

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

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO DO
CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Kariza Dias Andrade Sant'Ana

Santa Maria, RS, Brasil

2012

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO DO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)

Kariza Dias Andrade Sant'Ana

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**.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Andrea Valli Nummer

Co-orientador: Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**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**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO DO CAMPO DE
INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)**

elaborada por
Kariza Dias Andrade Sant'Ana

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Dra. Andrea Valli Nummer (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro (UFSM)
(Co-orientador)

Prof. Dra. Eliane Maria Foletto (UFSM)

Dr. Sandro Fillipo (Exército Brasileiro)

Santa Maria, 20 de Março de 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que até aqui me ajudou a vencer todos os obstáculos que havia no caminho.

Ao Everton (meu marido) por estar presente nos momentos de dificuldade, pelo apoio nas minhas escolhas e por discutir comigo a respeito deste trabalho.

À minha família, pelo carinho e apoio em todos os momentos de minha vida.

A todo corpo docente do curso de Geografia da UFSM pelo enriquecimento de minha formação acadêmica, em especial, à minha orientadora, prof. Dr^a. Andrea Valli Nummer pela paciência, amizade e pelo zelo na construção desta pesquisa. Carregarei essa experiência como exemplo, nutrindo por ela, respeito onde eu estiver.

Ao prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro, pela amizade, parceria e contribuição nos trabalhos geotécnicos.

Aos meus companheiros de laboratório pelos momentos de aprendizagem e pela amizade construída.

Agradeço também ao Exército Brasileiro por permitir esta pesquisa em uma de suas Organizações Militares, pelo apoio logístico nos trabalhos de campo e pelas discussões visando à melhoria desta pesquisa.

RESUMO

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

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MEIO FÍSICO DO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)

AUTORA: KARIZA DIAS ANDRADE SANT'ANA
ORIENTADORA: DR^a ANDREA VALLI NUMMER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de março de 2012.

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma área destinada ao treinamento militar de tropas blindadas cuja prática tem provocado impactos ambientais relacionados à destruição da cobertura vegetal, erosão e assoreamento dos cursos d'água. Como não há dados ambientais para a área, este estudo teve como objetivo geral elaborar um diagnóstico ambiental do meio físico para parte da área do CISM, onde se concentram os exercícios militares, procurando auxiliar no planejamento ambiental da área. Como objetivos específicos buscou-se compreender a relação entre geologia, solos, geomorfologia, cobertura vegetal, forma de uso e ocupação com os processos erosivos que ocorrem na área; avaliar de forma indireta o comportamento da erodibilidade de alguns tipos de solos e rochas que ocorrem no CISM e sugerir ações de prevenção, recuperação ou compensação ambiental. Esta pesquisa foi realizada em três etapas: gabinete, campo e laboratório. Os procedimentos para execução da pesquisa incluíram: trabalhos de campo para identificação da geologia, solos e cobertura vegetal; ensaios de caracterização geotécnica e de erodibilidade; e elaboração do mapa geomorfológico. Os resultados mostraram que a área do CISM apresenta uma fragilidade ambiental natural em relação aos processos erosivos e que está relacionada ao tipo de solo e rocha que foram avaliados como erodíveis em ensaios de laboratório. Essa fragilidade é acentuada pela forma como a área é utilizada. As áreas mais impactadas estão localizadas na unidade geomorfológica denominada de colinas levemente onduladas e estão relacionadas às estradas e às rotas dos blindados. A presença de sulcos e ravinas em tais estradas e rotas deve-se, principalmente, à falta de drenagem superficial, ao tipo de material exposto no seu leito, a compactação do solo e a falta de manutenção dessas estradas e rotas.

Palavras-chave: diagnóstico ambiental, impacto ambiental, erosão, Campo de Instrução de Santa Maria.

ABSTRACT

Master's Degree Thesis
Graduate Program in Geography and Geosciences
Universidade Federal de Santa Maria

ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF THE PHYSICAL ENVIROMENT AT CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA (CISM)

AUTHOR: KARIZA DIAS ANDRADE SANT'ANA
ADVISOR: DR ANDREA VALLI NUMMER

Date and Location of Presentation: Santa Maria, March 20th 2012.

The Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) is a military training area for armored troops. Such practices have caused environmental impacts related to the destruction of vegetation, erosion, and siltation of waterways. Since there is no environmental data for the area, the following research aimed to develop an environmental diagnosis of the physical environment of the studied area at CISM, where the military exercises take place, aiming to assist in environmental planning in the area. The specific objectives aimed to understand the relationship between geology, soils, geomorphology, vegetation cover, way of use and occupation with the erosion processes that occur in the area, assess indirectly the behavior of the erodibility of some soils and rocks happening at CISM, suggesting preventive, environmental restoration and compensation actions. The upcoming research was conducted in three stages: office, field, and laboratory studies. The procedures to conduct the research included: field work to identify geology, soils and vegetation; geotechnical characterization tests and erodibility, and preparation of the geomorphological map. The results showed that the area of CISM has a fragile natural environment in relation to erosion; such characteristic is related to the type of soil and rock that were evaluated as erodible in laboratory trials. This weakness is increased by the way land is used. The most affected areas are located in the geomorphological unit called the gently rolling hills and are related to roads and routes of armor. The presence of ridges and ravines on such roads is mainly due to the lack of surface drainage, the type of material exposed in the bed, soil compaction and lack of maintenance of such roads and routes.

Keywords: environmental diagnosis, environmental impact, erosion, Campo de Instrução de Santa Maria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morfologia de sulcos e voçorocas (KARMANN, 2000).	17
Figura 2 - Classificação das formas de encostas. Rodrigues (1982) modificado de Troeh (1965).	23
Figura 3 - Critério de erodibilidade MCT segundo Nogami e Villibor (1995).	34
Figura 4 - Perfil I localizado próximo ao Centro de Instrução de Blindados (CIBLD) e Perfil II próximo à sede do CISM. Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª DE - CISM.	40
Figura 5 - Detalhe do Perfil I (à esquerda) e Perfil II (à direita).	41
Figura 6 - Anéis utilizados para a coleta de amostras indeformadas.	41
Figura 7 - Retirada da amostra do anel para o ensaio de desagregação.	43
Figura 8 - Esquema das condições de submersão no ensaio de desagregação. Fonte Tatto (2007).	44
Figura 9 - Esquema do ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT. Fonte Tatto (2007). ..	45
Figura 10 - Ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT.	45
Figura 11 - Curva típica do deslocamento do menisco versus tempo para o ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT. Fonte: adaptado de Bastos (1999).	46
Figura 12 - Esquema do ensaio de perda de massa por imersão modificado da metodologia MCT. Fonte Tatto (2007).	47
Figura 13 - Mapa de Localização da área de estudo.	48
Figura 14 - Uso do CISM por Organização Militar em 2010 e 2011.	53
Figura 15 - Blindado M-60. Fotografia de Luciano Souza (2008).	55
Figura 16 - Blindado Leopard 1A1. Fotografia de Luciano Souza (2008).	55
Figura 17 - Blindados da esquerda para direita: M-113, M-60, Cascavel, Urutu, M-108, Leopard 1A1. Fotografia de Luciano Souza (2008).	56
Figura 18 - Frequência de uso do CISM no ano de 2010 e 2011. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.	56
Figura 19 - Mapa de divisão do CISM em áreas de treinamento. Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª DE – CISM.	57
Figura 20 - Frequência de uso das áreas de treinamento do CISM. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.	58
Figura 21 - Áreas mais utilizadas para treinamento no ano de 2010 e 2011 em detalhe. Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.	59
Figura 22 - Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.	61
Figura 23 - Área de Estudo e pontos de coleta de amostras (em vermelho). Imagem Google Earth-Pró (escala 1:20.000) (GRACIELE PITTELKOW, 2011).	62
Figura 24 - Mapa de Hipsometria. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.	65
Figura 25 - Imagem 3D gerada com ortofotocarta (1:20.000) do Campo de Instrução de Santa	

Maria. Elaborado por Dionísio Sangói (2011).	66
Figura 26 - Mapa de Declividade. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.....	68
Figura 27 - Mapa de unidades geológicas. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.	70
Figura 28 - Coluna estratigráfica com as Formações Geológicas mapeadas no CISM. Modificada de Scherer <i>et al.</i> (2000)	71
Figura 29 - Siltitos argilosos da Formação Santa Maria, Membro Alemoa com feições de “empastilhamento”.....	71
Figura 30 - Afloramento de arenitos finos a médios da Formação Caturrita.	72
Figura 31 - Terraço Aluvial (área de empréstimo).....	73
Figura 32 - Mapa de Solos. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.....	76
Figura 33 - Mapa de Uso do Solo. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.	78
Figura 34 - Mapa de Uso do Solo e Conflito de APP's. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.....	79
Figura 35 - Foto de altitude do Arroio Cadena mostrando área de assoreamento e ausência de vegetação em suas margens à jusante do CISM. Foto cedida pelo Exército.....	80
Figura 36 - Pontos de assoreamento e escorregamento de margem a jusante da área no CISM, no arroio Cadena. Foto cedida pelo Exército.	81
Figura 37 - Fotografia de altitude mostrando área preservada do arroio Taquarichim. Foto cedida pelo Exército.....	82
Figura 38 - Fotografia de altitude. Parte inferior da fotografia-rampa de acesso ao CISM e rampa para lavagem de Blindados. Ponto de amostragem PI. Foto cedida pelo Exército.....	83
Figura 39 - Rampa de acesso ao CISM, pelo CIBLD já com a área de dissipação.....	83
Figura 40 - Alcova de regressão. Estrada paralela à cerca que limita o CISM e o CIBLD.	84
Figura 41 - Passagem de blindado no curso d'água procurando rota alternativa.	85
Figura 42 - Locais onde o solo encontra-se permanentemente saturado.	85
Figura 43 - Carta imagem representando as feições superficiais associadas ao uso. Elaborada por Graciele Pittelkow, 2011.	87
Figura 44 - Erosão de margem causada por passagem de blindados.....	88
Figura 45 - Ponte construída próximo ao CIBLD.	88
Figura 46 - Erosão no limite da estrada entre o CIBLD e o CISM.....	89
Figura 47 - Erosão em ravinas originada pelo fluxo d'água superficial no encontro de duas estradas.....	90
Figura 48 - Sulcos e ravinas desenvolvidos em estrada sobre material de alteração.....	90
Figura 49 - Gretas de contração em material compactado.....	91
Figura 50 - Sulcos e ravinas desenvolvidos em estrada cujo material do leito está compactado.	92
Figura 51 - Atoleiros ou “Borrachudos” devido à baixa capacidade de carga do solo.....	93
Figura 52 - Atoleiros ou “Borrachudos” devido à baixa capacidade de carga do solo.....	93

Figura 53 - Área de assoreamento junto ao CIBLD.	94
Figura 54 - Rotas para passagem de viaturas sobre rodas e blindados. Fonte: Normas de Utilização do CISM (2009). Elaborada por Graciele Pittelkow, 2011.....	96
Figura 55 - Voçoroca próxima ao CIBLD, ponto de amostragem PI.....	97
Figura 56 - Fotografia de altitude com a localização do Perfil II. Foto cedida pelo Exército.	98
Figura 57 - Perfil I (PI).....	99
Figura 58 - Concreções de ferro em siltitos argilosos e argilitos.....	99
Figura 59 - Perfil II (PII).	100
Figura 60 - Detalhe do Perfil II.....	100
Figura 61 - Curvas granulométricas obtidas para os materiais dos Perfis I e II.....	103
Figura 62 - Ensaio de desagregação do Perfil I. Em A amostra em Condição Natural na fase inicial com água na base das amostras. Em B amostra em Condição Natural na fase final do ensaio (após 24 horas). Em C amostra Seca ao Ar na fase inicial com água na base das amostras. Em D amostra Seca ao Ar na fase final do ensaio (após 24 horas).	107
Figura 63 - Ensaio de desagregação do Perfil II. Em A fase inicial do ensaio com água na base das amostras em condição natural e seca ao ar. Em B fase final do ensaio (após 24 horas)..	108
Figura 64 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do horizonte A (Perfil I).	110
Figura 65 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras da rocha alterada (Perfil I).	111
Figura 66 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do silito (perfil I).	111
Figura 67 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do horizonte B (perfil II).	111
Figura 68 - Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT para os materiais estudados (Perfil I).....	112
Figura 69 - Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT para os materiais estudados (Perfil II).....	113
Figura 70 - Mapa Geomorfológico. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ação de diferentes tipos de cobertura vegetal nas perdas de solo e água por erosão no Estado de São Paulo.	24
Tabela 2 - Classes de tamanho de partículas de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.	27
Tabela 3 - Número de amostras indeformadas coletadas e seus respectivos ensaios.	42
Tabela 4 - OMs que realizaram treinamentos no CISM no ano de 2010 e 2011. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.	51
Tabela 5 - Veículos blindados que percorrem o CISM. Fonte: 3ª DE – CISM.	54
Tabela 6 - OM e tipo de veículo utilizado. Fonte: 3ª DE – CISM.	54
Tabela 7 - Organizações militares e entradas de acesso ao CISM. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.	60
Tabela 8 - Classes de declividade para a área do CISM. Modificado de IPT (1991).	67
Tabela 9 - Resultados dos ensaios de massa específica real dos grãos e limites de consistência do Perfil I e II.	101
Tabela 10 - Resultados dos ensaios de granulometria e classificação dos solos do Perfil I e II.	102
Tabela 11 - Propriedades / Índices do solo.	104
Tabela 12 - Comportamento das amostras do Perfil I no ensaio de desagregação.	106
Tabela 13 - Comportamento das amostras do Perfil II no ensaio de desagregação.	107
Tabela 14 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do horizonte A (Perfil I) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.	109
Tabela 15 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras da rocha alterada (Perfil I) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.	109
Tabela 16 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do siltito (Perfil I) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.	110
Tabela 17 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do horizonte B (Perfil II) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.	110

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1.1 Erosão: conceitos e classificações	16
1.1.1 Fases/mecanismos dos processos erosivos.....	18
1.1.2 Fatores que condicionam os processos erosivos	20
1.2 Ensaio geotécnicos para a avaliação indireta da erodibilidade.....	31
1.2.1 Ensaio de caracterização física	32
1.2.2 Critérios de erodibilidade tendo como base a metodologia MCT.....	33
1.2.3 Ensaio de Desagregação.....	34
1.3 Mapeamentos geomorfológicos.....	35
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
2.1 Etapa de Gabinete	38
2.2 Etapa de Campo.....	39
2.3 Etapa de Laboratório.....	42
2.3.1 Ensaio de desagregação	42
2.3.2 Ensaio de infiltrabilidade	44
2.3.3 Ensaio de perda de massa por imersão	46
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
3.1 Histórico do CISM.....	49
3.2 Caracterização dos Treinamentos Militares no CISM	50
3.3 Delimitação da área de estudo	61
4 RESULTADOS	63
4.1 Diagnóstico ambiental do meio físico.....	63
4.1.1 Hipsometria	63
4.1.2 Declividade.....	66
4.1.3 Geologia	69
4.1.4 Solos.....	74
4.1.5 Uso dos Solos e APP's	77
4.2 Feições superficiais relacionadas ao uso.....	82
4.3 Resultados dos Ensaio de Laboratório	97
4.3.1 Caracterização Física	101
4.3.2 Avaliação do Potencial de Desagregação do Solo.....	105
4.3.3 Critério de Erodibilidade baseado na Metodologia MCT: Perda de Massa por Imersão e Infiltrabilidade.....	108
4.4 Geomorfologia - Unidades de Relevô.....	113

5	CONCLUSÃO	117
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

INTRODUÇÃO

Qualquer interferência do homem na natureza necessita de estudos que levem ao diagnóstico, ou seja, a um conhecimento do quadro ambiental que se vai atuar, pois parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão ao meio ambiente (ROOS, 2007). Segundo o autor, por outro lado, não se pode coibir a expansão e ocupação dos espaços, reorganização dos já ocupados e fatalmente a ampliação do uso dos recursos naturais, tendo-se o nível de expansão econômica e demográfica da atualidade.

A expressão “diagnóstico ambiental” tem sido muito usada em órgãos ambientais, universidades, associações profissionais, etc. com conotações as mais variadas. O substantivo diagnóstico do grego "diagnostikós", de acordo com o dicionário, significa o conhecimento ou a determinação de uma doença pelos seus sintomas ou conjunto de dados em que se baseia essa determinação. Daí, o diagnóstico ambiental poder se definir como o conhecimento de todos os componentes ambientais de uma determinada área (país, estado, bacia hidrográfica, município) para a caracterização da sua qualidade ambiental (PAULINO, 2010).

Elaborar um diagnóstico ambiental, portanto, é interpretar a situação ambiental problemática de uma área, a partir da interação e da dinâmica de seus componentes, quer relacionados aos elementos físicos e biológicos, quer aos fatores sócio-culturais (VERDUM & MEDEIROS, 2002). Segundo os autores, o diagnóstico ambiental consiste na elaboração de uma descrição e análise dos recursos naturais e antrópicos em suas diferentes interações. Portanto, este diagnóstico caracteriza: (a) o meio físico: solo, subsolo, as águas, ar, clima, recursos minerais, topografia e regime hidrológico; (b) o meio biológico: fauna e flora; e (c) o meio sócio econômico: uso e ocupação do solo; uso da água; estruturação sócio-econômica da população; sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais; organização da comunidade local; e o potencial de uso dos recursos naturais e ambientais da região.

Outro uso e significado da expressão diagnóstico ambiental que se tem disseminado no Brasil é o referente a uma das tarefas ou etapas iniciais dos estudos de impacto ambiental (EIA) que consiste na descrição da situação de qualidade da área de influência da ação ou projetos cujos impactos se pretende avaliar (PAULINO, 2010). A legislação brasileira oficializou a expressão "diagnóstico ambiental da área" para designar esses estudos, no item correspondente ao conteúdo mínimo do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (§ 1o, art. 18, Decreto 88.351/83).

Vale salientar que a caracterização da situação ou da qualidade ambiental (diagnóstico ambiental) pode ser realizada com objetivos diferentes. Um deles é, a exemplo do que preconizam as metodologias de planejamento, servir de base para o conhecimento e o exame da situação ambiental, visando traçar linhas de ação ou tomar decisões para prevenir, controlar e corrigir os problemas ambientais.

Segundo Ross (1990), no ambiente, assim como na questão da saúde, é preciso ter uma postura mais voltada para o preventivo do que para o corretivo e por isso torna-se imperativa a elaboração de diagnósticos ambientais, para que se possam elaborar prognósticos, e com isso estabelecer diretrizes de uso dos recursos naturais de modo mais racional possível, minimizando a deterioração da qualidade ambiental.

Nesse contexto, a Geografia como um todo, e a Geomorfologia especificamente, são de virtual importância no trabalho de inventariar e analisar o quadro ambiental, que é antes de mais nada um espaço, humanizado ou não, eminentemente geográfico (ROSS, 1990).

Por meio de um diagnóstico ambiental, é possível caracterizar e avaliar diferentes processos que ocorrem no meio ambiente, entre eles a erosão. A erosão é um processo natural que pode ocorrer associada ou não à ação antrópica e representa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas de solo causada por agentes erosivos, tais como o gelo, o vento, a gravidade e a água. Em particular, a erosão onde o agente erosivo é a água é chamada de erosão hídrica (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1985; GALETI, 1985; JACINTHO *et al.*, 2006).

A erosão é um grave problema ambiental, que causa vários tipos de danos à sociedade. Devido ao seu alto poder destrutivo, promove situações de risco à população, causando prejuízos em diversas áreas das relações humanas. Os efeitos da erosão do solo sobre o Meio Ambiente variam de acordo com os diferentes pontos de vista ou campo específico. A principal preocupação para a ciência do solo é a degradação deste em termos físicos e químicos, para a agronomia é a redução da fertilidade do solo devido à erosão, e para a qualidade da água e ecologia é a contaminação da água devido aos sedimentos suspensos, pesticidas, fertilizantes, etc.

Os sedimentos produzidos pela erosão podem provocar também assoreamentos dos reservatórios e cursos d'água com conseqüente perda da capacidade de armazenamento, causando inundações nos períodos de chuvas intensas. Além desses efeitos, a erosão pode ainda causar deslizamentos de encostas, redução das áreas disponíveis para agricultura ou urbanização, etc.

Dessa forma, os estudos de diagnóstico ambiental podem auxiliar no conhecimento da

situação e do potencial de erosão e das suas consequências ambientais, bem como o prognóstico de seu desenvolvimento se caracterizando como uma ferramenta de grande importância no planejamento e formulação de políticas de uso do solo.

No diagnóstico ambiental do meio físico, por exemplo, é importante conhecer e compreender os fatores responsáveis pelo surgimento e evolução das feições erosivas, para que medidas de prevenção e controle possam ser estabelecidas. Nesse contexto, a caracterização física da área em relação à geologia, relevo, tipo e uso do solo tornam-se indispensáveis no processo de preservação e recuperação ambiental.

No ano de 2011 foi firmado um convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria e o Comando Militar do Sul para o desenvolvimento de um projeto intitulado “Diagnóstico ambiental e plano de manejo da área do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)” envolvendo pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento como Geografia, Geologia, Engenharia Civil, Agronomia, Engenharia Florestal, Biologia, Arquitetura e Medicina Veterinária.

Dessa maneira, o diagnóstico ambiental do meio físico é um instrumento que servirá de base para o conhecimento e o exame da situação ambiental local, visando traçar linhas de ação e tomar decisões para prevenir, controlar e corrigir os problemas ambientais da área de estudo.

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma Organização Militar do Exército Brasileiro localizada no bairro Boi Morto na cidade de Santa Maria, RS. A área está inserida na porção média da bacia hidrográfica do Arroio Cadena, na sua margem direita.

Possui uma área de 5.866,9 ha, destinada ao treinamento das “tropas blindadas” da Guarnição de Santa Maria. Cerca de 15 mil homens utilizam direta e indiretamente a área do Campo de Instrução para realização de exercícios militares impactando o solo.

Atualmente o número de blindados¹ que utilizam o Campo para efetuar treinamentos são em torno de 140, que pesam de 11 a 48 toneladas. Além dos blindados, outros carros relativamente pesados, percorrem a área do Campo de Instrução como as viaturas² que pesam de 3 a 5 toneladas.

Estas operações têm causado um grande impacto em determinados locais do Campo de Instrução relacionados à destruição da cobertura vegetal, compactação do solo, erosão formando campos de areias, ravinas e voçorocas tendo como consequência o assoreamento

1 Blindados são veículos que possuem proteção de aço contra armas de pequeno calibre, por isso tem grande peso pela espessura da blindagem. São mais conhecidos, popularmente, como tanques de guerra.

2 Viaturas qualquer veículo militar, seja ele blindado ou não.

dos cursos d'água. Além disso, em alguns cursos d'água e nascentes, a vegetação está completamente ausente o que facilita o aporte dos sedimentos a estas drenagens podendo comprometer inclusive a porção à jusante do Arroio Cadena, bacia hidrográfica na qual a área do campo está inserida, onde passarão a ocorrer alagamentos com maior frequência.

Recentemente o Exército adotou algumas medidas de emergência visando amenizar o impacto ambiental na área do CISM acarretado por esses treinamentos, como a elaboração de uma norma para circulação de viaturas blindadas e sobre rodas, restringindo a movimentação de blindados em determinadas épocas do ano, confecção de um projeto de engenharia, objetivando a construção de passagens de vaus em determinados cursos d'água, de forma a canalizar o movimento de viaturas pesadas para essas regiões de passagens.

Apesar disso, essas medidas são paliativas no entanto, pois a área já se encontra intensamente impactada em alguns locais e as práticas de recuperação são pouco desenvolvidas. Além disso, as obras de engenharia a serem projetadas, não dispõem de estudos de caracterização da área (geomorfológicos, geológicos-geotécnicos) o que poderá acarretar um desperdício de recursos, pois aliada a ação antrópica causada na área, os fatores determinantes de processos erosivos podem ser também de ordem natural devido ao clima, relevo, características do solo e rocha entre outros (GUERRA & CUNHA, 1996).

Conviver com esses problemas dentro de uma unidade político-administrativa configura-se no desafio do desenvolvimento sustentado, e a receita para vencê-lo passa pelo conhecimento do território, desde suas características até seu estado atual de uso, para que se respeitem suas fraquezas e se explorem suas potencialidades (CREPANI *et al.*, 1996).

Vale ressaltar que o CISM por se tratar de uma área militar tem amparo legal quanto às questões ambientais principalmente relacionadas ao uso de Áreas de Preservação Permanentes (APP's), pois ele se integra aos casos excepcionais de acordo com a resolução 369 do CONAMA (2006) Art. 4º § 3º: Independem de prévia autorização do órgão ambiental competente: I - as atividades de segurança pública e defesa civil, de caráter emergencial; e II - as atividades previstas na Lei Complementar nº 97, de 9 de junho de 1999, de preparo e emprego das Forças Armadas para o cumprimento de sua missão constitucional, desenvolvidas em área militar.

No entanto, embora o CISM esteja amparado legalmente, nos últimos anos os seus comandantes juntamente com o Exército Brasileiro como um todo, de forma muito positiva, têm procurado desenvolver suas atividades de forma sustentável buscando um modelo de gestão que assegure a preservação ambiental de suas áreas como pode ser visto nas Instruções Gerias IG 20-10 e IG 50-20 (Instruções Gerais para o Sistema de Gestão Ambiental no

Âmbito do Exército), que regulam a Política de Meio Ambiente do Exército visando assegurar o aperfeiçoamento contínuo do desempenho do Exército no tocante à: preservação, proteção e melhoria da qualidade ambiental.

Sendo assim, esta dissertação, fruto de uma pesquisa inicial ligada ao convênio UFSM-Exército, teve como objetivo geral elaborar um diagnóstico ambiental do meio físico para parte da área do CISM, onde se concentram os exercícios militares, procurando auxiliar no planejamento ambiental da área. Como objetivos específicos buscou-se compreender a relação entre geologia, solos, geomorfologia, cobertura vegetal, forma de uso e ocupação com os processos erosivos que ocorrem na área; avaliar de forma indireta o comportamento da erodibilidade de alguns tipos de solos e rochas que ocorrem no CISM e sugerir ações de prevenção, recuperação ou compensação ambiental.

Esta dissertação é composta pelos seguintes capítulos: 1) Revisão Bibliográfica sobre os seguintes temas: i) erosão (conceitos e classificações, fases/mecanismos dos processos erosivos e fatores que condicionam os processos erosivos); ii) ensaios geotécnicos de avaliação indireta da erodibilidade; iii) Mapeamentos geomorfológicos; 2) Procedimentos Metodológicos que foram utilizados para realização da pesquisa; 3) Caracterização da área de estudo e dos treinamentos militares; 4) Resultados que foram divididos em 4 subitens: i) Diagnóstico ambiental do meio físico; ii) Feições superficiais relacionadas ao uso ; iii) Resultados dos ensaios de laboratório e iv) Mapa Geomorfológico; 5) Conclusão e 6) Referências bibliográficas.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados os seguintes temas: i) Erosão: conceitos e classificações; fases/mecanismos dos processos erosivos; fatores que condicionam os processos erosivos; ii) Ensaios geotécnicos de avaliação indireta da erodibilidade e iii) Mapeamentos geomorfológicos.

1.1 Erosão: conceitos e classificações

O termo Erosão vem do latim "erosio", que significa, corroer, separar. Em termos gerais, erosão do solo significa a remoção física do topo do solo por vários agentes, incluindo a queda do pingo de chuva, escoamento da água na superfície e no interior do perfil do solo, vento, gelo e arraste gravitacional (LAL, 1990). Para Nigel *et al.* (2010) a erosão do solo é um problema ambiental que agrava a degradação da terra no local onde ocorre sendo fonte de sedimento e poluentes que podem afetar os sistemas aquáticos adjacentes.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), erosão significa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento, o arraste e a deposição das partículas de solo causada por agentes como água, gelo, vento ou gravidade.

Para Camapum de Carvalho *et al.* (2006) a erosão compreende um conjunto de fenômenos naturais envolvendo a formação de materiais detríticos provenientes da decomposição e desagregação das rochas e solos. Ela age continuamente na superfície da Terra e representa um dos principais agentes naturais de transformação fisiográfica do planeta, governado por agentes tais como clima, ação das águas e vento, características do relevo, atividade biológica nos solos e, por último, e não menos importante, pela ação antrópica.

Vários critérios são adotados para a classificação dos processos erosivos. Segundo Salomão e Iwasa (1995), Bastos (1999), entre outros, há dois tipos de formas de processos erosivos:

- **Erosão geológica (ou natural):** processo natural de denudação e evolução da superfície terrestre, caracterizado pela desagregação e transporte de materiais do solo pelos agentes erosivos, de forma lenta e contínua;

- **Erosão acelerada ou antrópica:** processo rápido e destrutivo, induzido principalmente pela ação humana, gerando desequilíbrio nas fases de erosão natural e sedimentação.

Autores como Bertoni e Lombardi Neto (1999), Maciel Filho (1997), IPT (1991), Karmann (2000), entre outros, classificam as erosões quanto ao grau de intensidade em: superficial ou laminar e linear ou concentrada, que originam os sulcos; ravinas e voçorocas.

A erosão laminar compreende: as feições erosivas oriundas de escoamento difuso das águas, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo. Já a erosão linear é consequência do fluxo de água que se torna concentrado e pode ser de três tipos (Figura 1):

- Sulcos: pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais concentrados;

- Ravinas: feições erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos, oriundos da concentração do escoamento superficial;

- Voçorocas ou boçorocas: feições erosivas mais complexas e destrutivas no quadro evolutivo da erosão linear e são originadas por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o subsuperficial. São erosões de grande porte, de formas variadas e de difícil controle.

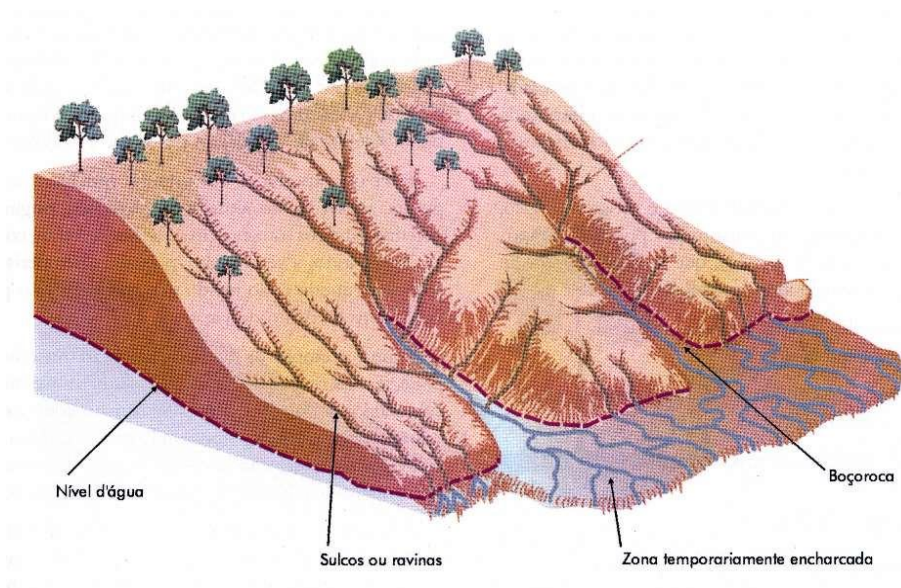


Figura 1 - Morfologia de sulcos e voçorocas (KARMANN, 2000).

Esses autores apresentam ainda conceitos como intersulco, *piping* e erosão marginal. Intersulco é uma feição erosiva causada pelo escoamento superficial que pode se dar em uma lâmina de água de pequena espessura e extensão e que se concentra em determinadas áreas como, por exemplo, entre os sulcos já formados pelos processos erosivos. Já *piping* é um termo utilizado para designar erosão interna ou tubular, que provoca a remoção de partículas no interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo da água. E erosão marginal é um termo empregado para as formas erosivas causadas pelo escoamento concentrado nos cursos d'água que dispõem-se transversais ao eixo do fluxo.

Os conceitos de sulcos, ravinas e voçorocas diferem com relação às dimensões da incisão, geometria da feição erosiva, afloramento do lençol freático e com o tipo de fluxo do escoamento. No entanto, as classificações mais utilizadas internacionalmente são aquelas relacionadas às dimensões das incisões erosivas.

Bigarella (2003) adota uma terminologia de acordo com a profundidade das incisões: ranhura até 5 cm; sulco de 5 a 30 cm; vala de 30 a 100 cm e ravina maior que 100 cm.

Segundo Camapum de Carvalho *et al.* (2006), sulcos são pequenos canais de até 10 cm de profundidade, gerados pela concentração do escoamento superficial; e ravinas são canais com profundidade entre 10 e 50 cm, onde começa a haver instabilidade dos taludes. Já Guerra *et al.* (2007) considera sulcos ou ravinas incisões com menos de 50 cm, e voçorocas incisões com largura e profundidade superiores a 50 cm.

Villar e Prandi (1993) definem voçorocas como ravinas de grandes dimensões, geralmente formadas por grandes concentrações de fluxo e referem-se à sua formação como o estágio menos frequente, mas provavelmente o mais espetacular do processo erosivo. Para os mesmos, a maior parte das voçorocas está associada a formações arenosas, mas podem ocorrer ainda em solos tendo como rocha original granitos, migmatitos e basaltos.

Segundo o IPT (1991) as voçorocas são o estágio mais avançado da erosão, sendo caracterizadas pelo avanço em profundidade das ravinas até estas atingirem o lençol freático ou o nível d'água do terreno. E este é o conceito adotado neste trabalho.

1.1.1 Fases/mecanismos dos processos erosivos

Fazendo a abstração da erosão eólica, toda a remoção de solo exige a presença de água sobre o terreno, cuja única fonte é a chuva. A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o

solo mediante o impacto da gota de chuva, a qual cai em velocidade e energia variável segundo o seu diâmetro, e mediante a ação de escorrimento (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; GUERRA *et al.*, 2007; MUOZAI & BOUHADEF, 2011; entre outros).

As gotas de chuva que caem sobre o solo contribuem para a erosão da seguinte maneira: a) desprendimento das partículas de solo no local do impacto; b) transporte das partículas desprendidas e c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície. O processo erosivo começa quando as gotas de chuva embatem a superfície do solo e destroem os agregados.

Marques *et al.* (1997) classifica a erosão hídrica do solo em três processos ou fases: desprendimento ou desagregação, transporte, e deposição. Nessa primeira fase, desagregação, as partículas são separadas da massa do solo pelas forças exercidas pelos pingos da chuva ou pelas forças da lâmina de enxurrada; em um segundo momento, o transporte, as partículas são movidas para os locais mais baixos pela água, e por fim, a deposição, onde o solo arrastado se sedimenta nos vales, constituindo assim novos depósitos.

As duas primeiras etapas (desagregação e transporte) não são expressas em unidades, são percebidas e estudadas através da observação. Já a última etapa (deposição) é medida em peso/volume por unidade de área, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999).

A primeira etapa do processo erosivo constitui-se na desagregação das partículas de solos e rochas. Conforme Guerra *et al.* (2007) e Robles *et al.* (2010) entre outros, a dinâmica erosiva começa com as gotas da chuva batendo nos solos, com o *splash*, que pode causar a ruptura dos agregados, selando o topo do solo, seguida pela infiltração de água e a formação de poças (*ponds*), à medida que o solo torna-se saturado. A partir daí, inicia-se a segunda etapa do processo erosivo, o transporte do material, pois a água começa a escoar na superfície, primeiramente em lençol, depois através de fluxos lineares, que evoluem para microrravinas, podendo algumas formar cabeceiras, e algumas dessas cabeceiras podem bifurcar, formando novas ravinas (VALENTIN & POESEN, 2005).

Vários fatores concorrem para o transporte das partículas do solo: o tamanho das partículas, a topografia do terreno, a presença de obstáculos (vegetação, rochas) e a força do agente (chuva).

Quanto ao transporte de material pela ação das gotas de chuva, Camapum de Carvalho *et al.* (2006) argumenta que quanto ao tamanho das partículas ou agregados, tem-se que quanto maior a sua massa, maior será a energia necessária para o seu deslocamento. Essa energia aumenta também com a coesão do solo, devido à presença de cimentos como os oxi-hidróxidos de alumínio e ferro.

Segundo Galetti (1973), partículas menores, como argilas finas, são carregadas em solução, enquanto partículas médias, como argilas médias e areia fina, são levadas em suspensão, pois não se dissolvem na água; e as partículas mais grossas, como areias grossas, cascalho, seixos e pedras, são empurradas / roladas pela enxurrada. Ao ser movimentado, o material mais grosso e pesado tende a desagregar outros materiais.

Em relação à influência da topografia do terreno na intensidade erosiva, verifica-se principalmente a influência da declividade e do comprimento de rampa (comprimento da encosta). Esses fatores interferem diretamente na velocidade das enxurradas, causando maiores perdas de solo em relação às áreas menos inclinadas (SALOMÃO, 1999).

Quanto à cobertura vegetal, Morgan (1995) e Archibold *et al.* (2003) afirmam que a vegetação atua como uma camada protetora entre o solo e a atmosfera, onde as folhas e tronco (componentes superficiais) absorvem parte da energia do impacto das gotas de chuva e dissipam a energia do escoamento superficial e do vento, reduzindo as respectivas velocidades. Já os componentes subsuperficiais, compreendendo o sistema de raízes, contribuem para a resistência mecânica do solo.

Por fim, a última etapa do processo erosivo constitui-se na deposição dos sedimentos nas partes mais baixas do terreno. Esta etapa pode constituir-se em áreas rurais, por exemplo, num grave problema ambiental, pois os sedimentos erodidos por vezes podem conter além da matéria orgânica, fertilizantes, corretivos, sementes e até pesticidas aplicados pelos produtores. E quando se depositam no leito dos rios (processo chamado de assoreamento), diminuem sua profundidade, aumentando o risco de enchentes. Isso contribui para a poluição, pois resíduos de fertilizantes e pesticidas contaminam a água, diminuindo a população de peixes, podendo também afetar a saúde da população urbana que depende dessa água.

1.1.2 Fatores que condicionam os processos erosivos

O processo erosivo possui diversos condicionantes, tornando-o dessa forma, um sistema complexo, que dependendo de seu grau de evolução pode ser de difícil entendimento. Para autores como Galetti (1985), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Monegati, 1991 e Guerra e Mendonça (2004) a erosão dos solos tem como origem diversos fatores como: fatores naturais (clima, relevo, geologia e vegetação) e fatores antrópicos (políticos, econômicos, sociais, tecnológicos e institucionais), cada um com sua complexa problemática (MONEGATI, 1991)

O processo erosivo caracteriza-se pela interação ou não dos fatores controladores, que poderão ser alterados pela ação antrópica, acelerando ou retardando o processo (GALETI,1984; ARCHIBOLD *et al.* ,2003; DE MEYER *et al.*, 2011).

De um modo geral, as pesquisas sobre erosão do solo consideram como sendo os principais fatores controladores dos processos erosivos a erosividade da chuva, a erodibilidade dos solos, o relevo e a cobertura vegetal (SILVA *et al.*, 2003; GUERRA, 1998).

Para Pejon (1992), os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais, tais como: clima, geomorfologia, natureza do terreno (substrato rochoso e tipo de solo) e a cobertura vegetal, fatores estes que, modificados pelo homem, podem gerar mudanças nos processos erosivos de uma região

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), a erosão é causada por fatores ligados à chuva, à capacidade de infiltração do solo, características das encostas, que são forças ativas; e por forças passivas, como a vegetação e a resistência do solo à ação erosiva, que está determinada por suas características físicas e químicas.

Essas variáveis são significativas para explicar e prever a erosão, mas não devem ser observadas de forma isolada, pois apesar de cada uma dessas propriedades agir de uma forma diferente sobre o solo, será a inter-relação entre elas que resultará no complexo processo erosivo.

1.1.2.1 Fatores Naturais

Os parâmetros que controlam os processos erosivos são naturais e antrópicos. Entre os fatores naturais podemos citar: clima, relevo, cobertura vegetal e natureza do solo/rocha. Estes parâmetros serão apresentados mais detalhadamente a seguir.

a) Clima

O clima é um importante fator controlador do desenvolvimento de processos erosivos atuando na desagregação da rocha e formação do solo. Segundo Salomão e Antunes (1998) os aspectos climáticos mais importantes no desenvolvimento pedogenético são representados pela precipitação pluviométrica e a temperatura.

Para Fendrich *et al.* (1991) locais de climas úmidos, tropical quente e temperado, com inverno seco e verão chuvoso, são mais propícios de serem afetados pelos processos erosivos.

A precipitação pluviométrica é o fator climático de maior importância no desenvolvimento dos processos erosivos. O volume e a velocidade dependem da intensidade, duração e frequência da chuva (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999). Guerra (1998), ainda inclui como parâmetros da erosividade, o momento e a energia cinética das gotas de chuva. Ambos os autores concordam que o total de chuva (mensal ou anual) é pouco significativo na erosão dos solos.

Segundo Guerra e Mendonça (2004) fatores como a intensidade, duração, frequência, particularidades das gotas de chuva (velocidade de queda, diâmetro da gota e efeito splash) e a energia cinética da chuva natural, influenciam diretamente na erosão. Segundo eles, chuvas de maior intensidade e com alta frequência possuem uma grande energia cinética armazenada durante a sua queda e um grande poder erosivo.

A erosividade é a expressão da capacidade dos agentes erosivos, como a água da chuva em causar erosão (CAMPAUM DE CARVALHO *ET AL.*, 2006). A intensidade da chuva é o parâmetro mais importante para prever as perdas de solo, pois quanto maior a intensidade e o tempo da precipitação, maior será o escoamento superficial e conseqüentemente maior a erosão.

A frequência é outro fator relevante nas taxas de perda do solo. Um intervalo menor entre as precipitações aumenta a umidade do solo, portanto ele perde sua capacidade de infiltração e armazenamento de água, que começa a escoar, e dependendo das características do solo haverá maior ou menor perda deste. Mas em longos períodos sem chuva, a vegetação sofre por falta de umidade, reduzindo a proteção natural do solo. Assim, a perda de solo pelo impacto das gotas de chuva é elevada.

Todos os parâmetros citados, de menor ou maior importância, já foram utilizados em vários estudos, e Guerra (1998) ressalta que eles devem ser considerados em conjunto com os demais fatores que afetam a erosão.

b) Relevo

A declividade do terreno, as formas do relevo, regularidade e extensão do declive têm influência direta na erosão. Para Nishiyama (1995), o comprimento de rampa é um dos mais

importantes fatores 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.

Galeti (1973) e Bellinazzi Jr (1992) também consideram o comprimento da rampa como um fator muito importante no estudo da erosão, uma vez que o volume e a velocidade da enxurrada aumentam à medida que aumenta o comprimento da rampa, elevando o desagregamento e arraste de grande quantidade de partículas do solo.

Segundo autores como Oliveira e Brito (1998), IPT (1991) e Bertoni e Lombardi Neto (1985) a erosão é diretamente proporcional à declividade e ao comprimento de rampa que influenciam na velocidade da água, sendo menor nos terrenos mais planos e maiores nos terrenos com maiores comprimentos de rampa.

A forma das encostas ou vertentes é outro fator a ser mencionado em relação à topografia do terreno, pois é determinante na direção e na velocidade do escoamento. Rodrigues (1982) utilizou a classificação das formas de encosta de Troeh (1965), que associa estas aos diversos tipos de erosão (Figura 2).

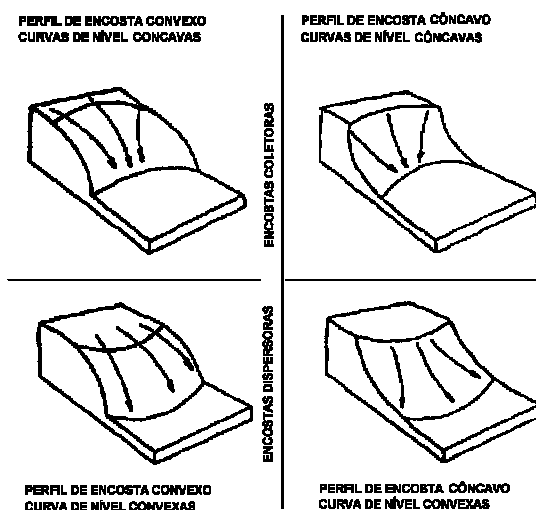


Figura 2 - Classificação das formas de encostas. Rodrigues (1982) modificado de Troeh (1965).

Para Rodrigues (1982), o desenvolvimento das voçorocas ocorre principalmente em encostas convexas coletoras e, secundariamente, em encostas convexas dispersoras, portanto, são menos propensas à erosão por voçorocas as encostas côncavas (dispersoras e coletoras).

As características das encostas devem ser consideradas juntamente com os outros fatores controladores do processo erosivo, como o tipo de solo e cobertura vegetal,

principalmente.

c) Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999); Infanti Jr e Fornasari Filho (1998); Archibold *et al.* (2003); Herzig *et al.* (2011); entre outros, os principais efeitos da cobertura vegetal no solo são: a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; c) decomposição das raízes das plantas que, formando canaliculos no solo, aumentam a infiltração da água; d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água e e) diminuição da velocidade de escoamento das enxurradas pelo aumento do atrito na superfície.

Os diferentes tipos de vegetação que recobrem o solo têm influências diversas no comportamento diante da atuação dos processos erosivos. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999), as diversas coberturas vegetais proporcionam diferentes taxas de perda de solo e de água, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Ação de diferentes tipos de cobertura vegetal nas perdas de solo e água por erosão no Estado de São Paulo.

Tipos de Uso	Perdas de Solo t/ha	Água
Mata	0.004	0.7
Pastagem	0.4	0.7
Cafezal	0.9	1.1
Algodal	26.6	7.2

Esses dados experimentais nos mostram que as áreas cobertas por mata tem 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.

Os critérios referentes às Áreas de Preservação Permanente (APP) foram estabelecidos com base no Código Florestal Federal (Lei nº 7.803 de 1989) e nas Resoluções CONAMA nº

302/2002 e nº 303/2002, que definem APP como “área protegida por Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”.

De acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei 7.803/89), considera-se área de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:
 - 1- de 30 metros para cursos d'água com menos de 10 metros de largura,
 - 2- de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura;
 - 3- de 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;
 - 4- de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura;
 - 5- de 500 metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros;
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.

As APP's foram criadas para proteger o ambiente natural, o que significa que não são áreas apropriadas para serem utilizadas, independente do uso, devendo estar cobertas com a vegetação original. A cobertura vegetal nestas áreas atenua os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, contribuindo também para a regularização do fluxo hídrico, a redução do assoreamento dos cursos de água e reservatórios, trazendo benefícios para a fauna.

Segundo Araújo (2002), o regime de proteção das APPs é bastante rígido: a regra é a intocabilidade, admitida excepcionalmente a retirada da cobertura vegetal original apenas nos casos de utilidade pública ou interesse social legalmente previstos.

No entanto, o CISM por se tratar de uma área militar utilizada para o desenvolvimento de atividades militares está integrado nos casos excepcionais de acordo com a resolução 369

do CONAMA (2006) já citada anteriormente.

Além disso, segundo a Lei 7.803/89 – Código Florestal, em seu artigo 3º, tem-se que é considerado APP, as vegetações naturais destinadas a amenizar/atenuar processos erosivos, que assegurem as condições de bem-estar público, assim como as que auxiliem na defesa do território nacional, sendo que neste caso, a sua delimitação como APP fica a critério das autoridades militares.

Dessa forma, percebe-se que o CISM está amparado legalmente quanto às questões ambientais relativas ao uso de áreas de APP's, no entanto nos últimos anos seus comandantes juntamente com o Exército como um todo, de forma muito positiva, têm buscado integrar-se a missão de guiar um desenvolvimento sustentável e desenvolver um modelo de gestão que assegure a preservação ambiental de suas áreas.

d) Natureza do solo/rocha

A natureza do solo/rocha determina a susceptibilidade dos terrenos à erosão (propriedade do solo chamada de erodibilidade). Autores como Fendrich *et al.* (1991) são específicos na descrição das características do solo condicionantes do processo erosivo como sua textura, estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, e sua composição.

Os fatores mais importantes que regem a infiltração de água no solo são o tamanho e a disposição dos espaços porosos; a umidade do solo no começo da chuva e/ou grau de saturação; sucção e o grau de agregação do solo. Solos arenosos, com grandes espaços porosos, pode-se esperar maior velocidade de infiltração quando comparados com os solos argilosos. O material coloidal do solo tende a expandir quando saturado, reduzindo o tamanho, o espaço poroso, e conseqüentemente, a infiltração. As partículas finas do solo, quando estão bem agregadas, possuem espaços porosos maiores, proporcionando, maior velocidade de infiltração (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985; BIGARELLA, 2003; CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006a).

A textura (características granulométricas), ou seja, a relação ao tamanho das partículas do solo influi na capacidade de infiltração e absorção d'água, interferindo na energia das enxurradas e na coesão dos solos.

A textura, que constitui a fase mineral sólida do solo, mede, em porcentagem, as proporções de argila, silte e areia, e tem sido utilizada como sinônimo de granulometria

(PRADO, 1991). A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo define quatro classes de tamanho de partículas menores do que 2 mm, usadas para a definição da textura dos solos (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes de tamanho de partículas de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Tipo de Fração	Diâmetro
Areia grossa	2 a 0,2 mm
Areia fina	0,2 a 0,05
Silte	0,05 a 0,002 mm
Argila	Menor que 0,002 mm

A classe textural é determinada pela distribuição do tamanho de partículas e juntamente com o tipo de argila marcadamente afetam outras propriedades físicas como a drenagem e a retenção de água, a aeração e a consistência dos solos. A classificação textural do solo é dada pela NBR7181. De acordo com esta norma a fração areia é dividida em grossa, média e fina.

Dessa forma, a textura afeta a erosão, porque a granulometria das frações são diferentes, algumas são mais fáceis de serem arrastadas que outras. Além disso, o tamanho das partículas influi na capacidade de infiltração da água de chuva, interferindo no potencial de escoamento superficial e quantidade de solo arrastado pela erosão, pois solos de textura arenosa são normalmente mais porosos, permitindo rápida infiltração. Entretanto, como possuem baixa proporção de partículas argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores, apresenta maior facilidade para a remoção das partículas, como se que verifica mesmo em pequenas enxurradas (PRADO, 1991).

Grandes partículas de areia resistem ao transporte e solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e o silte as texturas mais susceptíveis à desagregação e ao transporte. Assim, solos derivados de materiais originados de transporte eólico, por exemplo, são muito susceptíveis à erosão.

A estrutura do solo é a forma como se arranjam suas partículas. A estrutura determina a maior ou menor facilidade de trabalho das terras, permeabilidade à água, resistência à erosão e as condições de desenvolvimento das raízes das plantas (BERTONI & LOMBARDI

NETO, 1999).

Para Galetti (1973) a estrutura depende do tamanho e da deposição das partículas que formam os agregados dos solos. Segundo o mesmo autor, as principais formas adquiridas pelos agregados são: laminar, prismática, blocos e granular. A forma laminar caracteriza-se por apresentar estruturas orientadas pelo seu eixo horizontal, o que dificulta o fluxo de água. A estrutura prismática ocorre quando os agregados formam colunas mais altas que largas. Uma estrutura em blocos mostra cantos arredondados e, por haver um maior contato entre as superfícies, reduz o fluxo de água no terreno. Nas estruturas granulares o formato das unidades estruturais aproxima-se da esfera.

De acordo com Reinert e Reichert (2006), um solo bem estruturado apresenta: a) poros adequados para a entrada de ar e água no solo; b) porosidade adequada para que a água se movimente através dele, sendo disponibilizada para as culturas, assim como permita uma boa drenagem do solo; c) porosidade adequada para o crescimento das culturas após a germinação das sementes, permitindo que as raízes explorem um maior volume de solo em busca de ar, água e nutrientes e; d) resistência à erosão pela alta agregação.

A textura do solo, associada à sua estrutura, define a porosidade deste solo, o que é fundamental para a aeração e drenagem. A porosidade influencia a permeabilidade do solo, bem como sua capacidade de armazenamento de água. Um solo muito argiloso e de estrutura laminar, por exemplo, favorece o escoamento superficial, pois é pouco permeável por apresentar predomínio de microporos direcionados horizontalmente. Entretanto, esta característica pode ser atenuada pela presença de vegetação, pois esta, além de funcionar como obstáculo ao escoamento superficial, reduzindo sua velocidade, é fonte de matéria orgânica para o solo.

A quantidade de matéria orgânica é de grande importância no controle da erosão, pois ela está ligada à estabilidade dos agregados, porque ajuda a agregar as frações de silte, areia e argila. E ainda, a matéria orgânica tem a capacidade de reter de duas a três vezes o seu peso em água, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

Segundo Silva (2003), o conteúdo de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Nos solos argilosos, modifica-lhes a estrutura, melhorando as condições de arejamento e de retenção de água, o que é explicado pelas expansões e contrações alternadas que redundam de seu umedecimento e secamento sucessivos. Nos solos arenosos, a aglutinação das partículas, firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros, aumenta a capacidade de retenção de água.

Como um dos principais agentes agregantes, a matéria orgânica é grande responsável pela estabilidade dos agregados do solo. Esta, por sua vez, é um dos principais fatores de controle da drenagem e erodibilidade do solo.

A erodibilidade do solo é definida como sua falta de capacidade de resistir aos processos erosivos e depende não só das características intrínsecas do solo, mas também de fatores subsidiários como ciclos de umedecimento e secagem, além da composição química da água presente (VILLAR & PRANDI, 1993).

A erodibilidade do solo, de acordo com Silva *et al.* (2000) deve ser estudada considerando-se que representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas, ou seja, sua predisposição a erosão. Portanto, a erodibilidade pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que as suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo, sendo uma propriedade complexa em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes. Esta propriedade tem despertado um grande interesse na pesquisa da erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de um solo para o outro, ou para o mesmo solo (BASTOS, 1999; PANACHUKI *et al.*, 2006).

Segundo Zuquette (1987), a erodibilidade do solo é a sua susceptibilidade à erosão, a qual depende de suas características e de seu uso. Pode ser definida como a quantidade de material que é removida por unidade de área quando os demais fatores determinantes dos processos erosivos são mantidos sob condições padrão.

As características do solo que interferem na quantidade e velocidade da água infiltrada, bem como na estabilidade dos agregados, predominam como fatores determinantes de sua erodibilidade. Assim, as principais propriedades do solo que influenciam sua susceptibilidade à erosão são: textura, estrutura e teor de matéria orgânica.

Autores como Nogami e Vilibor (1995); Griebeler *et al.* (2005); Stavi e Lal (2011) e outros mostraram como estudos de previsão e medição da erodibilidade dos solos são importantes para a manutenção a longo tempo da produtividade agrícola e sustentabilidade ambiental.

1.1.2.2 Fatores Antrópicos

Da mesma forma que os fatores naturais agem sobre os processos erosivos, um conjunto de fatores antrópicos pode contribuir para acelerar estes processos.

Os principais fatores antrópicos responsáveis pela erosão acelerada são: desmatamento, abertura de estradas, construção de barragens, preparação de áreas para a agricultura, atividades minerais, agropastoris e expansão urbana desordenada.

De acordo com Galeti (1985); Fendrich *et al.* (1991), Panachuki *et al.* (2006), Nunes e Cassol (2008) e outros, em áreas rurais, os solos são mais vulneráveis a erosão quando: (i) é retirada a cobertura vegetal; a agricultura é praticada de forma incorreta (preparo e o plantio realizados em regiões de relevo acidentado, queima dos restos das culturas, etc.); (ii) o solo sofre compactação pelo pisoteio do gado e excessivo movimento de máquinas e implementos agrícolas; (iii) ocorrem aberturas de valas perpendiculares às curvas de nível; (iv) se abrem estradas vicinais sem os devidos cuidados com a rede de drenagem.

Em áreas urbanas, a aceleração da erosão se dá pela intervenção humana, principalmente relacionada às obras de engenharia como: (i) a exposição de taludes de corte em rodovias e barragens não protegidos; (ii) a exploração de áreas para a retirada de materiais de empréstimo; (iii) a execução de loteamentos sem os devidos cuidados com a drenagem; e (iv) obras de retificação de rios e canais, entre outros.

Oliviera *et al.* (2009); Griebeler *et al.* (2005); Valentin e Poesen (2005); Robles *et al.* (2010) e De Meyer *et al.* (2011) salientam para a importância das pesquisas em perdas de solo em estradas não pavimentadas pois estas apresentam papel fundamental para a economia de um país e constituem a principal forma de transporte de alimentos do produtor aos centros consumidores. São essenciais para o desenvolvimento social uma vez que constituem as principais vias de acesso ao atendimento das necessidades de saúde, trabalho e educação de grande parte da população. Ambientalmente têm grande relevância pois interferem na paisagem natural, concentram o fluxo superficial e por isto se constituem um fator de degradação.

Além dessas estradas, existem aquelas destinadas unicamente à movimentação interna na propriedade, com função de permitir o trânsito dos moradores, máquinas, equipamentos e produtos agrícolas até as estradas vicinais.

Para Griebler *et al.* (2005) um dos principais problemas que afetam a trafegabilidade das estradas não-pavimentadas é a sua degradação devido aos processos erosivos, afetando também as áreas marginais e provocando prejuízos aos mais variados setores da economia e da sociedade. Conforme Anjos Filho (1998), citado por Griebeler *et al.* (2005) estas estradas representam metade da perda de solo em virtude da erosão que ocorre no estado de São Paulo,

por exemplo, devido principalmente à drenagem inadequada.

Conforme Oliveira *et al.* (2009), os problemas erosivos em estradas de terra devem ser analisados de forma criteriosa tendo em vista a fragilidade do material do leito, que normalmente consiste em material do próprio local, e apresenta características muito variadas. É importante que ações para controle de erosão nestas estradas sejam previstas como parte do planejamento conservacionista em uma bacia hidrográfica.

Segundo Griebeler *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2009), para a construção das estradas são necessárias a eliminação da cobertura vegetal e a compactação do solo o que reduz a infiltração de água e consequentemente aumenta o escoamento superficial. O aumento do escoamento provoca o desprendimento e transporte do solo, causando problemas na estrada ao danificar acostamentos, taludes e o seu próprio leito. A grande vazão, proveniente das estradas, pode provocar o aparecimento de sulcos e voçorocas e consequentemente danos aos recursos hídricos por assoreamento.

Além dos problemas citados acima, Griebler *et al.* (2005) reforçam que as estradas construídas em cortes profundos provocam a exposição de horizontes menos estáveis. Para os autores, a exposição do horizonte C tem causado muitos danos às estradas, uma vez que se trata de horizonte com baixa estabilidade de seus agregados sendo este bastante suscetível à erosão quando submetido ao horizonte superficial. A presença de material de transição entre solo e rocha ou entre diferentes tipos de solo cria uma zona de instabilidade que facilita o processo erosivo.

Em estradas, como em todos os solos, a resistência à deformação é reduzida quando o leito está úmido. Assim sendo, para que as estradas possam permitir o deslocamento adequado, estas devem ser corretamente drenadas.

1.2 Ensaios geotécnicos para a avaliação indireta da erodibilidade

A erodibilidade de um solo pode ser avaliada por métodos diretos e indiretos.

Ensaios como o de Inderbitzen, aplicados por pesquisadores como Fácio (1991); Bastos (1999); Freire (2001); Camapum de Carvalho *et al.* (2006) e Tatto (2007), são considerados como diretos e tem como objetivo a simulação aproximada do efeito do escoamento superficial sobre o solo, permitindo analisar diferentes resultados conforme a mudança da vazão do fluxo, seu tempo de atuação, declividade da rampa e propriedades do solo, como sua densidade e umidade, porém, não simula o fenômeno da desagregação de

partículas provocado pelo impacto da água em uma precipitação.

Alguns ensaios como os realizados para a caracterização física; perda de massa por imersão e infiltrabilidade da metodologia MCT (Nogami e Villibor, 1979) e o ensaio de desagregação são considerados ensaios de avaliação indireta da erodibilidade e foram aplicados neste estudo. Trabalhos mais recentes a cerca deste assunto estão apresentados em Nogami e Villibor (1985), Cozzalino e Nogami (1993) e Villibor e Nogami (2009).

1.2.1 Ensaios de caracterização física

Os ensaios de caracterização física são considerados primordiais na análise geológico-geotécnica, não só da erodibilidade, como também em qualquer outro tipo de análise. Sua inter-relação com a erodibilidade não é considerada simples e direta para alguns autores, como Jacintho *et al.* (2006), por exemplo. 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.

A mesma análise direta não deve ser feita em relação à plasticidade. Sabe-se que solos com maior índice de plasticidade são menos erodíveis (com exceção das argilas dispersivas), porém, no caso dos solos tropicais, a presença de oxi-hidróxido de ferro, conferem uma maior estabilidade e resistência ao solo, tornando-o menos erodível, mesmo apresentando uma baixa plasticidade (CARDOSO, 2002 apud JACINTHO *et al.*, 2006).

Para Jacintho *et al.* (2006) a porosidade e a distribuição dos poros são as propriedades físicas mais relevantes na inter-relação com a erodibilidade, pois os fenômenos de sucção, coesão e permeabilidade são afetados devido à concentração de macroporos interconectados. Considera ainda que as análises em termos de peso específico real dos grãos devem ser evitadas pelo fato de serem muito variáveis nos solos tropicais.

Bastos (1999) constatou que o decréscimo do teor de finos e a plasticidade aumentou a erodibilidade dos solos analisados por ele em quatro perfis na região metropolitana de Porto Alegre, no entanto, esta relação não foi confirmada pelo estudo de solos tropicais realizados por Fácio (1991). Para este autor, esta contradição se deve ao fato da influência de características estruturais e mineralógicas dos solos, demonstrando que essas propriedades não podem ser únicas na avaliação do comportamento geomecânico dos solos.

Cabe lembrar ainda, que a caracterização química, mineralógica e microestrutural são

de suma importância para a avaliação da erodibilidade por ser uma propriedade do solo de grande complexidade devido aos inúmeros fatores intervenientes.

1.2.2 Critérios de erodibilidade tendo como base a metodologia MCT

Este critério de erodibilidade é baseado em duas propriedades dos solos: infiltrabilidade e erodibilidade específica (NOGAMI & VILLIBOR, 1995). Estes dois parâmetros são levantados através da perda de massa por imersão (π) e infiltrabilidade ou sorção (s).

O ensaio de infiltrabilidade busca simular a infiltração de água no solo através da ascensão capilar. A sua execução busca reproduzir uma condição natural, submetendo uma amostra indeformada de solo à ação de uma carga hidráulica provocada através de um menisco gerando assim por ascensão capilar infiltração da água nesta amostra.

Desta forma, mede-se o deslocamento do menisco em relação ao tempo de exposição da amostra, geralmente 1, 2, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 minutos e assim sucessivamente, até que ocorra a estabilização do processo. Os dados obtidos são então inseridos em um gráfico e através deste gráfico é determinado o coeficiente de sorção (s).

A determinação da perda de massa por imersão tem por objetivo avaliar o comportamento do solo quando submetido à inundação. O ensaio consiste na inundação de amostras indeformadas de solo contidas em anéis metálicos. Estas amostras são confinadas em uma das faces sofrendo a ação da água na face livre. Após 20 horas de inundação coleta-se o material erodido e retido para que após secos seja determinada a porcentagem da amostra que foi erodida. Este dado corresponde ao parâmetro (π).

Através da relação π/s , é possível a classificação dos solos em relação ao grau de erodibilidade, sendo considerados solos erodíveis quando esta relação for superior a 52. O mesmo critério de classificação foi proposto de maneira gráfica por Nogami e Villibor (1995) (Figura 3), sendo baseado em um número maior de ensaios. Para Pejon (1992 apud VILAR E PRANDI, 1993) a relação π/s deve ser superior a 40, para que os solos sejam classificados como erodíveis.

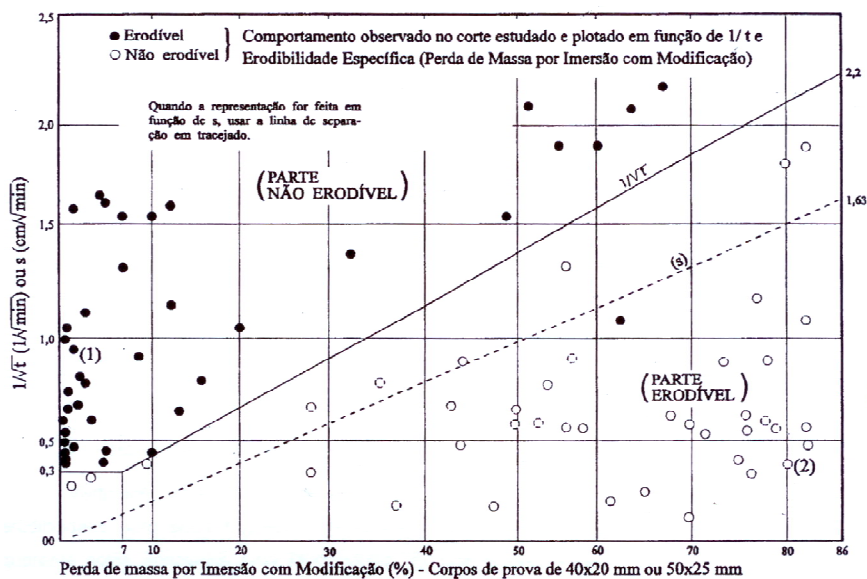


Figura 3 - Critério de erodibilidade MCT segundo Nogami e Villibor (1995).
Fonte: Bastos (1999).

Os critérios de erodibilidade, baseados na metodologia MCT, foram confirmados por Bastos (1999) no estudo da erodibilidade de solos residuais não saturados na região metropolitana de Porto Alegre.

Tatto (2007) e Ávila (2009) tendo como base os estudos de Bastos (1999), realizaram estes ensaios para a caracterização da erodibilidade de uma voçoroca no oeste do Rio Grande do Sul e na região central do estado, respectivamente.

1.2.3 Ensaio de Desagregação

Este ensaio, também conhecido como *slaking test*, tem por objetivo verificar a estabilidade de uma amostra de solo indeformada quando da imersão em água destilada, independente da dispersão do material.

Os ensaios de desagregação consistem na introdução de amostras de solo em uma bandeja contendo água, observando-se, então, as reações das respectivas amostras ao processo de submersão. Com o ensaio de desagregação, pode-se prever o comportamento do solo quando inundado por água, o que possibilita a determinação da capacidade da água em

desagregar o mesmo (JACINTHO *et al.*, 2006).

Segundo Bastos *et al.* (1999) este ensaio é indicado como critério preliminar na avaliação qualitativa da erodibilidade devido ao fato de ser um ensaio considerado simples e de dar bons resultados, auxiliando no direcionamento de outros ensaios de erosão.

Na descrição qualitativa da amostra são observadas as seguintes dinâmicas nas amostras: a) abatimento (slumping); b) fraturamento no topo; c) ruptura nas bordas; d) velocidade de desagregação; e) grau de dispersão das partículas de solo; f) velocidade de ascensão capilar; e g) inchamento.

O resultado deste ensaio é puramente qualitativo. A relação entre o potencial de desagregação e a erodibilidade é evidente. Os solos considerados altamente erodíveis desagregam totalmente em água. Entretanto, não é verificada uma relação direta do potencial de desagregação com os níveis intermediários e baixos de erodibilidade (BASTOS, 1999).

Santos (1997 apud BASTOS *et al.*, 2000) ao ensaiar amostras de solo de voçorocas no município de Goiânia, concluiu que a desagregação verificada nas amostras ocorreu pelo processo de abatimento causado pela hidratação e desaeração geradas na fase de inundação das amostras, sendo que o processo de saturação das amostras, anula a sucção matricial e gera poropressão positiva capaz de desestruturar e desagregar o solo.

Lima (1999, apud JACINTHO *et al.*, 2006) 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.

1.3 Mapeamentos geomorfológicos

A Geomorfologia, pelo seu papel integrador nas ciências da terra, é uma disciplina que muito atende aos interesses da Geografia e do planejamento territorial ambiental (ROSS, 1995). Por esse motivo, a Geomorfologia serve de parâmetro para a delimitação das unidades de paisagem, expressa pela relação do uso da terra com os elementos geomorfológicos.

Para introduzir a reflexão acerca das questões geomorfológicas parte-se da premissa de que o relevo - objeto de estudo da geomorfologia - é o resultado da atuação de forças antagonicas sintetizadas pelas atividades tectônicas e estruturais, e pelos mecanismos

morfoclimáticos ao longo do tempo geológico, podendo ocorrer de forma sucessiva ou simultânea. Essas forças são definidas como forças endógenas (dobras, falhas, vulcões, terremotos) e forças exógenas (desgaste e acumulação) (Ross, 1990). A partir disso, as formas que o relevo apresenta são ao mesmo tempo consequência da atuação dessas forças, bem como suas causas.

Os mapas geomorfológicos, ao contrário dos demais mapas temáticos possuem um grau de complexidade maior. Isso decorre, pois, as formas de relevo e os processos geomorfológicos têm grande importância, tanto pelo fato de constituírem o substrato físico sobre o qual se desenvolvem as atividades humanas, como por responderem, muitas vezes de forma agressiva as alterações provocadas por tais atividades.

Ross (1990) com o objetivo de definir as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade realiza o cruzamento de algumas variáveis como os dados referentes à carta de declividade das vertentes, carta simplificada da litologia, carta de uso da terra e cobertura vegetal, carta das formas de relevo e marcas de processos erosivos, além da análise dos dados pluviométricos.

Segundo Ross (1994), a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais exige estudos básicos de relevo, do solo, do uso da terra e do clima. Para tanto, faz-se necessário um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais através de trabalhos de campo e de gabinete, que irão gerar produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, cobertura e uso do solo, acompanhados de relatórios técnicos sintéticos.

Demek (1977) esclarece que os mapas geomorfológicos, em geral, devem expressar as feições morfográficas e morfométricas das formas de relevo, sua gênese e idade. O autor define como mapas geomorfológicos detalhados, os mapas com escala de 1:10.000 e 1:50.000. Nesses mapas, o autor cita que os conteúdos principais são as formas de relevo concretas e suas partes e que deveriam refletir a forma do relevo de forma legível e ter informações com, no máximo três ou quatro níveis.

A União Geográfica Internacional (UGI) recomenda que a cartografia geomorfológica deva apresentar quatro níveis de abordagem. Esses níveis representam a morfometria (altimetria, dimensões, desníveis, extensões); a morfologia (formas do perfil, concavidades, convexidades, rupturas, topos, fundos de vale, etc.); a gênese (degradação ou agradação); a cronologia relativa (idade relativa das formas, datação absoluta).

Com relação a essa recomendação, Ross (1992) elucida que a cartografia geomorfológica deve mapear concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise

geomorfológica. Em primeiro plano deve-se representar as formas de diferentes tamanhos e em planos secundários, a representação da morfometria, morfogênese, e morfocronologia, que tem vínculo direto com a tipologia das formas.

Da mesma forma, para Santos (2004), os mapas geomorfológicos representam em um primeiro momento, as formas de relevo que definem as unidades mapeadas. Em um segundo momento, para cada uma das unidades tem-se a descrição da morfologia do relevo, morfometria e os processos morfogenéticos (relativos à gênese e ao tamanho), a dinâmica atual, os padrões de formas das vertentes, além da configuração do sistema de drenagem e o grau de dissecação.

Em síntese, Troppmair (1990) salienta que somente estudos geomorfológicos que forneçam dados quantitativos sobre as formas, dados corretos sobre os processos morfodinâmicos e dados pedomórficos ou de pedotopos, tem significado na pesquisa geomorfológica atual, principalmente, quando ela visa estudo integrado do meio ambiente.

Para Ross (2007) não se pode entender a dinâmica e a gênese das formas do relevo, sem que se conheçam muito bem os fatores bioclimáticos, pedológicos, geológicos e antrópicos que interferem no dinamismo e, portanto em sua evolução.

Por fim, analisando a importância dos estudos geomorfológicos para a temática da pesquisa, entende-se que além de indispensável os estudos na linha geomorfológica dentro dos diagnósticos ambientais, apresentam ainda uma variedade de possibilidades de aplicação, principalmente no sentido de prevenção contra a ocorrência de catástrofes e danos ambientais nas diferentes formas de uso e ocupação humana.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa consistiu de três etapas: i) Etapa de Gabinete, na qual foram levantados dados bibliográficos sobre o tema estudado, área de estudo e elaboradas as bases cartográficas e mapas temáticos necessários para o desenvolvimento deste estudo ii) Etapa de Campo, para reconhecimento de geologia, solos, vegetação, geomorfologia, avaliação dos problemas ambientais, observação da forma de uso da área e coleta de materiais e iii) Etapa de Laboratório, onde foram realizados os ensaios de caracterização geológico-geotécnica e os ensaios de avaliação indireta da erodibilidade. Assim, os procedimentos para a execução da pesquisa, podem ser descritos nos seguintes itens:

2.1 Etapa de Gabinete

Nesta etapa foram levantados dados bibliográficos sobre o tema da pesquisa, área de estudo e elaborados mapas base e mapas temáticos como geologia, solos, declividade, hipsometria, geomorfológico (unidades de relevo), usos do solo e áreas de conflito ambiental. Esses mapas foram gerados em escala 1:20.000, a partir de informações obtidas por meio de fotointerpretação de fotografias aéreas datadas de Maio de 1996 (Escala 1:20.000); imagens de satélite obtidas pelo programa Google Earth-Pró, ortofotos (Escala 1:20.000) cedidas pelo Exército Brasileiro e trabalhos de campo.

A síntese do diagnóstico ambiental está representada pelo mapa Geomorfológico. Para a elaboração do Mapa Geomorfológico utilizou-se como base conceitual e metodológica, os trabalhos realizados por Ross (2007), onde foram reconhecidos os seguintes táxons (divisões de unidades do relevo); 2º táxon (colina e rampa alúvio/colúvio); 3º táxon (topos de colina); 4º táxon (áreas de dissecação); 5º táxon (análise das formas das vertentes – efetuada de forma descritiva) e 6º táxon (processos e feições superficiais).

As unidades de relevo foram caracterizadas com base nas descrições de campo e no cruzamento dos demais mapas temáticos. Os pontos diagnosticados como os de maior impacto ambiental, denominados neste trabalho de “Feições superficiais associadas ao uso” foram inseridos no Mapa geomorfológico procurando estabelecer unidades mais suscetíveis,

considerando também os resultados obtidos dos ensaios de laboratório. Por último, procurou-se avaliar a efetividade das medidas adotadas pelo CISM com relação à utilização de rotas alternativas para passagem de blindados onde cruzou-se o mapa geomorfológico com estas rotas. Os procedimentos de cruzamento de mapas temáticos foram efetuados utilizando o *software* ArcGis.

2.2 Etapa de Campo

Foram realizados trabalhos de campo em diferentes épocas do ano para reconhecimento de geologia, solos, vegetação, geomorfologia, avaliação dos problemas ambientais, conflitos de uso e acompanhamento de exercícios militares procurando compreender a forma de utilização do campo e a solicitação do solo quando da passagem dos blindados e dos veículos sobre rodas.

Os trabalhos de campo foram realizados nos períodos de setembro/2009 a novembro/2011, onde a equipe foi acompanhada por militares do Campo de Instrução, utilizando carros do Exército. Os locais avaliados foram identificados com o auxílio de GPS, fotografias aéreas escala 1:20.000 e imagem do Google Earth-Pro. Estes locais foram descritos em caderneta de campo e fotografados com máquina digital Nikon Coolpix com GPS acoplado.

Durante os trabalhos de campo e com base na escala de trabalho, foram identificados dois tipos diferentes de solos que predominam na área: Argissolos e Planossolos. Porém, junto a área de entrada dos blindados no CISM, ocorre uma grande degradação, sobre Cambissolos. O tempo de execução desta dissertação e as secas que ocorreram do RS dificultaram as amostragens. Desta forma, nesta pesquisa, optou-se por coletar amostras para ensaios de caracterização e avaliação da erodibilidade do Cambissolo, chamado de Perfil I (próximo ao CIBLD) e do Argissolo junto à área de empréstimo, próxima à sede do CISM, denominado de Perfil II (Figura 4). O Perfil I é formado por Cambissolos sobre a Formação Santa Maria-Membro Alemoa e o Perfil II é formado por Argissolos-Unidade São Pedro sobre a Formação Caturrita (Figura 5).

A coleta de amostras deformadas³ e indeformadas⁴ (Figura 6) para a realização dos

³ Amostras Deformadas refere-se ao solo solto, coletado com pá ou trado.

⁴ Amostras Indeformadas refere-se à coleta de um "pedaço" ou porção do solo extraída com equipamento

ensaios de caracterização e erodibilidade respectivamente, foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 6457/86 (Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização). As amostras deformadas foram coletadas em sacos plásticos enquanto que as amostras indeformadas foram coletadas em dois tipos de anéis de PVC: (i) anéis de 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura, utilizados para os ensaios de desagregação e (ii) anéis de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura utilizados para os ensaios da metodologia MCT (infiltrabilidade e perda de massa por imersão).



Figura 4 - Perfil I localizado próximo ao Centro de Instrução de Blindados (CIBLD) e Perfil II próximo à sede do CISM. Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª DE - CISM.



Figura 5 - Detalhe do Perfil I (à esquerda) e Perfil II (à direita).



Figura 6 - Anéis utilizados para a coleta de amostras indeformadas.

O número de amostras indeformadas coletadas para a realização dos ensaios de avaliação indireta de erodibilidade em cada um dos horizontes ou rochas, do Perfil I e II é apresentado na Tabela 3. No perfil I foram amostrados o Horizonte A do solo, a Rocha Alterada e a Rocha propriamente dita. No perfil II, devido à exiguidade do tempo e das condições climáticas (seca) apenas o horizonte B foi amostrado.

Tabela 3 - Número de amostras indeformadas coletadas e seus respectivos ensaios.

Dimensão dos anéis (cm) (Φ = diâmetro , h = altura)	Ensaio	Nº de Amostras por Camada
$\Phi = 10$ h = 5	Desagregação	2
$\Phi = 5$ h = 5	Infiltrabilidade	6
	Perda de massa por imersão	6

2.3 Etapa de Laboratório

Os ensaios de caracterização física e de avaliação indireta da erodibilidade foram executados no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da UFSM.

Para a realização da caracterização geotécnica dos materiais amostrados, foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica, limites de consistência, determinação dos índices físicos como umidade, peso específico natural, peso específico seco, peso específico real dos grãos, índice de vazios, grau de saturação e porosidade.

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 6502/95. O peso específico real dos grãos foi realizado com base na norma ABNT NBR 6508/84 (Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica) através do método do picnômetro.

O ensaio de limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) foi realizado de acordo com as normas ABNT NBR 6459/84 (Determinação do limite de liquidez) e norma ABNT NBR 7108/84 (Determinação do limite de plasticidade).

Para a avaliação indireta da erodibilidade dos materiais foram realizados os ensaios de desagregação ou slaking test, perda de massa por imersão e infiltrabilidade.

2.3.1 Ensaio de desagregação

O ensaio de desagregação ou *slaking test* teve como objetivo a avaliação qualitativa e visual da desagregação de uma amostra de solo, circular ou quadrática, não confinada, quando submetida à ascensão do nível de água destilada, até estar totalmente submersa, totalizando 25 horas de ensaio. Para a realização deste ensaio, foi adotada a metodologia proposta por Santos (1997 *apud* BASTOS, 1999).

Foram coletadas amostras indeformadas de solo e rocha, com anéis cilíndricos de PVC, biselados, com 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Os ensaios foram realizados na condição de umidade natural e seca ao ar (por no mínimo 72 horas).

As amostras foram retiradas de seus anéis com a ajuda de um soquete de acrílico e a seguir foram postas sobre um papel filtro e uma pedra porosa, permanecendo sob quatro condições de submersão: (i) com o nível d'água na base da amostra - 30 minutos; (ii) com o nível d'água a 1/3 da amostra - 15 minutos; (iii) com o nível d'água a 2/3 da amostra - 15 minutos; e (iv) com a amostra totalmente submersa - 24 horas (Figura 7 e 8).



Figura 7 - Retirada da amostra do anel para o ensaio de desagregação.

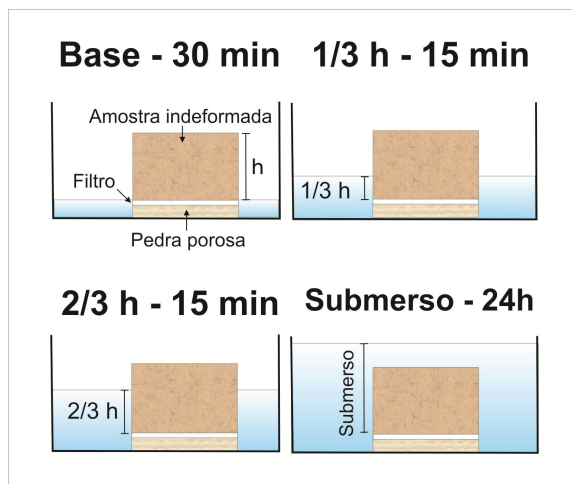


Figura 8 - Esquema das condições de submersão no ensaio de desagregação. Fonte Tatto (2007).

A avaliação qualitativa da erodibilidade ocorreu de maneira visual, através da descrição do comportamento da amostra frente à ascensão capilar, como: (i) o abatimento e inchamento da amostra; (ii) raio de influência das partículas de solo desagregadas (iii) velocidade de desagregação; (iv) formação de fissuras no topo e (v) rupturas nas bordas da amostra.

2.3.2 Ensaio de infiltrabilidade

Este ensaio tem como objetivo a quantificação da velocidade de ascensão capilar em amostras de solo. Para a realização deste ensaio são utilizadas amostras de solo indeformadas, na condição de umidade natural, seca ao ar (por no mínimo 72 horas) e pré-umedecidas (reensaando as amostras já saturadas pela execução do ensaio), estando confinadas em anéis cilíndricos de PVC, com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro.

O equipamento consiste em um plano de madeira onde é acoplada uma régua graduada e um tubo capilar de vidro (com diâmetro de 6 mm), estando este ligado a um reservatório (pedra porosa de granulação aberta) com o topo livre. O tubo capilar é preenchido por água até que a mesma extravase no topo do reservatório da pedra porosa, sendo colocado, neste lugar, um papel filtro logo após o transbordamento.

A amostra indeformada é colocada confinada em seu anel de PVC, sobre o filtro e o reservatório (Figura 9 e 10).

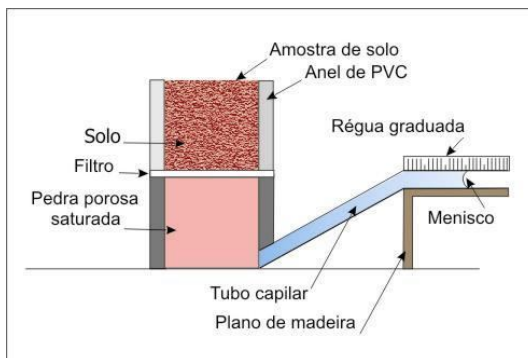


Figura 9 - Esquema do ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT. Fonte Tatto (2007).

São realizadas medidas do deslocamento do menisco (cm) dentro do tubo capilar em uma relação de tempo quadrática (1, 2, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 minutos e assim por diante) até o momento em que o deslocamento cesse, ou seja, até o momento em que a amostra se mostre totalmente saturada pela ascensão capilar da água.

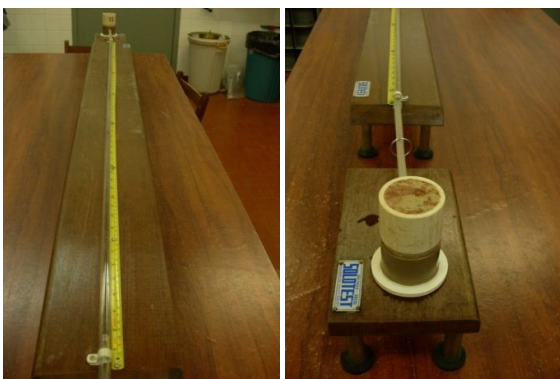


Figura 10 - Ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT.

Com os dados referentes ao deslocamento do menisco (cm) e o tempo ($\text{min}^{1/2}$), é possível a elaboração de um gráfico (Figura 11) de uma curva típica onde seu trecho inicial

retilíneo fornece o coeficiente de sorção “s” ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$), determinado através da relação:

$$s = \frac{(L_2 - L_1) S}{10 (t_2 - t_1) A} \quad (1)$$

onde: S = área da seção do tubo capilar e A = área da seção da amostra.

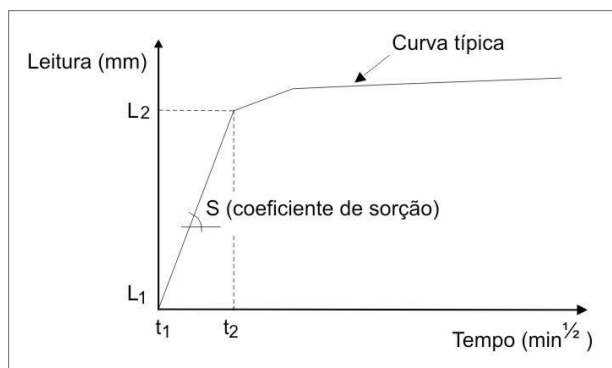


Figura 11 - Curva típica do deslocamento do menisco versus tempo para o ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT. Fonte: adaptado de Bastos (1999).

2.3.3 Ensaio de perda de massa por imersão

Este ensaio, também chamado de erodibilidade específica, tem como objetivo a avaliação quantitativa do potencial de desagregação de uma amostra indeformada de solo, quando submersa em água (TATTO, 2007).

Para a realização deste ensaio são utilizadas amostras de solo indeformadas, na condição de umidade natural, seca ao ar (por no mínimo 72 horas) e pré-umedecidas (amostras oriundas do ensaio de infiltrabilidade), estando confinadas em anéis cilíndricos de PVC (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura). Para a realização do ensaio as amostras têm suas alturas reduzidas para 2,5 cm em laboratório, sendo colocado um papel filtro e uma pedra porosa na parte interna no anel.

O sistema é formado por um berço metálico que suporta a amostra confinada, sendo esta colocada na horizontal sobre o berço com 1 cm de borda livre (Figura 12). Logo abaixo

desta borda é colocada uma cápsula para recolher o possível material desagregado do anel, durante o período em que este sistema estiver imerso em água (20 horas).

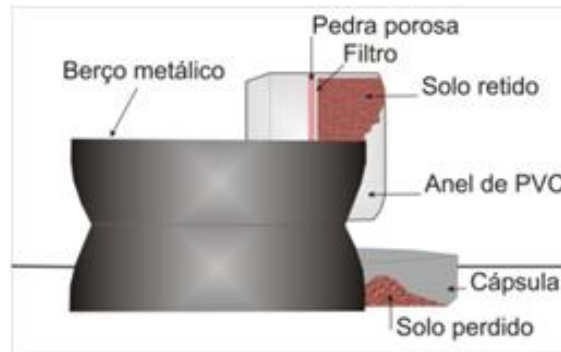


Figura 12 - Esquema do ensaio de perda de massa por imersão modificado da metodologia MCT. Fonte Tatto (2007).

Com o término do ensaio, a água é esgotada, cuidadosamente, do recipiente que contém o sistema berço-amostra. O solo desprendido e o solo remanescente do anel são recolhidos, levados à estufa, e posteriormente, pesados. O parâmetro “pi” (%) é determinado através da relação:

$$pi = \frac{p_{seco\ d}}{p_{seco\ t}} \quad (2)$$

onde: $p_{seco\ d}$ = peso de solo seco desagregado e $p_{seco\ t}$ = peso de solo seco total da amostra.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma área militar do Exército Brasileiro localizada na região central do Rio Grande do Sul, na porção sudoeste da cidade de Santa Maria (Figura 13). Geograficamente, a área fica localizada entre as coordenadas $53^{\circ} 48' 12''$; $53^{\circ} 53' 23''$ de longitude oeste e $29^{\circ} 42' 31''$; $29^{\circ} 47' 39''$ de latitude sul. O acesso ao CISM é pela BR 158 no final da Avenida do Exército, no Bairro Boi Morto.

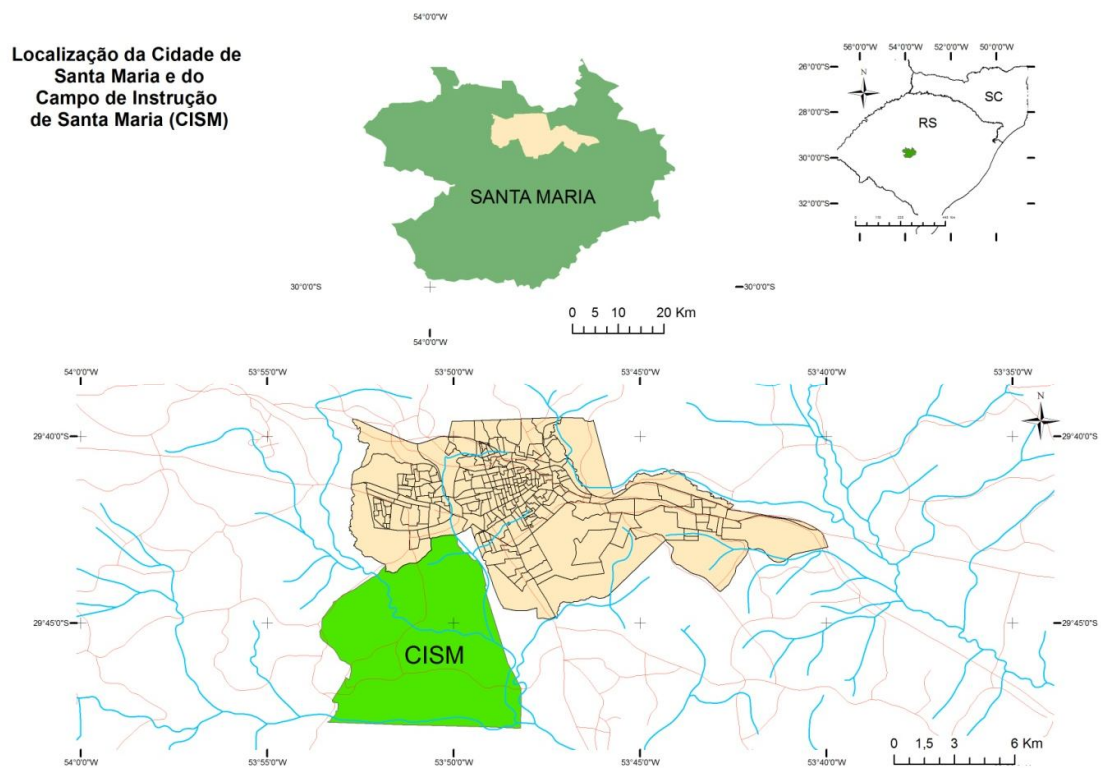


Figura 13 - Mapa de Localização da área de estudo.

O CISM possui uma área de 5.866,9 hectares, sendo parte desta área destinada ao treinamento de militares com blindados e outra parte arrendada para particulares que a utilizam para agricultura e pecuária.

De acordo com a Carta Geotécnica de Santa Maria (escala 1:25.000) de Maciel Filho

(1990), a geologia da área de estudo corresponde a Formação Santa Maria (Membro Passo das Tropas e Membro Alemoa). O Membro Passo das Tropas apresenta uma litologia caracterizada por arenito fino a médio, conglomerático na base, feldspático, com intercalações de siltito e pelito. Já o Membro Alemoa é caracterizado por um siltito argiloso vermelho, maciço, com lentes arenosas. Associado à geologia, segundo Dalmolin e Pedron (2009) tem-se a formação de solos, que na área de estudo tem por maioria, a presença de Argissolos e Planossolos

Para Heldwein *et al.* (2009) o clima da região de Santa Maria é subtropical úmido com chuvas bem distribuídas, apresentando invernos frios e verões bastante quentes. Considerando a série histórica 1912-2004 da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Santa Maria, elaborada por Buriol *et al.* (2009), o regime pluviométrico do município pode ser considerado isoigro, isto é, os valores normais de chuva são bem distribuídos ao longo do ano. As médias mensais de precipitação pluviométrica oscilam de 120,1 a 159 mm, acumulando-se no ano uma média normal de 1712,4 mm. Os totais mensais de precipitação pluviométrica ficam, por vezes, abaixo dos totais mensais de evaporação e evapotranspiração, causando deficiência hídrica, mais pronunciada no verão. Ao contrário, no inverno ocorrem excessos hídricos.

Quanto à vegetação, o Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma área onde a paisagem original é um mosaico de fragmentos florestais e campos nativos. Isso porque a região localiza-se em uma área de transição entre a Savana e a Floresta estacional Decidual, onde os campos nativos predominam nos interflúvios de relevo conservado e solos rasos (coxilhas), e a floresta reveste os vales encaixados e as encostas das vertentes, formadas por drenagens menores (TEIXEIRA *et al.*, 1986).

3.1 Histórico do CISM

Neste item tem-se um breve histórico da área de estudo cedido pelo Tenente Ayrton Cavalheiro (assessor do então subcomandante do CISM: Tenente Jean Paul).

No ano de 1921, o então Ministro de Guerra, Engenheiro João Pandiá Calógeras, após acurado estudo, determinou por intermédio do Diretor Geral de Engenharia do Exército, General Cândido Mariano Rondon, a instalação do Parque de Aviação Militar em Santa Maria, no terreno em que se encontram hoje edificadas o 29º Batalhão de Infantaria Blindado

e o 4º Batalhão Logístico. O parque de aviação foi inaugurado em Abril de 1922 e operou até Junho de 1937, quando foi transferido para a cidade de Canoas.

Em janeiro de 1945, assumiu o comando da então Infantaria Divisionária/3, o General Henrique Baptista Dufles Teixeira Lott. Desde o seu primeiro dia de comando, procurou levar aos escalões superiores a necessidade de uma área destinada a instrução e ao preparo das tropas blindadas.

Empossado como Ministro da Guerra, em 25 de Agosto de 1954, manteve-se fiel às suas ideias de início de generalato, tendo participação fundamental na lavratura, pelo Exmo Sr Presidente da República, Juscelino Kubitschek, do Decreto nº 40.343, de 13 Nov 1956, que declarou de utilidade pública e autorizou a desapropriação de imóveis, necessários ao serviço do Exército Nacional.

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.

Numa justa homenagem àquele chefe militar, em 17 de Maio de 1957 foi inaugurado pelo General Jaime de Almeida, Comandante do então III Exército, este Campo de Instrução, sendo-lhe consignado o nome de Campo de Instrução General Teixeira Lott (CISM). Em dezembro de 1974, sua sede foi inaugurada, recebendo a denominação de “Sede Marechal Castello Branco”.

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.

A missão do CISM é proporcionar às Grandes Unidades, Organizações Militares (OM), 3ª Divisão de Exército e Regionais, em especial as sediadas em Santa Maria, o apoio necessário à instrução e ao adestramento dos quadros e da tropa e, complementarmente, prestar idêntico apoio à Base Aérea de Santa Maria e Organizações Militares da Brigada Militar e Corpo de Bombeiros.

Além disso, o CISM abriga em sua sede, a Banda de Música da 3ª Divisão de Exército, o Centro Hípico do Círculo Militar de Santa Maria, o Centro de Aplicação de Exercícios de Simulação de Combate e o Piquete Sarandi.

3.2 Caracterização dos Treinamentos Militares no CISM

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma das poucas Organizações Militares (OM) destinada a treinamento de militares com blindados no Brasil. Por esse motivo, OM's e militares do Brasil inteiro e algumas vezes do exterior utilizam essa área para esse tipo de exercício.

Para compreender a forma de utilização do CISM, isto é, as OM's que realizam exercícios militares; a época do ano em que isso ocorre e o tipo de blindado e viatura que percorrem a área de estudo foram elaborados gráficos e tabelas com os dados referentes aos treinamentos realizados em 2010 e 2011. Esses dados foram cedidos pelo Tenente Ayrton Cavaleiro a partir de documentos provenientes da 3ª Seção da 6ª Brigada de Infantaria Blindada (BIA) e da 3ª Divisão de Exército (DE). A compreensão da utilização e as visitas a campo serviram para delimitar a área de estudo desta dissertação.

A Tabela 4 mostra as OMs que realizaram treinamentos no CISM em 2010 e 2011.

Com base nos dados obtidos foi construído um gráfico de barras onde pode-se ver quais as OM's mais utilizaram o CISM para treinamentos com blindados nesses anos. O CIBLD (Centro de Instrução de Blindados) foi a unidade que mais realizou treinamento no CISM nos dois anos analisados sendo que o maior número de eventos ocorreu no ano de 2011, seguido do 1º RCC (1º Regimento de Carros de Combate) no ano de 2010 e 29º BIB (29º Batalhão de Infantaria Blindado) no ano de 2011 (Figura 14). Vale salientar que tais OMs possuem, dentre sua frota, os blindados mais pesados como M60 (48,7 toneladas), Leopard A1 sabiex (45 toneladas), Leopard 1A1 (42,4 toneladas), Leopard 1A5 (42,4 toneladas).

Atualmente o número de blindados que utilizam o Campo para efetuar os treinamentos são em torno de 140. Além dos blindados, outros carros relativamente pesados percorrem a área do Campo de Instrução como as viaturas (VBTP – viatura blindada para transporte de pessoal, caminhões, jipes, etc.). Dessa maneira, os veículos que percorrem o CISM variam desde viaturas que pesam 3 toneladas (caminhões, jipes) a blindados pesando aproximadamente 48 toneladas (M60) (Tabela 5).

Cada OM tem seus próprios blindados, diferindo entre elas devido ao tipo de treinamento que realizam (Tabela 6).

Tabela 4 - OMs que realizaram treinamentos no CISM no ano de 2010 e 2011. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.

Unidades	Origem
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

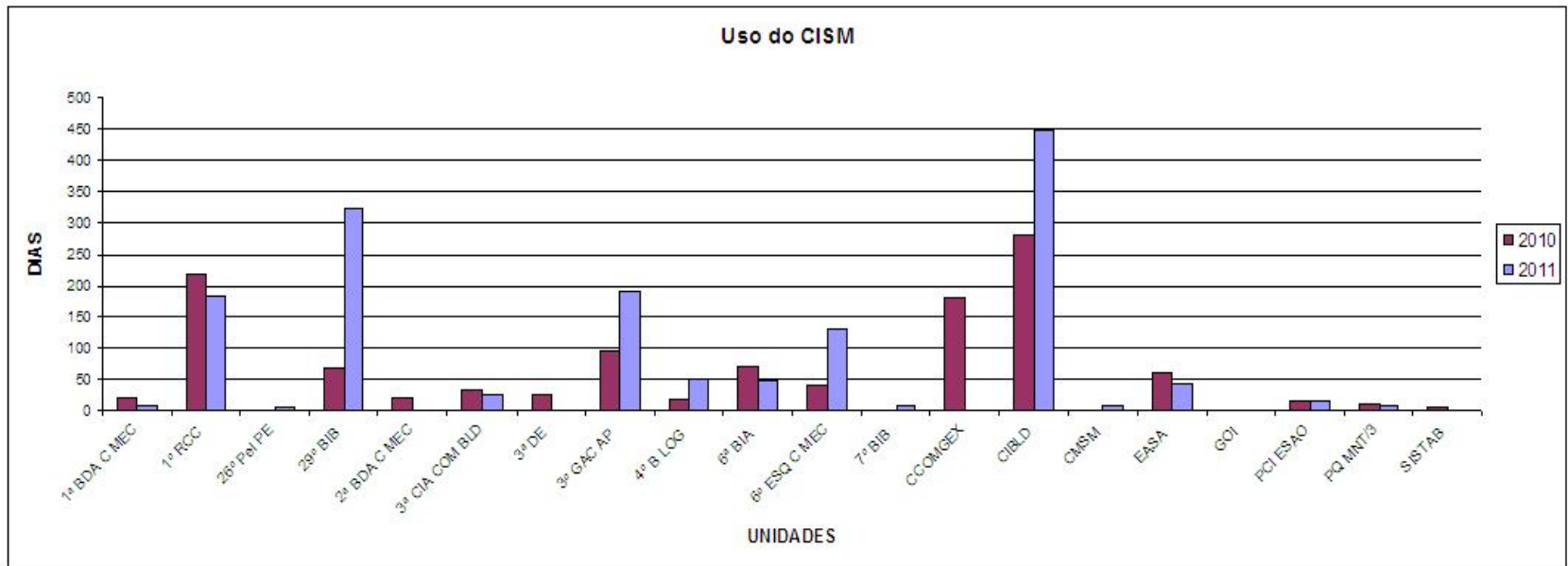


Figura 14 - Uso do CISM por Organização Militar em 2010 e 2011.

Tabela 5 - Veículos blindados que percorrem o CISM. Fonte: 3ª DE – CISM.

Veículos Blindados	Peso	Velocidade
M 108	18 ton.	56 km/h
M 109	21 ton.	56 km/h
M 41c	18,45 ton.	72 km/h
M 113	9,2 ton.	62 km/h
M 60	48,7 ton.	48 km/h
M 578	24,5 ton.	65 km/h
Leopard A1 sabiex	45 ton.	60 Km/h
Leopard 1A1	42,4 ton.	65 km/h
Leopard 1A5	42,4 ton.	65 km/h
VBR (reconhecimento)	10,9 ton.	100 km/h
VBTP (trans. Pessoal)	11 ton.	105 km/h
BERG PANZER	39,2 ton.	62 km/h

Tabela 6 - OM e tipo de veículo utilizado. Fonte: 3ª DE – CISM.

Unidades	Origem	Tipo de veículo
29º BIB	Santa Maria/RS	M113
1ª BDA C MEC	Santiago/RS	Urutu e cascavel (blindados sobre rodas)
2ª BDA C MEC	Uruguaiana/RS	Urutu e cascavel (blindados sobre rodas)
CIBLD	Santa Maria/RS	M60, Leopard A1 sabiex, Leopard 1A1, Leopard 1A5
3ª DE	Santa Maria/RS	M60, Leopard A1 sabiex, Leopard 1A1, urutu, cascavel, M41c
6º ESQ C MEC	Santa Maria/RS	Urutu e cascavel (blindados sobre rodas)
3º GAC AP	Santa Maria/RS	M108, M109
EASA	Cruz Alta/RS	M60, Leopard A1 sabiex, Leopard 1A1, urutu, cascavel, M41c
ESAO	Rio de Janeiro/RJ	M60, Leopard A1 sabiex, Leopard 1A1, urutu, cascavel, M41c
1º RCC	Santa Maria/RS	Leopard, M113, Berg Panzer, Leopard 1A5
7º BIB	Santa Cruz/RS	M113

Conforme já demonstrado anteriormente, as OM's que mais utilizaram o CISM nos

dois últimos anos foram CIBLD, o 1º RCC e 29º BIB. Dessa forma, o tipo de veículo mais utilizado no campo nesses anos foram M60 (Figura 15), Leopard A1 sabiex, Leopard 1A1 (Figura 16), Leopard 1A5, M 113 (Figura 17) e Berg Panzer, o que constitui os blindados mais pesados.



Figura 15 - Blindado M-60. Fotografia de Luciano Souza (2008).



Figura 16 - Blindado Leopard 1A1. Fotografia de Luciano Souza (2008).



Figura 17 - Blindados da esquerda para direita: M-113, M-60, Cascavel, Urutu, M-108, Leopard 1A1. Fotografia de Luciano Souza (2008).

No CISM são realizados treinamentos praticamente o ano inteiro, com exceção, dos meses de Dezembro e Janeiro. Em 2010 também não houve treinamento nos meses de Abril e Julho e em 2011 nos meses de Fevereiro e Maio (Figura 18).

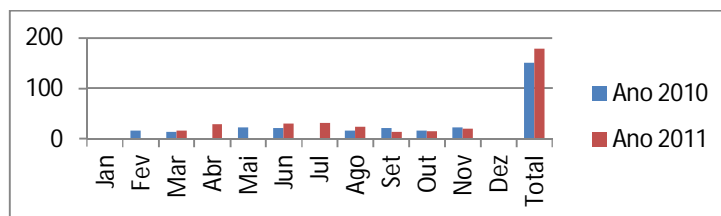


Figura 18 - Frequência de uso do CISM no ano de 2010 e 2011. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.

Visando atender todas as OMs, o Campo de Instrução foi dividido em áreas de treinamento para que mais de um quartel possa fazer os exercícios ao mesmo tempo. A Figura 19 mostra as divisões da área do CISM e suas denominações.

As áreas foram denominadas: 1 A Manga de Segurança, 1 B 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 Piquinique e Mata Densa.

A Figura 20 mostra a frequência de treinamentos nestas áreas. Conforme o gráfico percebe-se que as áreas mais utilizadas foram: Gravatás I, II e III, Araras, Estande de Tiros, PO do General, Maximiliano e Bosque dos Pinus. A Figura 21 mostra estas áreas em detalhe (correspondendo na figura aos números, 8, 2, 24, 17, 18 e 29).



Figura 19 - Mapa de divisão do CISM em áreas de treinamento. Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª DE – CISM.

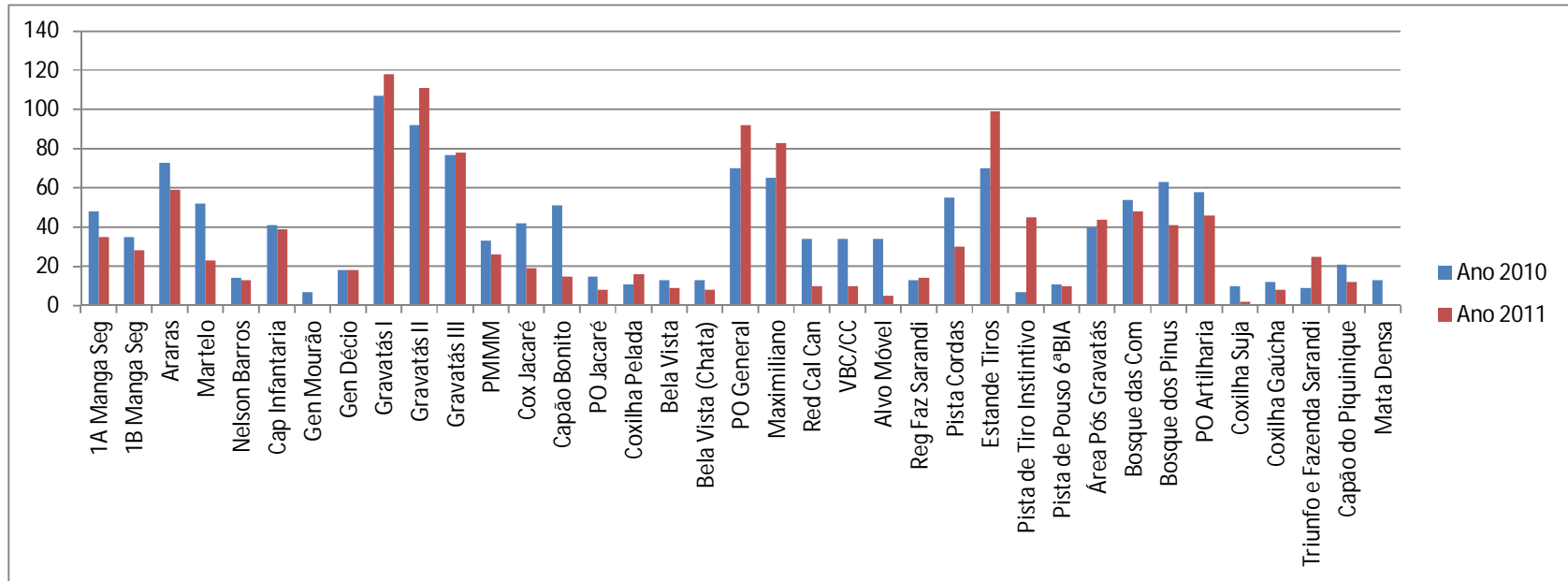


Figura 20 - Frequência de uso das áreas de treinamento do CISM. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.

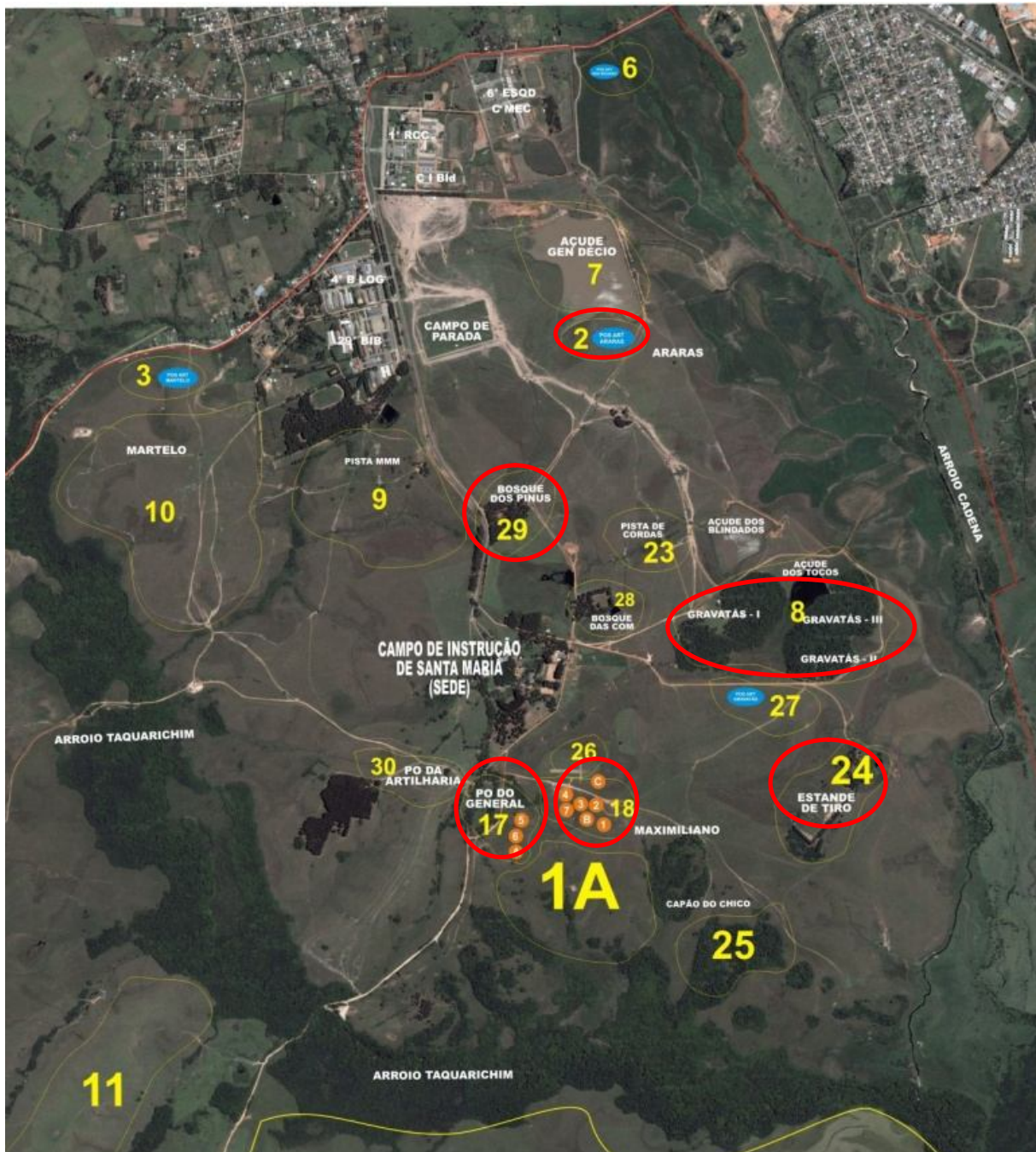


Figura 21 - Áreas mais utilizadas para treinamento no ano de 2010 e 2011 em detalhe. Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.

Para a realização desses exercícios militares foram definidas três entradas principais, de acesso ao CISM (para os blindados), de acordo com os quartéis de origem (Tabela 7). A

partir da análise dos dados indicados na tabela, fica evidente que a maioria dos blindados têm acesso ao CISM pelo CIBLD (Centro de Instrução de Blindados), sendo notável a degradação ambiental nesse local.

Tabela 7 - Organizações militares e entradas de acesso ao CISM. Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.

Unidades	Origem	Entrada p/ CISM
4º B LOG	Santa Maria/RS	CIBLD
6ª BIA	Santa Maria/RS	CIBLD
29º BIB	Santa Maria/RS	Martelo
1ª BDA C MEC	Santiago/RS	Bosque dos Pinos
2ª BDA C MEC	Uruguaiana/RS	Bosque dos Pinos
CIBLD	Santa Maria/RS	CIBLD
3ª CIA COM	Santa Maria/RS	CIBLD
CMSM	Santa Maria/RS	CIBLD
3ª DE	Santa Maria/RS	CIBLD
6º ESQ C MEC	Santa Maria/RS	Bosque dos Pinos
3º GAC AP	Santa Maria/RS	CIBLD
PQ MNT/3	Santa Maria/RS	CIBLD
EASA	Cruz Alta/RS	Bosque dos Pinos
ESAO	Rio de Janeiro/RJ	CIBLD
1º RCC	Santa Maria/RS	CIBLD
7º BIB	Santa Cruz/RS	CIBLD

Pode-se resumir da avaliação dos dados o seguinte: a maior parte dos quartéis tem acesso ao CISM pelo CIBLD que é a OM que mais utiliza o campo e possui os blindados com maior peso. As áreas de maior utilização são Gravatás, Araras e Estande de Tiro. Desta forma, com base nesses dados e nas observações de campo, pode-se afirmar que a área mais impactada do campo é aquela que concentra a rota destes blindados do CIBLD e do Bosque de Pinus para as áreas de exercícios (Figura 22).



Figura 22 - Imagem Google Earth-Pró (2009). Fonte: 3ª Seção da 6ª BIA.

3.3 Delimitação da área de estudo

Por se tratar de uma área muito grande (5.866,9908 ha), optou-se por limitar os estudos referentes ao diagnóstico ambiental desta dissertação a uma parte do CISM considerada atualmente como a mais impactada. A área de pesquisa foi então reduzida para 20,67 km² (2067 ha), concentrando-se nos pontos de entrada e saída dos blindados do Campo e nos locais onde ocorre a maioria dos treinamentos militares. Os limites da área de estudo

ficaram assim estabelecidos: o CIBLD ao norte, o Arroio Taquarichim ao Sul, a Oeste a Avenida do Exército, estrada que dá acesso à sede do CISM (divisor de águas) e a Leste o Arroio Cadena (Figura 23).

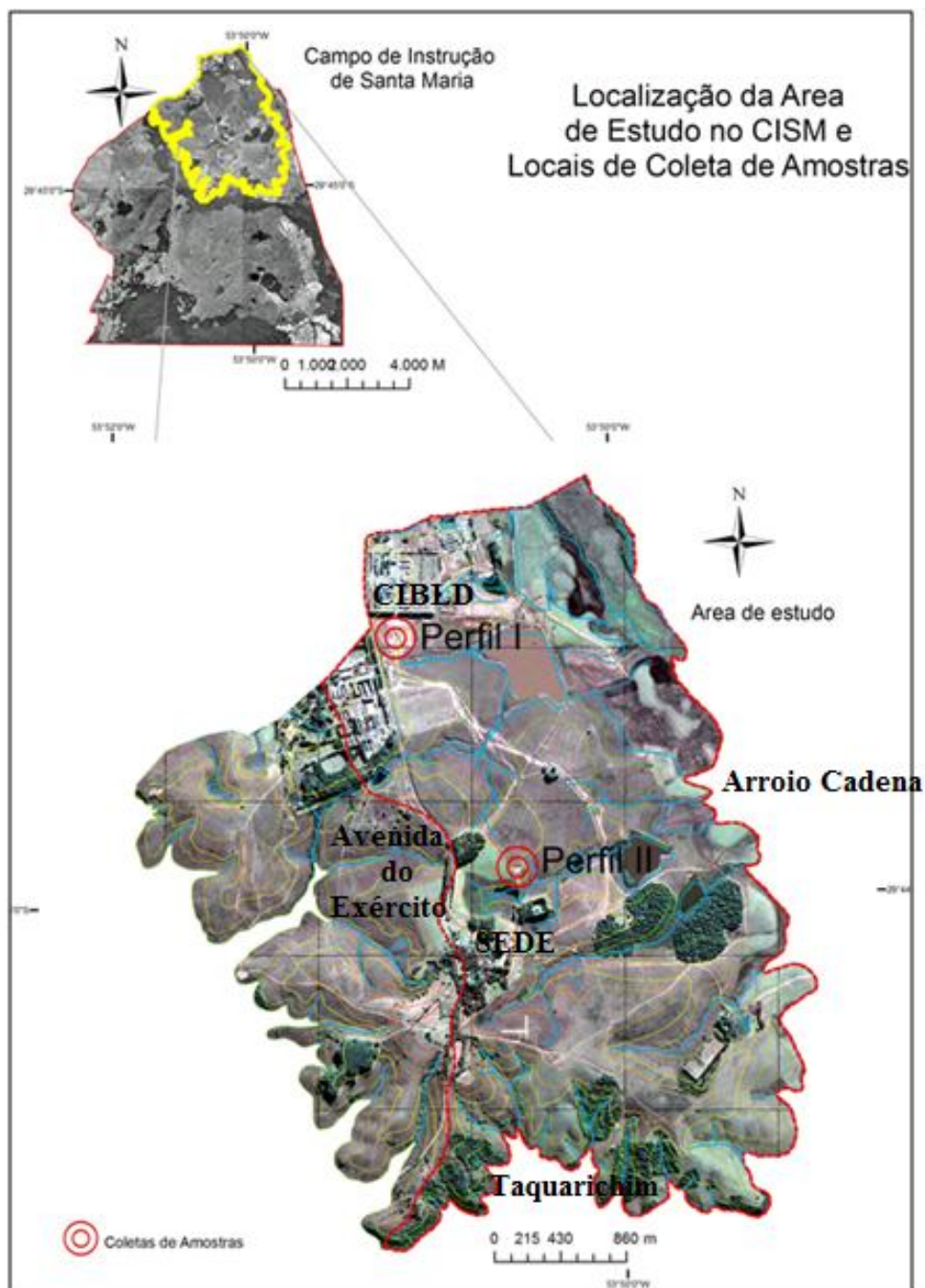


Figura 23 - Área de Estudo e pontos de coleta de amostras (em vermelho). Imagem Google Earth-Pró (escala 1:20.000) (GRACIELE PITTELKOW, 2011).

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados referentes ao diagnóstico ambiental do meio físico para parte da área do CISM. Estes resultados serão apresentados de forma a caracterizar a área quanto a sua hipsometria, declividade, geologia, solos, uso dos solos, APP's (conflitos ambientais); feições superficiais relacionadas ao uso e geomorfologia. Os impactos ambientais que ocorrem na área foram locados no mapa geomorfológico que representa a síntese deste trabalho. De forma a complementar os estudos referentes ao diagnóstico ambiental foram realizados ensaios de caracterização geotécnica e de avaliação indireta da erodibilidade de alguns materiais (solos e rochas) da área, que também serão apresentados neste capítulo.

4.1 Diagnóstico ambiental do meio físico

Com base na metodologia de Ross (2007), para a compreensão da fragilidade natural da área de estudo, foram elaborados mapas temáticos de hipsometria, declividade, geologia, solos, uso do solo, áreas de conflito ambiental e feições superficiais. O mapa Geomorfológico, que representa a síntese do diagnóstico ambiental provém dos resultados dos trabalhos de campo e do cruzamento dos demais mapas temáticos. Tais mapas foram gerados a partir de informações obtidas por meio de fotointerpretação de fotografias aéreas datadas de maio de 1996 (Escala 1:20.000), imagens de satélite obtidas pelo programa Google Earth-Pró e releitura da ortofotocarta (Escala 1:20.000) cedidas pelo Exército Brasileiro utilizando o *software* ArcGis.

4.1.1 Hipsometria

O mapa hipsométrico ou de hipsometria foi elaborado no *software* ArcGis, em escala 1:20.000 utilizando como base as ortofotocartas cedidas pelo Exército de igual escala (Figura

24). Com base na avaliação deste mapa pode-se afirmar que a área apresenta uma amplitude de cotas entre 88 e 120 m, isto é, 32 m. As regiões de menor altitude concentram-se nas planícies aluviais do Arroio Cadena a leste e Arroio Taquarichim ao sul.

As cotas mais elevadas, de 104 a 120 m, encontram-se no divisor de águas, localizado na porção centro-oeste da área onde está a sede do Campo e por onde se desenvolve o traçado da Avenida do Exército. Estas porções mais elevadas (de 96 a 120m) apresentam uma direção preferencial Noroeste-Sudeste (NW-SE) para o interior da área analisada. Entre as cotas de 98-108 metros, encontra-se a maior parte das nascentes.

Esta forma mais elevada separa a área em duas porções principais, uma a nordeste, onde os cursos d'água de maior ordem apresentam direção preferencial NE e deságuam no Arroio Cadena e uma porção ao sul, onde os cursos d'água deságuam no arroio Taquarichim e apresentam direção preferencial Norte-Sul e subordinadamente NW-SE. Estas observações são úteis para avaliar a direção e sentido do transporte dos sedimentos e quais seriam as suas áreas de deposição.

Utilizando as ortofotocartas (1:20.000) no ArcGis foi possível elaborar uma imagem 3D da área (Figura 25) onde se vê a conformação do terreno. Trata-se de um relevo suave onde o ponto mais alto da margem esquerda do Arroio Taquarichim é onde se localiza a sede do Campo de Instrução de Santa Maria.

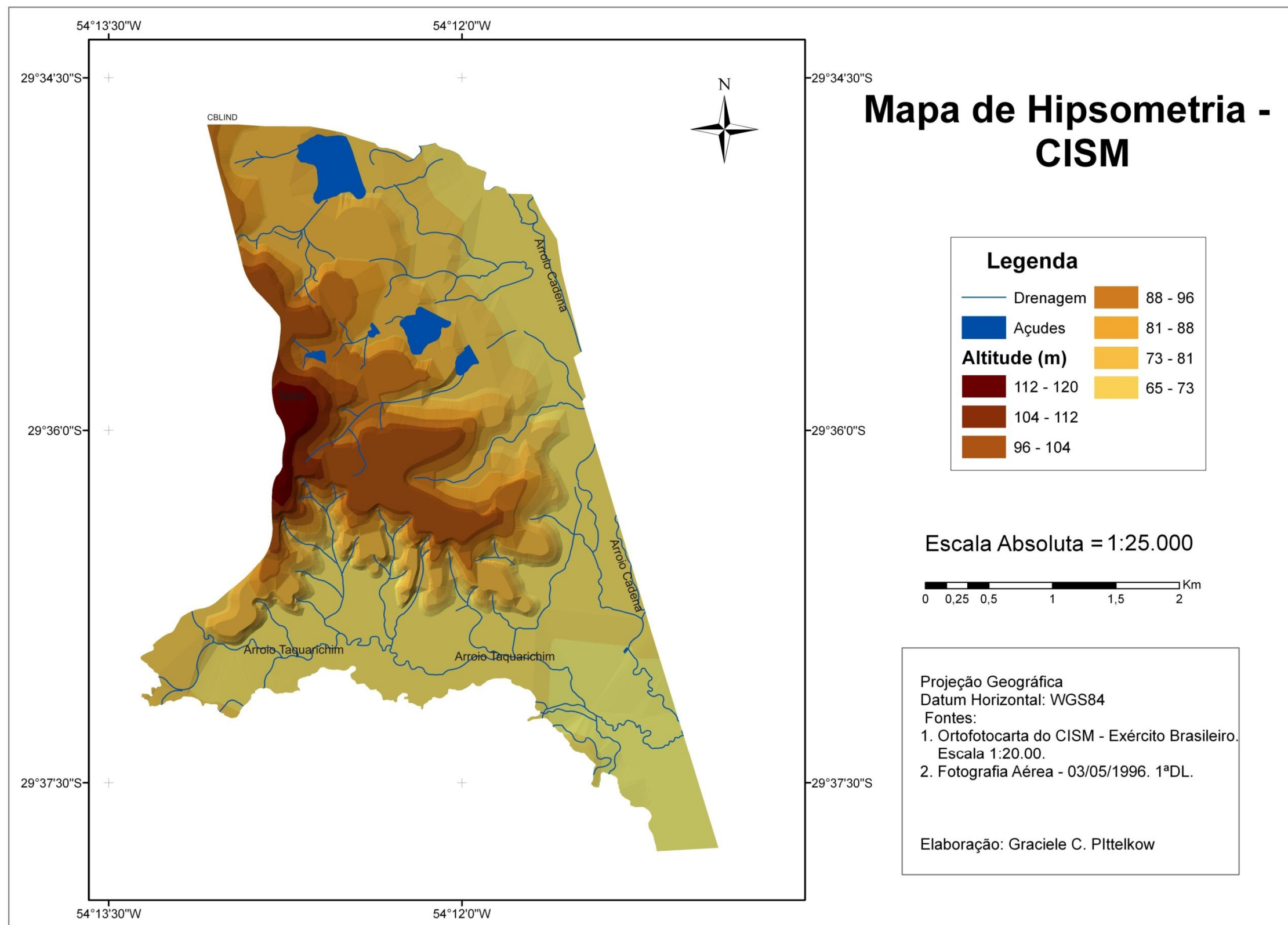


Figura 24 - Mapa de Hipsometria. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

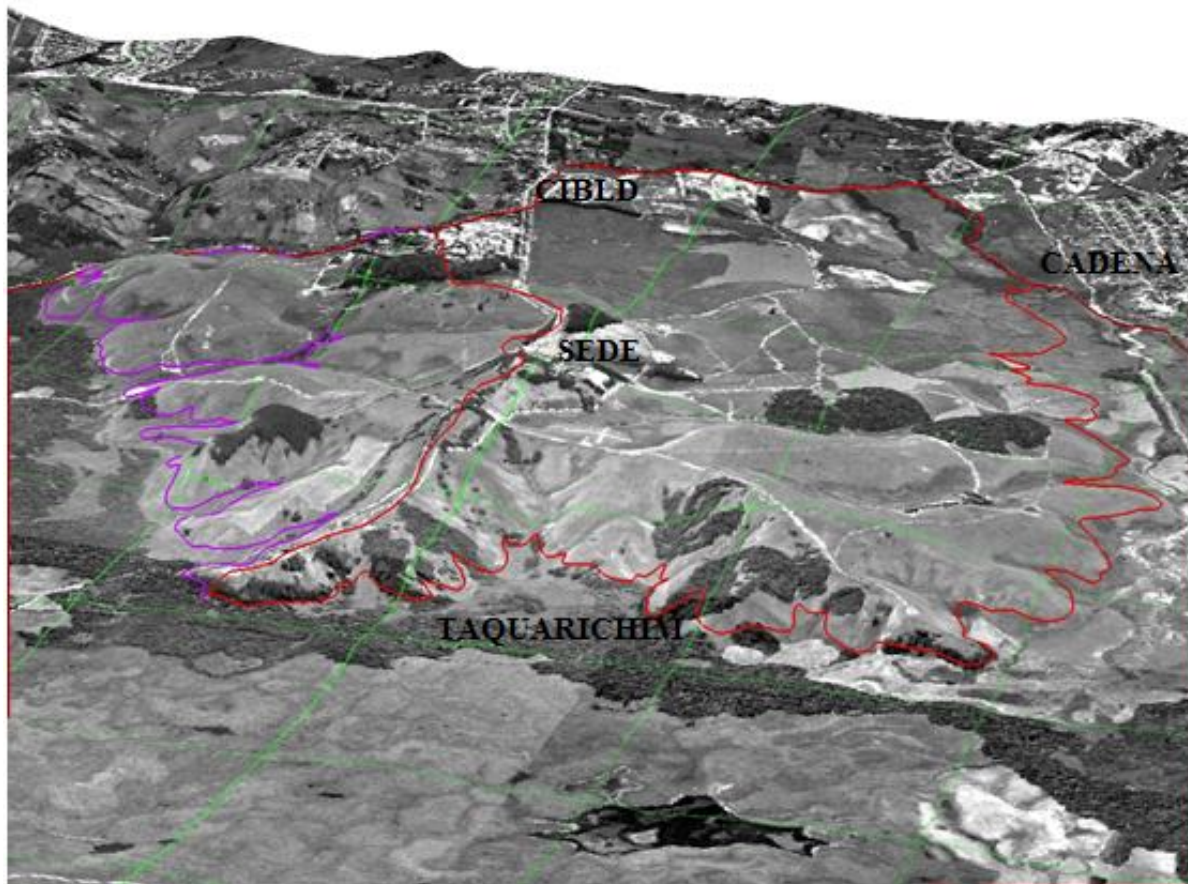


Figura 25 - Imagem 3D gerada com ortofotocarta (1:20.000) do Campo de Instrução de Santa Maria. Elaborado por Dionísio Sangói (2011).

4.1.2 Declividade

Para a elaboração do mapa de declividade (Figura 26) dividiu-se o terreno em cinco classes conforme metodologia do IPT (1991), modificada: de 0-2%, 2-5%, 5-15% e 15-30%. A Tabela 8 apresenta as classes de declividade, a área que elas ocupam em Km², o que representam em termos de porcentagem sobre a área total do CISM, os processos superficiais mais importantes e a restrição ao uso.

Tabela 8 - Classes de declividade para a área do CISM. Modificado de IPT (1991).

Classes de Declividade (%)	Área (Km ²)	% da Área total	Processos superficiais	Restrição ao uso do solo
< 2	13,42	65,5	Área de deposição de sedimentos	Muito baixa
2-5	1,72	8,3	Área de transição dos processos de acumulação e início dos processos erosivos-	Baixa
5-15	4,61	22,3	Identificação dos processos erosivos pluviais	Média
15-30	0,86	4,2	Maior dificuldade para serviços de terraplanagem, implantação do sistema viário, drenagem, etc.	Alta
>30	0,06	0,3	Área de preservação-inestabilidade de encostas	Muito alta

A maior parte do CISM corresponde a áreas planas, em classe de declividade menor que 2% próximas às drenagens e nos topos planos das colinas. Estas são consideradas, com exceção dos topos planos de colinas, como áreas de acumulação de sedimentos provenientes dos processos erosivos. São áreas consideradas com baixa restrição de uso quando relacionada ao tipo de processo superficial predominante.

A classe de declividade de 2 a 5% associam-se a base das colinas, numa faixa de transição, de direção N-S, entre colinas e rampas de alúvio/colúvio como aquela junto à planície aluvial do Arroio Cadena. Essa classe de declividade pode ser considerada como de transição para ocorrência de processos superficiais de acumulação e início da erosão.

As declividades entre 5 e 15% predominam nas áreas de colinas suaves, junto as suas vertentes. Na área estudada, grande parte dos terrenos com esta declividade encontra-se nas vertentes voltadas para norte relacionadas à faixa de terras elevadas de direção NW-SE que ocupa sua parte central. Já as declividades maiores e que variam entre 15-30% e em alguns pontos maiores de 30% têm pouca representatividade na área e concentram-se nas vertentes voltadas para sul desta faixa elevada. Nestes locais os terrenos são mais íngremes e a energia do relevo é mais acentuada o que acelera os processos superficiais.

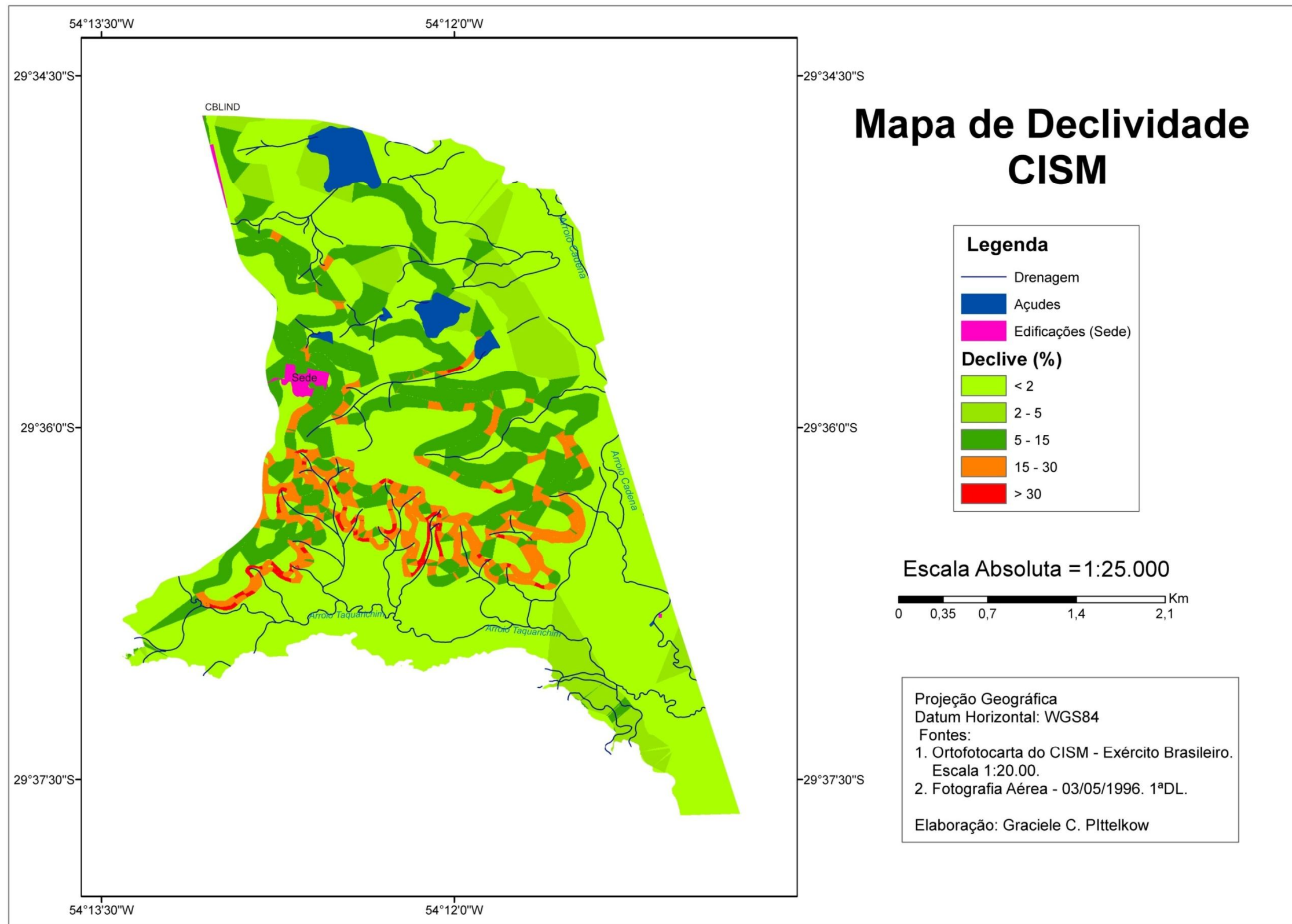


Figura 26 - Mapa de Declividade. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

4.1.3 Geologia

Com base na revisão bibliográfica e nos trabalhos de mapeamento, foram identificadas quatro unidades geológicas distintas no CISM conforme Figura 27. Na base da sequência geológica ocorrem as rochas sedimentares da Formação Santa Maria, Membro Alemoa e sobre elas, em porções mais elevadas do terreno, os arenitos da Formação Caturrita. A Formação Caturrita é coberta por depósitos de terraços aluviais. Junto aos arroios Taquarichim e Cadena ocorre uma extensa faixa de depósitos aluviais.

A Figura 28 mostra a coluna estratigráfica, modificada de Scherer *et al.* (2000) que representa as Formações Geológicas mapeadas na área de estudo.

A Formação Santa Maria é composta pelo Membro Passo das Tropas, localizado na base da sequência geológica e do Membro Alemoa, acima dele. Na área pesquisada, encontra-se praticamente somente as rochas do Membro Alemoa, porém de forma localizada foi identificada uma zona de transição entre este e o membro Passo das Tropas junto ao CIBLD, no ponto de amostragem denominado PI (o material será descrito juntamente com os resultados dos ensaios).

As rochas que compõem o Membro Alemoa são siltitos argilosos e argilitos de cor predominantemente rosa a avermelhados dispostos em camadas lenticulares, que ocorrem intercaladas com lentes arenosas de espessura e extensão lateral variadas. Essas rochas ocorrem na área de estudo formando os relevos em colinas suaves. Em afloramento, essa rocha exposta a ciclos de umedecimento e secagem e por apresentar argilas expansivas (esmectitas, conforme Maciel Filho, 1990) desagrega-se formando pastilhas centimétricas a milimétricas que se destacam do maciço (Figura 29). A grande perda de material por erosão nesta unidade se dá após um período seco seguido de chuva intensa que é capaz de carregar este material já desagregado.

A resistência à erosão destas rochas é baixa e os taludes, tanto de corte quanto naturais, quando não são cobertos por vegetação, comumente apresentam sulcos e ravinas.

Os argilitos são praticamente impermeáveis e os siltitos argilosos e arenitos podem ser considerados como semipermeáveis (Maciel Filho, 1990). Após períodos de chuva, observou-se nos trabalhos de campo que nos solos desta unidade ocorre acumulação de água devido à impermeabilização das camadas argilosas que na área apresentam uma distribuição irregular, tanto em profundidade quanto em extensão.

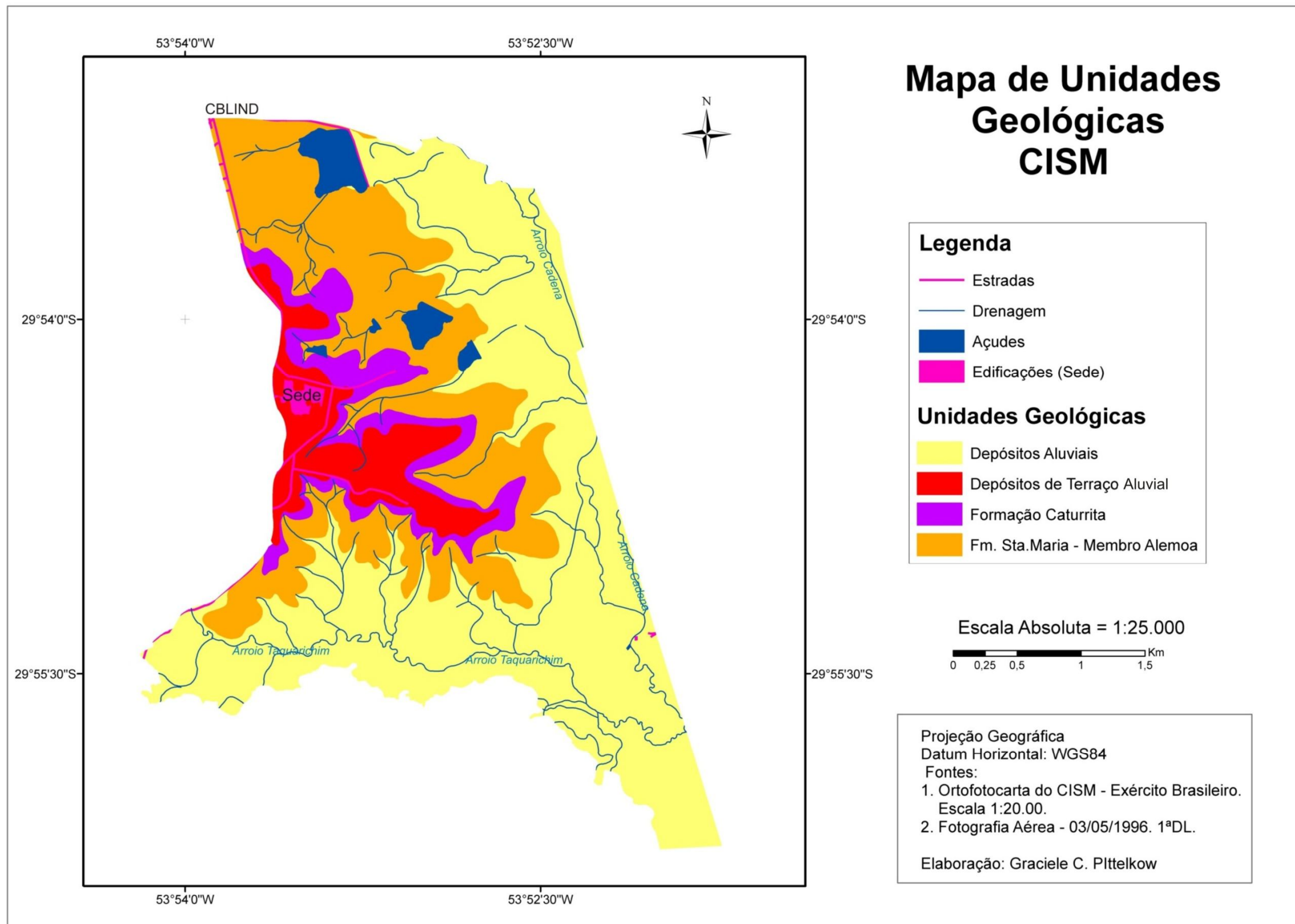


Figura 27 - Mapa de unidades geológicas. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

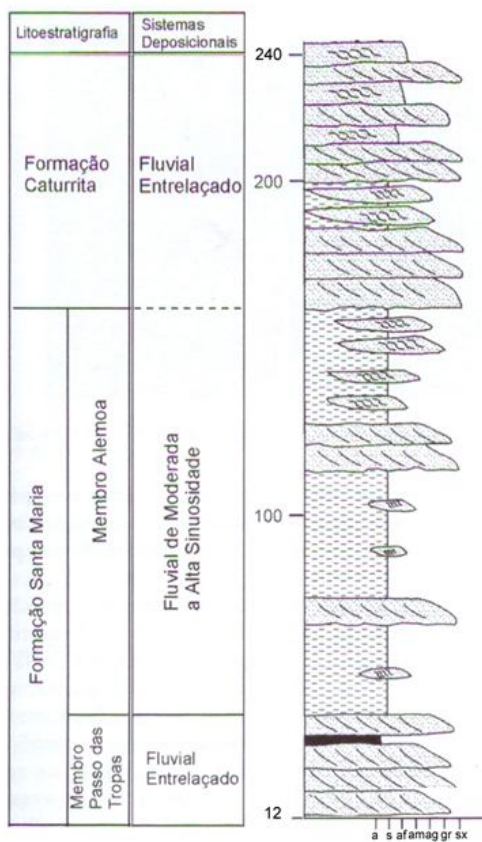


Figura 28 - Coluna estratigráfica com as Formações Geológicas mapeadas no CISM.
Modificada de Scherer *et al.* (2000)



Figura 29 - Siltitos argilosos da Formação Santa Maria, Membro Alemoa com feições de “empastilhamento”.

A Formação Caturrita encontra-se junto às porções mais elevadas do CISM. É formada por arenitos que variam de finos à conglomeráticos, de cor rosa a cinza claro com quartzo predominantemente e feldspatos e estratificações planares de pequeno a médio porte (Figura 30). Podem ocorrer intercalações com lentes de siltitos de cor avermelhada. A alteração do material aparece principalmente como uma descoloração dos feldspatos (tornam-se esbranquiçados) e remoção do cimento o que facilita a desagregação da rocha diminuindo sua resistência aos processos erosivos.

Conforme Maciel Filho (1990) esta Formação apresenta comportamento hidrogeológico distinto alternando camadas permeáveis e semipermeáveis. Os arenitos conglomeráticos junto ao ponto de amostragem denominado Perfil II, podem ser considerados permeáveis. A alimentação destes aquíferos se dá, na área do CISM, por exposição destas rochas (afloramentos), visto que não ocorrem as formações geológicas sobrepostas. Desta forma, podem ocorrer contaminações do lençol freático com maior facilidade nos locais de afloramento destas rochas.



Figura 30 - Afloramento de arenitos finos a médios da Formação Caturrita.

Após eventos chuvosos pode-se observar com facilidade a ocorrência de fontes em áreas elevadas próximas ao Arroio Taquarichim, que representam o contato dos arenitos basais da Formação Caturrita com a Formação Santa Maria – Membro Alemoa.

Os depósitos de Terraço aluvial na área do CISM capeiam as rochas da Formação Caturrita em sua maior parte (Figura 31) e são responsáveis pela presença de colinas com topos achatados com espessura que varia de 5 a 20m. Apresentam cor marrom avermelhada são arenosos a areno-conglomeráticos com grânulos de quartzo e calcedônia comumente. Podem apresentar linhas de seixos quando vistos em corte de estrada. Desenvolvem perfil pedogenético que será apresentado quando da descrição do material do Perfil II. No CISM este material está sendo usado como empréstimo para aterro e revestimento de estradas.

Os Depósitos aluviais estão associados aos Arroios Cadena e Taquarichim e são compostos por sedimentos arenosos principalmente. Os depósitos aluvionares recobrem as rochas da Formação Santa Maria. Os materiais são inconsolidados e permeáveis e o lençol freático se encontra a pouca profundidade o que o torna suscetível a poluição.

Em relação à geologia estrutural, vê-se que os cursos d'água estão encaixados em fraturas ou falhas de direção preferencialmente NW-SE o que coincide com a direção da faixa de elevação de terreno que ocorre na porção central da área de estudo. Subordinadamente ocorrem estruturas de direção NE-SW e em menor quantidade N-S, onde se vê normalmente os cursos d'água de primeira ordem. Rochas sedimentares finas como argilitos e siltitos argilosos têm um comportamento mais dúctil em relação aos falhamentos o que não ocorre com os arenitos que respondem ao processo de forma frágil rompendo-se. Isto explica o fato de que na área somente foram encontrados afloramentos fraturados em arenitos da Formação Caturrita.



Figura 31 - Terraço Aluvial (área de empréstimo).

4.1.4 Solos

Associado à geologia temos a formação de solos, que na área de estudo são em grande maioria Argissolos classificados como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (Unidade São Pedro) e Argissolo Bruno Acinzentado (Unidade Santa Maria) conforme Figura 32. Próximo ao limite da área com o CIBLD foi mapeado um perfil de solo do tipo Cambissolo que será descrito com mais detalhes no Perfil I.

Somando-se toda a área correspondente aos Argissolos, temos uma área com proporção semelhante correspondente à presença de Planossolos. Estes por sua vez, situam-se próximo as várzeas dos arroios Cadena e Taquarichim, que servem de limite para a área de estudo desta pesquisa.

Os Argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos, variando de bem drenados a imperfeitamente drenados apresentando um perfil com sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C onde o horizonte Bt é do tipo B textural. Estes solos apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso do que os horizontes A e E.

Na área, os Argissolos Vermelho Distrófico Arênico (Unidade São Pedro) ocorrem principalmente sobre as rochas da Formação Caturrita, em porções mais elevadas, no centro e numa faixa que se estende de NW para SE. São solos profundos, avermelhados com textura superficial arenosa (horizonte A), friáveis, bem drenados. Apresentam os horizontes A, B e C bem diferenciados. A erosão é moderada a forte principalmente do solo saprolítico que desenvolve sulcos e ravinas rapidamente como pode ser visto nas estradas que dão acesso a jazida de material de empréstimo do CISM.

Os Argissolos Bruno Acinzentados (Unidade Santa Maria) são os que ocupam o segundo lugar em maior área no CISM e ocorrem sobre a Formação Santa Maria. Apresentam perfis medianamente desenvolvidos com horizonte A profundo de coloração bruno muito escura a bruno acinzentada escura, textura arenosa. O horizonte B é pouco espesso com coloração amarelada e textura siltosa e o C é muitas vezes bem espesso com material em diferentes níveis de alteração.

Em campo foi possível observar que estes solos são pouco drenados e desta forma apresentam baixa capacidade de trafegabilidade em épocas de chuva. Em áreas sem vegetação desenvolvem erosão por sulcos e ravinas que atingem muitas vezes o solo saprolítico. Na estrada que acompanha o limite do CIBLD com o Campo de Instrução , a retirada da

cobertura vegetal e a concentração do fluxo de água paralelo a estrada fez com que o processo erosivo evoluísse ultrapassando o nível de solo saprolítico atingindo a rocha .

Os Planossolos (Unidade Vacacaí) encontram-se junto às planícies aluviais dos arroios Cadena e Taqarichim e representam uma grande parte do CISM. São solos mal a imperfeitamente drenados, de cores acinzentadas . O horizonte A superficial é bruno escuro ou cinzento escuro, franco. Já o horizonte B é bruno acinzentado franco arenoso a argiloso e o horizonte C cinzento.

Tanto os Argissolos Vermelhos quanto os Vermelho-Amarelos apresentam uma fragilidade natural relativa aos processos erosivos. Estes solos apresentam uma textura arenosa nos horizontes superficiais (A+E), onde ocorre uma rápida infiltração da água, que diminui no horizonte B textural (mais argiloso) 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 rapidamente se a espessura dos horizontes A+E for pequena, dando início ao escoamento superficial da água. Como resultado tem-se erosão em sulcos e ravinas, culminando com a formação de voçorocas.

Desta forma, 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 (STRECK *et al.*, 2008).

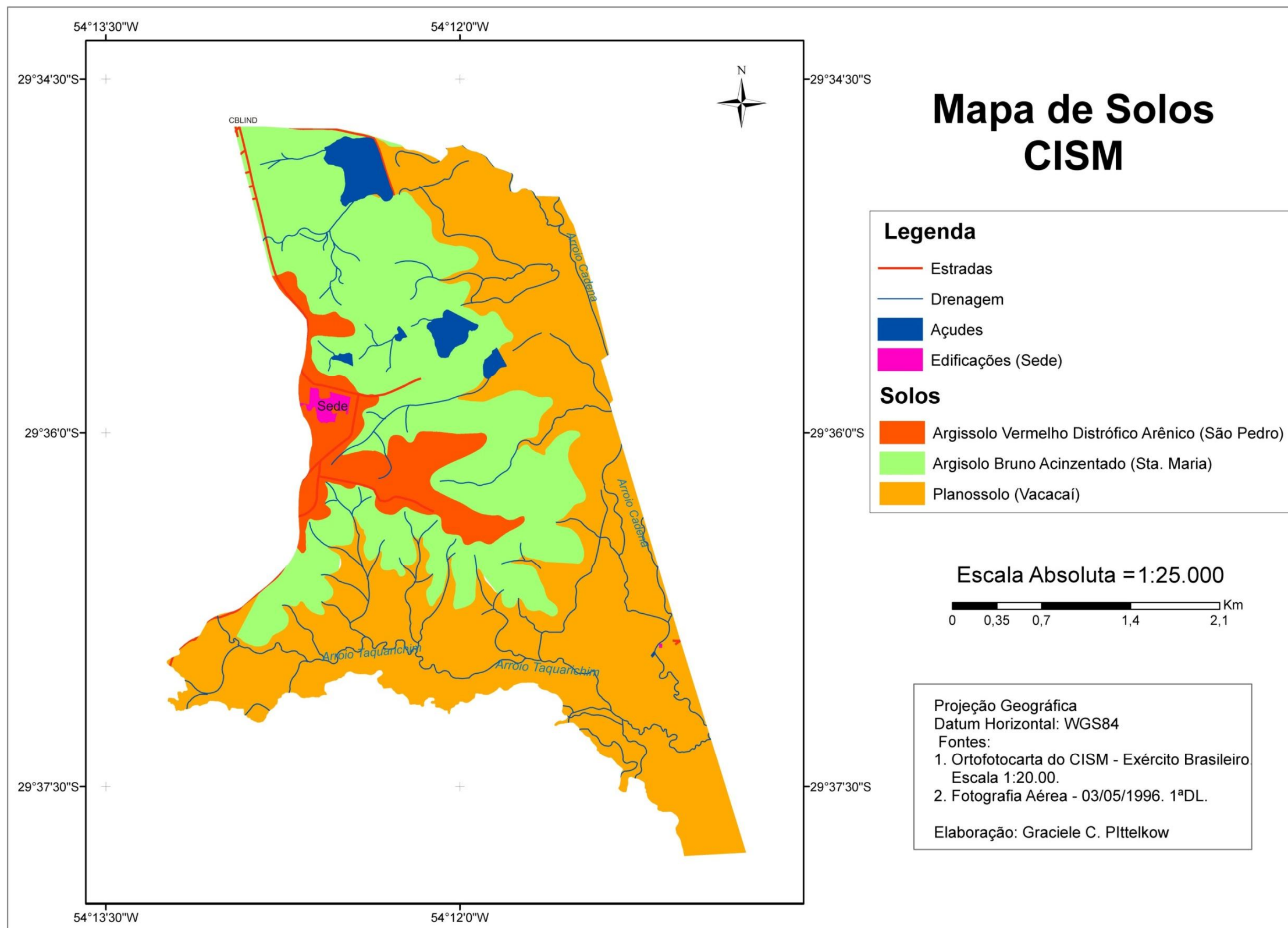


Figura 32 - Mapa de Solos. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

4.1.5 Uso dos Solos e APP's

Com base nos trabalhos de campo e nas imagens do Google Earth –Pró (ano de 2010) foram definidas, para a área de estudo, as seguintes classes de uso do solo: rotas de tráfego dos blindados e viaturas, edificações (sede), açudes (corpos d'água), solo exposto, mata/floresta, campos e banhado (Figura 33).

Observando o mapa da Figura 33 vê-se que grande parte da área corresponde a campos e matas na forma de fragmentos. Junto ao Arroio Taquarichim a área de mata se mostra como um elemento contínuo o que é positivo para a conservação da biodiversidade. Já a Leste junto ao Arroio Cadena, tem-se a inexistência de vegetação nativa, o que certamente resulta em processos de assoreamento do leito do rio, assim como de processos de erosão das suas margens.

A predominância de campos torna viável o uso da área para o manuseio de veículos pesados, assim como a grande presença de açudes/barramentos é explicada pela necessidade de tais locais para a realização dos treinamentos militares.

Nota-se a presença de áreas de banhado localizadas próximas às drenagens dos cursos principais e que delimitam o limite sul e leste da porção estudada da área do CISM. As áreas de solo exposto concentram-se próximo ao CIBLD e a rota Bosque de Pinus, que são locais por onde entram a maioria dos blindados no Campo. Esta classe representa áreas onde a camada de solo superficial já foi erodida e o uso vem intensificando os processos de desagregação das camadas mais subsuperficiais.

As estradas e rotas de blindados são locais de solos expostos e intenso processo de desagregação e erosão em sua grande maioria.

Procurando avançar na avaliação da fragilidade da área em relação aos processos erosivos, foi construído um mapa de conflitos ambientais relativos a áreas de APP's. Este mapa foi cruzado com o de uso do solo resultando no mapa da Figura 34.

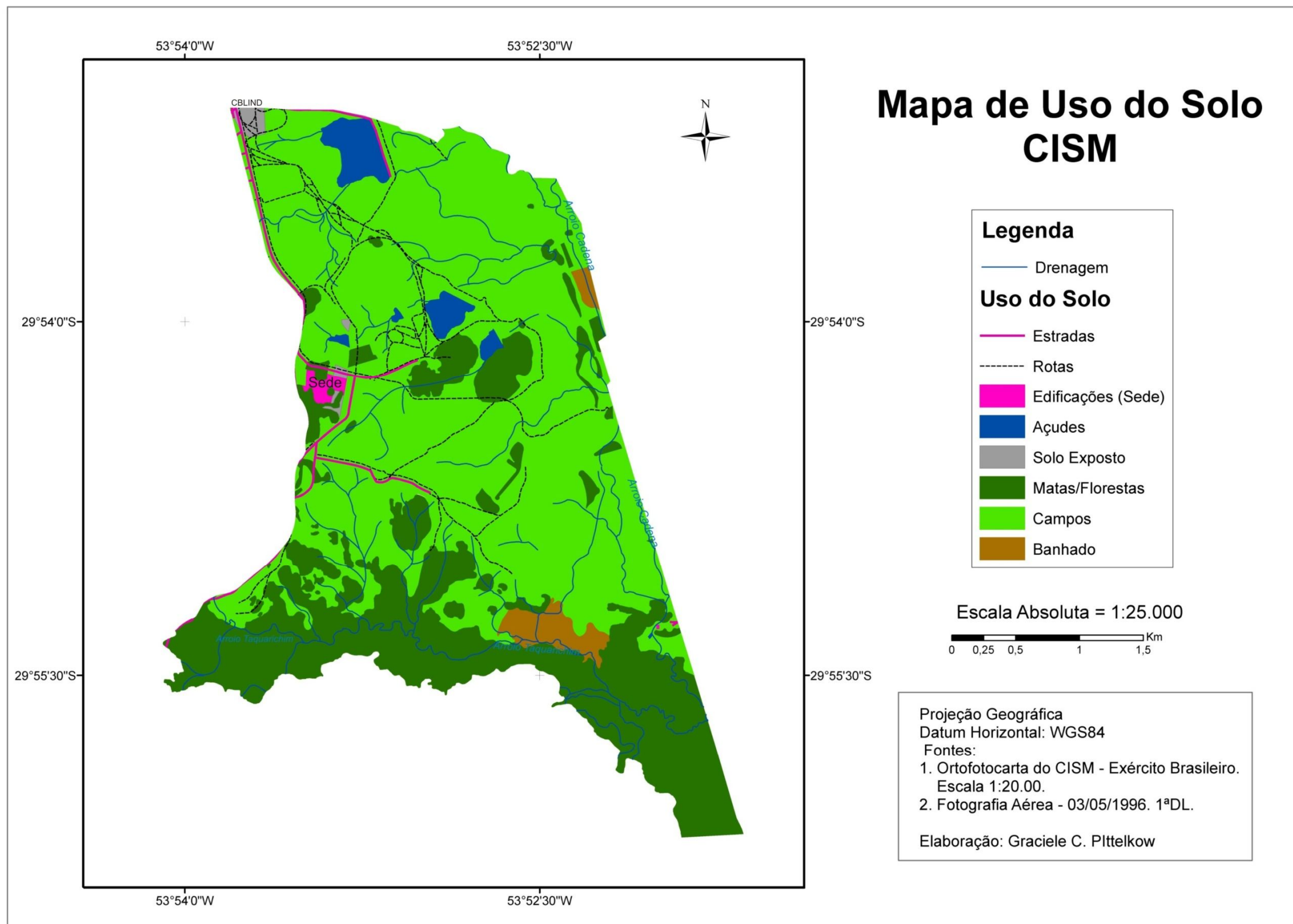


Figura 33 - Mapa de Uso do Solo. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

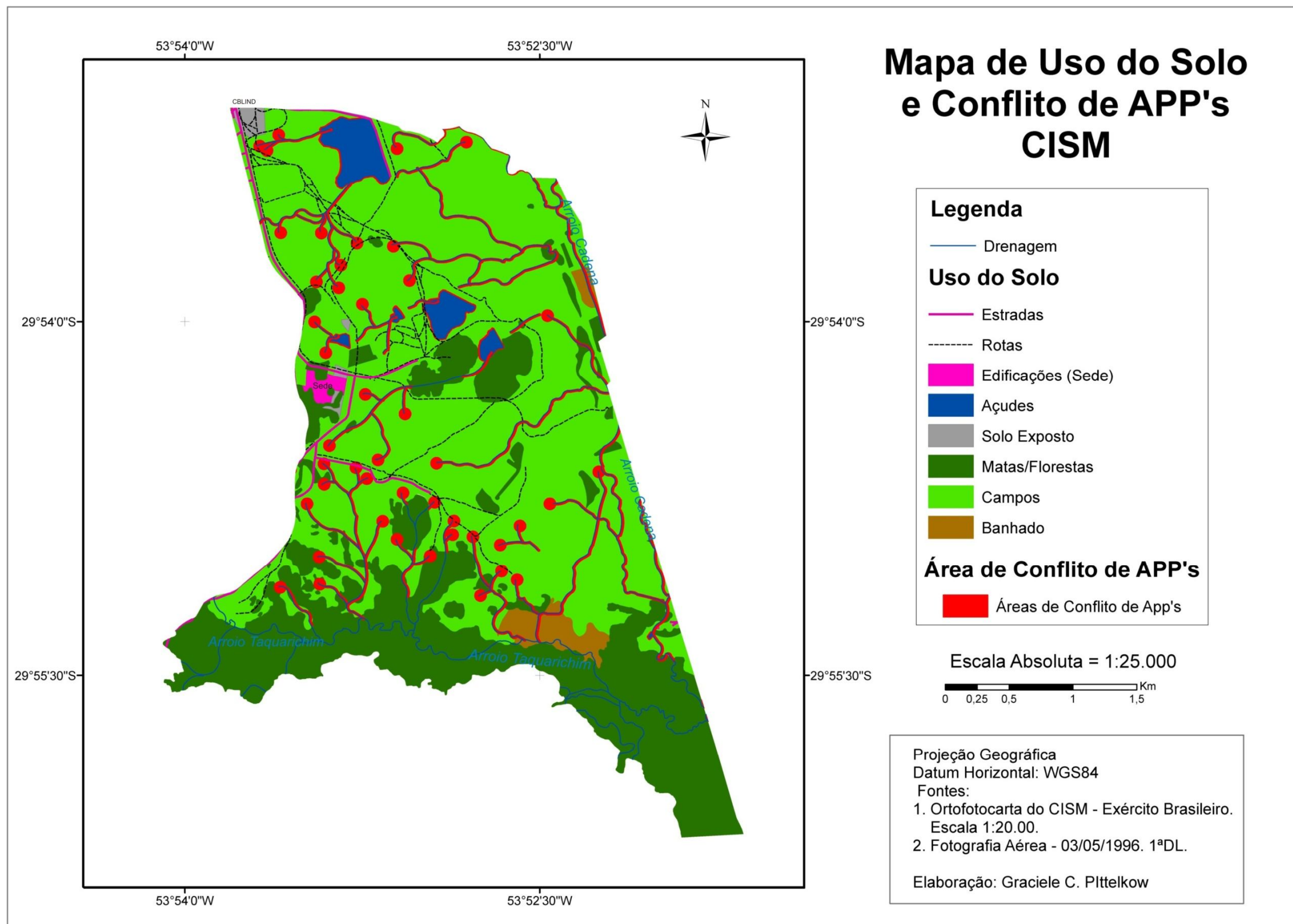


Figura 34 - Mapa de Uso do Solo e Conflito de APP's. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

Os conflitos referentes ao uso do solo em relação às Áreas de Preservação Permanente (APP's) estão localizados junto ao Arroio Cadena (Figura 35) e às drenagens de primeira e segunda ordem que deságuam no Cadena e as de primeira e terceira ordem que deságuam no Taquarichim. Nestes cursos d'água não há vegetação em suas margens nem preservação de suas nascentes, o que facilita os processos erosivos e o aporte de sedimentos e conseqüentemente o assoreamento. Vale salientar que muitos destes cursos d'água são atravessados por rotas de blindados o que acelera ainda mais o processo erosivo de suas margens.

Há conflito também em áreas de barragens que não possuem vegetação ao seu redor. Da mesma forma, não havendo vegetação o aporte de sedimento provindo da erosão de áreas adjacentes é muito maior. Isso causa o assoreamento dos reservatórios d'água e intervém, inclusive, na biodiversidade da fauna e da flora. Pois interrompe os corredores ecológicos imprescindíveis ao fluxo gênico das espécies. Além disso, vale ressaltar que a cobertura vegetal é o suporte para as cadeias tróficas e inúmeras interações entre os organismos, bem como sua íntima ligação com o solo e o meio físico constitui a base dos ecossistemas.



Figura 35 - Foto de altitude do Arroio Cadena mostrando área de assoreamento e ausência de vegetação em suas margens à jusante do CISM. Foto cedida pelo Exército.

Sendo assim, a ausência de vegetação nessas barragens causa vários danos e, em períodos de chuva intensa, tais barragens podem romper-se e carregar estes sedimentos para o arroio Cadena que já tem problemas de assoreamento em diferentes pontos de seu curso (Figura 36).

O Arroio Taquarichim, no entanto, apresenta densa vegetação natural ultrapassando inclusive o que é estipulado por lei, o que pode ser confirmado ao cruzar informações relativas às áreas consideradas como APP's com Código Florestal de 1989 (Lei 7.803/89), que foi utilizado como norteador deste trabalho (Figura 37).

Segundo a Lei 7.803/89 do Código Florestal, em seu artigo 3º, tem-se que as APP's são vegetações naturais destinadas a amenizar/atenuar processos erosivos, que assegurem as condições de bem-estar público, assim como as que auxiliem na defesa do território nacional, sendo que neste caso, a sua delimitação como APP fica a critério das autoridades militares.

Os processos erosivos poderiam ser minimizados enormemente se fosse realizada uma campanha de recuperação desta vegetação, principalmente nos cursos d'água que são interceptados por rotas de blindados e nas barragens.



Figura 36 - Pontos de assoreamento e escorregamento de margem a jusante da área no CISM, no arroio Cadena. Foto cedida pelo Exército.



Figura 37 - Fotografia de altitude mostrando área preservada do arroio Taquarichim. Foto cedida pelo Exército.

4.2 Feições superficiais relacionadas ao uso

Os impactos ambientais identificados na área de estudo estão relacionados principalmente aos processos superficiais como erosão (sulcos, ravinas e voçorocas e erosão de margem) e assoreamento. Neste trabalho optou-se por construir uma carta imagem identificando estes processos que, segundo esta pesquisa, foram acelerados pela forma como a área vem sendo utilizada.

A entrada e saída dos blindados do CISM se dá, na maioria das vezes, pelo Centro de Instrução de Blindados (CIBLD). Neste local ocorre uma intensa desagregação e erosão do solo devido ao fluxo de veículos pesados. Recentemente foi construída uma rampa de concreto para acesso dos blindados ao CISM. No entanto, essa rampa, logo após a sua construção, proporcionou a concentração do fluxo de água no local aumentando sua velocidade e conseqüentemente a erosão em sua parte final, fazendo com que o material erodido fosse depositado mais adiante (Figuras 38 e 39). Ao ser constatado tal problema, no ano de 2011 o Exército providenciou uma área de dissipação de energia (com material britado) ao final desta rampa o que minimizou o problema.



Figura 38 - Fotografia de altitude. Parte inferior da fotografia-rampa de acesso ao CISM e rampa para lavagem de Blindados. Ponto de amostragem PI. Foto cedida pelo Exército.



Figura 39 - Rampa de acesso ao CISM, pelo CIBLD já com a área de dissipação.

Além disso, a lavagem dos blindados ocorre próxima a esta rampa provocando o lançamento da água diretamente sobre o solo que pode ser contaminado por óleos e graxas.

Outra observação realizada em campo é que em vários locais o horizonte do solo já foi retirado por erosão, principalmente nas áreas mais elevadas do CISM, onde ocorrem materiais mais arenosos. Nestes locais ocorrem sulcos e ravinas relacionados principalmente a falta de um sistema de drenagem das estradas e pela compactação do material pelos veículos pesados, o que dificulta a infiltração da água da chuva. Quando esta camada superficial é rompida formam-se grandes sulcos onde se pode ver inclusive a formação de alcovas de regressão, mecanismo pelo qual a erosão avança rapidamente. (Figura 40)



Figura 40 - Alcova de regressão. Estrada paralela à cerca que limita o CISM e o CIBLD.

Um dos maiores problemas ambientais e que causa uma grande desagregação do solo está relacionado à passagem dos blindados pelos cursos d'água (chamados de vaus). Quando a passagem se torna impossível devido à grande desagregação, os blindados procuram locais alternativos, laterais aos anteriores o que aumenta a área impactada (Figura 41). O material desagregado é transportado para os cursos d'água que ficam assoreados.



Figura 41 - Passagem de blindado no curso d'água procurando rota alternativa.

No CISM ocorrem inúmeras áreas onde o solo encontra-se permanentemente saturado, normalmente em regiões topograficamente mais baixas ou associadas à presença de materiais mais argilosos que tem baixa permeabilidade. Estes locais são verdadeiros “atoleiros”, inclusive para os blindados. Quando estão mais secos eles são ultrapassados, mas tornam-se bastante revolvidos o que expõe os materiais mais profundos aos processos superficiais (Figura 42).



Figura 42 - Locais onde o solo encontra-se permanentemente saturado.

De maneira geral, observou-se que os maiores impactos ambientais que ocorrem no Campo de Instrução estão relacionados à erosão por fluxo concentrado de água tanto natural quanto servida. Sulcos, ravinas e voçorocas ocorrem em estradas pela falta de drenagem e manutenção dessas. A utilização da área por equipamentos pesados compacta o solo intensificando o fluxo superficial e conseqüentemente os processos erosivos. Em áreas onde não há cobertura de solo e o tráfego ocorre sobre a rocha alterada a erosão é ainda mais acentuada originando sulcos e ravinas, pois este material, desagrega facilmente.

Os mapas temáticos elaborados serviram de subsídio para as discussões a respeito dos problemas ambientais do CISM. Em reunião realizada com os militares responsáveis pela manutenção do campo (novembro de 2011), foram discutidos os principais impactos ambientais encontrados na área. Estes impactos foram localizados na carta imagem da Figura 43 e foram denominados de feições superficiais associadas ao uso.

As principais feições superficiais associadas ao uso que ocorrem na área do CISM são: erosão de margem; erosão por sulco, ravina e voçoroca; assoreamento e áreas de atoleiro, que são descritas com mais detalhes a seguir:

1. Erosão às margens de cursos d'água causada pela passagem de blindados (Figura 44), identificadas como "EM" na carta imagem. A passagem dos blindados desagrega o solo/rocha aumentando a área erodida e conseqüentemente gerando assoreamento à jusante. Ocorrem em diversos pontos da área, onde as rotas de blindados ou estradas cortam os cursos d'água. Estes pontos já foram levantados pelos militares com previsão de colocação de pontes onde até o momento duas foram construídas (Figura 45). A passagem dos blindados somente pelas pontes evita a erosão naquele local e nas suas vizinhanças o que vinha ocorrendo quando da busca por passagens alternativas.

Avaliando as pontes já concluídas, vê-se que falta um sistema de drenagem superficial junto as suas cabeceiras. No caso da ponte próxima ao CIBLD, (ela recebe toda a água que provém do divisor onde se localiza a Avenida do Exército) vê-se a formação de sulcos junto às cabeceiras e ao aterro o que pode, futuramente, comprometer a sua estrutura. Além disso, é muito importante que as margens dos cursos d'água recebam uma cobertura vegetal como forma de preservação da estrutura e controle dos processos erosivos.

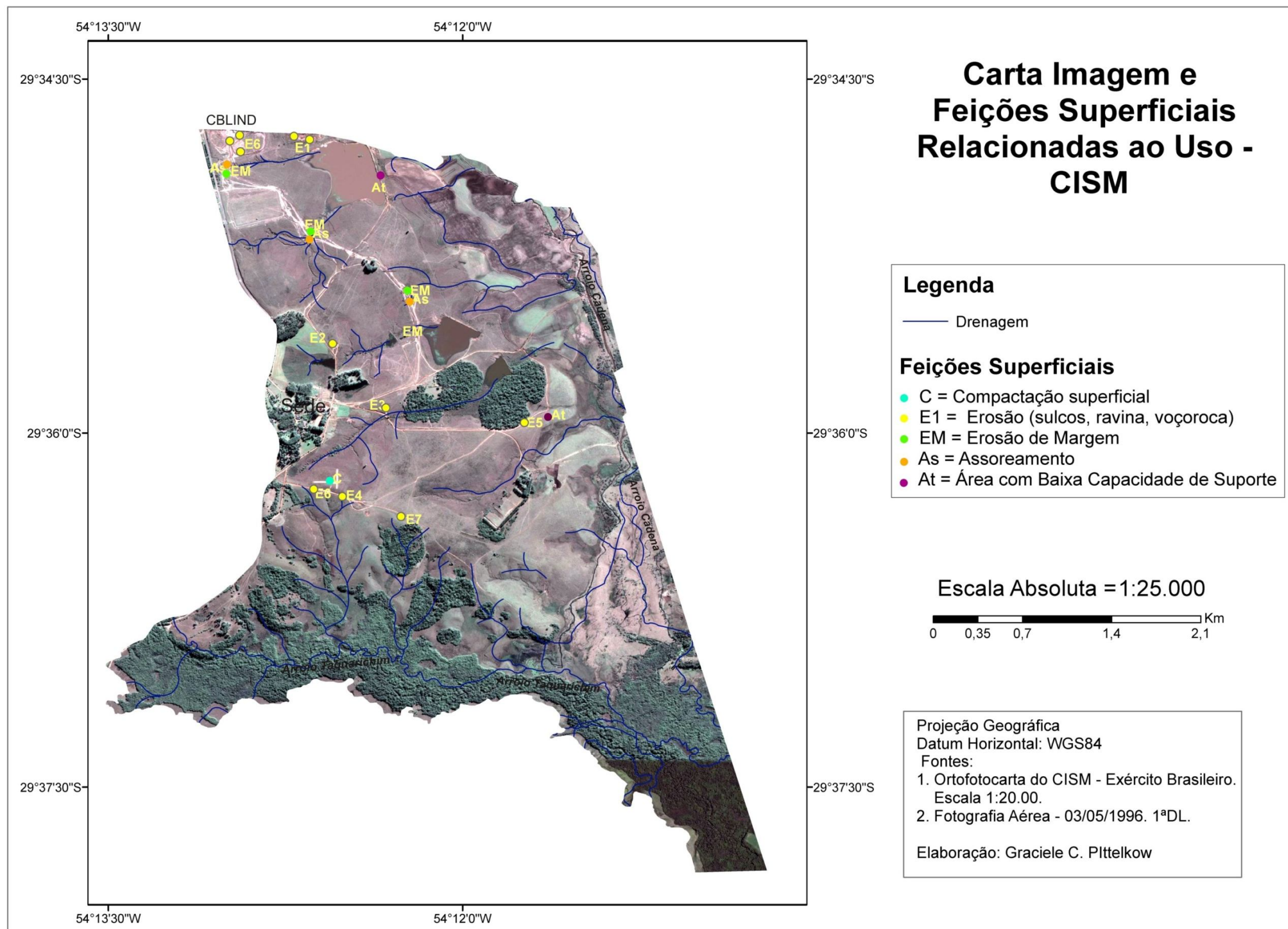


Figura 43 - Carta imagem representando as feições superficiais associadas ao uso. Elaborada por Graciele Pittelkow, 2011.



Figura 44 - Erosão de margem causada por passagem de blindados.



Figura 45 - Ponte construída próximo ao CIBLD.

2. Erosão por sulcos, ravinas e voçorocas (Figura 46). Na maioria das estradas e rotas para passagem de blindados vê-se a formação de sulcos e ravinas causados por fluxo superficial concentrado devido à inexistência de drenagem a falta de manutenção.

Na estrada paralela ao limite do Campo com o CIBLD ocorre um processo bastante acelerado de erosão em ravinas originada pelo fluxo d'água superficial que provém de uma outra estrada que encontra-se com esta (Figura 47). Na estrada principal encontra-se material laterítico, bastante resistente, porém, o fluxo de água que chega neste local forma alcovas de regressão que erodem as camadas inferiores deixando as camadas lateríticas “em balanço” que posteriormente se rompem.

A estrada que dá acesso a área de material de empréstimo, está localizada sobre a unidade de terraço aluvial e apresenta sulcos e ravinas (ponto E3 da carta imagem). Ela foi construída sobre terreno escavado e tem como leito solo saprolítico e rocha alterada (Figura 48). Estas características confirmam o que autores como Griebler *et al.* (2005) afirmam sobre maior erosão em estradas construídas em cortes profundos sobre horizontes menos estáveis.



Figura 46 - Erosão no limite da estrada entre o CIBLD e o CISM.



Figura 47 - Erosão em ravinas originada pelo fluxo d'água superficial no encontro de duas estradas.



Figura 48 - Sulcos e ravinas desenvolvidos em estrada sobre material de alteração.

Estrada como aquela junto à pista de pouso (E8 na carta imagem) apresenta sua camada de leito compactada (legenda C na carta) pela passagem de veículos pesados. Esta camada mostra gretas de contração (em períodos de seca) devido à presença de argilas expansíveis (Figura 49). A compactação reduz a infiltração de água no solo e aumenta o fluxo superficial o que causa o aparecimento de sulcos e ravinas (Figura 50) e conseqüentemente o assoreamento dos cursos d'água próximos. Esta constatação corrobora os estudos de Griebeler *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2009).

Na área foi identificada também uma voçoroca, próxima à área do Centro de Instrução de Blindados (CIBLD) que foi originada pelo lançamento de água servida ou pluvial. Esta voçoroca foi escolhida como ponto de amostragem denominado de Perfil I (PI) e será descrita posteriormente.

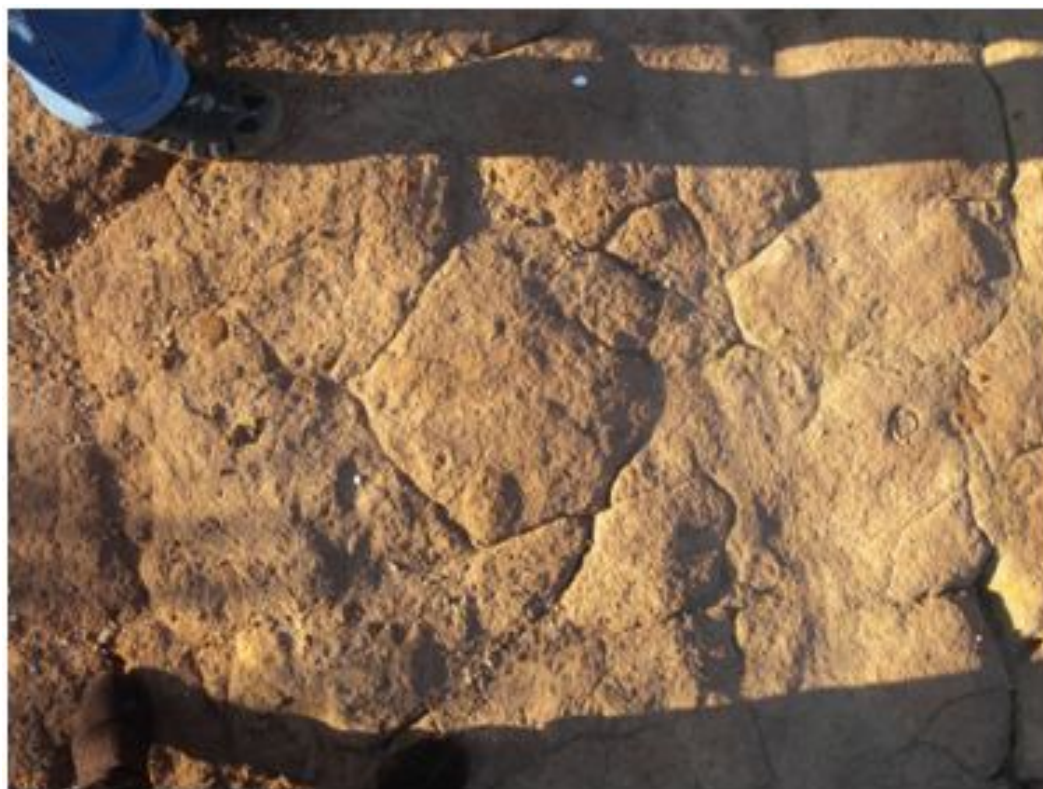


Figura 49 - Gretas de contração em material compactado.



Figura 50 - Sulcos e ravinas desenvolvidos em estrada cujo material do leito está compactado.

3. Presença de “borrachudos” ou atoleiros devido à baixa capacidade de carga do solo e a presença de lentes de siltitos/argilitos intercaladas com arenitos (Figuras 51 e 52).

Algumas destas áreas estão representadas na carta imagem como “At”. São locais mais baixos topograficamente (recebem água dos locais mais altos) localizados em terrenos onde ocorre uma intercalação tanto horizontal quanto vertical de lentes e camadas de arenitos e siltitos/argilitos. Estes materiais apresentam diferença de permeabilidade e, assim como todos os solos, quando saturados tem sua resistência à deformação reduzida e sua capacidade de carga também. São locais de difícil trafegabilidade em períodos chuvosos, tanto para viaturas sobre rodas quanto para blindados.

Nestes locais normalmente os horizontes de solos superficiais já foram retirados por erosão e até mesmo para construção das estradas deixando exposto o solo saprolítico. Nas estradas, estes locais devem ser adequadamente drenados para que a umidade não altere as características de resistência do material de leito e não

comprometa sua utilização.



Figura 51 - Atoleiros ou “Borrachudos” devido à baixa capacidade de carga do solo.



Figura 52 - Atoleiros ou “Borrachudos” devido à baixa capacidade de carga do solo.

4. Áreas de assoreamento

Algumas das áreas de assoreamento estão localizadas na carta imagem como “As” e resultam do processo de transporte e deposição das feições erosivas já descritas anteriormente. Junto ao CIBLD há uma importante área de assoreamento originada pela erosão causada pela passagem dos blindados sobre material de alteração de arenitos e siltitos (Figura 53).

Algumas destas áreas se assemelham a “campos de areias” e são visíveis em períodos de tempo mais secos. Neste trabalho, estas áreas, embora com processo de formação diferenciado foram incluídas nas feições de assoreamento. As áreas de atoleiro quando ultrapassadas por equipamentos pesados são intensamente solicitadas (formação de sulcos e valas, ver Figura 51), porém, este material, em períodos de seca sofre um intenso processo de desagregação formando os “campos de areias”. Estas áreas tendem a se expandir lateralmente, pois quando da passagem dos blindados, em períodos chuvosos, eles tendem a escolher rotas alternativas, impactando novos locais. Estes materiais, quando localizados em porções de relevo mais elevadas podem ser carreados para os cursos d’água próximos.



Figura 53 - Área de assoreamento junto ao CIBLD.

Sabedores dos problemas ambientais que ocorrem no Campo de Instrução e prevendo o aumento das áreas impactadas visto que o Exército adquiriu um grande número de carros de combate nos últimos anos, no ano de 2009 a direção do CISM juntamente com os militares que utilizam esta área para exercícios militares elaboraram Normas de Utilização para o Campo de Instrução que consistiram, entre outras coisas, do estabelecimento de rotas para passagens de viaturas sobre rodas e de blindados (Figura 54).

As estradas e rotas mais impactadas devem ser utilizadas somente para passagem de viaturas sobre rodas que são mais leves. O campo foi sinalizado indicando estas passagens e esta norma tem sido cumprida. O uso da área deveria ser restrito a determinados períodos do ano de acordo com cada área de treinamento, fora dos quais seria realizada a sua manutenção. Esta norma no último ano, por exemplo, não foi cumprida visto que foram realizados exercícios em todo o período.

Uma das soluções apontadas pelo Exército para minimizar os impactos nos cursos d'água é a construção de 12 pontes nos chamados "vaus". Até o momento duas delas já estão construídas e tem dado bons resultados com exceção daqueles problemas descritos anteriormente relativos ao controle de drenagem nas cabeceiras destas pontes.

A relação entre a rede de drenagem e as rotas utilizadas por veículos pesados, faz-se necessária, visto que muitos processos erosivos surgem nos locais onde ocorre a sobreposição dessas duas classes. Assim por meio desse cruzamento de informações, torna-se viável um reordenamento das rotas, procurando formas alternativas para a manejo adequado da rede de drenagem e o (re)equilíbrio das áreas que apresentam processos erosivos passíveis de recuperação.

Cabe destacar, que tal proposta de manejo refere-se a estudos e projetos do próprio Exército Brasileiro e de oficiais do CISM. Muitas dessas propostas ainda não foram executadas, algumas foram ou estão sendo executadas. Esse plano de manejo poderá futuramente incorporar os dados advindos desta pesquisa e desta forma melhorar a qualidade ambiental da área e sua utilização de forma mais sustentável.

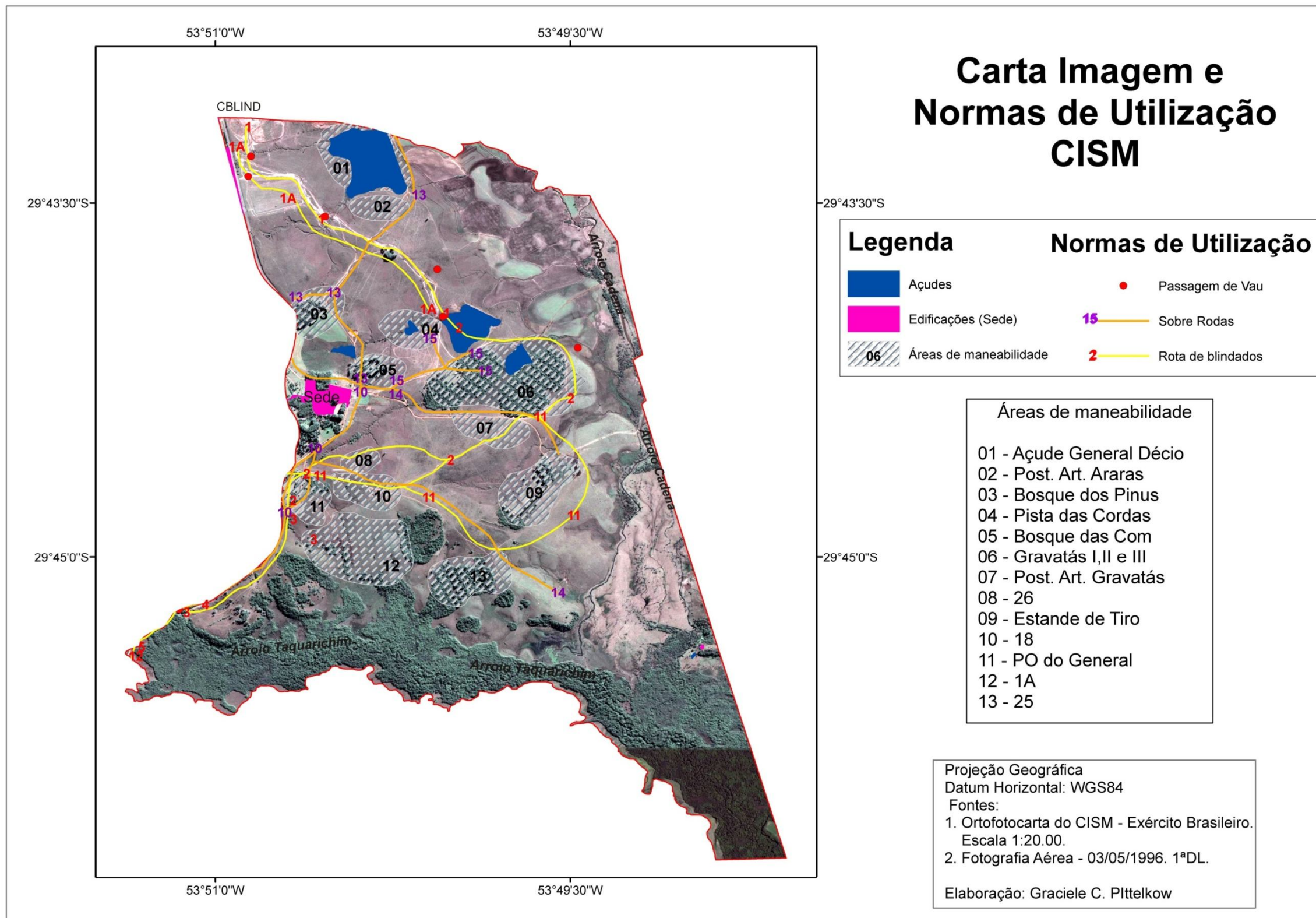


Figura 54 - Rotas para passagem de viaturas sobre rodas e blindados. Fonte: Normas de Utilização do CISM (2009). Elaborada por Graciele Pittelkow, 2011.

4.3 Resultados dos Ensaios de Laboratório

Com base na diferença de unidades geológicas e de solos e da presença de feições erosivas bastante significativas, foram escolhidos dois pontos para coleta de amostras e ensaios de laboratório. O primeiro deles, denominado de PI (Figura 38) junto a uma voçoroca (Figura 55) localizada próxima ao CIBLD (local de entrada dos blindados no Campo) e o segundo, denominado de PII, junto à jazida de material de empréstimo (Figura 56).

Com as amostras do Perfil I e II foram realizados ensaios de caracterização, determinação dos índices físicos e ensaios de avaliação indireta de erodibilidade como desagregação, perda de massa por imersão e infiltrabilidade. Os resultados são descritos a seguir.



Figura 55 - Voçoroca próxima ao CIBLD, ponto de amostragem PI.



Figura 56 - Fotografia de altitude com a localização do Perfil II. Foto cedida pelo Exército.

O PI desenvolve-se sobre uma transição entre o Membro Alemoa e o Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria caracterizado por uma intercalação de lentes de arenitos finos e siltitos argilosos e argilitos de cor avermelhada a cinza claro quando da descoloração por percolação de água que dissolve o ferro (agente cimentante da rocha). Sobre esta rocha ocorre cambissolo com horizonte B incipiente (Figura 57).

O perfil PI tem aproximadamente 1,80m do topo até a linha de base da voçoroca. Apresenta um horizonte A de cor marrom escuro arenoso com raízes de aproximadamente 50 cm. Abaixo deste ocorre um horizonte de rocha alterada cuja espessura varia entre 60 cm a 1m de cor marrom avermelhado com pontuações cinza claro. Mostra de forma incipiente estratificação horizontal. Abaixo desta, até o nível de base ocorre uma intercalação entre siltitos e argilitos de cor avermelhada com a presença de camadas cinza claro devido a lixiviação do ferro. Na base, os siltitos argilosos e argilitos mostram concreções de ferro (Figura 58). Foram amostrados deste perfil o horizonte A, a rocha alterada e a rocha.



Figura 57 - Perfil I (PI).



Figura 58 - Concreções de ferro em siltitos argilosos e argilitos.

Já o Perfil II, desenvolve-se sobre a Unidade de Terraços aluviais que tem como base os arenitos da Formação Caturrita. O solo é do tipo Argissolo, Unidade São Pedro (Figura 59).

O Perfil II apresenta uma espessura de aproximadamente 3 m (Figura 60). O horizonte A é arenoso tem até 1m de profundidade variando entre 50 e 70 cm, de cor marrom escuro com presença de raízes. O horizonte B, de cor avermelhada pode chegar a uma espessura de

2m. Abaixo ocorre a rocha alterada e a rocha propriamente dita que neste local é um arenito conglomerático com grânulos de quartzo e calcedônia. Como o horizonte B está sendo utilizado como material de empréstimo para revestimento, ele foi escolhido para amostragem e ensaios.



Figura 59 - Perfil II (PII).



Figura 60 - Detalhe do Perfil II.

4.3.1 Caracterização Física

Os ensaios de caracterização física realizados foram a determinação do peso específico real dos grãos, os limites de consistência e granulometria (ABNT NBR 6459, 7180, 7181, e 6508).

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios para determinação do peso específico real dos grãos e dos limites de consistência dos Perfis I e II, respectivamente. Em relação ao Perfil I, o peso específico apresentou valores entre 26,2 e 29,2 kN/m³, consistentes com a mineralogia destas camadas. O valor mais elevado foi obtido para a rocha alterada. O horizonte A e a rocha do perfil I e o horizonte B do perfil II apresentaram média a baixa plasticidade, com um limite de liquidez inferior a 50% e um índice de plasticidade entre 12 e 18%. A camada de rocha alterada (perfil I) apresentou-se mais plástica (limite de liquidez e índice de plasticidade bem mais elevados).

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de massa específica real dos grãos e limites de consistência do Perfil I e II.

Perfil	Solo	Identificação	Amostra	γ_s (kN/m ³)	wl (%)	wp (%)	IP (%)
1	Cambissolo	Horizonte A	AM01	26,19	38	20	18
		Rocha alterada	AM02	29,16	75	32	43
		Rocha	AM03	27,10	37	25	12
2	Argissolo	Horizonte B	AM04	28,78	41	23	18

Obs.: γ_s = peso específico real dos grãos; wL = limite de liquidez; wP = limite de plasticidade; IP = índice de plasticidade.

Os resultados dos ensaios granulométricos com e sem o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) estão apresentados na Tabela 10 e Figura 61. A divisão adotada para as frações constituintes do solo foi a proposta pela ABNT NBR 6502.

No perfil I todas as amostras apresentaram uma porcentagem de finos (silte + argila) superior a 50%, sendo que o horizonte A apresentou-se mais arenoso. A camada de rocha alterada e a rocha (siltito) apresentaram uma porcentagem de finos superior a 80% e na fração grossa predomina areia fina. Em relação aos finos, o que difere entre estes materiais é que na rocha alterada predomina a fração argila (52%) em relação à fração silte. Na rocha ocorre o inverso (fração silte de 64%), o que lhe confere o nome de siltito. Texturalmente, o horizonte

A é classificado como uma areia fina argilo-siltosa; a rocha alterada é classificada com uma argila siltosa e a rocha como silte argilo-arenoso. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (ASTM, 1983) o horizonte A é uma areia argilosa (SC), a rocha alterada é uma argila muito plástica (CH) e a rocha um silte (ML).

O perfil II (horizonte B) apresenta uma fração areia de 48% e os finos predominam os argilosos. Texturalmente, este solo é classificado como uma areia argilo-siltosa. O predomínio da fração areia deve-se a sua origem relacionada aos terraços fluviais e aos arenitos da Formação Caturrita.

Adotando o Sistema HRB, voltado para uso em pavimentação, os materiais dos perfis I e II são solos finos, enquadrados nos grupos A6 (argilas siltosas) e A7 (argilas plásticas). Destaca-se que este sistema de classificação, já é de conhecimento do meio geotécnico as suas limitações quando utilizados em solos de regiões tropicais (NOGAMI E VILLIBOR, 1979).

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de granulometria e classificação dos solos do Perfil I e II.

Identificação		Frações granulométricas (%)						Classificação Geotécnica	
		Pedr.	Ar. Gross	Ar. Média	Ar. Fina	Silte	Argila	HRB	SUCS
Perfil 1	C/D	0	6	12	24	32	26	A6	SC
Horizonte A	S/D	0	6	12	37	37	8	-	-
Perfil 1	C/D	0	3	3	11	31	52	A7-6	CH
Rocha Alterada	S/D	0	3	3	24	42	28	-	-
Perfil 1	C/D	0	1	1	16	64	18	A6	ML
Rocha	S/D	0	1	1	21	72	5	-	-
Perfil 2	C/D	2	13	13	20	15	37	A7-5	CL
Horizonte B	S/D	2	13	15	21	45	4	-	-

Obs.: SUCS = Sistema Unificada de Classificação dos Solos / C/D = com defloculante / S/D = sem defloculante

O parâmetro grau de flocculação, como seu nome indica, dá a estimativa da flocculação das partículas argilosas coloidais. Quanto maior for seu valor, maior será a possibilidade de flocculação das partículas argilosas. Este parâmetro pode ser determinado através da diferença da argila total e a argila natural, relacionando-a geometricamente com a argila total. A argila natural representa a fração argila determinada sem a utilização de algum elemento defloculante (capaz de provocar a individualização das partículas argilosas e siltosas por

dispersão química), apenas por dispersão em água. A argila total é a fração de argila determinada com auxílio de um elemento defloculante. A Figura 60 apresenta as frações argila natural e argila total, obtidas nos ensaios granulométricos.

Ao analisar esta figura, pode-se verificar, que o grau de floculação para o horizonte A foi de 0,69, para a rocha alterada foi de 0,46 e para o siltito o valor obtido foi 0,72. No horizonte B, do perfil II, o grau de floculação foi de 0,89. Os valores mais elevados foram obtidos para o siltito (perfil I) e horizonte B (perfil II).

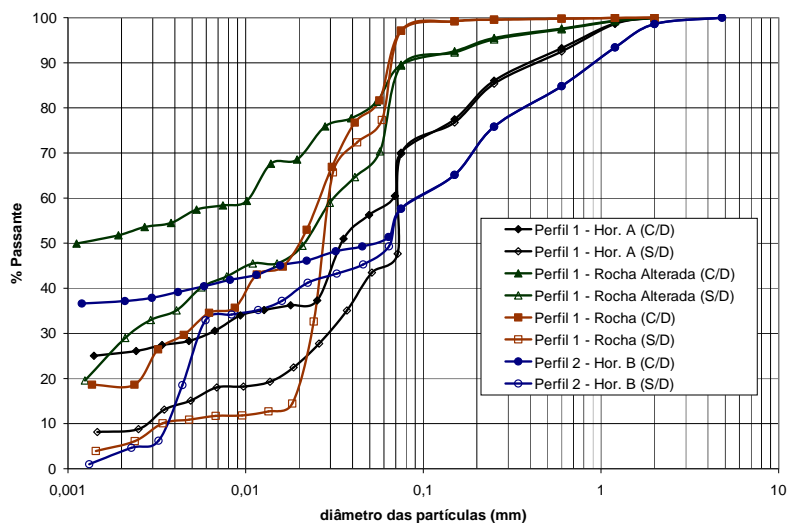


Figura 61 - Curvas granulométricas obtidas para os materiais dos Perfis I e II.

A Tabela 11 apresenta os índices físicos obtidos nas amostras indeformadas que foram utilizadas nos ensaios de desagregação, perda por imersão e infiltrabilidade. Em média para os horizontes/camadas estudadas foram determinados os índices físicos em 15 corpos de provas.

Verificou-se que os maiores coeficientes de variação foram obtidos para os valores de umidade, grau de saturação e índice de vazios. Contudo este coeficiente de variação foi inferior a 25%, que é considerado um valor aceitável na área de geotecnia. No horizonte A (perfil I) apresentou valores mais elevados do coeficiente de variação, provavelmente, por ser a camada mais superficial e a amostragem foi realizada em várias épocas do ano. Este horizonte apresentou um peso específico aparente seco mais elevado, indicando uma compactação desta camada, com conseqüência na redução do índice de vazios e porosidade. A rocha alterada apresentou o maior índice de vazios e porosidade. Porém, valores muito semelhante à camada de rocha (siltito). De acordo com o IAEG (1974), a rocha alterada e o

siltito apresentam uma porosidade muito alta ($e < 1,0$) e quanto ao grau de saturação muito úmido ($50\% < S < 80\%$). Os resultados para o perfil 2 (horizonte B) são compatíveis para um horizonte de um argissolo na região.

Em relação aos valores de umidade e grau de saturação estes materiais são considerados solos não saturados.

Tabela 11 - Propriedades / Índices do solo.

	Valores	w (%)	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S (%)
Perfil 1 Hor. A	Média	18,53	17,76	14,99	0,759	42,76	65,93
	Valor	20,71	20,04	17,40	0,946	48,61	88,52
	Máximo						
	Valor Mínimo	13,25	15,67	13,46	0,506	33,58	38,87
	Desvio	2,46	1,45	1,28	0,146	4,91	13,52
	Padrão						
	Coef.	13,27	8,17	8,57	19,22	11,47	20,50
	Variação						
Perfil 1 Rocha Alterada	Média	33,26	16,83	12,63	1,314	56,69	74,20
	Valor	37,72	18,24	13,76	1,571	61,11	91,53
	Máximo						
	Valor Mínimo	29,26	15,48	11,34	1,120	52,83	60,65
	Desvio	2,67	0,80	0,61	0,114	2,09	7,61
	Padrão						
	Coef.	8,02	4,77	4,84	8,65	3,70	10,26
	Variação						
Perfil 1 Rocha	Média	32,91	16,87	12,71	1,136	53,09	78,30
	Valor	38,87	17,91	13,84	1,260	55,74	95,06
	Máximo						
	Valor Mínimo	21,82	15,78	11,99	0,959	48,94	58,73
	Desvio	5,87	0,65	0,60	0,99	2,21	11,36
	Padrão						
	Coef.	17,82	3,83	4,72	8,70	4,17	14,51
	Variação						
Perfil 2 Hor. B	Média	19,54	18,17	15,20	0,899	47,19	63,60
	Valor	21,95	19,92	16,48	1,063	51,54	81,35
	Máximo						
	Valor Mínimo	17,63	16,59	13,95	0,746	42,72	49,42
	Desvio	1,47	1,15	0,89	0,110	3,09	10,57
	Padrão						
	Coef.	7,49	6,34	5,86	12,26	6,56	16,62
	Variação						

Obs.: w = teor de umidade; γ = peso específico natural; γ_d = peso específico aparente seco; e = índice de vazios, n = porosidade, S = grau de saturação

4.3.2 Avaliação do Potencial de Desagregação do Solo

A tabela 12 apresenta o comportamento das amostras do Perfil I durante o ensaio de desagregação. Os resultados dos ensaios mostram que no PI, o horizonte A do solo, devido à presença de raízes e matéria orgânica sofre pouca desagregação quando submerso tanto no estado natural quanto seco ao ar (Figura 62). Já as amostras de rocha alterada e rocha do PI e o horizonte B do PII (Tabela 13 e Figura 63) mostraram uma grande desagregação, principalmente quando ensaiadas na condição seca ao ar. Isso pode se dá pela presença de argilominerais expansíveis que ao passarem da condição de seco ao ar para umedecidos sofrem um processo de dilatação, desagregando o material. Em geral, os solos superficiais (horizontes A e B) são mais resistentes aos processos erosivos, e estes horizontes devem ser preservados.

Tabela 12 - Comportamento das amostras do Perfil I no ensaio de desagregação.

Camada	Condição	Comportamento
Horizonte A	Natural	Ascensão capilar completa aos 13 minutos do início do ensaio, praticamente não houve desagregação e abatimento, sem inchamento e sem rupturas nas bordas, no entanto houve formação de rachaduras e fissuras no topo ao final do ensaio (24h).
	Seca ao ar	Ascensão capilar lenta em relação à condição de umidade natural, somente depois de decorrido 1 hora de ensaio a ascensão atingiu o topo da amostra, houve pouca desagregação e abatimento, praticamente não houve rupturas nas bordas, nem inchamento. No entanto houve formação de rachaduras e fissuras no topo e na lateral ao final do ensaio (24h).
Rocha Alterada	Natural	Rápida ascensão capilar, após decorridos 2 minutos ocorreu desagregação, ruptura nas bordas e formação de fissuras no topo. Não houve inchamento da amostra. Ao final do ensaio a amostra encontrou-se totalmente desestruturada.
	Seca ao ar	Rápida ascensão capilar. Alta velocidade de desagregação, ruptura nas bordas e formação de fissuras no topo. Houve inchamento da amostra. Ao final do ensaio a amostra encontrou-se totalmente desestruturada.
Rocha	Natural	Rápida ascensão capilar. Alta velocidade de desagregação, ruptura nas bordas e fissuras no topo. Nenhum inchamento. Ao final do ensaio a amostra encontrou-se totalmente desestruturada.
	Seca ao ar	Rápida ascensão capilar. Alta velocidade de desagregação, ruptura nas bordas e fissuras no topo. Pouco inchamento. Ao final do ensaio a amostra encontrou-se totalmente desestruturada.

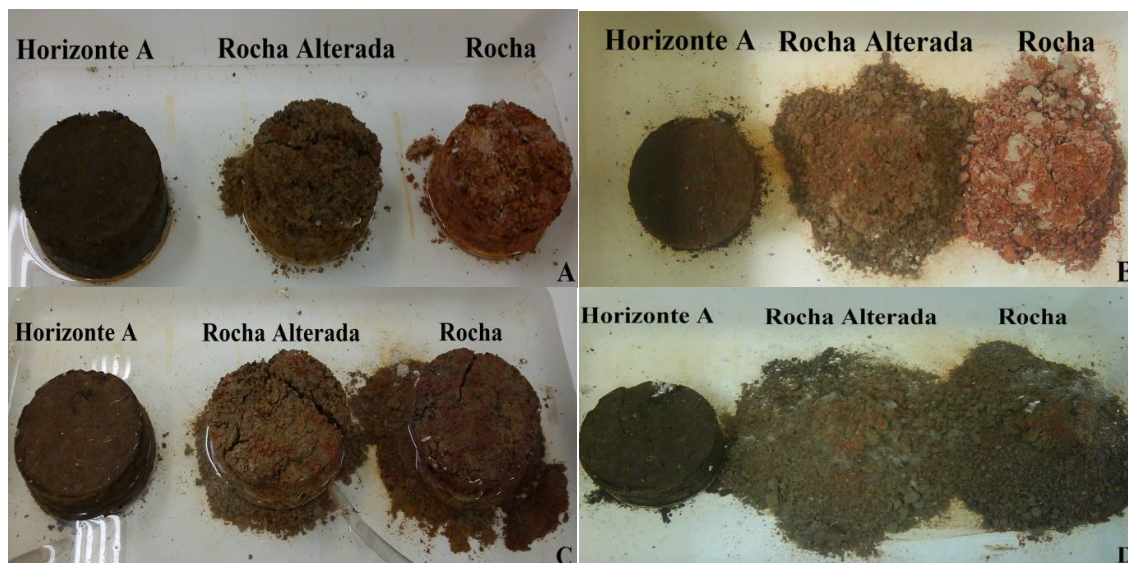


Figura 62 - Ensaio de desagregação do Perfil I. Em A amostra em Condição Natural na fase inicial com água na base das amostras. Em B amostra em Condição Natural na fase final do ensaio (após 24 horas). Em C amostra Seca ao Ar na fase inicial com água na base das amostras. Em D amostra Seca ao Ar na fase final do ensaio (após 24 horas).

Tabela 13 - Comportamento das amostras do Perfil II no ensaio de desagregação.

Camada	Condição	Comportamento
Horizonte B	Natural	Rápida ascensão capilar. Alta velocidade de desagregação, ruptura nas bordas e fissuras no topo. Pouco inchamento. Ao final do ensaio a amostra encontrou-se quase totalmente desestruturada.
	Seca ao ar	Ascensão capilar mais lenta em relação à condição de umidade natural. Alta velocidade de desagregação, ruptura nas bordas e fissuras no topo. Pouco inchamento. Ao final do ensaio a amostra encontrou-se totalmente desestruturada.

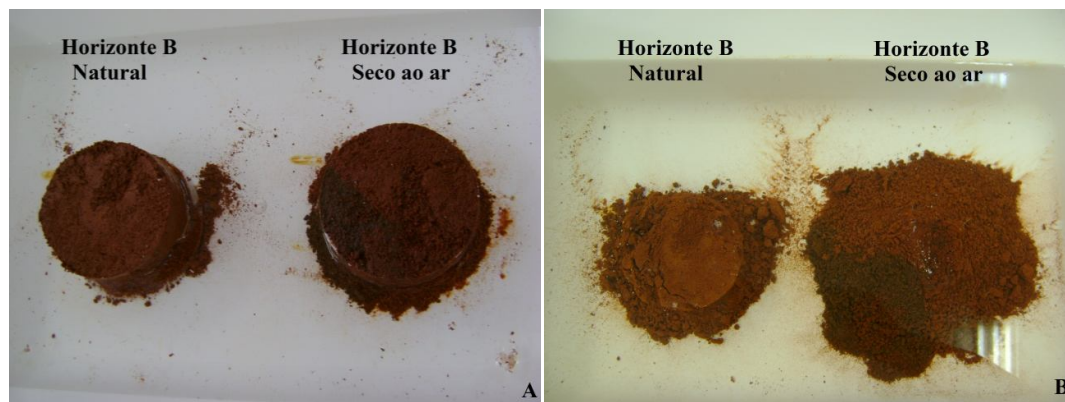


Figura 63 - Ensaio de desagregação do Perfil II. Em A fase inicial do ensaio com água na base das amostras em condição natural e seca ao ar. Em B fase final do ensaio (após 24 horas).

4.3.3 Critério de Erodibilidade baseado na Metodologia MCT: Perda de Massa por Imersão e Infiltrabilidade.

Os critérios de erodibilidade baseados na Metodologia MCT propostos inicialmente por Nogami e Villibor (1979) são apresentados no item 1.2.2. A Metodologia MCT desenvolveu um conjunto de ensaios mecânicos e hídricos para estudo de solos tropicais aplicados em obras rodoviárias (taludes de corte e aterro). Especificamente, os ensaios para avaliação da susceptibilidade à erosão hídrica foram utilizados neste trabalho. Trabalhos mais recentes a cerca deste assunto estão apresentados em Nogami e Villibor (1985), Cozzalino e Nogami (1993) e Villibor e Nogami (2009).

As Tabelas 14, 15, 16 e 17 apresentam os resultados dos ensaios de infiltrabilidade e erodibilidade específica, através do coeficiente de sorção (s) e da perda por imersão (π_i), respectivamente. Alguns autores como Menezes e Pejon (2010) denominam o coeficiente de sorção de índice de absorção de água (MENEZES & PEJON, 2010). Segundo Bastos (1999) o coeficiente de sorção ou índice de absorção representa a velocidade de ascensão capilar dos solos, relacionada à capacidade do solo em infiltrar a água da chuva e dificultar a formação do fluxo superficial, enquanto a erodibilidade específica representa o potencial de desagregação do solo pela água.

Os ensaios foram conduzidos, adotando a mesma metodologia de Bastos (1999), a três condições de umidade inicial das amostras: umidade natural, seca ao ar e pré-umedecidas.

Nogami e Villilbor (1979) consideram solos erodíveis quando a relação π/s é superior a 52; ou quando a relação $E = 52 \cdot s/\pi$ for inferior a 1 ($E < 1$, segundo Menezes e Pejon, 2010). Pejon (1992) propõe 40 como valor limite para esta relação (apud Bastos, 1999).

As Figuras 64, 65, 66 e 67 apresentam as curvas médias (3 amostras) do volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrada do tempo e a velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s). Burgos e Vilar (2005) propõem que nas curvas velocidade de infiltração pelo tempo podem fornecer uma estimativa da permeabilidade saturada dos solos..

As Figuras 68 e 69 apresentam a aplicação destes dois critérios aos materiais estudados.

Tabela 14 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (π) para diferentes condições de umidade das amostras do horizonte A (Perfil I) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.

Perfil I Hor. A	umidade natural (wnat)			seca ao ar (sa)			pré-umedecida (pu)		
	s ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)	π (%)	π/s	s ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)	π (%)	π/s	s ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)	π (%)	π/s
1	0,108	0,35	3,24	0,032	0,11	3,44	0,004	0,35	87,5
2	-	0,02	-	0,055	1,07	19,45	0,008	0,46	57,5
Média	0,108	0,187	1,73	0,044	0,59	13,40	0,006	0,405	67,5

Tabela 15 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (π) para diferentes condições de umidade das amostras da rocha alterada (Perfil I) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.

Perfil I Rocha alterada	umidade natural (wnat)			seca ao ar (sa)			pré-umedecida (pu)		
	s ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)	π (%)	π/s	s ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)	π (%)	π/s	s ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)	π (%)	π/s
1	0,054	1,67	30,9	0,046	23,63	513	0,004	0,96	240
2	0,011	-	-	0,165	25,36	154	0,009	-	-
Média	0,033	1,67	50,6	0,106	24,495	231	0,007		137

Tabela 16 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do siltito (Perfil I) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.

Siltito	umidade natural (wnat)			seca ao ar (sa)			pré-umedecida (pu)		
	s (cm/min ^{1/2})	pi (%)	pi/s	s (cm/min ^{1/2})	pi (%)	pi/s	s (cm/min ^{1/2})	pi (%)	pi/s
1	0,040	1,87	46,8	0,296	32,71	110,5	0,005	14,58	2916
2	0,139	51,4	370	-	-	-	-	20,71	-
Média	0,090	26,63	296	0,296	32,71	110,5	0,005	17,65	3530

Tabela 17 - Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do horizonte B (Perfil II) – critério de erodibilidade da Metodologia MCT.

Siltito	umidade natural (wnat)			seca ao ar (sa)			pré-umedecida (pu)		
	s (cm/min ^{1/2})	pi (%)	pi/s	s (cm/min ^{1/2})	pi (%)	pi/s	s (cm/min ^{1/2})	pi (%)	pi/s
1	0,036	4,27	119	0,832	44,12	53,0	0,012	3,94	328
2	0,223	16,68	74,8	0,972	66,79	68,7	0,011	0,31	28,2
Média	0,130	10,48	80,6	0,902	55,46	61,5	0,012	2,13	177,5

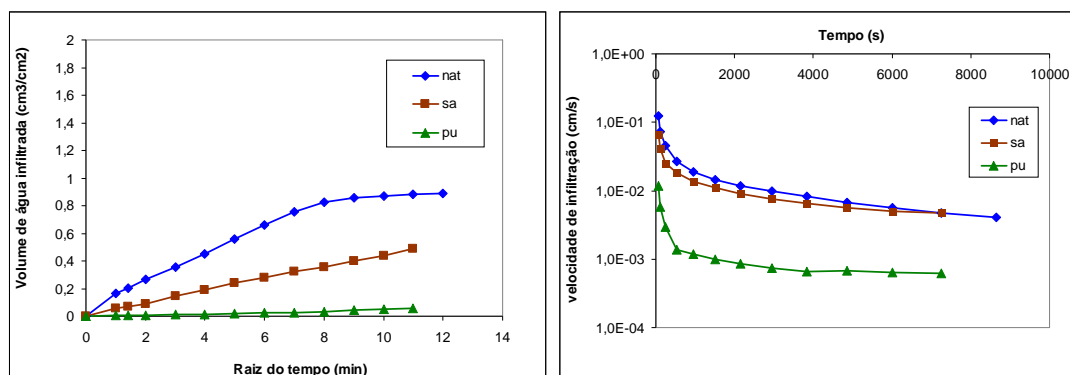


Figura 64 - (a) volume de água infiltrada (cm³/cm²) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do horizonte A (Perfil I).

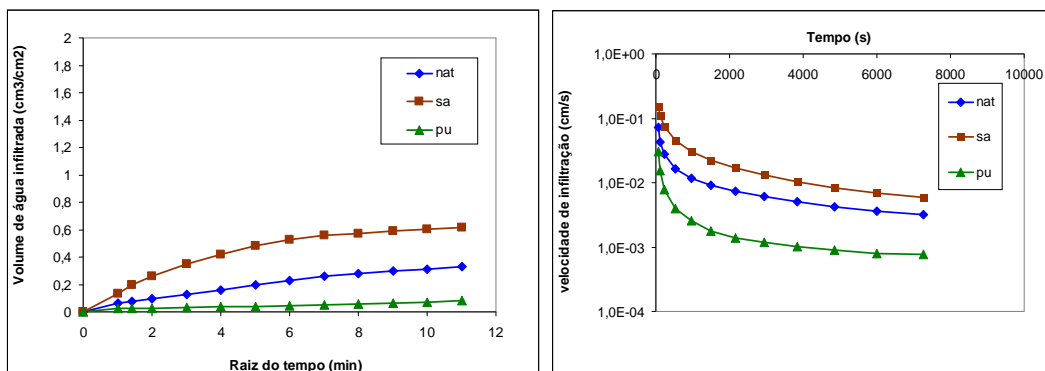


Figura 65 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras da rocha alterada (Perfil I).

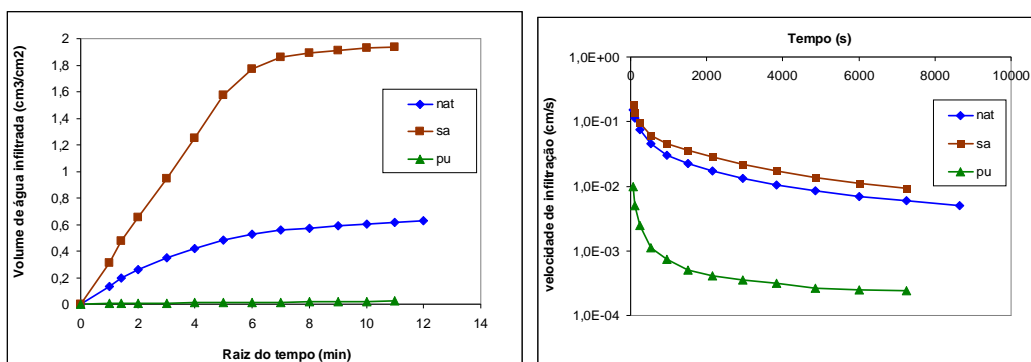


Figura 66 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do siltito (perfil I).

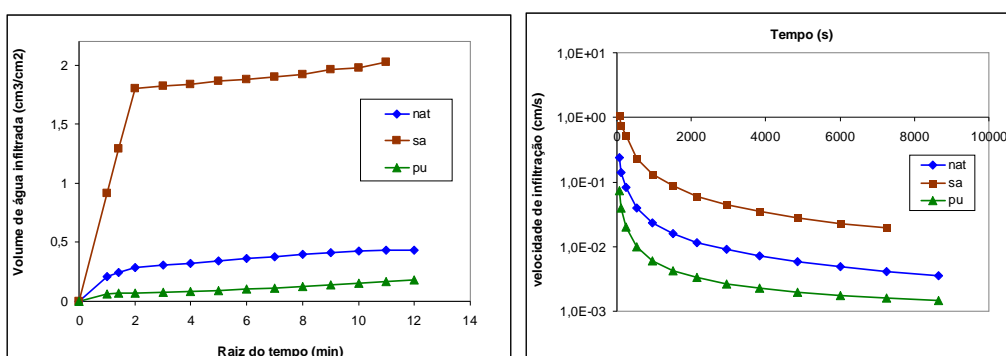


Figura 67 - (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrado do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do horizonte B (perfil II).

Os resultados apresentados destacam a maior susceptibilidade à erosão do siltito em relação à rocha alterada e ao horizonte A do PI e horizonte B do PII.

Verifica-se a tendência de aumento da velocidade de ascensão capilar (s) e da perda por imersão para as amostras secas ao ar (para o arenito não houve diferença significativa). A perda por imersão nas amostras secas ao ar foi sempre mais elevada em relação às amostras na unidade natural e pré-umedecidas.

Verificou-se uma tendência de um aumento concomitante na velocidade de ascensão capilar e na perda por imersão para amostras secas ao ar. Tendência oposta é observada para amostras pré-umedecidas. Estas observações foram também descritas por Bastos (1999). Segundo o mesmo autor, a variação da razão entre as grandezas que representam estas propriedades (π/s) é que determina qualquer mudança na avaliação de erodibilidade pelo critério proposto por Nogami e Villibor (1979).

Nas amostras dos horizontes A e B a relação $\pi/s > 52$ foi verificado somente para condição pré-umedecida, principalmente, devido a baixa sorção.

Na camada rocha alterada a relação $\pi/s > 52$ foi verificada para condição seca ao ar e pré-umedecida e para as amostras de arenito esta relação foi obtida independente da condição de umidade (solo erodível).

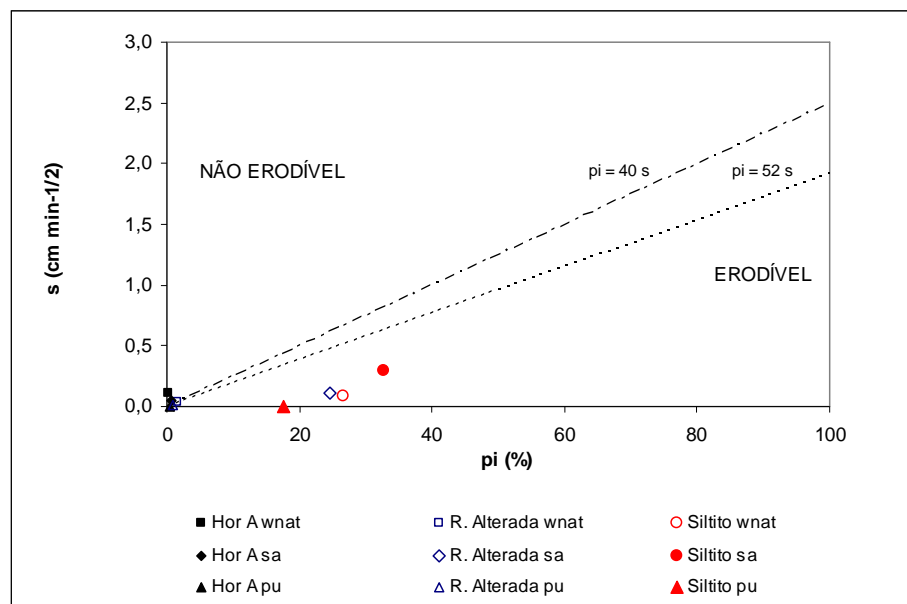


Figura 68 - Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT para os materiais estudados (Perfil I).

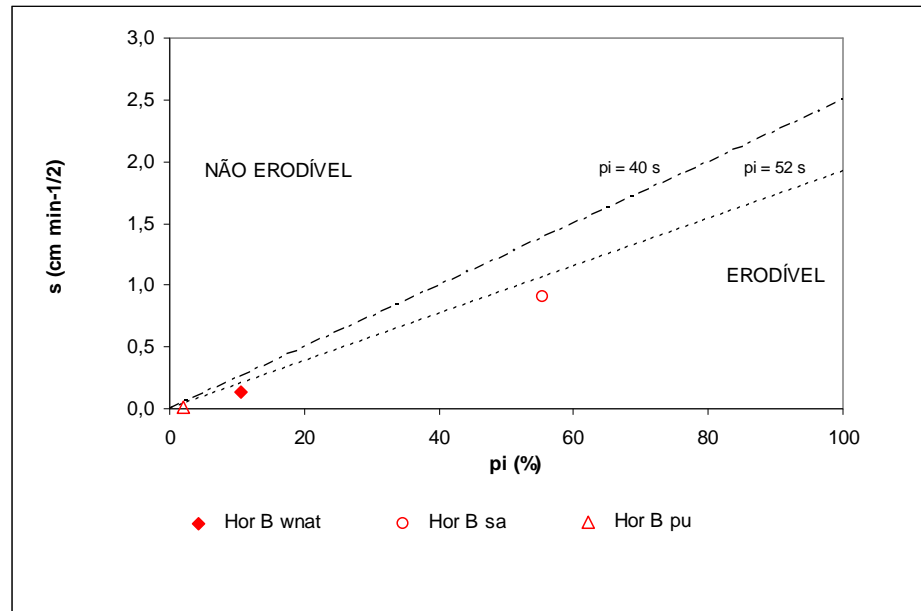


Figura 69 - Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT para os materiais estudados (Perfil II).

4.4 Geomorfologia - Unidades de Relevo

As formas de relevo foram classificadas de acordo com a proposta do IPT (1981), e divididas em rampa, colina, morrote, morro, e morro com encosta suave, levando-se em conta a amplitude local e o gradiente. A identificação das formas de relevo ocorreu através da classificação morfométrica e das investigações realizadas em campo.

A área é composta por colinas levemente onduladas e onduladas e rampas alúvio/colúvio (Figura 70). Na sua porção central encontra-se uma faixa de terreno mais elevada, de direção NW-SE que divide a área em termos de energia de relevo, forma de vertente, declividade, etc em duas partes: uma a norte e outra a sul.

As colinas levemente onduladas localizam-se na porção centro norte da área e apresentam uma amplitude menor que 100m e um gradiente entre 5 e 15%. Já as colinas onduladas apresentam a mesma amplitude porem um gradiente maior (>15%) e estão localizadas na porção centro sul da área

As colinas levemente onduladas apresentam maior comprimento de rampa e suas vertentes são do tipo convexas coletoras e convexas dispensoras (RODRIGUES,1982).

Desenvolvem-se sobre uma extensa área da Formação Santa Maria, membro Alemoa onde predominam os Argissolos da Unidade Santa Maria. Os ensaios realizados com materiais pertencentes a esta unidade de relevo foram classificados como erodíveis com base na metodologia MCT de Nogami e Vilibor (1979) sendo que o siltito foi considerado o mais erodível. A maior parte dos impactos ambientais (feições superficiais associadas ao uso) que ocorrem na área encontra-se nesta unidade, pois grande parte das estradas e rotas de blindados encontra-se neste local que possui, entre outras coisas, uma declividade compatível para tal uso. Os processos superficiais mais significativos são erosão e assoreamento relacionados à forma de utilização da área. As formas de dissecação são pouco profundas e estão relacionadas aos cursos d'água de primeira e segunda ordem que se estabelecem em estruturas geológicas (fraturas e falhas) de direção NE-SW preferencialmente. Estes locais sofrem grande impacto erosivo quando ultrapassados por blindados.

As colinas onduladas encontram-se na porção centro sul da área e mostram um gradiente maior e menor comprimento de rampa o que dá ao relevo uma maior energia. Neste local, a exposição da Formação Santa Maria membro Alemoa é menor e os solos predominantes são Argissolos da Unidade Santa Maria. O recuo das vertentes neste local é menor tendo em vista a influência da cobertura dos arenitos da Formação Caturrita que são mais resistentes a erosão do que os siltitos da Formação Santa Maria, membro Alemoa.

As vertentes nesta porção são predominantemente côncavas dispersoras e coletoras (RODRIGUES,1982) o que as torna menos susceptíveis aos processos erosivos. Aqui, os processos superficiais associados ao uso são poucos e se dão junto ao topo da colina, pois sua declividade acentuada não permite a passagem de blindados e sobre-rodas. As formas de dissecação são mais profundas e estão relacionadas aos cursos d'água de primeira e segunda ordem e também mostram controle estrutural segundo direção preferencial N-S e NE-SW subordinadamente. O processo superficial mais atuante é a erosão que se dá em menor escala do que nas colinas levemente onduladas.

Os topos das colinas levemente onduladas e onduladas mostram, em sua grande maioria uma forma alongada de direção NE-SW e E-W relacionadas ao controle estrutural da área. Na unidade colinas onduladas os topos são comumente convexos associados às rochas da Formação Santa Maria coberta por Argissolos da unidade Santa Maria. Já os topos planos encontram-se na unidade Terraço Aluvial que recobre a Formação Caturrita na área e onde se encontram os argissolos da Unidade São Pedro. Nas estradas localizadas em topo de colina (junto ao campo de pouso, por exemplo, E6 e E4 na carta imagem de processos superficiais) ocorrem erosões por sulcos e ravinas devido à falta de drenagem e a compactação do solo.

As rampas de alúvio/colúvio apresentam gradiente menor que 5% e amplitude menor que 100m e localizam-se junto às planícies aluviais dos arroios Cadena e Taquarichim, a leste e sul da área respectivamente. São formadas por sedimentos de depósitos aluviais onde se desenvolvem os Planossolos da unidade Vacacaí. Nesta unidade encontra-se uma faixa de declividade próxima de 5% que se considera como uma transição entre o início dos processos erosivos e as áreas de assoreamento que são predominantes. A ausência de vegetação junto ao Cadena facilita o aporte de sedimentos e conseqüente assoreamento, bem como a erosão de suas margens.

Com base no diagnóstico ambiental do meio físico realizado nesta pesquisa, pode-se dizer que a área apresenta uma fragilidade natural aos processos erosivos relacionada ao tipo de solo e rocha. Esta fragilidade se acentua devido à forma de uso da área, principalmente junto às estradas e rotas de blindados e sobre rodas.

O Exército com o auxílio das unidades de Engenharia deveria providenciar, o mais breve possível, a recuperação das áreas degradadas e manter no CISM uma unidade de pessoal treinado com equipamentos adequados para realizar sua manutenção.

Procurando contribuir com o plano de manejo da área de forma a minimizar os impactos que lá ocorrem serão apontadas algumas ações e serem priorizadas:

1. Recuperações das áreas mais impactadas que são aquelas rotas e estradas por onde os blindados chegam ao Campo (CIBLD) e se dirigem aos locais dos exercícios como Gravatás (em primeiro lugar) e Araras (posteriormente). A recuperação destas rotas deve incluir um sistema de drenagem adequado e revestimento quando o material de leito for inadequado. Construção de pontes e manutenção das que já existem com sistema de drenagem adequada.
2. Projeto para recomposição da vegetação junto às margens dos cursos d'água e barragens o que pode ser auxiliado por técnicos da Engenharia Florestal e Agronomia que fazem parte do Convênio Institucional UFSM-Exército.
3. Avaliar a possibilidade de limitar os exercícios militares a determinados períodos do ano com intervalos para que seja realizada a manutenção da área.
4. Avaliar a aptidão do solo que é utilizado como empréstimo misturado a outros materiais como, por exemplo, cimento, fresado, etc para ser utilizado na recuperação das estradas. Isto pode se desenvolver na forma de pesquisa a ser realizada com professores e alunos Engenharia Civil da UFSM e Engenharia do Exército.

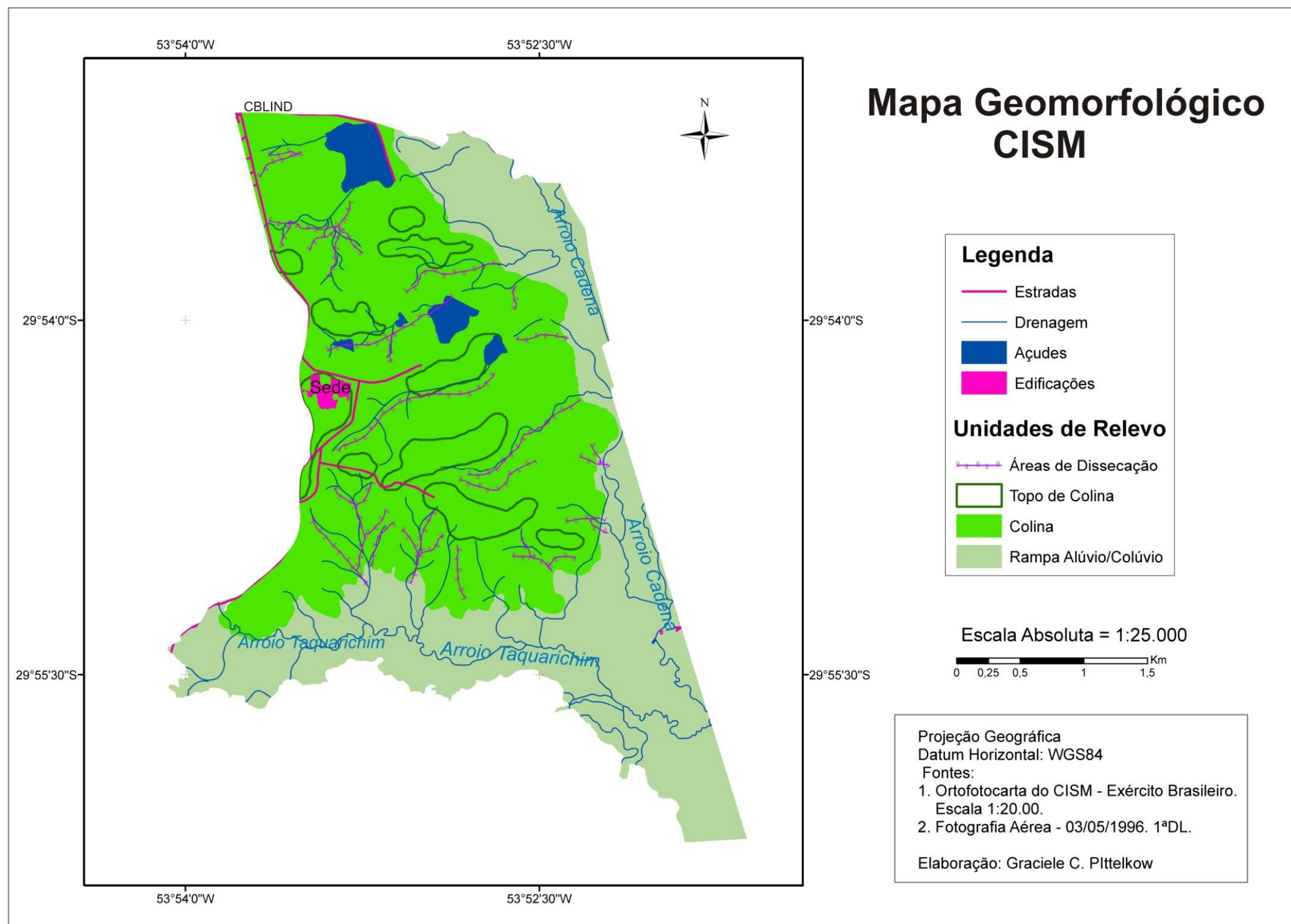


Figura 70 - Mapa Geomorfológico. Elaborado por Graciele Pittelkow, 2011.

5 CONCLUSÃO

A área do CISM apresenta uma fragilidade ambiental natural em relação aos processos erosivos e que está relacionada ao tipo de solo e rocha que foram avaliados como erodíveis em ensaios de laboratório. Esta fragilidade é acentuada pela forma como a área é utilizada.

No entanto, vale ressaltar que, de modo geral, a área apresenta boa conservação, principalmente junto ao Arroio Taquarichim, que apresenta densa vegetação natural ultrapassando inclusive o que é estipulado por lei, o que pôde ser confirmado ao cruzar informações relativas às áreas consideradas como APP's com Código Florestal de 1989. Além disso, o Exército tem, nos últimos anos, procurado recuperar os locais mais impactados com algumas ações como normas de utilização do campo e construções de pontes para passagem dos blindados, visando minimizar os processos erosivos e o assoreamento dos cursos d'água.

As áreas mais impactadas estão localizadas na unidade geomorfológica denominada de colinas levemente onduladas e estão relacionadas às estradas e rotas de blindados, principalmente àquelas que conduzem os blindados às áreas de exercícios: CIBLD e Bosque dos Pinos para Gravatás I, II e III, Araras, Estande de Tiros, PO do General e Maximiliano.

A presença de sulcos e ravinas em estradas e rotas de blindados deve-se a falta de drenagem superficial, ao tipo de material exposto no seu leito, a compactação do solo e a falta de manutenção. A erosão das margens dos cursos d'água se dá pela passagem dos blindados que desagrega o solo e pela falta de vegetação como forma de proteção. A voçoroca descrita na área se deve ao lançamento, de forma inadequada, de água pluvial ou servida. As áreas de assoreamento estão relacionadas aos materiais provenientes das áreas de erosão. Os atoleiros localizam-se em áreas mais baixas topograficamente em materiais que apresentam diferença de comportamento quanto à resistência do leito e a presença de água.

Dessa forma, tendo em vista que a utilização dessa área é imprescindível aos treinamentos militares, o Exército pode tomar algumas medidas para minimizar tais impactos como: a recuperação das áreas mais impactadas com sistema de drenagem adequado e revestimento quando o material do leito for inadequado; a construção de pontes e manutenção das já existentes; a recomposição da vegetação junto aos cursos d'água e barragens; avaliar a possibilidade de limitar os exercícios a determinados períodos com intervalos para a manutenção da área e avaliar a aptidão do solo que é utilizado como empréstimo misturado a outros materiais, como cimento e fresado, para ser utilizado na recuperação das estradas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. M. V. G. de. **As áreas de preservação permanente e a questão urbana.** Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Brasília, ago. 2002. Disponível em: <www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema14/pdf/207730.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2011.

ARCHIBOLD, O. W.; LÈVESQUE, L. M. J.; BOER, D. H.; AITEKEN, A. E.; DELANOY, L. **Gully retrat in a semi-urban catchment in a Saskatoo, Saskatchewan.** Applied Geography. V. 23, p.261-179. 2003.

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

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

_____. **NBR 7180:** 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 6457:** Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. Origem: MB-27.

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

ÁVILA, L.O. **Erosão na Microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS. 2009.** 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria.

BASTOS, C.A.B. **Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não**

saturados. Tese de Doutorado em Engenharia, UFRGS, Rio Grande do Sul, 1999.

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.

BELLINAZZI JR,R. **Controle da erosão em estradas rurais.** Campinas, SP: CATI, 1992.

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

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo.** Piracicaba: Livro Ceres, 1985.372 p

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: UFSC, v. 3, 2003.

BURGOS, P.C.; VILAR, O.M. **Sorção e condutividade hidráulica de alguns solos da cidade de Salvador-Ba a partir do ensaio de infiltrabilidade do método MCT.** IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Salvador, p. 253-261, 2005.

BURIOL, G. A. et al. **O clima de Santa Maria.** Ciência e Ambiente, 2009.

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.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. ; SALES, M. M. ; MORTARI, D. ; FÁCIO, J. A. ; MOTTA, N. ; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. 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, 2006a. p. 39-91.

CREPANI, E. et al. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8., Salvador, 1996. Anais...São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico científicas. CD-Rom.

COZZOLINO, V.M; NOGAMI, J.S. **Classificação geotécnica MCT para solos tropicais.** Solos e Rochas, São Paulo, v.16, n.2, p. 77-91, 1993.

DALMOLIN, R.S.D; PEDRON, F. A. **Solos do município de Santa Maria**. Ciência e Ambiente, v. 1, p. 59-77, 2009.

DEMEK, J. **Generalization of geomorphological maps in progress made, geomorphological mapping**. Brno, 1977.

DE MEYER; POESEN, J.; ISABIRYE, M.; DECKERS, J.; RAES, D. **Soil erosion rates in tropical villages: a case study from lake Victoria Basin, Uganda**. Catena V. 84 (2011) p. 89-98.

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

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 3. ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: Ed. Universitária Champagnat, 1991. 442 p.

FREIRE, E.P. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: **Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7.**, 2001, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

GALETI, P.A. **Conservação do solo; Reflorestamento; Clima**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

_____. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 278 p.

_____. **Práticas de controle a erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI F.F.; MEHL H.U.; SILVA, D.D.; OLIVEIRA, L. F. C. **Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas**. Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental V.9 n.2 p 166-170. 2005.

GUERRA, A J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Beltrand Brasil, 1996. p. 337-376.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Orgs.: A.J.T. Guerra e S.B. da Cunha. 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.

HELDWEIN, A.B; BURIOL, G.A.; STRECK, N.A. **O clima de Santa Maria**. Ciência e Ambiente, v. 1, p. 43-58, 2009.

HERZIG, J.R.; DYMOND, M. **A gully-complex model for assessing gully stabilization strategies**. Geomorphology, v.133, 2011, p.23-33.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 131-152.

IPT. **Manual de ocupação de encostas**. CUNHA, M.A. (coord.). São Paulo: IPT, 1991.

_____. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.

JACINTHO *et al.* **Processos Erosivos. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Editora FINATEC, Brasília, DF, 2006.

KARMANN, I. Ciclo da água água subterrânea e sua ação geológica. In TEIXEIRA, W. et al. (org.). **Decifrando a terra**. São Paulo, Oficina de Textos. Cap. 7, 2000. p. 115-138.

KIRKBY, M.J.; BRACKEN, L.J.. **Gully processes and gully dynamics**. Earth and Surface processes and landforms. V. 34, p. 1841-1851. 2009.

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics: Principles and management**. McGraw-Hill, Inc, 1990.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa

Universitária UFSM, 1990.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. 2 ed. Santa Maria: UFSM; Brasília: CPRM, 1997.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N., SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. **Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator de erodibilidade para dois solos da região de cerrados – Primeira aproximação**. Revista Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa, MG, n. 21, p. 427-434, 1997.

MENEZES, M.B.M.; PEJON, O.J. **Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudos de erodibilidade**. Geociências, UNESP, São Paulo, v. 29, n.2, p. 211-228, 2010.

MONEGATI, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó (SC): Ed. Do autor, 1991.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion & conservation**. 2 ed. New York. John Wiley & Sons. 1995.

MOUZAI, L.; BOUHADEF, M. **Shear strenght of compacted soil: effects on splash erosion by single water drops**. Earth and Surface processes and ladforms. V.36 (2011), p. 87-96. 2011.

NIGEL, R.; RUGHOPUTH, S. D. D. V. **Soil erosion risk map with new datasets: An improved identification and prioritization of high erosion risk areas**. Catena v. 82 p.191-205. 2010.

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. **Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area**. Bulletin of International Association of Engineering Geology, Krefeld, n. 19, 1979.

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, p.2839-2845, 2008.

_____. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo, Editora Villibor, 1995.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 587p.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N. P.; CORRECHED, V; SILVA, V. C. **Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas**. Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. V.13 p 955-960. 2009.

PANACHUKI, E.; ALVES S. T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. de; URCHEI, M.A. **Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n 2, p. 261-268, 2006.

PAULINO, J. A Engenharia no dia a dia. Maio 2010. Disponível em <<http://engenharianodiaadia.blogspot.com/2010/05/o-diagnostico-ambiental.html>> Acesso em 12 Dez 2011.

PEJON, O.J. **Mapeamento Geotécnico de Piracicapa, escala 1:100.000**: Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 1992, 2v. 224 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PRADO, H. do. **Manejo dos solos**. São Paulo: Nobel, 1991.

REINERT, D. M.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, 2006. Disponível em <http://200.18.45.42/...solo/propriedades_fisicas_do_solo_i_semestre_2006.pdf> Acesso em 04 de Out de 2010.

ROBLES, C. M.; REID, N.; FRAZIER, P; TIGHE, M.; BRIGGS, S.; WILSON, B. **Factor elated to gully erosion in woody encroachment in south-eastern Australia**. Catena v. 83 p. 148-157. 2010.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos acelerados: Boçorocas**. 1982. São Carlos. 162f. Tese (Doutorado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1982.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH/USP São Paulo, v.8, p 63 – 74. 1994.

_____. **Geomorfologia. Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

_____. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 8Ed. São Paulo: Contexto, 2007.84p.

_____. (Org). **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1995. 546 p.

_____. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Revista da Pós-Graduação de USP, São Paulo, n.6, 1992.

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

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: **4º Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, ABGE/IPT, 1995

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA et al. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SCHARRÓN, C. E. R. **Sediment production from unpaved roads in a sub-tropical dry setting-Southwestern Puerto Rico**. Catena, V.82 (3), p135-236. 2010.

SCHERER, C.M.S; FACCINI, U.F.; LAVINA, E.L. Arcabouço estratigráfico do mesozóico da bacia do Paraná. In: DE ROS, F.F.; HOLZ, H. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p.335-354.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, L.M.; FERREIRA, M.M. **Avaliação de métodos indiretos e determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros**. Pesquisa Agropoecuária Brasileira, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

STAVI, I.; LAL, R. **Variability of soil physical and erodibility in a water-eroded cropland**. Catena v.84, p 148-155. 2011.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 Ed. Porto alegre: EMATER-ASCAR, 2008.222p.

TATTO, J. **Análise dos Parâmetros Geológicos-Geotécnicos que Condicionam Erosão por Voçoroca no Município de São Francisco de Assis**. 2007, 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria.

TEIXEIRA, M. B.; COURA-NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL-FILHO, A. L. (1986). **Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos**. Estudo fitogeográfico. In Veloso, H. P. & Goés-Filho, L. (Eds.), Projeto RADAM BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais (pp. 541-632). v. 33. Rio de Janeiro, IBGE.

THOEH, F.R. **Landform equations fitted to contour maps**. American Journal of Science, New York, 263. 1965. p.616-627.

TROPPEMAIR, H. **Geomorfologia e Ecologia**. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro - SP, 20 (39), p. 32-43, 1990.

VALENTIN, C.; POESEN, J. **Gully erosion: impacts, factors and control**. Catena 63. P. 132-156. 2005.

VERDUM, R.; MEDEIROS, R. M. V. **RIMA - Relatório de Impacto Ambiental: Legislação, Elaboração e Resultados**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

VILLAR, O.M.; PRANDI, E. C. Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J. H. (eds.). **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos, 1993.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009, 291p.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileira**. 1987. 4V. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.