NW.

Ainda próximo ao E3 ocorrem sulcos transversais à linha de fluxo principal (Figura 23), e alargamento da incisão lateralmente. Essas incisões apresentam pouca profundidade porém, com comprimento significativo, com tendência a aumentarem suas dimensões, em virtude da presença de camadas de compactação, nos topos dessas incisões, conforme as figuras 24 e 25.



Figura 23: sulcos transversais

Cobrindo a estrada ocorre uma camada de solo compactada, arenosa que pode atingir até 20 cm. Esta camada localiza-se no topo da estrada e em porções que vão do topo até metade do declive de ambos os segmentos da estrada. São originados pela passagem de blindados que aplicam uma grande carga no terreno. Essa carga diminui os vazios do solo e dessa forma dificulta a infiltração da água, que

escoa superficialmente e ao encontrar material mais erodível, acaba por acelerar o processo de erosão, por meio da criação de canaletas (sulcos) por onde percolará.

As Figura 24 e 25 mostram em detalhe a camada compactada com aproximadamente 15 cm de espessura, sendo que os 8 cm superiores são de material considerado muito compactado e difícil de amostrar.



Figura 24 e 25: Formação de capa de compactação.

Abaixo da camada compactada ocorre o horizonte B do solo, onde foram retiradas amostras indeformadas, em anéis de PVC. Ainda cabe destacar que ocorre erosão laminar entre os sulcos.

Seguindo nesse trecho da estrada, nas imagens das Figuras 26 e 27, observa-se a presença de alcovas de regressão, Estas se formam pelo avanço dos sulcos para a montante até atingirem a camada compactada. Como esta camada resiste a erosão, o fluxo superficial acaba por erodir a camada abaixo dela formando as alcovas. Com o avanço da erosão, a camada compactada fica sem sustentação (pela retirada de material abaixo dela) e solapa fazendo com que o processo avance para montante (topo da estrada).



Figuras 26, 27: alcovas de regressão.

Observou-se também presença de placas e lateralmente a formação de um duto<sup>12</sup>. A placa se dá por queda d'água (fluxo superficial) e os dutos correspondem a erosão subterrânea. Os dutos encontram-se interligados internamente, com as alcovas de regressão, descritas acima, pois se localizam próximos.

Esses fenômenos são carentes de maior atenção, visto que a contenção exige maiores técnicas e estudos. Além do mais, o avanço desses processos, poderá comprometer definitivamente a reativação da estrada, mesmo com medidas de recuperação; já que ao estabelecer o uso por cargas elevadas, poderá ocasionar o solapamento do terreno, e dependendo do momento algum acidente. Nas Figura 30 e 31, fica nítida a existência dessa conexão, e o abatimento da camada superior, formando um canal.



Figura 28 e 29: Formação de placas e dutos subterrâneos

---

12 Os dutos ou “*piping*” segundo Carvalho *et al.* (2006) ocorrem quando o fluxo de água subterrâneo passa a correr em zonas preferenciais de maneira concentrada, estas sofrem um alargamento pela remoção e transporte de sedimentos. Tendem a provocar o solapamento do teto, dando origem a voçorocas.

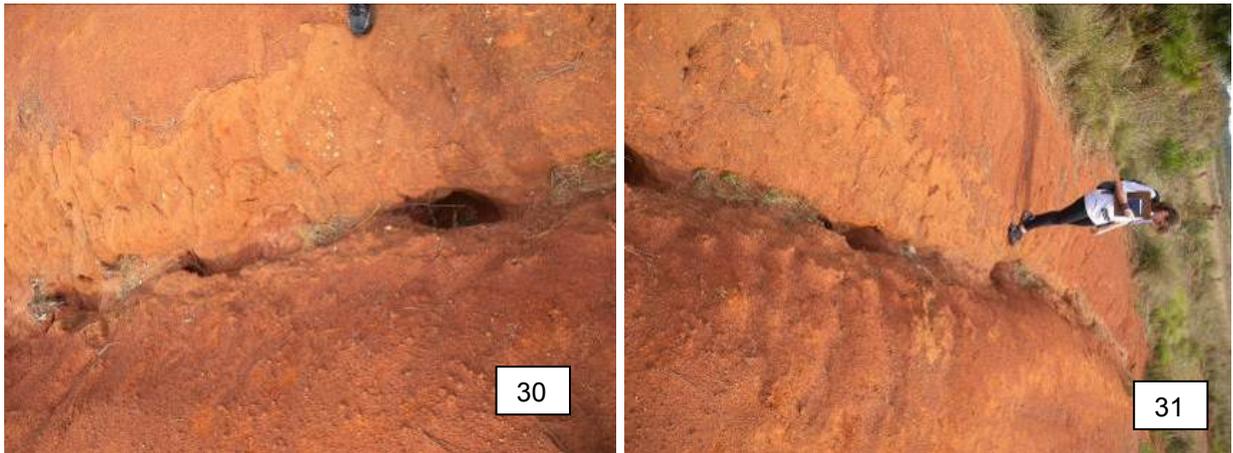


Figura 30 e 31: ligações entre as alcovas, dutos e panelas.

Abaixo desse ponto observa-se a presença da área de assoreamento, relacionado ao transporte de material escavado das erosões subsuperficiais e do entorno da camada compactada.

Esse ponto situa-se no trecho oposto à jazida de empréstimo. É importante apontar, que nessa área de assoreamento, há uma estrada, que se une a outra, construída ao lado de parte da estrada abandonada e em que realizamos o estudo. Diante de tal fato, algumas medidas de manutenção e manejo, seriam convenientes, visto que o material de assoreamento, encontra-se cobrindo o leito dessa estrada, que com o uso intenso, pode acabar sofrendo processos semelhantes à que existe no terraço.



Figura 32 e 33: vista parcial da área de estudo. Ao fundo, encontra-se a área de assoreamento.

Seguindo ao longo da estrada, observa-se que as incisões tendem a estreitar-se em alguns pontos, aprofundando-se. Isso ocorre nos locais, onde os solos não são

compactados. Na figura 42, temos uma situação intermediária, onde as incisões são de profundidade mediana a alta, variando muito quanto à sua largura. Isso ocorre, devido à proximidade com o topo do terraço, onde as águas percolam de forma laminar, e ao atingir uma declividade maior, formam uma linha de fluxo.



Figura 34: Paisagem observada do ponto E1 em direção ao ponto E3

Nas imagens das Figura 35 e 36 a presença de crosta com degraus, fato decorrente da carga imposta pelos veículos de grande porte, que trafegavam por esta estrada. Essa camada compactada possui grande dimensão, e sobre em alguns pontos quebras, e desestruturação (formação de degraus), certamente em razão da circulação de veículos.

Como se observa nas imagens das figuras 35 e 36, no detalhamento dos degraus, formado pela que desestruturação da a crosta, tem-se componentes argilominerais que quando contraem formam blocos (gretas de contração). A água superficial penetra nessas fendas erodindo as camadas inferiores. Com o avanço do processo erosivo estes blocos solapam e o processo avança em direção ao topo.



Figura 35, 36: Avanço da crosta de compactação com formação de degraus.

A Figura 37, mostra o topo do terraço estudado (ponto E4), onde a presença de vegetação nas laterais possibilita a dispersão da água e consequentemente contribui para a infiltração. Neste local nota-se que o solo também está compactado.

Entre os pontos E4, E5 e E6, que é o trecho compreendido pelo topo do terraço, observa-se a crosta preservada, devido à presença de vegetação nas laterais da estrada, o que evita o fluxo concentrado e aumenta a infiltração das águas superficiais, junto às laterais da estrada. Cabe destacar que entre os pontos E5 e E6 há ocorrência de formação de sulcos, devido à passagem de veículos; não existindo a presença de ravinas, ou sulcos com incisões profundas, Entretanto, os sulcos são consideravelmente largos. Este é o ponto de fácil recuperação, visto que é menos impactado, necessitando de pequenos reparos, em caráter de manutenção.



Figura 37: Topo do terraço. Formação de sulcos, devido à passagem de veículos.

Chegando em E6 em direção ao E8, logo após o fim do topo do terraço, começa a aparecer a quebra de estrutura da crosta com solapamento. Isso se deve à diferença de declive que canaliza o fluxo de escoamento de águas pluviais, e que associada ao uso, gerou uma leve compactação do solo superficial, e posteriormente o solapamento devido a grande carga aplicada.

Nesses degraus, visualiza-se a deposição de materiais muito finos (siltes e areias finas), com alguns grãos mais grosseiros, com a presença de óxido de ferro.



Figura 38 e 39: Vista do primeiro degrau, com direção do E5 ao E6 ao E8. Solapamento e formação de degrau.

Observamos nas imagens seguintes a ruptura das laterais da estrada, com presença de uma camada compactada, a de materiais mais grosseiro depositado, ao entorno de tal camada, e nos degraus de solapamento.

Quanto aos processos lineares encontrados, são incisões profundas e não muito largas, e que proporcionalmente à aproximação da base da vertente, apresenta maior quantidade de sedimentos depositados.

Já nas laterais do fluxo principal, assim como ao longo da estrada, é comum a formação da crosta de compactação, com sulcos de incisões significativas (figura 40).



Figura 40: crosta

Na figura 41, observamos a presença de sulcos perpendiculares ao fluxo principal. Tais sulcos apresentam aproximadamente 10 cm de largura e cerca de 2 cm de profundidade. Junto a esses pontos, encontra-se grande concentração de areia no canal principal. Essa areia certamente é proveniente de áreas mais elevadas localizadas imediatamente superiores a tal ponto.



Figura 41: Deposição de areia nos canais principais, da estrada

Seguindo o esquema traçado para descrição dos processos ao longo da estrada de terra, temos que entre E6 e E7, em direção ao E8, (figura 41), a formação da camada de crosta somente nas laterais da estrada, que se encontra diretamente no horizonte B.

Nesse trecho as incisões são mais estreitas e profundas, quando comparadas com os trechos observados na vertente oposta. Tal aspecto fica mais acentuado entre E7 e E8, onde as feições são bem profundas. Nesse trecho comumente encontramos,

óxidos de Fe, e outros grânulos como fragmentos de quartzo e calcedônia. Entre E7 e E8, coletaram-se amostras indeformadas, que nas análises, foi identificada como E7.

Na Figura 42, podemos observar alguns dos materiais de granulometria mais grossa, e a confirmação da presença de argila expansiva na área. Os grânulos podem ser observados, quando ao analisar a imagem, representados por pequenos pontos negros e brancos, sendo na análise macroscópica, confirmados como óxidos de Fe, feldspatos e quartzos.

A presença de argilominerais fica evidente, pela formação de gretas de contração que formam-se quando o terreno fica muito seco; momento em que as argilas ao se contraírem formam rachaduras, e originam pequenas pastilhas. Isso favorece a erosão nesses pontos, visto que estas pastilhas são carregadas facilmente pela água da chuva após um período de estiagem. Esse fenômeno volta a se repetir continuamente, já que ao ser saturada, a argila irá se expandir, para posteriormente contrair, quando cessar a saturação.



Figura 42: Lâminas de argila, gretas de contração e alguns materiais grosseiros encontrados.

Com base nas feições erosivas encontradas pode-se afirmar que o processo de erosão na estrada é influenciada pelo fluxo superficial concentrado (disposição da estrada em relação às curvas de nível e falta de sistema de drenagem) e presença de camada superficial compactada bem como a atuação do fluxo subterrâneo que se dá no contato das diferentes camadas do solo e do material do terraço.

Todas as análises e suposições realizadas em relação aos processos erosivos observados necessitam de comprovações quantitativas que dêem embasamento concreto para as afirmações realizadas, sendo assim realizou-se os ensaios geotécnicos, em laboratório.

### 4.3 Análises geotécnicas

Os ensaios realizados são considerados importantes, para a compreensão do comportamento dos solos e rochas frente ao processo erosivo. Para facilitar a sua avaliação, os resultados dos ensaios foram apresentados em quadros, tabelas e gráficos.

#### 4.3.1 Caracterização Física

Os resultados dos ensaios granulométricos com o uso de Defloculante (hexametáfosfato de sódio) estão apresentados na tabela 6 e na figura 43 mostra as curvas granulométricas dos materiais da estrada.

Tabela 6: Frações Granulométricas

Identificação	Frações Granulométricas (%)						Classificação Geotécnica	
	Pedregulho	Ar. Grossa	Ar. Média	Ar. Fina	Silte	Argila	HRB	SUCS
Horizonte B	2	13	13	20	15	37	A7-5	CL
Horizonte B/C	0	9	15	33	12	31	A6	CL
Crosta	3	34	18	15	18	12	A6	CL
E2	3	19	13	13	31	21	A7-5	CL
E7 (horizonte C)	3	20	11	13	33	20	A7-5	CL
E6 (horizonte B)	1	7	11	20	13	48	A6	CL

\*Com Defloculante. SUCS= Sistema Unificado de Classificação de Solo onde CL: Argila pouco plástica. HBR=Highway Research Board em que se utiliza também o Limite de liquidez e o Índice de Plasticidade.

## Curva Granulométrica CISM - Valores gerais

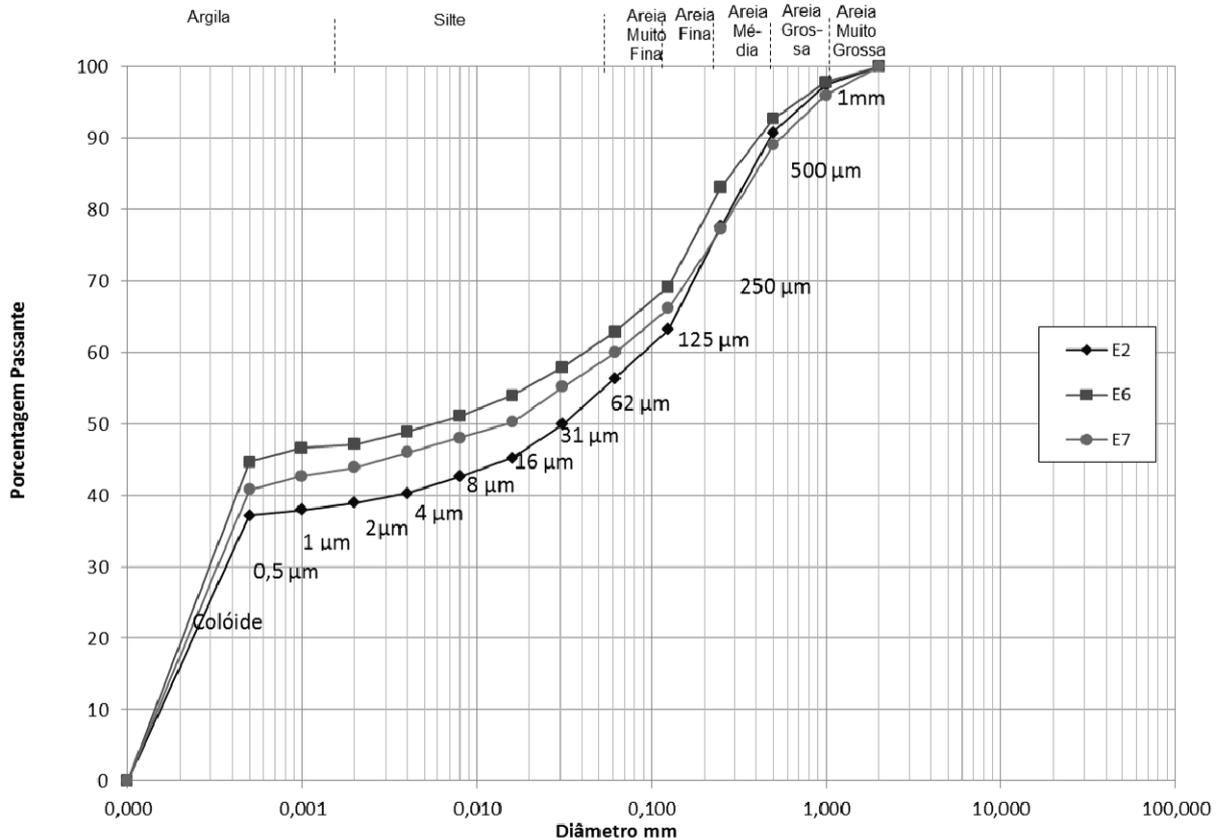


Figura 43: Gráfico de Curva Granulométrica dos materiais da estrada.

As amostras do horizonte B, E2, E7 e E6 apresentaram uma percentagem de grãos finos (silte + argila) superior a 50%, sendo que a amostra E6 tem uma percentagem maior de finos, em torno de 61%. A crosta apresentou a maior percentagem da fração grossa (areia + pedregulho), superior a 67%. Em relação aos finos, o que difere estes materiais é que na amostra E6 predomina a fração argila (48%).

Texturalmente, o horizonte B é classificado como argilo-arenoso e o horizonte C como areno-argiloso. Já as amostras E2 e E7 são classificadas como silto-argilosas e o E6 como argilo-arenosa. A crosta é classificada como arenosa com contribuição de areia grossa e média. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (ASTM, 1983), todas as amostras são argilas pouco plásticas.

Ao analisarmos a percentagem de areia fina e silte (material mais fácil de ser transportado) nas amostras vê-se que as percentagens maiores destes materiais

estão nas mostras E2 e E7 e no Horizonte B/C, que estão na base da estrada. Da mesma forma, estas amostras também contêm a menor porcentagem de argila.

Isto explica a presença de alcovas de regressão e dutos que se formam no horizonte C e B/C, onde estão cobertos pela Crosta (vertente NW). A Crosta é arenosa (com baixo índice de plasticidade) e muito compactada o que dificulta a infiltração da água da chuva. As camadas abaixo da Crosta (C e B/C) apresentam alta porcentagem de areia fina +silte, e baixo teor de argila (índice de plasticidade médio), porém permitem uma maior infiltração da água o que confere a elas uma maior erodibilidade.

Adotando o Sistema HRB, voltado para uso em pavimentação, as amostras do horizonte B, E2 e E7 são argilas plásticas e as amostras do horizonte B/C, crosta e E6 são argilas siltosas. Destaca-se que este sistema de classificação apresenta limitações quanto ao seu uso para solos tropicais conforme descrito em Nogami e Villibor (1979).

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios para determinação dos limites de consistência das amostras da estrada (E2, E6, E7 e Crosta) e da jazida (horizontes B e C).

Tabela 7: Índices Físicos

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Horizonte B (PII)	41	23	18
Horizonte C (PII)	39	18	21
Crosta	23	14	09
E2	44	22	22
E7	49	23	26
E6	38	22	16

Fonte: ensaios laboratoriais realizados, e Sant'Ana (2012)

Todas as amostras apresentaram baixa a média plasticidade com um limite de liquidez inferior a 50% e um índice de plasticidade entre 09 e 26 %. A amostra E7 apresentou-se mais plástica (limite de liquidez e índice de plasticidade, elevados). O baixo índice de plasticidade da crosta esta relacionada com a baixa porcentagem de argila.

Para os pontos ao longo da estrada (E2, E7 e Crosta) foram descritos a mineralogia e propriedades de forma, como: esfericidade, angulosidade e

arredondamento, para todas as classes de tamanhos de grãos visíveis macroscopicamente, seixo (2mm) e grânulos (4,75mm), segundo a metodologia utilizada pela Embrapa; por meio de análise macroscópica. Essa análise deu-se visto que a relação de forma e mineralogia dos grãos pode influenciar no atrito entre eles e conseqüentemente na erodibilidade.

Procurando compreender as diferenças entre as incisões de um lado e outro das estradas (nas vertentes NW e SE), executou-se a avaliação da forma dos materiais presente em diferentes classes granulométricas dos pontos amostrados. Isto deve-se também ao fato de que quanto mais arredondado e menos anguloso o material, maior seria a facilidade de transporte dessas partículas. Caso fossem constatadas grandes diferenças nos materiais, poder-se-ia usar tais dados como uma das justificativas para o perfil das incisões erosivas encontradas serem diferentes de uma vertente para outra.

Na amostra E2, no material retido na peneira 4,75mm (tamanho seixo), foram descritos agregados de quartzo e óxido de ferro. O material apresenta em geral características angulosas e de esfericidade baixa à média. Já os óxidos de ferro encontrados, apresentam alta esfericidade e arredondamento.

As características de materiais menos trabalhados, ou seja, com várias arestas e ângulos, coaduna a ideia de que esse material tem sua origem, em um local próximo.

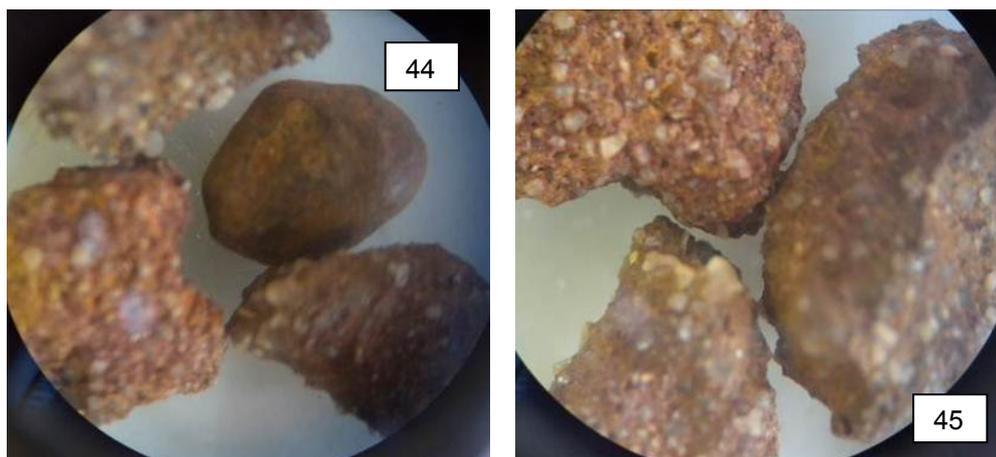


Figura 44 e 45: Macroscopia do material retido em peneira 4,75 mm (Amostra E2)

As figuras 46 e 47 representam o material que ficou retido na peneira de 2mm. Esse material é composto por quartzos angulosos à subangulosos e de baixa

esfericidade. Apresenta faces e arestas destacadas, são fraturados, variando de incolor a branco leitoso. O fato de serem pouco trabalhados leva-nos a supor que esse material situado sobre terraço fluvial tem sua fonte próxima, provavelmente, associada as rochas do Escudo Cristalino.

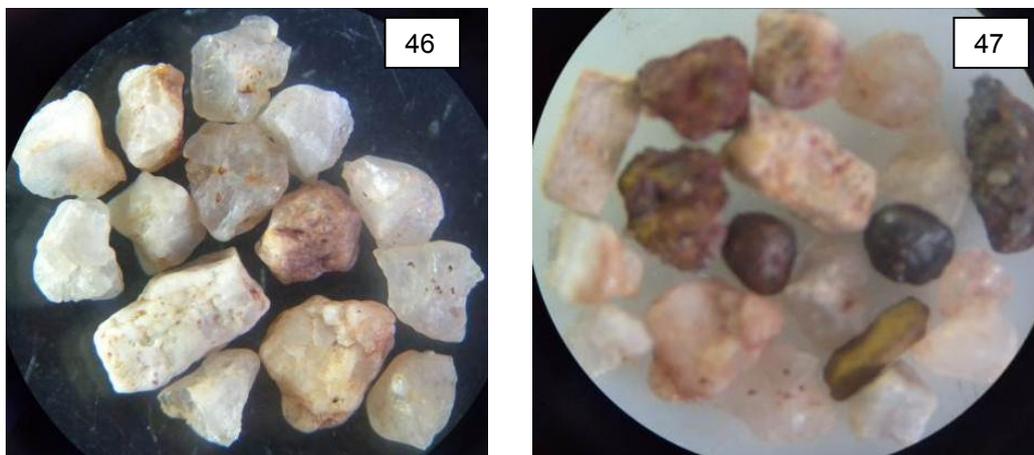


Figura 46, 47: Macroscopia do material retido em peneira de 2mm (Amostra E2).

Ainda nota-se a presença de óxido de Ferro; com alta esfericidade e arredondamento, e brilhoso. Provavelmente, seja um material proveniente de regiões mais distantes, visto que está bastante trabalhado, ou seja, com esfericidade alta. Também na amostra desse ponto, temos a presença de feldspato, que possuem caolinização, alteração baixa, com clivagem bem marcada. São angulosos e possuem baixa esfericidade.

A mineralogia das amostras do ponto E7 (figuras 48 e 40) é semelhante ao ponto E2, no que se refere à presença de quartzos, feldspatos e óxidos de ferro, sendo que neste último aparece em maiores proporções nesse ponto.

O material retido na peneira de 4,75 mm caracteriza-se pela presença de quartzo leitoso, com baixa a média esfericidade e muito anguloso, além de apresentar fraturas por sua superfície. Por esse peneiramento, ficaram retidos agregados de óxido de ferro, com angulosidade alta e de baixa esfericidade, sendo composto por quantidade elevada de quartzo.

Na peneira 2mm, observa-se nessa análise a presença de quartzo com grau de esfericidade média a alta, e com arredondamento anguloso a subanguloso; variando de incolor a leitoso, além de apresentar películas de óxido de ferro em alguns grãos. Esses quartzos apresentam superfícies polidas, na sua maioria, além de pequenas fraturas de corrosão.

Também é observada a presença de óxido de manganês e ferro, o último com alteração amarelada. Esses óxidos apresentam geralmente superfície lisa, acompanhada de média a alta esfericidade, com características de subarredondado e arredondados. Tem-se também na amostra, agregados de quartzo com cimentos de óxido, com tamanhos variados de silte e areia. Esses agregados possuem superfície rugosa, com esfericidade média a alta, e características de anguloso a subanguloso.

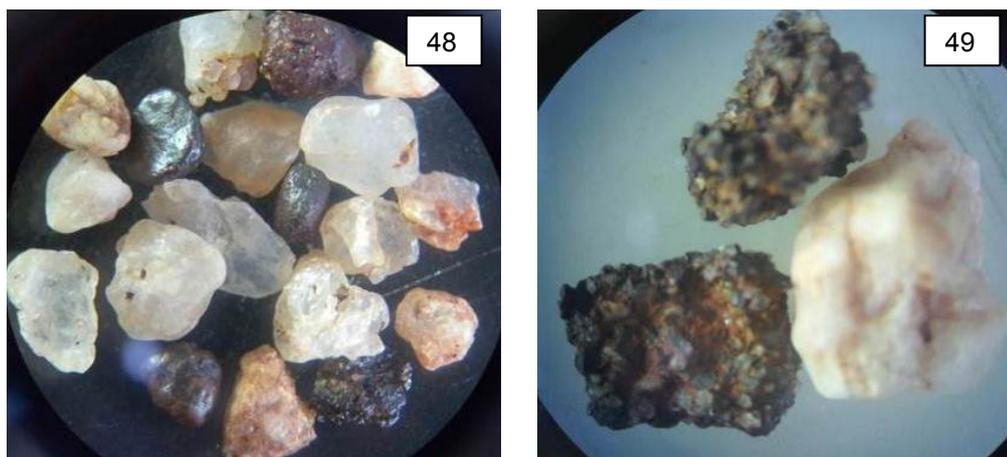


Figura 48 e 49: Macroscopia do material retido em peneira 2 mm e 4,75, respectivamente.

Para a amostra Crosta, não houveram partículas retidas na peneira 4,75mm. Já o material retido apenas na peneira de 2mm, é composto por quartzos incolores e brancos, e em geral bastante fraturados, sendo que sua superfície apresenta-se lisa a levemente rugosa, e com média a alta esfericidade. Quanto ao grau de arredondamento, pode-se dizer que são subarredondados a arredondados.

Também é composta essa amostra, por óxidos de ferro, como mineral e como agregado, e que se apresentam com características variando entre angulosas e subangulosas, e com média a alta esfericidade, e alto arredondamento, como mostra a figura 50.



Figura 50: Macroscopia do material retido em peneira 2 mm (crosta)

De forma geral, as três amostras apresentam materiais predominantemente angulosos, com várias arestas, rugosos e baixa esfericidade, sendo exceção à isso os minerais de óxido de ferro quando não agregados à outras partículas. Dessa forma, as características físicas dos grãos, não chegam a ser um condicionante que explique o padrão distinto que as feições apresentam ao longo da estrada.

Isto poderia influenciar nos índices de vazios (grãos arredondados, indicam maior índice de vazios), e em ensaios hidráulicos como o de infiltrabilidade e Inderbitzen, No caso deste ensaio , assim como no processo erosivo, a lâmina de água formaria uma superfície de cisalhamento sobre a amostra que seria mais facilmente erodível quanto mais arredondados e esféricos fossem os grãos (menor atrito).

Ao comparar-se as amostras, quanto ao material retido em 2mm, e em 4,75 mm; as três amostras apresentaram como já visto, pequena porcentagem de seixos e grânulos (pedregulhos).

#### 4.3.2 Ensaio de Desagregação

Foram realizados ensaios de desagregação nos estados de umidade natural, seca ao ar e pré-umedecida das amostras E2, E7 e Crosta. Os resultados dos ensaios estão descritos nas tabelas 8 e 9.

Para o ensaio com amostras secas ao ar, utilizaram-se amostras dos três pontos de coleta; já para o ensaio de amostras naturais, utilizou-se apenas material

de E2 e E7, isto em virtude das características apresentadas pela amostra de crosta que apresentou o mesmo comportamento seco ao ar e natural.

Na Figura 51, temos o ensaio realizado com as amostras E2 e E7, coletadas para a pesquisa no estágio inicial do ensaio, com 1/3 da altura da amostra imerso na água. A figura mostra que neste estágio as amostras se comportam de maneira muito semelhante, mostrando pouca desagregação.



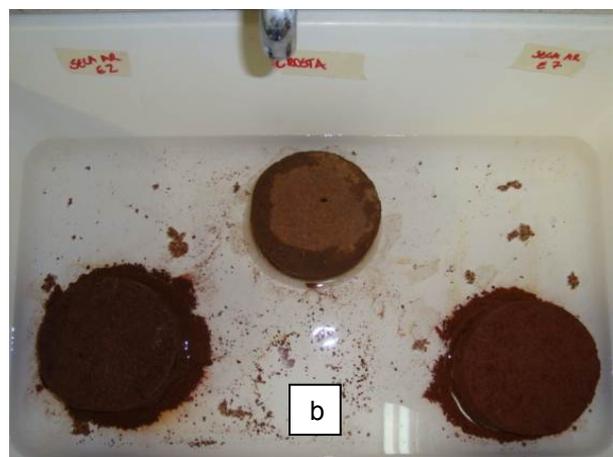
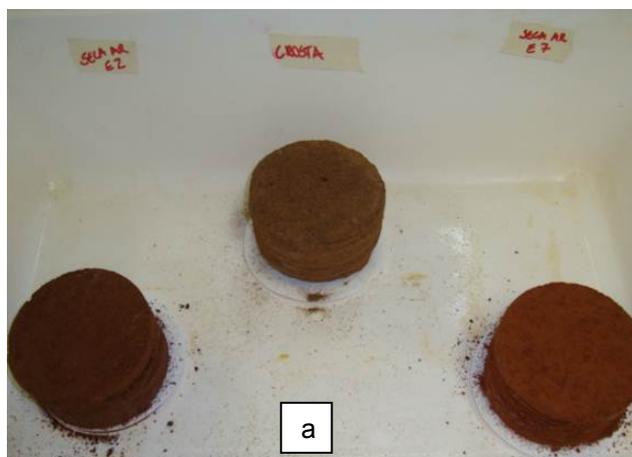
Figura 51: Ensaio de Desagregação  
Fonte: Lucas D. Rodrigues, Lennon F. Tomassi, Daniel Moraes

Conforme a Tabela 5, a crosta devido a sua alta compactação possui pouca capacidade de infiltração, necessitando de muito mais tempo para saturar. Na condição de umidade seca ao ar e com água na base das amostras, a amostra E2 saturou por completo aos 5 minutos de ensaio e a E7 aos 9 minutos. Já a crosta não teve saturação completa ao final do ensaio. A amostra E2, desagregou mais rapidamente do que E7 com a presença de trincas e abatimento a partir de 13' da primeira parte do ensaio Por fim, as duas amostras se desagregaram enquanto que a crosta se manteve intacta. E não teve saturação completa.

Tabela 8: Ensaio de desagregação com amostras na condição secas ao ar

Tempo	Amostras Secas ao Ar		
	E2	E7	Crosta
1"	Ascensão de água	Ascensão de água	Pouca infiltração de água
3'50"	Água quase no topo	Chegada de água quase no topo da amostra (foto8740)	Pouco avanço na infiltração
5'40"	Chegada de água na superfície	Mais da metade da superfície com água	Pouco avanço. Cerca de ¼ da altura da amostra
9'50"	Mais da metade da superfície	Toda a superfície	

	com água	com água	Manteve-se
10'30"	Toda a superfície com água (foto8742)	Manteve-se	Manteve-se
13'	Aparição de fissura na lateral da amostra (foto8749)	Intacta	Pouco avanço da água
19'	Aumento da fissura já existente	Intacta	Altura da água em 2/5 da altura da amostra
28'	Manteve-se	Manteve-se	Água chega à metade da altura da amostra
30'	Final 30 min		
Parte 2			
1' – 2'50"	Trincar no topo, fissuras laterais. Apresenta o maior círculo de desagregação (foto 8762)	Fissura Lateral. Médio círculo de desagregação	Mesmo com água em 1/3 da altura, a água não chegou ao topo.
7'	Aumento das fissuras	Manteve-se	Manteve-se
10'	Manteve-se	Desagregação continua, porém muito lenta.	Água quase chegando ao topo
13'	Fissuras aumentam lentamente	Manteve-se	Água chega ao topo nas bordas
15'			
Água em 2/3	Enquanto era adicionada água houve abatimento das laterais de E2 e a água chegou ao topo da crosta. No início das 2/3 houve desagregação da amostra E7 (superfície em semi-círculos)		
2'7" (final dos 2/3, foto 8774)	Perdeu mais material que a E7	Preserva um lado sem desagregar	Em 2'7" ainda não saturou completamente
Final das 2/3	Desagregação continua avançando com abertura de novas fissuras	Menor desagregação que em E2. Formação de fissuras de menor dimensão.	Não houve a saturação completa da amostra. Uma pequena parte não saturou
Adição final de água (a partir da foto 8775)	Durante o processo de adição final de água, E2 e E7, desagregaram quase completamente. Como em todos os ensaios, a amostra E2 teve perda mais acentuada.		A crosta não sofreu perda nenhuma.



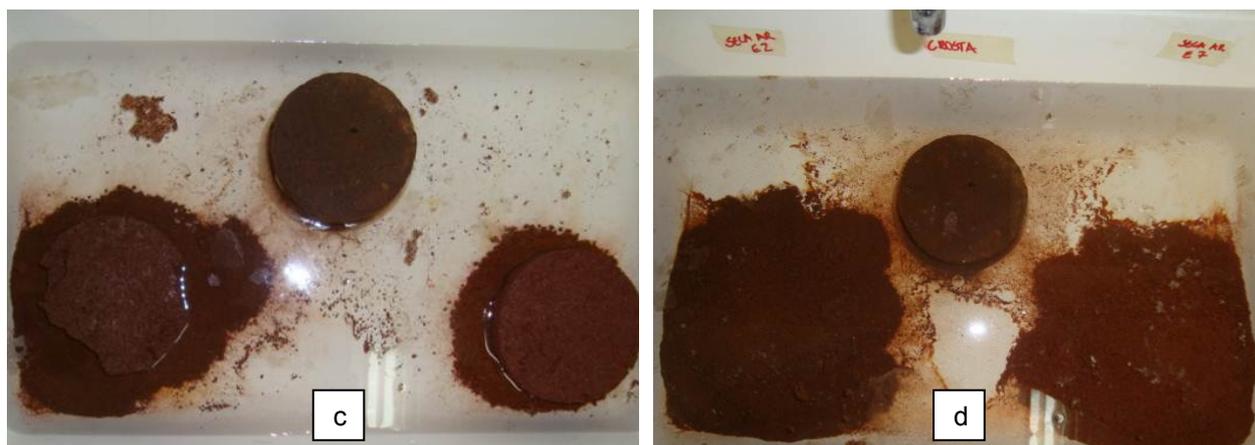


Figura 52: Evolução do ensaio de desagregação, das amostras E2, E7 e Crosta  
 Fonte: Lucas D. Rodrigues, Lennon F. Tomassi, Daniel Moraes

Já ao analisarmos amostras, ao natural, ou seja, em condições de umidade, semelhantes ao do momento de coleta; ao final de 24 horas de ensaio, em ambas, ainda havia material da região central, sem desagregar-se.

Nesse ensaio, com umidade natural, logo que inicia-se o processo, a amostra E2, fica praticamente toda saturada, enquanto que E7, ainda tem 1/3 sem saturação.

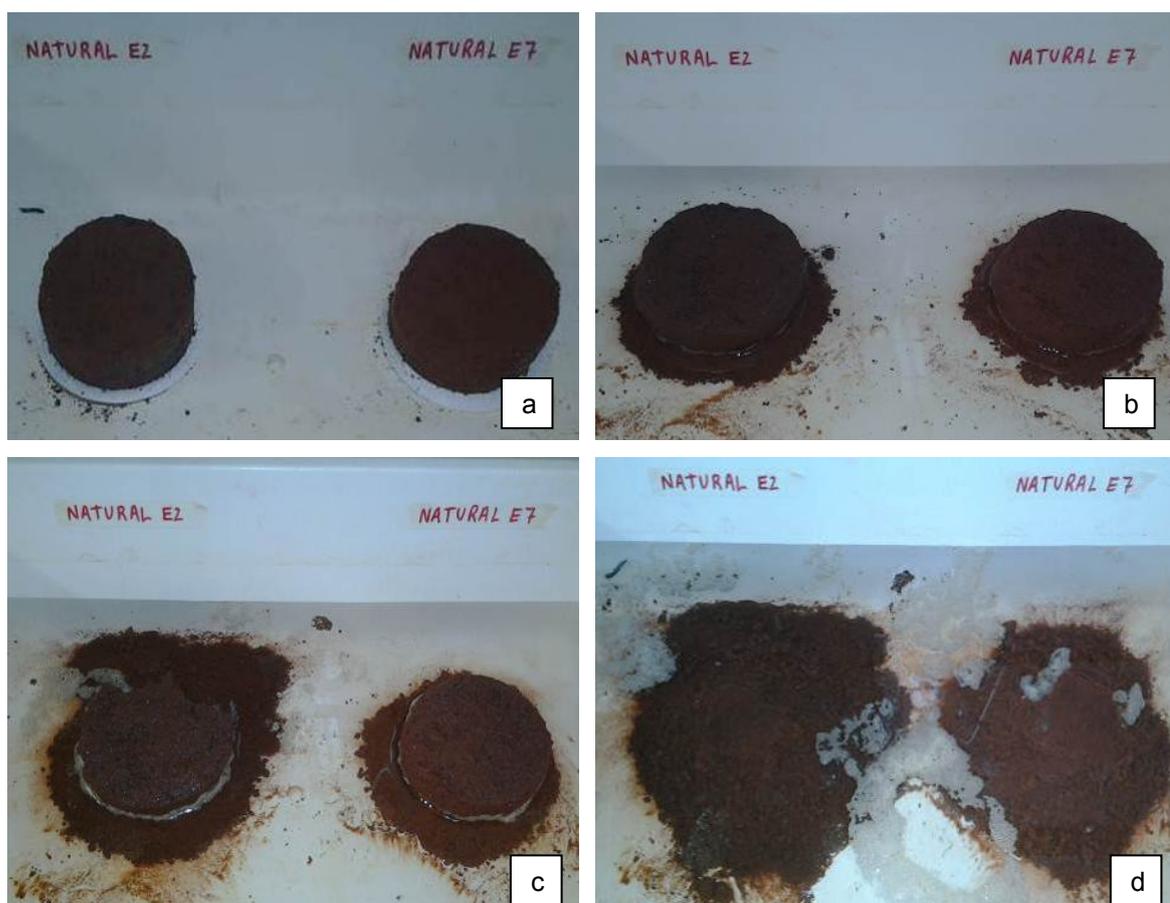


Figura 53: Evolução do ensaio de desagregação E2 e E7  
 Fonte: Lucas D. Rodrigues, Lennon F. Tomassi, Daniel Moraes

E2 já apresenta sinais de fragmentação na metade da primeira etapa de adição de água, sendo que E7 só assinalara tendência à desagregação, ao adicionar a segunda parcela de água na bacia, sendo que perdera material, apenas na terceira parte do ensaio (última adição de água). Já E2, terá perda de material ainda na primeira parte do ensaio.

Tabela 9 : Desagregação de amostras na condição de umidade natural

Amostras ao Natural		
Tempo	E2	E7
1"	Praticamente toda amostra saturada	Água em cerca de 2/3 da altura
3"	Toda amostra saturada	Toda amostra saturada
13"	Manteve-se	Manteve-se
23"	Pequena desagregação na base da amostra (pequena porção de um parta da amostra)	Manteve-se
30"	Manteve-se	Manteve-se
2ª parte – 1/3	Formação de círculo de desagregação em ambas as amostras, durante a colocação de água.	
1'30"	Grande círculo de desagregação na amostra da base até a linha da água	Médio círculo de desagregação em relação a E2, da base até a linha d'água.
7'	Estabilização da desagregação	Estabilização da desagregação
3ª parte – 2/3	Desagregação durante a colocação da água	
1'	Queda de grande parte da amostra e desagregação. (círculo bem maior)	Não houve queda do solo. O círculo de desagregação aumentou, mas ficou abaixo da linha da água.
5'	Apresenta fissura no topo	Manteve-se
Total 3/3	Queda de grande parte das laterais das duas amostras. Desagregação circular até o topo	
24 horas	Apenas o meio da amostra não desagregou.	

Observações: E7 tem presença de raízes.  
E7: cápsula 22 (tara: 21,21 e S+T: 73,88) E2: cápsula 40 (tara 19,43 e S+T: 59,52).

Assim, em termos gerais, as amostras E2 e E7 apresentaram maior desagregação do que a amostra da Crosta. As amostras E2 e E7 são bastante semelhantes embora tenha apresentado pequenas diferenças quanto ao tempo de saturação e aparecimento de trincas e sinais de abatimento, tanto na condição de umidade seca ao ar, quanto natural. A crosta, por ser um material mais arenoso e altamente compactado permaneceu intacta e com saturação incompleta (figura 62)

O mais importante neste ensaio é a resposta muito diferente da crosta em relação às camadas E2 e E7. Isto poderia explicar a formação das alcovas de regressão, nas camadas E2 e E7, bem como da presença de ravinas e sulcos também.

Vale ressaltar que a desagregação das amostras E2 e E7 secas ao ar foram maiores e em menor tempo. Isto se dá provavelmente, pela presença de argilominerais que ao passarem da condição de seco ao ar para umedecidos sofrem o processo de expansão, desagregando o material.

#### 4.3.3 MCT – Miniatura, Compactado, Tropical.

Para esta pesquisa, foram realizados ensaios de infiltrabilidade e perda por imersão nas condições de umidade seca ao ar e pré-umedecida da crosta (leito da estrada de terra) que foram comparados com os resultados obtidos de Sant'Ana (2012) para o horizonte B da Jazida que apresentam as mesmas características das amostras E2 e E7.

Dando sequencia as observações realizadas nos demais ensaios, o MCT das amostras consideradas, comprovaram que o horizonte B/c - tanto da jazida, e, portanto, dos pontos E2 e E7 da estrada, são facilmente erodíveis.

A Figura 54, temos a realização do ensaio de infiltrabilidade na amostra denominada Crosta. Para esta amostra foram realizados somente ensaios na condição de umidade natural e pré-umedecida. O ensaio na condição de umidade seca ao ar não foi realizado, porque o material da crosta já se encontrava seco em condições naturais de campo. Observamos que a infiltração ocorre de forma lenta, visto que a amostra apresenta sinais de saturação, após 1h18min, do início do ensaio.



Figura 54: Ensaio de Infiltrabilidade - Amostra Crosta  
Fonte: Graciele C. Pittelkow.

O gráfico 1, mostra que os valores de infiltrabilidade são maiores na amostra da Crosta, na condição de umidade natural, do que pré-umedecida. Ao comparar os dados de infiltrabilidade da Crosta, com os do Horizonte B, realizados por Sant'Ana (2012), percebe-se que na condição natural o volume infiltrado do horizonte B e crosta, para umidade natural é aproximadamente igual, porém na crosta a infiltração demorou mais que o dobro do tempo para ocorrer. Para o horizonte B o maior volume infiltrado ocorreu para a mostra em condição seca ao ar. De modo geral, a infiltrabilidade no horizonte B é muito maior do que na Crosta.

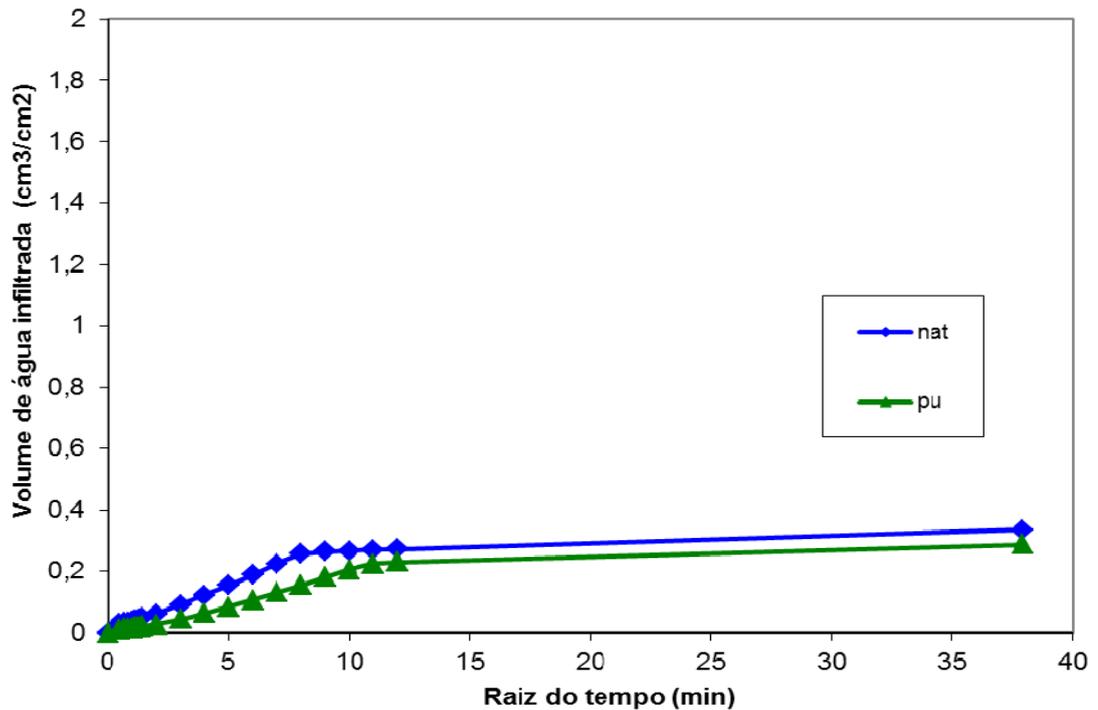


Gráfico 1: Gráfico do Ensaio de Infiltrabilidade - Amostra Crosta  
 Fonte: Graciele C. Pittelkow

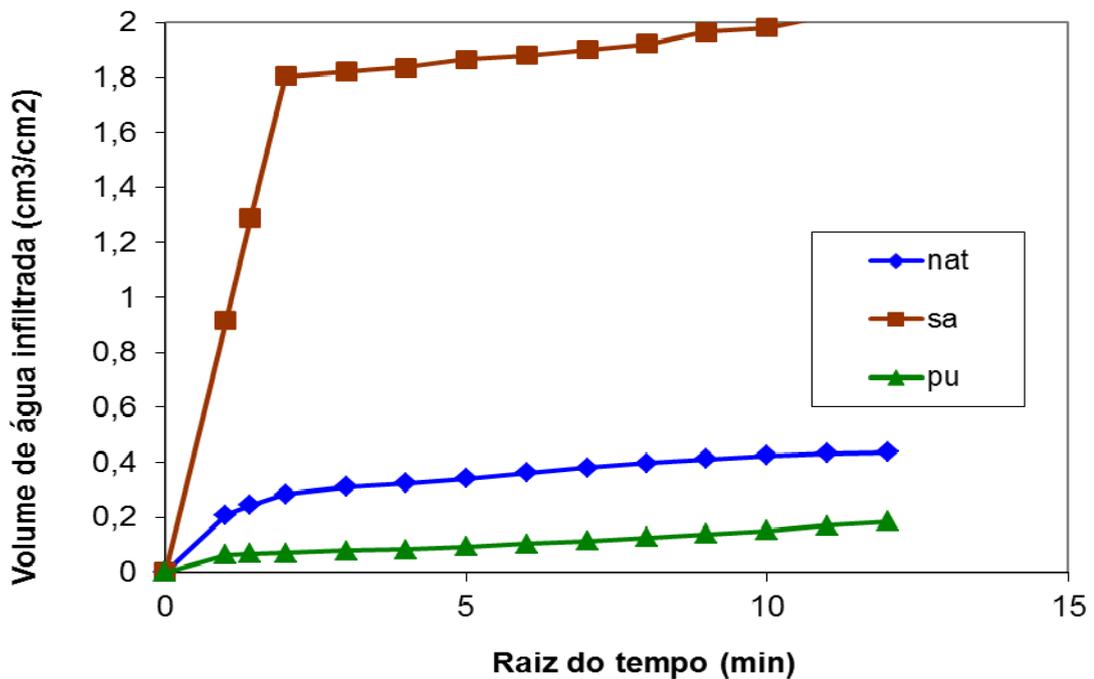


Gráfico 2: Ensaio de Infiltrabilidade da amostra, horizonte B (generalizado para E2 e E7).  
 Fonte: Sant'Ana, 2012.

O ensaio de perda por imersão foi realizado para a Crosta, nas condições de umidade natural e pré-umedecida, conforme justificativa apontada anteriormente. A tabela 10 apresenta os resultados deste ensaio

Tanto na condição de umidade natura quanto pré-umedecida, a crosta perdeu o dobro de material em comparação com o horizonte B. Uma possível explicação pode estar relacionada à dificuldade em amostrar este material (moldar o anel), o que pode ter provocado uma ação mecânica que resultou na desagregação que, embora considerada alta, não alterou seu resultado no MCT.

Tabela 10: Resultado dos ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão

Umidade	Horizonte B			Crosta		
	s (cm/min <sup>1/2</sup> )	pi (%)	pi/s	s (cm/min <sup>1/2</sup> )	pi (%)	pi/s
Natural	0,130	10,48	80,6	0,098	20,41	38,91
Seca ao Ar	0,832	44,12	53,0	--	---	---
Pré-umedecida	0,012	3,94	328	0,008	21,11	2,26

Ao plotar os dados da tabela 9, no gráfico de erodibilidade da metodologia MCT (gráfico 3), vê-se que todas as amostras do horizonte B, independentemente de sua condição de umidade são consideradas erodíveis, já as amostras da crosta, são consideráveis não erodíveis. Sendo assim, de acordo com os dados da tabela 10 e do gráfico 3, o horizonte B apresenta-se erodível para todas as situações a que foi submetido, confirmando que baixos valores de sorção, relacionam-se com o escoamento superficial causando a erosão.

Já a amostra da Crosta, não é considerada erodível, pois apresenta baixos valores de sorção, reafirmando que somente ações mecânicas, as mesmas que causaram a compactação, conseguem influenciar na sua perda de partículas.

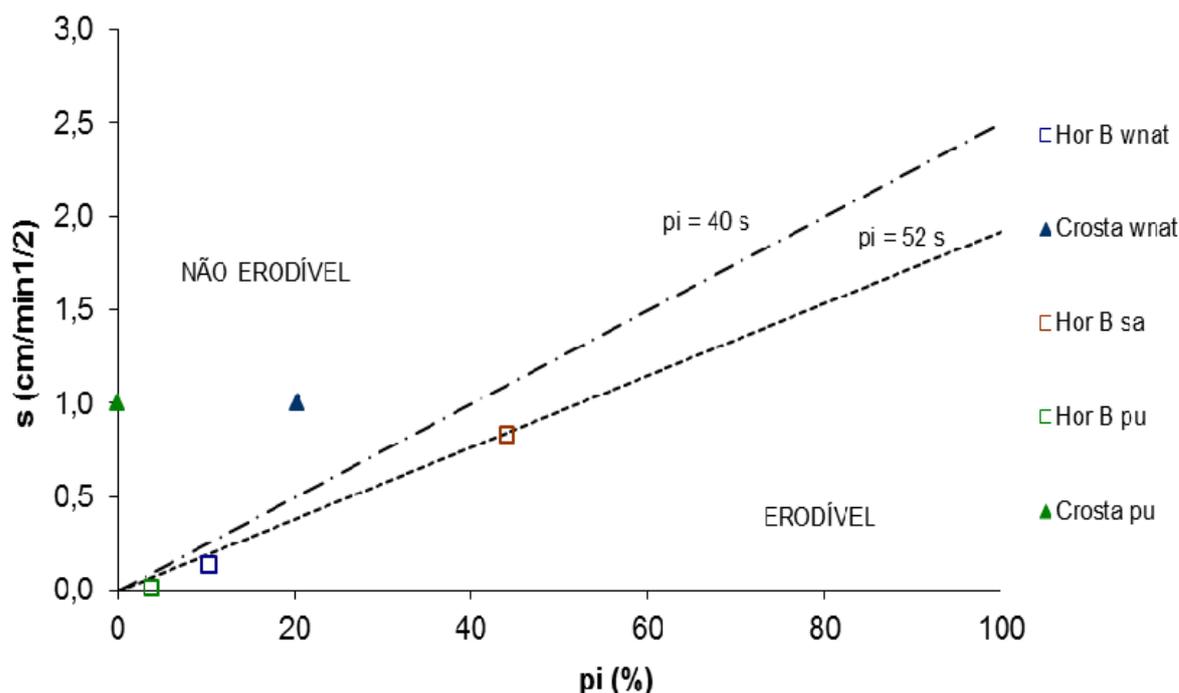


Gráfico 3: Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT

Assim, a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), confirma a vulnerabilidade do material coletado, e explica quantitativamente o grande número de feições erosivas observadas no local de estudo.

Muito embora os resultados dos índices físicos obtidos para a amostra Crosta, como a elevada porcentagem da fração areia (67%), baixa porcentagem de fração argila (12%) e baixo índice de plasticidade (9%), possam indicar alta erodibilidade, isto não se confirmou nos ensaios da metodologia MCT.

Os resultados dos ensaios MCT classificam o material da crosta, como não erodível e os solos do horizonte B/C, E2 e E7 como erodíveis estando de acordo com que foi observado em campo. No caso da crosta, as modificações antrópicas efetuadas no solo (compactação pela passagem de blindados), modificaram a sua estrutura e conseqüentemente sua erodibilidade.

De fato, a crosta mesmo sendo produto de forte impacto ambiental, e apresentar um comportamento não erodível, é responsável por manter a estrutura da estrada e retardar o avanço dos processos erosivos.

O tráfego de blindados e viaturas sobre rodas nesta estrada, fragmenta mecanicamente este material facilitando a infiltração e erosão dos horizontes inferiores. Dessa forma, pode-se dizer que, embora a compactação dos solos seja um processo

prejudicial ao meio ambiente (diminui a infiltração, etc.), no caso desta estrada, a crosta deverá ser mantida evitando a passagem de blindados e viaturas, até que se efetue a recuperação ambiental deste local.

## CONCLUSÕES

A priori temos que a área utilizada para fins de treinamento militar é um local com propriedades naturais que o caracterizam como frágil e evidenciando solos e rochas suscetíveis aos processos erosivos. Estes fatores naturais, associados, principalmente, ao intenso uso de veículos blindados, favorecem a aceleração do processo de degradação dos solos, desencadeando a surgimento de diversas feições erosivas, principalmente, junto a estradas de terra.

Diante disso, analisou-se uma estrada de terra, que se situa próximo a uma jazida de empréstimos, existente no CISM, e possui diversas feições erosivas, que são desencadeadas - além da forma de uso, por características dos solos e da confluência de elementos da paisagem e relevo.

Com base nas feições erosivas encontradas pode-se afirmar que o processo de erosão na estrada é influenciada pelo fluxo superficial concentrado (disposição da estrada em relação as curvas de nível e falta de sistema de drenagem) e presença de camada superficial compactada bem como a atuação do fluxo subterrâneo que se dá no contato das diferentes camadas do solo e do material do terraço.

Os ensaios de erodibilidade mostraram que os horizontes de solo (B e B/C) localizados abaixo da camada compactada são erodíveis, principalmente, na condição de umidade pré-umedecida. Desta forma, quando esta camada é desagregada mecanicamente pelo tráfego de veículos, o processo erosivo tende a avançar mais significativamente.

Os resultados dos ensaios MCT classificam o material da crosta, como não erodível e os solos do horizonte B/C, E2 e E7 como erodíveis estando de acordo com que foi observado em campo. No caso da crosta, as modificações antrópicas efetuadas no solo (compactação pela passagem de blindados), modificaram a sua estrutura e conseqüentemente sua erodibilidade.

De fato, a crosta mesmo sendo produto de forte impacto ambiental, e apresentar um comportamento não erodível, é responsável por manter a estrutura da estrada e retardar o avanço dos processos erosivos.

O tráfego de blindados e viaturas sobre rodas nesta estrada, fragmenta mecanicamente este material facilitando a infiltração e erosão dos horizontes inferiores. Dessa forma, pode-se dizer que, embora a compactação dos solos seja um processo prejudicial ao meio ambiente (diminui a infiltração, etc.), no caso desta estrada, a crosta deverá ser mantida evitando a passagem de blindados e viaturas, até que se efetue a recuperação ambiental deste local.

Complementando essa ideia, sugere-se que o tráfego nesta estrada seja redimensionado, assim como a própria estrada seja redefinida, com um traçado que acompanhe as curvas de nível. Além disso, considera-se importante a adequação de um sistema de drenagem lateral, com uso de vegetação e canalização das águas pluviais, que devido ao atual formato da estrada, tem como calha a própria estrada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS FILHO, O. **Estradas de terra**. Jornal O Estado de São Paulo, São Paulo. Suplemento agrícola, 29 de abril de 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1968. 6p. Origem: MB-30.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. Origem: MB-27

\_\_\_\_\_. **NBR 7108**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p. Origem: MB-31.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13p. Origem: MB- 32.

\_\_\_\_\_. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm. Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p. Origem: MB-28.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p. Origem: TB-3

\_\_\_\_\_. **NBR 7389** Apreciação Petrográfica de materiais naturais, ara utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro 1956.

ABDO, M.T.V. N, et al. **Estabilização de Uma Voçoroca no Pólo Apta Centro Norte - Indorama, SP**. Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária Junho de 2008. [www.apta.sp.gov.br](http://www.apta.sp.gov.br)

ARAGÃO, R. de *et al*. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.7. p 731-740.2011.

BAESSO, D. P; GONÇALVES, F. L. R., **Estradas rurais – técnicas adequadas de manutenção**. Governo do Estado se Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2003, 2004p.

BAPTISTA. D.M.T. O debate sobre o uso de técnicas qualitativas e quantitativas de pesquisa. In: MARTINELLE, M.L. (ORG0. **Pesquisa qualitativa: um instigante desafio**. Série Núcleo de Pesquisa 1, NEPI/PUC-SP. São Paulo.: Veras, 1999.

BARISON, M. R.; RODRIGUES, J.E. Carta **de Erodibilidade da Quadrícula de Amparo-SP. 1998**, Brasília-DF. **Anais**. Brasília: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 1998.

BARROS SARTORI, M da. G. **O clima de Santa Maria: do regional ao Urbano.** 1979. Dissertação (Mestrado em Geografias) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

BASTOS, C. A. B. et al. **Avaliação da Erodibilidade de Perfis de Solos Residuais da Grande Porto Alegre.** 1998 Brasília-DF. **Anais.** Brasília: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 1998

BASTOS, C.A.B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999a.

BASTOS, C.A.B.; GEHLING, W.Y.Y. ; MILITITSKY, J. Avaliação geotécnica da erodibilidade de solos residuais-uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 12, 2002, São Paulo. **Anais.** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2002b. v. 2.

BASTOS, C.A.B.; GEHLING, W.Y.Y.; MILITITSKY, J. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais tropicais e subtropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 8., 2002, Lisboa. **Anais.** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Geotécnica, 2002a. v. 1

BASTOS, C.A.B.; MILITITSKY, J; GEHLING, W.Y.Y. A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico-pesquisas e tendências. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande/RS, v. 1, p. 17-26, 2000.

BASTOS, L. et al. **Manual para elaboração de projetos e relatórios de pesquisa, teses, dissertações e monografias.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BELTRÃO, R. **Cronologia Histórica do município de Santa Maria e do Extinto Município de São Martinho.** Santa Maria. Editora Palloti. 1958

BERTALANFFY, Ludwig von. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos.** São Paulo: Ícone, 1999.

BIGARELLA, J. J. et al **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Florianópolis – UFSC – volume 3. 2003.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J; SALES, M.M.; N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro.** Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006 a.

CARDOSO, F.B. F **Análise química, mineralógica e micromorfológica de solos tropicais colapsáveis e o estudo da dinâmica do colapso.** Dissertação de mestrado em Geotécnica. UbB. Brasília, 1995

CAROLINO de SÁ, M. A. **Erosão do solo: mecanismos e controle.** Artigo publicado em 23/05/2004. <http://www.fazendasmt.com.br/artigos/imprimir.php?id=14> – acesso 04/04/2010.

CARVALHO, L.D.V. Avaliação da viabilidade da melhoria do projeto geométrico e da conservação das estradas de terra. 1992. 85f. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, USP – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1992.

CASAGRANDE, L. **Avaliação parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na Bacia do Rio Vacacaí - Mirim com o auxílio de técnicas de Geoprocessamento.** 2004. 226 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria

CASSETI, V. 2005. **Geomorfologia.** [S.l.] Disponível: [www.funape.org.br/geomorfologia](http://www.funape.org.br/geomorfologia). Acesso em dezembro de 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. 1991.

COSTA. R. A, BIELLA. C. A. Processos Erosivos Em Estradas: O Estudo de Caso do Desmoronamento do Aterro na Go-213 no Município de Caldas Novas-Go. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia.** Goiânia – 2006. Anais. P. 1-5

CRUZ, V. da. **Estradas vicinais: abordagem pedológica, geotécnica, geométrica e de serventia de dois trechos rodoviários não pavimentados no campus da UFV – MG** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2005.

DE BIASI, M. A. Carta Clinográfica: os Métodos de Representação e sua Confecção. **In: Revista do Departamento de Geografia.** FFLCH/USP, (6). 1992.

DENER T. M, *et al.* Avaliação de técnicas de monitoramento de processos erosivos acelerados em área peri-urbana – São Paulo. **VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física.** Universidade de Coimbra, Maio de 2010

DENKER, A. de F. M. **Métodos e técnicas de pesquisa em turismo.** São Paulo: Futura, 2000.

DNIT. **Manual de Pavimentação.** Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro - RJ, 2005, 334p.

FÁCIO, J.A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCÍAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 3. ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: Ed. Universitária Champagnat, 1991.

FREIRE, E.P., Ensaio Inderbitzen Modificado: Um Novo Modelo Para Avaliação Do Grau De Erodibilidade Do Solo. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO)**, Goiânia - 2001.

FUPEF - **Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná**. Paraná, Brasil, 157 p., 1986.

GALETI, P.A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.

GRACE III, J.M.; *et al.* **Evaluation of erosion control techniques on forest roads**. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v.41, n.2, p.383-391, 1998.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. *et al.* **Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, May/June 2005, vol.29, no. 3, p.397-405. ISSN 0100-0683. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n3/25740.pdf>. Acesso em: 2012.

GRIELBER, N. P., **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem**

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, J.K.S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A.J.T.; VITTE, A.C. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema**. São Paulo: IPT, Relatório 24 739, 1986.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A., São Paulo – SP, 2ª edição, 1988, 125p.

JACINTHO, E.C. *et al.* Solos Tropicais e o Processo Erosivo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.).

**Processos erosivos no centro-oeste brasileiro.** Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

LIMA, M.C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas.** Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2003.

MACEDO, J.H.S. A Guarda de Santa Maria: um foco para o surgimento da cidade de Santa Maria. In: Weber, B.T; Ribeiro, J.I. (Org.). **História de Santa Maria: outras contribuições recentes.** Santa Maria: Câmara de Vereadores. 2012.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J, R., **Rede Viária Florestal.** Curitiba: FUPEF, 1986.

MACHADO, M.K. A atuação histórica e geopolítica das forças armadas em Santa Maria. In: Weber, B.T; Ribeiro, J.I. (Org.). **História de Santa Maria: outras contribuições recentes.** Santa Maria: Câmara de Vereadores. 2012.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta de unidades geotécnicas de Santa Maria – RS.** Escala 1:25.000. Imprensa Universitária, FINEP/UFSM, Santa Maria: 1990.

\_\_\_\_\_. **Carta de unidades geotécnicas de Santa Maria – RS.** Escala 1:25.000. Imprensa Universitária, FINEP/UFSM, Santa Maria: 1990

MACIEL FILHO, C.L; NUMMER, A.V. **Introdução à geologia de engenharia.** Santa Maria, RS. Editora UFSM. 2011.

MAGALHÃES, R.A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO),** Goiânia- 200. Pag. 1- 7

MARCHIORI, J.N.C. A Vegetação de Santa Maria. In: **Ciência e Natura.** Santa Maria, Ed UFSM, 2009.

MARIOTONI, M. **Rodovias vicinais:** Conceituação e Importância. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo- São Paulo, 1987.

MODAELLI, S. D. O *et al.* Controle das erosões urbanas no Estado de São Paulo. In: Anais do 8º Simpósio. Nacional de Controle de Erosão, CD-ROM, São Paulo. 2009

NISHIYAMA, L. **Erosão do solo:** uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. 1995. São Carlos. 95p. Revisão Bibliográfica, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1995

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor, 1995. 240p.

NUNES, M.C. M; CASSOL, E.A. **Estimativa da erodibilidade em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v 32 Número especial. 2008

NUNES, T. V. L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: trecho de Aquiraz – CE.** Dissertação Mestrado. Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2003. Disponível em: <<. <http://www.det.ufc.br/petran/teses/tese18.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2003.

OLIVEIRA, M.M. **Como fazer uma pesquisa qualitativa.** Editora Vozes. Petrópolis-RJ. 2012

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p 57-99.

PAISANI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. T. Desenvolvimento de incisão erosiva (voçoroca) descontínua e desconectadas da rede hidrográfica em área de cabeceira de drenagem: o caso da colônia Quero-Quero (Palmeira/PR). **Revista Brasileira de Geociências.** 31(1): 51- 58, 2001.

PANACHUDI, E. *et al.* Parâmetros físicos do solo e erosão hidrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.10, n 2. 2006.

PEJON, O.J. **Mapeamento geotécnico da Folha de Piracicaba, SP, escala 1:100.000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos.** Tese (Doutorado) EESC/USP, São Carlos. 1992

PRESS, F. *et al.* **Para entender a Terra.** 4 ed. Editora Bookman. Porto Alegre, 2006.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Contexto, 2007

SALOMÃO, F.X.T.; ANTUNES, F.S. Solos. In: OLIVEIRA, A.M.S. e BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

SANT'ANA, K.D.A. **Zoneamento Ambiental De Área Utilizada Para Treinamentos Militares: Campo De Instrução De Santa Maria (CISM).** Qualificação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil.2011

SANT'ANA, K.D.A. **Zoneamento Ambiental De Área Utilizada Para Treinamentos Militares: Campo De Instrução De Santa Maria (CISM).** Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil.2012

SANTOS, A. R.; *et al.*, **Estradas vicinais de terra. Manual técnico para conservação e recuperação e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas.** Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2002, 121p.

SANTOS, A. R., PASTORE E. L. JUNIOR F. A. CUNHA, M. A. IPT (1988): **Estradas Vicinais de Terra. Manual Técnico para Conservação e Recuperação.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. 2ª edição, São Paulo.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?).** São Paulo. Editora Paulo's Comunicação e Artes Gráficas. 1999

SUGUIO, K; BIGARELLA, J.J. **Ambiente fluvial. Florianópolis.** Editora da UFSC. 1990.

TATOO, J. **Análise dos Parâmetros geológico-geotécnicos que condicionam erosão por voçoroca no município de São Francisco de Assis – RS.** Trabalho de Conclusão de Curso. Santa Maria, RS, Brasil. 2007.

VIEIRA, A.F. G; ALBUQUERQUE, A.R.C. Cadastramento de Voçorocas e análise do risco erosivo em estradas: BR-174 (trecho Manaus-Presidente Figueiredo). In: **V Simpósio Nacional de Geomorfologia. I Encontro Sul-americano de Geomorfologia – UFSM-RS -2004. Anais.** Santa Maria 2004. CD-ROM

VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. Erosão dos solos. In: Cintra, J.C.A.; Albiero, J.H. (Org.). **Solos do interior de São Paulo.** São Carlos: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; USP, v.1, 1993.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos.** São Paulo: Arte e Ciência, 2009.

WELTER, C.; BASTOS, C.A.B. Avaliação da erodibilidade de solos da planície costeira sul do RS com base na Metodologia MCT. In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 18, 2003, Itajaí. **Anais.** Itajaí: 2003. v. 1. Não paginado.