

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

**PROCESSOS EROSIVOS AVANÇADOS EM SÃO  
FRANCISCO DE ASSIS – RS: ESTUDO DE CASO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lourenço da Silveira Lima Corrêa

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PROCESSOS EROSIVOS AVANÇADOS EM SÃO  
FRANCISCO DE ASSIS – RS: ESTUDO DE  
CASO

por

Lourenço da Silveira Lima Corrêa

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

**Orientador: Prof. Dr Carlos Alberto da Fonseca Pires**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

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

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

**PROCESSOS EROSIVOS AVANÇADOS EM SÃO FRANCISCO DE ASSIS –  
RS: ESTUDO DE CASO**

Elaborada por  
Lourenço da Silveira Lima Corrêa

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geografia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Carlos Alberto da Fonseca Pires, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Andrea Valli Nummer, Dra. (UFSM)**

---

**Mauro Kumpfer Werlang, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 29 de Junho de 2006.

Em memória da minha  
avó Luisa a primeira  
pessoa a me ensinar a  
encarar os desafios do  
mundo

## AGRADECIMENTOS

A **Universidade Federal de Santa Maria**, pela oportunidade de realizar este curso de Pós-Graduação.

Ao **Professor Carlos Alberto da Fonseca Pires**, pela orientação, confiança e pelos conhecimentos durante este período de convivência.

Ao **Professores Edgardo Ramos Medeiros, Luis Eduardo Robaina e Andréa Valli Nummer** pelas oportunidades ofertadas, pela confiança investida e amizade adquirida durante estes anos de trabalho e convívio que resultaram em conhecimentos fundamentais para vida profissional e pessoal.

Aos **Colegas do Laboratório de Geologia Ambiental**, que mostraram a verdadeira capacidade de superar os desafios impostos pela vida apenas com sua força de vontade, moral e ética durante todos esses anos de convivência diária.

Aos meus amigos, em especial o **Denílson (Catatau), Talita, Dionísio (Didi), Núbia, Rafael (o Carioca), Renato (o véio Renatinho), Cícero, Aline, Patussi, Valdelírio e Lenise**, que durante os anos de graduação e pós-graduação na Geografia, foram fundamentais, pelo companheirismo, pela ajuda em momentos difíceis e pelas lições que ensinaram, a estes a amizade continua.

A minha mãe, **Silvia da Silveira Lima Corrêa**, por nunca me deixar de apoiar, acreditar na minha capacidade e no imenso afeto e carinho incondicional.

**Muito Obrigado**

Aos que por inveja, ganância, arrogância, orgulho, escolheram não mais partilhar sua amizade comigo, agora os digo com a sabedoria que essa empreitada me proporcionou, não agradeço os ensinamentos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização da área de estudo na carta topográfica e no RS ...	02
Figura 02: Formas de contenção transversal e lateral.....	22
Figura 03: Províncias geomorfológicas do RS, município de São Francisco de Assis e área de estudo .....	26
Figura 04: Localização da área de estudo em relação à bacia hidrográfica do rio Ibicuí.....	37
Figura 05: Perfil geológico da área.....	38
Figura 06: Afloramento arenito coeso no topo da colina formando degrau..	39
Figura 07: Arenito fluvial na baixa vertente formando lajeado .....	40
Figura 08: Campo sujo com baixa densidade de biomassa .....	42
Figura 09: croqui da área com a localização e fotos das feições ocorrentes na área .....	43
Figura 10: Voçoroca em anfiteatro na porção leste cicatrizes de escorregamentos .....	45
Figura 11: Voçoroca em sulco linear a Oeste da voçoroca em anfiteatro ...	46
Figura 12: Alcova de regressão - associada a um canal bem desenvolvido com degrau .....	47
Figura 13: Degraus com diferenças de resistência erosiva e alcovas de regressão .....	48
Figura 14: Pipe solapado conectado ao anfiteatro erosivo na porção Leste	49
Figura 15: Interior do anfiteatro de voçoroca e os diferentes patamares ou degraus de erodibilidade diferenciada .....	50
Figura 16: Dois pontos de ruptura o primeiro no primeiro plano e o segundo mais a montante .....	50
Figura 17: Voçoroca desconectada e representa o avanço por tombamento das colunas .....	51
Figura 18: Escorregamento formando um leque, devido à liquefação do material .....	52
Figura 19: Arenito resistente à erosão, queda de água marcada no mapa .	53
Figura 20: Gráfico granulométrico das amostras coletadas .....	55
Figura 21: Perfil das amostras 01 e amostra 04 no topo da colina .....	55
Figura 22: Degrau no fundo da voçoroca .....	56
Figura 23: Material do fundo de anfiteatro erosivo .....	57
Figura 24: Difratomia de raios-X da amostra 03 .....	58
Figura 25: Difratomia de raios-X da amostra 04 .....	58
Figura 26: Difratomia de raios-X da amostra 05 .....	59

Figura 27: Difractometria de raios-X da amostra 06 .....	59
Figura 28: Amostra de rocha arenítica .....	60
Figura 29: Difractometria de raios-X da amostra de arenito .....	60
Figura 30: Mapa de feições do relevo degrau no fundo da voçoroca .....	63
Figura 31: Porção Sudoeste, voçoroca linear e curso principal .....	64
Figura 32: Solo material orgânico residual no setor central.....	65
Figura 33: Voçoroca desconectada e movimentos de massa .....	66
Figura 34: Ação erosiva do vento no topo da colina .....	67
Figura 35: Vista de voçoroca linear e da voçoroca em anfiteatro porção Leste.....	67
Figura 36: Duto abaixo da estrada e deposição do material retirado das cabeceiras de drenagem .....	69
Figura 37: Área deposicional a jusante depois da estrada RST 377 .....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Processo erosão pela água – elementos interativos, fatores condicionantes e parâmetros.....	05
Quadro 02: Elementos interativos, fatores condicionante e parâmetros para o desenvolvimento do processo erosivo.....	19
Quadro 03: Tipos e quantidades de feições erosivas .....	44
Quadro 04: Análise granulométrica em porcentagem.....	54

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	03
2.1. Erosão: conceitos básicos .....	04
2.2. Processos e feições erosivas.....	06
2.3. Desenvolvimento das feições erosivas .....	08
2.4. Parâmetros controladores da erosão .....	11
2.4.1. Característica geológica .....	11
2.4.2. Clima .....	13
2.4.3. Relevo .....	14
2.4.4. Cobertura vegetal .....	15
2.4.5. Solos .....	16
2.5. Formas de contenção dos processos erosivos.....	19
2.6. Uso da cartografia.....	23
2.7. Caracterização regional da área de estudo .....	26
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. Trabalho em escritório:.....	31
3.2. Trabalhos de campo: .....	32
3.3. Trabalhos de laboratório: .....	33
3.4. Análise dos resultados obtidos: .....	35
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.1 Caracterização das feições erosivas .....	42
4.2 Análise das amostras coletadas.....	53
4.2.1. Análise granulométrica .....	53
4.2.2. Difratomia por raios X .....	57
4.3 Setorização da área de estudo .....	62
5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....	71
5.1. Análise dos setores .....	72
5.2. Contribuição para a área de estudo .....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

## RESUMO

O presente estudo analisa feições erosivas que se desenvolvem em uma cabeceira de drenagem, no Município de São Francisco de Assis, entre a depressão periférica e o planalto Rio-Grandense. A área de estudo, localiza-se entre as coordenadas  $55^{\circ}18'46''\text{w}$  e  $55^{\circ}16'00''\text{w}$  e  $29^{\circ}34'50''\text{s}$  e  $29^{\circ}32'55''\text{s}$ , próxima a estrada nova (RST 377). O estudo avalia os processos erosivos em uma cabeceira de drenagem de uma bacia hidrográfica de pequena extensão associada ao Rio Ibicuí, comparada a outras bacias hidrográficas nas proximidades com área de 357,72ha e perímetro de 7929m. O objetivo do trabalho é descrever as voçorocas e outras feições em diferentes estágios de desenvolvimento, os fatores que intervêm na gênese e a evolução dos processos erosivos na região; propor alternativas para contenção dos processos erosivos e possível reabilitação das áreas degradadas, observando uma área “modelo”. Foram identificadas, mapeadas e classificadas as voçorocas em vários estágios de desenvolvimento como também os areais e afloramentos rochosos. As feições erosivas são estudadas pela geomorfologia como as principais responsáveis pela modificação da superfície terrestre e como conseqüências do mau uso do solo. É importante implementar sistemas de informação que possam observar a evolução dos processos erosivos de modo a planejar ações para a preservação das áreas produtivas e conter a degradação ambiental na área e arredores, uma vez que processos semelhantes a esse se desenvolvem em toda a região.

Palavras-chave: processos erosivos, voçoroca, feições erosivas

## **ABSTRACT**

The present paper analyses the erosive processes that have been developed in São Francisco de Assis county, between the peripheric depression and the Rio Grandense plateau. The studied area is located between the 55°18'46" w and 55°16'00" w, 29°34'50" s and 29°32'55" s close to the new road RST 377. The study considers the drainage headcuts of a small hydrological basin connected to Ibicuí River, related to others in the neighborhood. The area is 357,72ha and the perimeter is 7929m. The purpose of this paper is to describe the gully and others erosive processes in different degrees of development, the factors that interfere in the origin and de evolution of the erosive processes in the region; to offer alternatives to stop the degradation of the erosive processes and the possible rehabilitation of the degraded areas, observing a restricted area. The identified were classified and maps were made. The erosive landforms have been studied by geomorphology alteration of the earth surface. It's important to establish systems to observe the evolution of the erosive processes in order to plan actions to preserve the productive areas and to stop the degradation of the environment in those areas and the around areas because processes like those are increasing in the whole region.

Key-words: erosive processes, gully, erosive landforms

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo tem sido considerada como um dos problemas mais significativos num processo de discussão de desenvolvimento regional, uma vez que está diretamente relacionada com processos produtivos.

As feições erosivas têm sido estudadas pela geomorfologia como as principais responsáveis pela esculturação da superfície terrestre. Conforme Suguio (2003, p.25) erosão ou gliptogênese é um fenômeno natural, através do qual a superfície terrestre é desgastada e afeiçãoada por processos físicos, químicos e biológicos de remoção de partículas do solo, que modelam a paisagem, porém a erosão basicamente significa transporte de material e a deposição deste em outro local.

A intensidade dos processos erosivos depende de alguns fatores naturais como a litologia, clima, declividade, cobertura do terreno, entre outros. Essa intensidade pode aumentar pela ação antrópica, que se torna o principal agente modificador da paisagem. Entre as atividades antrópicas que contribuem para acelerar os processos erosivos pode-se destacar o desmatamento, o uso indevido do solo nas atividades agropecuárias, extração mineral e a urbanização inadequada.

A destruição das matas, o uso indevido do fogo e o cultivo das terras fora de sua capacidade de uso retiram a proteção da cobertura vegetal, o que ocasiona a ação da chuva diretamente sobre o solo desprotegido, de forma que as enxurradas passam a levar a camada fértil do solo, a matéria orgânica etc, para os vales e leitos das drenagens. É o fenômeno da erosão, em que a atividade antrópica tem um papel considerável.

O conhecimento do desenvolvimento dos processos erosivos e da dinâmica superficial e subsuperficial possibilitam o reconhecimento da suscetibilidade natural das áreas para o desenvolvimento de feições erosivas como os sulcos, as ravinas e as voçorocas. Nesse sentido, é importante conhecer as características geomorfológicas e os tipos de solo existentes na área. O conhecimento destes parâmetros, entre outros, permite uma discussão sobre os fatores condicionantes para o desenvolvimento dos processos erosivos acelerados.

Esse trabalho busca estabelecer parâmetros para compreender a gênese e a evolução dos processos erosivos na região; mediante a descrição das feições erosivas a partir de características geomorfológicas e geológicas na área de estudo; propõem alternativas de contenção dos desenvolvimentos dos processos erosivos e reabilitação da área degradada. Os objetivos específicos compreenderam a uma descrição e classificação das diferentes feições erosivas, uma análise granulométrica do material de granulação grosseira e difratometria por Raios-X para identificação dos argilo-minerais presente no material litológico da área de estudo.

A escolha do tema do trabalho levou em consideração o desenvolvimento de processos erosivos semelhantes em grande parte dos municípios da região Oeste do Rio Grande do Sul, especialmente na bacia do Rio Ibicuí. A área modelo de estudo foi escolhida por ser representativa e desenvolver diferentes tipos de feições erosivas em diferentes estágios de desenvolvimento, e está localizada no município de São Francisco de Assis, localizada aproximadamente a  $55^{\circ}18'W$  de longitude  $29^{\circ}32'S$ , junto à estrada nova (RST 377), como mostra a figura 01.

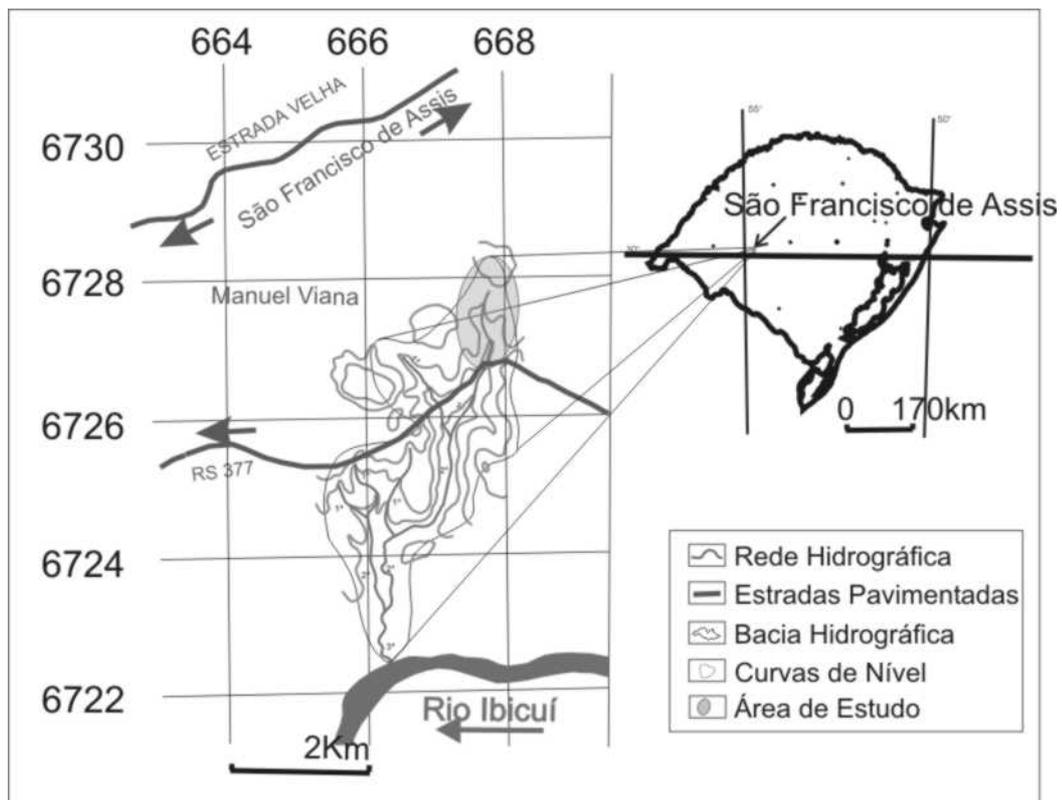


Figura 01: Localização da área de estudo no RS

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho se desenvolveu sobre os seguintes temas: processos erosivos; parâmetros controladores, formas de contenção, cartografia.

Segundo Freire (1974), apud Bahia et al. (1992, p.26), em relação ao solo, fatores determinantes da erosão podem ser classificados como: (i) fatores extrínsecos naturais, como a chuva o vento e as ondas; (ii) fatores extrínsecos ocasionais como a cobertura e o manejo do solo além dos (iii) fatores intrínsecos. Entre os fatores intrínsecos podem-se destacar a topografia (declividade e comprimento de rampa) e propriedades do solo tais como textura, estrutura, porosidade e permeabilidade; capacidade de infiltração; teor de matéria orgânica natureza do complexo coloidal e natureza dos cátions adsorvidos.

Existe ainda, segundo Bahia et al. (1974), diferentes formas de manifestação dos efeitos da erosão hídrica, entre as quais se destacam a erosão por embate; a erosão laminar ou em lençol; erosão em sulcos ou ravinas; as voçorocas e a erosão vertical. A erosão por embate ocorre quando a gota de chuva acumulada de alta energia cinética atinge o solo, destruindo os agregados e projetando suas partículas a distâncias consideráveis, predispondo-as ao deslocamento pelas águas ainda em movimento. A erosão laminar ocorre pelo escoamento difuso e a erosão linear pelo escoamento superficial concentrado provocando o surgimento de sulcos, ravinas e voçorocas.

A erosão laminar ou em lençol caracteriza-se por arraste uniforme das partículas de solo, sendo muitas vezes imperceptível nos seus primeiros estágios. O estabelecimento da erosão laminar pressupõe um terreno inclinado, pouco permeável e que apresente superfície uniforme. A erosão em sulcos caracteriza-se pela formação de canais sinuosos, em consequência do acúmulo de água que escorre seguindo as linhas de maior declividade do terreno irregulares, estão associadas a chuvas de grande intensidade, terrenos declivosos e com grande comprimento de rampa.

As voçorocas são formas mais espetaculares de erosão, ocasionada por grande concentração de enxurrada que passa, ano após ano, no mesmo sulco, que se vai ampliando pelo deslocamento de grande massa de solo, e formando grandes cavidades em extensão e profundidade. São de muito difícil recuperação. E por fim a erosão vertical que, segundo Bahia et al. (1992), consiste no arraste de partículas em suspensão e materiais solúveis através do perfil do solo. A porosidade, o grau de agregação e os íons saturantes do complexo coloidal exercem grande influência sobre a natureza e a intensidade desse fenômeno.

## 2.1. Erosão: conceitos básicos

A erosão é o desprendimento e o arraste acelerado de partículas do solo causado pela ação da água ou pelo vento denominadas muitas vezes de *erosão hídrica* e *erosão eólica* respectivamente. A erosão hídrica é a que ocorre com maior frequência nas diversas regiões brasileiras. Em regiões cuja vegetação seja insuficiente para cobrir o solo, a erosão eólica torna-se também um problema grave.

Para Suguio (2003, p.11) “erosão é o conjunto de processos naturais que causa a alteração das rochas, próximas da superfície terrestre, em produtos que não estejam mais em equilíbrio com *novas condições físico-químicas* diferentes das que deram origem à maioria dessas rochas”, que em certos tipos de solos susceptíveis e sob determinadas condições climáticas, naturalmente relevantes, gera desagregação e ou dissolução, transporte e deposição de partículas do solo.

Segundo Guerra (1997, p.229) “o termo erosão implica, para o geólogo e para o geógrafo, a realização de um conjunto de ações que modelam uma paisagem. O pedólogo e o agrônomo, porém, consideram-na apenas do ponto de vista da destruição dos solos”.

Também IPT (1992, p.123) “o processo de erosão pela água consiste na desagregação e remoção do solo, fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade da água precipitada e de escoamento”. E essa força erosiva manifesta-se pela erosão laminar, e posterior sulcos, ravinas, voçorocas e até por *piping* (erosão interna regressiva). A interação destes elementos e fatores condicionantes para o processo erosivo está exposta no Quadro 01.

Quadro 01: Erosão pela água – Elementos interativos, fatores condicionantes e parâmetros.

Elementos Interativos do processo		Fatores condicionantes dos elementos interativos do processo		Parâmetros dos fatores condicionantes do processo
Essencial	Material: Solo e rochas friáveis	Propriedades intrínsecas	Textura, estrutura, permeabilidade	erodibilidade
		Propriedades extrínsecas	Declive do terreno	Comprimento e grau de declive
			Superfície do terreno	Densidade da cobertura vegetal Uso, manejo, conservação
	Energético: gravidade			constante
Regulador	Chuva	Pluviosidade		Erosividade
	Outros processos	Escoamento das águas em superfície, Movimentação das águas de subsuperfície		

Fonte: IPT (1992, p.124) Alterações no meio físico decorrentes de Obras de Engenharia.

Conforme Bigarella et al. (2003, p.884) “o conceito de erosão está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno com a retirada e o transporte dos grãos minerais. Implica na relação de fragmentação mecânica das rochas ou na decomposição química das mesmas, bem como na remoção superficial ou subsuperficial dos produtos do intemperismo”. Envolvendo processos mecânicos e químicos para esta remoção e transporte de material.

Para Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998, p.134) erosão é “o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos”. Também comenta que existe a erosão natural, em condições de equilíbrio, e a erosão acelerada com uma retirada de material superior a da formação de solo, gerando um desequilíbrio.

Para Passos e Bigarella em (Guerra e Cunha, 2003, p113) “a erosão atua, somente na porção superior do solo durante a estação úmida, enquanto a alteração química intensa das rochas age o ano todo, na superfície basal do intemperismo, a qual permanece úmida durante a estação seca. A erosão e a alteração desempenham funções distintas no processo de aplainamento”. As erosões lineares produzem feições que são classificadas de diferentes formas dependendo do autor.

Conforme Moreira e Neto (1998, p.76) a erosão pelas chuvas deve-se à combinação do tamanho das gotas e da velocidade do vento. Quando as gotas de chuva atingem o solo, desloca grãos e agregados, que através do tempo podem formar uma rede de ravinas gerando um processo erosivo de grandes dimensões como a voçoroca.

## 2. 2 Processos e feições erosivas

A discussão do desenvolvimento das feições erosivas e seus diferentes estágios de desenvolvimento do processo erosivo tem sido a preocupação de diferentes autores. Bigarella et al. (2003, p.924) adapta de Imenson & Kwaad (1980) uma classificação para as feições erosivas de pequenas proporções em relação à profundidade: Ranhura (até 5 cm), Sulco (5 a 30 cm), Vala (30 a 100 cm) e Ravina (> que 100 cm). Assim, segundo Bigarella et al. (2003, p.924), “ravina constitui um canal pequeno e relativamente profundo originado por uma corrente de águas intermitente. Pode originar-se a partir do desenvolvimento progressivo das ranhuras, sulcos e valas nas vertentes, transformando-se em canais efêmeros maiores”, também podem se desenvolver ravinas independentemente através da concentração do fluxo superficial na vertente, devido ao aumento da força erosiva. A Ranhura, Sulco e Vala demarcam as áreas onde o fluxo laminar e uniforme muda para concentrado aumentando a ação erosiva de jusante para montante, associado à declividade e o comprimento de rampa da vertente “iniciando uma dissecação vertical embrionária”. Para Salomão (1999, p.230) “... sulcos e ravinas são, em geral, diferenciados pela profundidade da erosão linear em forma de canal produzido pelo escoamento concentrado...”.

Segundo Horton (1945), citado em Guerra (1999, p.29), “o conceito de evolução de ravinas baseia-se no fato de que, quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial. A água acumula-se em depressões (*microtopografia*) na superfície do solo, até que começa a descer a encosta, através de um lençol (*shettflow*), que pode evoluir para uma ravina. Nesse processo, esse fluxo passa a ser linear (*flowline*), depois evoluir para microrravinas (*micro-rills*), e depois para microrravinas com cabeceiras (*headcuts*)”.

Para Salomão (1999, p.243) no “estudo da erosão linear (sulco, ravina e boçoroca), além do entendimento dos fatores naturais, é fundamental conhecer o comportamento das águas de chuva e do lençol freático”. Onde a ocorrência de ravinas e voçorocas depende das características dos materiais constituintes do solo em relação à ação hidráulica tanto em superfície e em subsuperfície.

Conforme Guerra (1999) o desenvolvimento de voçorocas depende da conjugação de um conjunto de fatos e de sua repetição ao longo do tempo, e seu estágio inicial se daria pela ação da erosão por salpicamento (*splash*), que age diretamente no solo, na ruptura dos seus agregados formando uma “selagem”, diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (*runoff*). Esta seria a condição básica para a formação das ravinas este fato é influenciado diretamente pela erosividade que segundo Guerra (1999, p.19), “é a habilidade da chuva em causar erosão. A determinação do potencial erosivo depende principalmente dos parâmetros de erosividade e também das características das gotas de chuva, que variam no tempo e no espaço”.

Quando a ravina se desenvolve associada a cabeceiras de drenagem, fica evidente, em conseqüência, o surgimento de bifurcações e novas microrravinas na vertente porque, iniciado o processo erosivo na área, o sistema irá procurar pontos de fraqueza ou de ruptura (*knickpoints*) na vertente para a abertura de novas ravinas Guerra (1999, p.33). De forma geral, as ravinas têm um formato em “V” quando encontra solos homogêneos e com profundidade relativamente grande. Também pode formar vales em “U” quando entra em contato com diferentes horizontes de solo ou a rocha mãe.

Segundo Guerra (1999, p.29), o desenvolvimento da erosão em superfície gerada primeiramente pelo escoamento superficial (*runoff*), através da saturação do solo pela água, proporciona o surgimento de sulcos e ravinas. Em diferentes estágios de desenvolvimento do processo erosivo à ligação entre erosões em superfície e subsuperfície, é freqüente esta relação no desenvolvimento das voçorocas em estágios avançados.

Conforme Bigarella et al. (2003, p.929) “a voçoroca constitui um canal de drenagem de paredes abruptas, com fluxos efêmeros ou, eventualmente, pequenos. A erosão geralmente é intensa. Termina numa cabeceira extremamente íngreme e escarpada”. O comportamento das voçorocas pode caracterizar um ciclo que

Bigarella et al. (2003, p.929) indica de quatro fases: 1 – erosão do canal e encaixamento; 2 – retrocesso da cabeceira e rápido alargamento; 3 – recomposição; 4 – estabilização. Porém estes ciclos podem ser reativados devido a mudanças de cunho climáticas, geológicas ou antrópico.

Estes três fatores influem diretamente e indiretamente na evolução das voçorocas: (i) ocorrências de grandes precipitações em curtos períodos de tempo podem ser fatores desencadeadores de processos de formação sulcos e ravinas e posteriores voçorocas; (ii) se o material rochoso formador de solos for propício para geração de canais pode ser um indicador de condições para a evolução da voçoroca e por fim, (iii) a ação antrópica que modifica a relação relevo-solo-vegetação natural, para muitas vezes introduzir plantações e pastagens para uso comercial modificando o equilíbrio natural existente.

### **2.3. Desenvolvimento das feições erosivas**

O desenvolvimento de feições erosivas tem influencia de alguns fatores entre os quais pode-se relacionar: cabeceiras de drenagem ou cabeceiras de vale; movimentos de massa internos e movimentos de massa externos.

Conforme Oliveira (1999, p.86) “as incisões erosivas formam-se nas cabeceiras de vale, pois são nessas áreas que ocorre convergência entre fluxos superficiais e fluxos subterrâneos”. Existe uma relação importante entre a rede de drenagem de primeira ordem com o desenvolvimento de voçorocas. As chamadas cabeceiras de drenagem, áreas adjacentes ao vale canalizado, são locais sensíveis ao desenvolvimento de processos erosivos intensos.

Com a formação da ravina em cabeceira de drenagem conforme Guerra (1999, p.32) a cabeceira de voçoroca (*headcut*) começa a recuar na direção do topo da vertente, gerando um canal profundo e largo, dando origem à condições propícias a formar novas ravinas e bifurcações, principalmente nos pontos de ruptura. O crescimento deste processo tanto em área como em profundidade, origina uma área de sedimentação a jusante. Ainda, segundo esse autor, a localização e identificação destes pontos de ruptura têm um significado importante na evolução dos processos erosivos, pois influem diretamente no sistema hidráulico das encostas e na formação

das voçorocas, portanto o controle nestes pontos deve facilitar o desenvolvimento de voçorocas.

Oliveira (1999, p.86) observa que:

“As áreas de cabeceiras de vale, também conhecidas como áreas de contribuição em vales não canalizados, são os pontos da Rede Hidrográfica que demonstram maior sensibilidade às oscilações hidrodinâmicas ao longo do tempo... Devido a sua dinâmica pretérita e atual, e as características mecânicas herdadas desta dinâmica, cabeceiras de vale são áreas de risco potencial de erosão por voçorocas”.

Para Oliveira (1999, p.92) as cabeceiras de vale e nascentes se caracterizam como áreas de risco de erosão, pois “se caracterizam como áreas-fonte” para o escoamento canalizado perene.

Segundo Bigarella et al. (2003, p.992) “as cabeceiras de drenagem em anfiteatro com cava côncava constituem ambientes onde predomina a atividade erosiva”, pois constituem em área de confluência ao fluxo superficial e subsuperficial favorecendo o desencadeamento da erosão remontante.

As ravinas associadas a cabeceiras de vale são áreas de convergência de fluxos superficiais e fluxos em subsuperfície, que determinados tipos de solo e rocha podem formar. Oliveira (1999, p.81) afirma que “durante as chuvas de baixa intensidade e distribuídas ao longo de um ou mais dias, aumenta a participação do escoamento subsuperficial, que é gerado pela percolação de água infiltrada na superfície da encosta”.

Este tipo de ocorrência acaba gerando um outro tipo de feição erosiva, os “dutos” (*pipes*) de escoamento subterrâneo, próximo à área de influência do lençol freático. Para Oliveira (1999, p.81) a presença de “fenda e dutos indicam a existência de movimento generalizado da encosta em torno da incisão erosiva. Podem ser formados por movimentos translacionais profundos, por tração nas bordas da incisão, ou por expansão e contração de argilominerais”. Esse tipo de feição caracteriza a passagem de água em subsuperfície pelo lençol freático, o que pode desenvolver o processo de erosão denominado por *piping*, cujo resultado é a feições erosivas denominadas *pipes*, referidas anteriormente.

Azevedo e Albuquerque Jr. (1998, p.130) definem processo de erosão interna regressiva, também chamada de *piping* quando as “forças de percolação” da água

atingem um “valor crítico e condições semelhantes às da liquêfação”, então as partículas de solo são arrastadas, criando pequenas aberturas que acabam concentrando o fluxo formando pequenas cavidades. Estas cavidades irão ganhando proporções com o tempo.

Bigarella et al. (2003, p.994) comenta que “os dutos subterrâneos constituem cavidades tubulares de diâmetros centimétricos ou decimétricos que podem se estender por longas distâncias em direção a base da encosta”. A formação destes dutos leva em consideração a macroporosidade do solo e suas fraturas de tensão, a raízes da vegetação, também a animais escavadores e diferenças texturais que se modificam pela profundidade do solo. Estas áreas propícias a formação de dutos (*pipes*) são as rotas preferenciais do fluxo de água em subsuperfície.

Segundo Salomão (1999, p.230) “o fenômeno de *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno” estes colapsos serve para alargar ou criar novos canais incisos, além disso, o autor comenta que na voçoroca ocorrem diversos fenômenos: “erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos”.

No que diz respeito ao desenvolvimento do processo erosivo a atuação da energia que forma a força erosiva (trabalho gerado pela força da água), em escoamento ou no efeito bombardeio da chuva (*splash*) D’Agostini (1999, p. 90) comenta que:

“Em relação ao processo erosivo, a energia hidromecânica envolvida está encerrada na massa de água da chuva que cai, matéria que entra, e na massa de água que escoar sobre a superfície do solo. A matéria que sai do sistema, entre outras formas, é uma fração da água que escoar superficialmente e a massa de solo erodido. Essa última, carregada para fora do sistema, representa um trabalho que se encontrava armazenada na forma de energia da chuva e do escoamento superficial.”

Associadas aos processos de desenvolvimento das voçorocas, são freqüentes as ocorrências de movimentos de massa internos, envolvendo volumes de solo ou de rocha, como solapamentos, desabamentos e escorregamentos.

Movimentos de massa ocorrem em muitas feições erosivas. Ocorrem associadas à montante ou no alargamento das incisões erosivas, mostrando

cicatrizes nas paredes abruptas da voçoroca e são identificados pelos resíduos abaixo destas cicatrizes Guerra (1999, p.77). Isso ocorre, porque nas voçorocas ocorrem diversos fenômenos como: erosão superficial, erosão subterrânea, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, que se confluem dando um grande poder destrutivo para as voçorocas este poder geralmente ganha proporções quando a voçoroca atinge o lençol freático então praticamente todas as formas de erosão estão atuando.

Uma conseqüência da erosão é o assoreamento dos cursos de água, pois segundo, Mota (1997, p.84) “a água, arrastando o solo, o conduz para os cursos d’água e reservatórios, provocando a redução das calhas de escoamento e dos volumes de armazenamento”, que provocam diversos impactos no sistema hídrico.

## **2.4. Parâmetros controladores da erosão**

Os fatores controladores da erosão têm sido objeto de investigação em muitos trabalhos recentes. Infanti Jr. e Brito (1998, p.135) fazem referência a dois conjuntos de fatores controladores dos processos erosivos: fatores naturais e os fatores antrópicos.

Os fatores antrópicos relacionados com processos erosivos estão associados com uso e ocupação do solo. Sabe-se que na área de estudo as atividades econômicas desenvolvidas estão relacionadas à agricultura e a pecuária. Essas atividades são desenvolvidas, em geral, em grandes propriedades rurais. É importante, nesse trabalho, relacionar o desenvolvimentos dos processos erosivos e o tipo de atividade desenvolvida na área. Por outro lado, os fatores naturais controladores dos processo erosivos estão associados às características geológicas de uma área; clima, regime de chuvas, cobertura vegetal, relevo; solo; substrato rochoso e características do sistema hídrico da área entre outros.

### **2.4.1 Característica geológica**

Alguns autores têm considerado as características geológicas como um dos principais fatores controladores para o desenvolvimento de processos erosivos.

Para Chasot e Campos (2000, p.116) “a maior parte dos fatores condicionantes do uso do meio físico são dependentes da geologia, tais como a

erosão, os movimentos de massa, a água subterrânea, o posicionamento espacial e a compartimentação dos maciços rochosos e a dinâmica da crosta terrestre”.

As informações litológicas são importantes porque segundo Santos (2004, p.74) “subsidiem as interpretações sobre o relevo, solo e processos de erosão, entre outros dados. Como produto, define e valoriza a composição, disposição, origem e evolução das rochas ... ainda permite ao pesquisador deduzir a permeabilidade do solo, o tipo de vegetação e a disponibilidade de água superficial e subterrânea e de recursos minerais”.

A formação do solo, presença de águas superficiais e subsuperficiais, nível de lençol freático, são fatores naturais, relacionados aos diferentes tipos de rocha.

A erosão é controlada pela litologia e estruturas das rochas. Para Suguio (2003, p.26) “... em termos estruturais não somente a presença ou ausência de estratificações, foliações, xistosidade e gnassificação, também fatores tectônicos, tais como: falhas, dobras e juntas devem interferir na erosão fluvial”. Assim as diferenças litológicas e a característica estrutural das rochas promovem uma erosão diferenciada porque, nessas condições, as rochas apresentam uma maior ou menor suscetibilidade para a ação dos agentes erosivos. Um parâmetro que o tipo de rocha, geralmente controla é a coesão. A coesão é um fator importante para a suscetibilidade. Segundo Guerra (1997, p.145) “... maior ou menor grau de coesão de um solo é dado pela presença de argila e matéria orgânica”.

As rochas sedimentares tendem a desenvolver processos erosivos com mais frequência e com maior intensidade se comparados com outros tipos de rocha. Entre as rochas sedimentares merecem especial atenção os arenitos que geram solos com maior fragilidade. Para Frendich (1991, p.20) “... os solos arenosos sofrem maior ação da água uma vez que eles não são bem estruturados”. Os processos erosivos sobre rochas sedimentares no Brasil são de consideráveis proporções.

Para Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998, p.136) “as áreas de ocorrência de boçoroca no País estão associadas às áreas de ocorrência das formações geológicas sedimentares, cuja cobertura pedológica corresponde a materiais arenosos”. Entre os estados em que as erosões são mais significativas pode-se destacar São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul. Alguns trabalhos têm buscado caracterizar o desenvolvimento de processos erosivos sobre rochas sedimentares entre eles pode-se destacar Klamt e Schneider (1997); Suertegaray, Guaselli e Verdum (2001); Robaina et al. (2002) entre outros. Alguns

desses trabalhos foram desenvolvidos em áreas com as características geológicas muito próximas das características geológicas da área de estudo.

#### **2.4.2. Clima**

O clima é um fator importante controlador do desenvolvimento de processos erosivos. Atua na desagregação da rocha e formação do solo. Segundo Salomão e Antunes em (Oliveira e Brito, 1998, p.89) “os aspectos climáticos mais importantes no desenvolvimento pedogenético são representados pela temperatura e precipitação pluviométrica”.

Segundo Mota (1997, p.82) “chuvas de grande intensidade e curta duração resultam em maior escoamento das águas e, conseqüentemente, em maior possibilidade de erosão. Quanto maior for a freqüência das chuvas, mais encharcado ficará o solo, reduzindo sua capacidade de absorver água”.

Para Fendrich (1991, p.22) “as regiões mais atingidas pela erosão, são caracterizadas pelas classes de climas úmidos, tropical quente e temperado” segundo a classificação de Köppen. As modificações cíclicas do clima são os maiores condicionantes na modificação da superfície terrestre e na interpretação das formas de relevo. O clima (principalmente a precipitação e sua distribuição pelas estações do ano) indica o principal fator desencadeador de erosão nas regiões tropicais e subtropicais: a erosividade chuva. A intensidade da precipitação é indicada pela energia cinética que determina a erosividade da chuva.

O clima controla importante fator erosivo: a precipitação e sua distribuição durante as estações do ano. Assim a precipitação é um fator desencadeador relevante causador do efeito de salpicamento que age diretamente no solo e também no processo de infiltração. O escoamento difuso e superficial são aspectos importantes na criação dos canais iniciais e na alimentação do lençol freático. O desenvolvimento do processo erosivo é conseqüência direta da precipitação e portanto do clima.

Segundo Guerra (1999, p.19) a erosividade da chuva “é a habilidade da chuva em causar erosão. A determinação do potencial erosivo depende principalmente dos parâmetros de erosividade e também das características das gotas de chuva, que variam no tempo e no espaço”. Assim quanto maior é a erosividade da chuva menor é sua infiltração e maior é seu escoamento superficial.

A característica do sistema hidrológico e suas variações ao longo do tempo estão ligadas diretamente ao clima. Indicam um fator condicionante para as ações de erosão. Para Bigarella (2003, p.991) os sistemas hidrológicos “são afetadas por alterações do teor de umidade dos fundos de vales, pelo transporte de sedimentos e pelo assoreamento causados pelos desmatamentos e pela erosão das encostas. Essas perturbações influem no comportamento dos diversos tipos de canais de drenagem, modificando temporariamente sua extensão relativa”.

### **2.4.3. Relevo**

O relevo é um fator importante a ser considerado quando se busca estabelecer indicadores iniciais das áreas susceptíveis a desenvolver processos erosivos intensos.

Para Santos (2004, p.80) as “informações sobre o relevo, somadas aos dados geológicos e de solo, permitem avaliar os tipos de terreno, com suas relações de fragilidades e potencialidades naturais, bem como as conseqüências da intervenção humana”.

Para Fendrich et al. (1991, p.22) “as voçorocas ocorrem tanto em terrenos levemente ondulados, como também, naqueles de topografia acidentada”.

Para Klamt e Schneider (1990, p.72) “o relevo devido a sua influência no fluxo superficial e subsuperficial da água, influi na formação dos solos, além de controlar a modelagem da paisagem”. Essa influência, associada ao tipo de clima, influencia no processo de desenvolvimento do solo.

Segundo Christofolletti (1981) o estudo da análise das formas do relevo e dos processos que lhe são inerentes, auxilia a compreensão da dinâmica do modelado terrestre. Considerando essa perspectiva pode-se observar nas formas de relevo as conseqüências ambientais caso este equilíbrio natural seja rompido.

Rodriguez e Pejon (1998) destacam que o mapeamento das feições de relevo tem por objetivo compreender áreas com parâmetros morfométricos homogêneos, tais como: altitude, declividade e amplitude.

A análise de parâmetros morfométricos possibilita a compreensão do relevo e o comportamento das vertentes servindo como indicadores iniciais de área suscetíveis a desenvolver processos erosivos intensos.

Vertente é área que compõe o relevo e que armazena e fornece água e sedimentos para os cursos d'água que formam as bacias hidrográficas. Para Bigarella (2003, p.972) “vertente refere-se a uma superfície inclinada, sem qualquer implicação genética ou de posicionamento. Seu conceito define a superfície propriamente dita, bem como sua declividade (em graus ou porcentagem; ângulo da vertente)”. Ainda, segundo o autor, diferentes processos atuam nas vertentes que defendem de muitos fatores como: clima regional, cobertura vegetal, litologia, estrutura geológica e tipos de ação erosiva.

Para Cristofolletti (1974) o estudo das vertentes representa um dos mais importantes aspectos da pesquisa geomorfológica, englobando a análise de processos e de formas. As vertentes no sentido mais amplo significam superfície inclinada não horizontal.

Para Guerra (1997) vertentes são planos de declividade por onde correm águas pluviais. As vertentes apresentam formas variadas, podendo ser agrupadas em três tipos distintos: côncavas, convexas e retilíneas. As vertentes côncavas apresentam a linha de perfil com curvas de nível mais afastadas umas das outras na base e aproximando-se à medida que chegam ao topo. Por outro lado, as vertentes de perfil convexo apresentam um perfil com curvas de nível mais afastadas umas das outras no topo e mais próximas umas das outras na base. Enquanto as vertentes de perfil retilíneo distinguem-se dos dois tipos anteriores, pois as curvas apresentam afastamentos equivalentes.

#### **2.4.4. Cobertura vegetal**

A vegetação é um dos fatores de extrema importância para a contenção dos processos erosivos. O tipo de vegetação (gramínea, arbustiva, arbórea) influi diretamente na infiltração da água, no escoamento superficial, e na erosividade da chuva quando esta atinge o solo.

Para Mota (1997, p.82) os “terrenos desmatados ou onde a vegetação é rala estão mais sujeitos à ação desagregadora da água e do vento”, pois a vegetação tem o efeito de reduzir e amortecer o impacto da chuva sobre o solo, e também como barreira física para “o transporte de materiais” tanto pela ação da água quanto do vento.

O Estado do Rio grande do Sul tem a predominância dos campos e da matas galerias e pequenos capões esparsos em um terreno que geralmente se caracteriza por colinas alongadas. Segundo Marchiori (2004, p.17) “a vinculação de campos e florestas à fertilidade dos solos ou ao material de origem não resiste, todavia, a exame mais detalhado. A Geologia também parece não exercer grande influência sobre o tipo de vegetação, ocorrendo os dois tipos de vegetação, indistintamente, nas quatro províncias geomorfológicas do Estado: Planície Litorânea, Depressão Central, Planalto e escudo”. O que o autor leva em consideração é o relevo e o clima, como um determinante natural do comportamento das espécies nativas que se adaptaram ao meio. Segundo Marchiori, (2004 p.17) “o mesmo tipo de campo pode ocorrer tanto em solos profundos como rasos sem aparente mudança na estrutura e composição florística” devido a pequenas variações do relevo.

Existem diferentes conceituações nas classificações fitogeográficas e Marchiori (2004 p.31) comenta que, “no caso do Rio Grande do Sul, este ponto adquire especial importância quando se trata das formações campestres, definidas ora como estepes, ora como savanas, savanas-estépica ou pradaria”.

#### **2.4.5 Solos**

Os conceitos de solo têm sido usados em larga escala em trabalhos de engenharia civil, geologia e agronomia. Esse conceito, dependendo dos objetivos e enfoques científicos, tem sido interpretado de maneira diversa: produto do intemperismo físico, químico das rochas, na geologia; material escavável, que perde sua resistência quando em contato com a água, na engenharia civil e na agronomia a camada superficial da terra arável, possuidora de vida microbiana. Nesse trabalho usa-se o conceito de solo consagrado na geologia porque vincula suas características com as características do ambiente de sua formação.

Para Salomão e Antunes (1998, p.87) é indispensável considerar as variações verticais e laterais do solo nos estudos das relações genéticas entre o solo e os demais elementos que constituem o meio natural: o substrato geológico, o relevo, a vegetação, o comportamento hídrico e, conseqüentemente, interpretar os processos da dinâmica superficial (erosão, escorregamento e colapso) e os fenômenos e comportamentos do meio físico relacionados com as diferentes formas de

interferência humana. Portanto, os solos ocorrem na paisagem compondo unidades ou compartimentos delimitáveis por meio da distinção de características morfológicas (cor, textura, estrutura, consistência, nódulos, concreções, etc) dos horizontes pedológicos observáveis no campo, e características físicas e químicas determinadas por meio de ensaios de laboratório e in situ.

O processo de desenvolvimento do solo inicia-se com o intemperismo, representado pelos fenômenos físicos e químicos agindo sobre a rocha, estudos sobre solo demonstram que sua origem e evolução sofrem a influência de alguns fatores.

Para Salomão e Antunes (1998, p.88):

“a origem e evolução dos solos sofrem a influência de cinco fatores:  
1)clima, condicionando principalmente a ação da água da chuva e temperatura; 2) material de origem, condicionando a circulação interna da água e a composição e conteúdo mineral; 3) organismos, vegetais e animais, interferindo no microclima, formando elementos orgânicos e minerais e modificando as características físicas e químicas; 4) relevo, interferindo na dinâmica de água, no microclima e nos processos de erosão e sedimentação; 5) tempo, transcorrido sobre ação dos demais fatores”.

As características morfológica do solo representam a aparências do solo no campo, sendo visíveis e olho nu ou perceptível por manipulação. A observação dessas características no perfil é utilizada na identificação de solos, na avaliação na capacidade de uso da terra e na avaliação da suscetibilidade de desenvolvimento de processos erosivos etc.

Segundo Streck et. al. (2002, p.14) “as características observadas em cada horizonte do perfil são: espessura, cor (escala de Munsell), textura, estrutura, consistência, cerosidade, porosidade, distribuição de raízes e transição entre os diferentes horizontes.” Observa-se ainda o ambiente onde está localizado o solo, em relação aos seguintes aspectos: relevo, drenagem, vegetação, clima, uso atual.

Na composição do solo, segundo Peck (1979), o cascalho e a areia têm essencialmente as mesmas propriedades geotécnicas, esses sofrem facilmente compactação, fracamente afetada pela umidade não estão sujeitos a ação de resfriamento. O cascalho é mais estável, é mais resistente a erosão e piping do que

a areia. Areias bem selecionadas são mais estáveis do que areias mal selecionadas, a irregularidade de partículas aumenta a estabilidade levemente.

Para Peck (1979), os grãos mais finos, areias uniformes aproximam-se das características do silte, isto é, diminui a permeabilidade e reduz a estabilidade com o crescimento da umidade. O silte é instável por natureza, com o aumento da umidade, com a tendência de facilmente se tornar saturado. Ele é relativamente impermeável, de difícil compactação, altamente suscetível a ter gretas de contração, facilmente erodível e sujeito a piping. Grãos encorpados (bulky) reduzem a compressibilidade; grãos em floco como micas aumentam a compressibilidade produzindo um silte elástico. As características diferenciadas das argilas é a coesão ou força coesiva que cresce com a diminuição da umidade. A permeabilidade as argilas é muito baixa; é difícil de compactar quando saturada de água e impossível de ser drenada por processos comuns, quando compactada é resistente a erosão e ao piping, não é suscetível a aumento por congelamento, é sujeita a expansão e contração com a mudança da umidade. As propriedades são influenciadas não somente pelo tamanho e forma dos grãos, mas também por sua composição mineral, isto é, tipo de argilo-mineral, e ambiente químico ou capacidade de troca iônica.

Trabalhos recentes que discutem a suscetibilidade a desenvolvimentos de processos erosivos em área cuja característica das rochas são arenitos friáveis ou coesos como Robaina et. al. (2002) têm discutido a granulométrica de solos e rocha. Segundo esses autores essa informações permitem inferir a permeabilidade dos solos e rochas. A permeabilidade da rocha possibilita a circulação do fluxo d'água que desagrega os grãos, a partir da dissolução das argilo-minerais, que atuam no processo de cimentação dos grãos. Dependendo da permeabilidade e do grau de dissolução dos argilo-minerais, a água pode causar para fora do sistema as partículas mais finas (silte e argila), o que aumenta significativamente a suscetibilidade ao desenvolvimento dos processos erosivos.

Segundo Pinto (2000) num solo, geralmente convivem partículas de tamanhos diversos. Nem sempre é possível identificar as partículas porque grãos de areia, por exemplo, podem estar envoltos por uma grande quantidade de partículas argilosas, finíssimas apresentando o mesmo aspecto de uma aglomeração. Para

reconhecimento do tamanho dos grãos do solo realiza-se análise granulométrica que consiste, em geral, em duas fases: peneiramento e a sedimentação.

O Quadro 02 mostra, de maneira resumida, como os elementos interagem e sua relação com os condicionantes para a evolução dos processos erosivos.

Quadro 02: Elementos interativos, fatores condicionantes e parâmetros de Processo Erosivo.

Elementos Interativos do processo		Fatores condicionantes dos elementos interativos do processo		Parâmetros dos fatores condicionantes do processo
Essenciais	Solo	Propriedades Intrínsecas	Características dos horizontes: composição mineralógica e química, textura, estrutura, consistência, capacidade de retenção de água, geometria	Grau de solubilidade dos elementos presentes, conteúdo em argila, diâmetro das partículas predominantes, grau ou natureza de coesão ou adesão, resistência à deformação pela ruptura, teor de umidade, coeficiente de permeabilidade, espessura
		Propriedades Extrínsecas	Características geomorfológicas do terreno	Comprimento e grau de declive
Reguladores	Água	Balanço hídrico (precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial, infiltração)		Volume e distribuição
	Calor solar	Oscilações térmicas		Padrões sazonais ou periódicos de oscilação térmica
	Vegetação	Atividade radicular na estruturação do solo, cobertura do solo, absorção de partículas orgânicas e minerais do solo pelas plantas		Tipo de vegetação, densidade de cobertura vegetal, fitomassa removível
	Matéria Orgânica	Cobertura e raízes mortas, atividade de organismos decompositores (algas, bactérias, fungos)		Fitomassa, população de organismos decompositores
	Organismos escavadores e transportadores	Espécies existentes (minhoca, formiga, cupim)		População

Fonte: IPT (1992, p.130) Alterações no meio físico decorrentes de Obras de Engenharia, Boletim 61, São Paulo, 1992, IPT.

## 2.5. Formas de contenção dos processos erosivos

Conforme Ab'Saber e Müller-Plantenberg (2002, p.31) “prever impactos é um ato de tomada de precauções para garantir a harmonia e compatibilizar funções no interior do espaço total no futuro. É também, por extensão, um ato de bom senso, em que se procuram harmonizar o desenvolvimento com uma correta postura de

proteção ambiental e ecológica”. Porém muitas vezes a melhor alternativa é impossível, pois o impacto e a degradação ambiental já estão instalados em uma área, sobrando como alternativas medidas corretivas, ao invés de preventivas. Portanto a identificação das feições erosivas e dos pontos instáveis no interior ou nas bordas de uma voçoroca servirá para diagnosticar e monitorar a mesma. Pois a determinação dos pontos instáveis (pequenos movimentos de massa, solapamentos, dutos, rastejos, alcovas de regressão e degraus de ruptura) determinará o comportamento atual da voçoroca estabelecida e a área em equilíbrio mais estável ocorre a presença de vegetação.

As medidas de controle têm caráter preventivo e/ou corretivo dos processos erosivos. Estas medidas têm como objetivos amenizar três aspectos fundamentais: o efeito splash (desagregação e liberação de partículas), o escoamento superficial (transporte de material) e o escoamento subterrâneo. Conforme Bigarella (p.943, 2003) “deve-se procurar a combinação mais econômica das medidas específicas, levando em conta as disponibilidades locais de materiais, a segurança que se pretende dar às obras, em função de seu porte e dos benefícios que proporcionam, e a possibilidade da obtenção dos recursos financeiros necessários para sua implantação”. Existem diversas formas de controle e contenção de voçorocas as principais são: aterros transversais; desvio das águas de superfície; proteção das cabeceiras; revestimento vegetal; sistematização dos taludes; isolamento da área de voçorocas e pequenas barragens.

Como forma de contenção do avanço das voçorocas Mazuchowski (1983) apud (Bigarella, 2003, p.943), propõe que a estabilização da voçoroca seja conseguida através dos seguintes procedimentos citados a seguir: “ (a) interceptar e desviar a água na cabeceira da voçoroca, através de terraceamento do terreno marginal e/ou construção de um canal divergente (vegetado, com gradiente de até 0,5% com obstáculos para reduzir a velocidade da água); b) isolar a área, implantar cercas divisórias laterais que impeçam a passagem de animais; c) suavizar os taludes; d) efetuar o revestimento vegetativo dos taludes e das margens da voçoroca com gramíneas e essências florestais; e) elevar o lençol freático, se necessário com paliçadas de bambu ou madeiras”. O autor destaca que as estruturas passivas de movimentos tectônicos antigos influem na “paisagem esculpida pelos processos erosivos exibe maior ou menor influência das estruturas geológicas antigas na elaboração de sua morfologia”.

Mota (1997, p.86) mostra que a preservação dos sistemas naturais de escoamento e armazenamento das águas, são muito importantes e que as atividades agrícolas devem buscar a redução da ação erosiva do solo utilizando, para este autor, a proteção pela vegetação é a medida mais eficaz de controle da erosão:

- em encostas: plantio em curvas de nível; utilização de terraços; a manutenção da vegetação natural nas partes altas;
- cordões de vegetação permanente: barreiras vivas, com o objetivo de reter o escoamento com o intuito de provocar a deposição de sedimentos e a infiltração da água;

Sabe-se que, para toda região do município que desenvolvem as voçorocas, seu limite de ação estão sujeitos a pequenos ou médios movimentos de massa, assim o solo da vertente cederia para o interior da voçoroca. Assim estes locais teriam que ter um controle para evitar o avanço do processo erosivo e maiores perdas de solo e terras utilizáveis. Isso foi discutido em Bigarella (2003, p.980), segundo esse autor “movimento de massa apresenta uma mobilidade crescente a partir da área de origem até o local de acumulação ou de entrada num canal fluvial. Na vertente inferior a infiltração aumenta com a diminuição da declividade. Esta, posteriormente sofre aumento dificultando o movimento”, assim o autor indica a coesão do material e a fricção interna do material constituinte para indicar as áreas propícia para desenvolver movimentos de massa.

A ação do vento pode agravar a situação e o deterioramento da área aumentar. Portanto uma preocupação preventiva sobre a ação da erosão eólica deve ser implementada.

Uma primeira medida é um planejamento do uso e ocupação do solo e da área observando as características identificadas durante o estudo, levando em consideração os fatores atuantes no desenvolvimento dos processos erosivos. Assim os fatores desagregadores como a ação da água e do vento e fatores de preservação como a vegetação e pequenas obras de contenção nas áreas mais instáveis e que o processo erosivo atua de forma mais avançada.

A figura 02, mostra na parte superior algumas sugestões sobre configurações de barreiras transversais de consolidação. A direita uma barreira (ou paliçada) construída com madeira e pedras em uma visão frontal e em corte, sendo uma forma de contenção

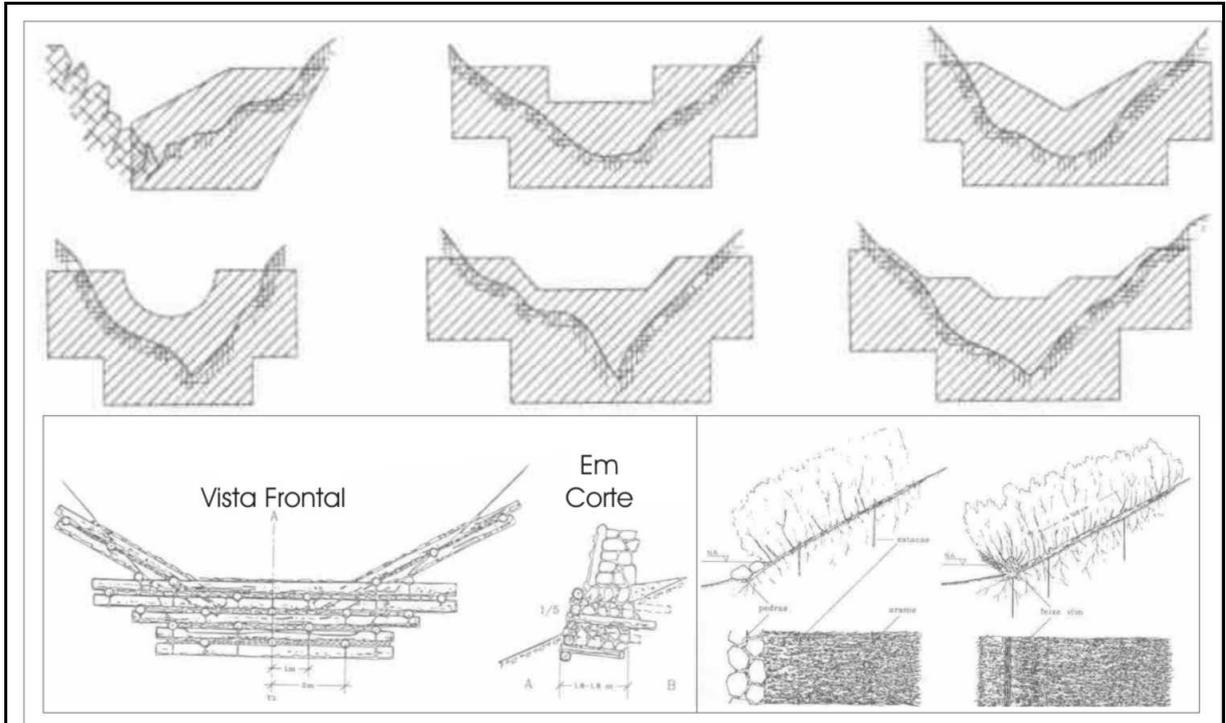


Figura 02: Formas de Contenção Transversal e Lateral Fonte: Durlo, M. A., Sutili, F. J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. Porto Alegre: EST edições, 2005. Adaptado: CORRÊA, L da S. L.

Como o grande fator causador da erosão nesta região é a água, o controle da velocidade de escoamento desta água é a forma mais eficiente pra conter o avanço dos processos erosivos avançados existentes, segundo os autores Mota (1997), Bigarella (2003) e Durlo e Sutili (2005).

A aplicação de técnicas de contenção mostradas por Bigarella (2003, p.943) e Mota (1997, p.86) são apropriadas para a área em estudo tanto quanto para as áreas circunvizinhas. Algumas dessas iniciativas sugeridas pelos autores, podem ser implementadas:

- monitoramento de longo prazo, com uso de estacas para observar o avanço de cada ponto de ruptura que os processos erosivos identificados e em desenvolvimento apresentam;

- isolamento das voçorocas em anfiteatros da ação direta da erosão laminar e superficial, criando um desvio através de uma calha a montante do anfiteatro deslocando a ação direta da erosão para o interior da drenagem;

- implantação de paliçadas de madeira ou material semelhante, para o retaludamento natural e evitar um maior assoreamento das drenagens permanentes. Estas medidas seriam apenas nos processos erosivos mais avançados;

- voçorocas desconectadas e de pequena profundidade, poderiam utilizar a suavização do talude, acompanhada de revestimento vegetativo interno e nas margens das voçorocas;

- plantio de uma vegetação ou mesmo o cercamento destes anfiteatros evitando o avanço e o pisoteio do gado sobre a vegetação pré-existente, que necessita de melhores condições para contenção da erosão. No interior destes braços das voçorocas onde encontram vertentes íngremes a utilização de paliçadas de madeira para evitar uma maior perda de sedimentos e material transportado e medidas de fixação dos cortes das voçorocas para evitar os movimentos de massa.

- utilização dos topos das colinas, área de declividade baixa, porém com a tendência a desenvolver areais e processos eólicos deve ter um uso preocupado com estas tendências naturais, e se a preocupação for à estabilização da cabeceira o florestamento pode contribuir na manutenção do lençol freático e evitar a ação do efeito splash (desagregação e liberação de partículas) diminuindo a erosão laminar aumentando a infiltração.

## **2.6. Uso da cartografia**

Evidente que a cartografia geomorfológica de uma área com processos erosivos intensos, tem importância na identificação das áreas de avanço e indica o melhor posicionamento das formas de contenção e controle da área sob a ação da força erosiva. Portanto a compreensão do meio físico e sua distribuição no espaço às ferramentas mais habilitadas são mapas e cartas que segundo Zuquette e Gandolfi (2004, p.16):

“Dentre os diferentes aspectos do ambiente que são registrados em mapas e cartas, um grupo considerável relaciona-se a componentes do meio físico, ou seja, rochas, materiais inconsolidados, água, relevo, condições climáticas e suas relações”.

Para a compreensão dos processos erosivos a utilização da cartografia é uma ferramenta extremamente útil para georeferenciar os locais críticos, e avaliar a abrangência dos seus efeitos com precisão espacial. Segundo Duarte (1988) a cartografia e a geografia são ciências que jamais se separam, pois existe um grande relacionamento entre ambas. Desse modo o geógrafo necessita conhecer os fundamentos da cartografia.

O uso de técnicas cartográficas é extremamente diversificado no uso da ordenação espacial tanto para uso urbano, rural, gestão do ambiente e avaliações diversas, pois os mapas e cartas têm uma grande capacidade de sintetizar os diversos aspectos do meio (físico, biótico e antrópico).

Para Zuquette & Gandolfi (2004) mapa é o registro de dados obtidos de um determinado aspecto do ambiente, sem interpretação, e carta refere-se a um documento cartográfico com representação das informações, ou seja, das interpretações e associações dos dados contidos nos mapas. Assim o levantamento de informações básicas do espaço e sua representação, constituem em mapas e sua análise e interpretação destas informações levantadas geram as cartas.

Para Santos (2004, p.129) “mapeamentos são representações,..., das porções heterogêneas de um terreno, identificadas e delimitadas. Um mapa permite observar as localizações e extensões, os padrões de distribuição e as relações entre os componentes distribuídos no espaço”. Assim os mapas são instrumentos de grande valor de levantamento para análise dos relutados de qualquer trabalho, que ocorra no espaço geográfico algum fenômeno, sendo assim um instrumento de pesquisa essencial.

A cartografia consiste em uma ferramenta básica para planejamento e identificação de áreas que apresente problemas ambientais e por conseqüência provocando problemas sociais e econômicos. Servem para integrar informações da análise dos parâmetros morfométricos, com a observação da geologia local e de trabalho de campo para identificação das formas de relevo e dos processos erosivos atuantes na área de estudo.

Os SIGs é uma importante ferramenta do SR, como um conjunto de aplicações para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais (georreferenciados) dos mais diversos tipos de informações. Conforme Assad e Sano (1998, p.06) SIG são “sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos”, capazes de armazenar a geometria e atributos dos dados georreferenciados, localizado em uma determinada porção da superfície terrestre através de uma projeção cartográfica qualquer.

Segundo Assad e Sano (1998, p.07) a função dos SIGs seria:

- “integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;”
- “oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar<sup>1</sup> o conteúdo da base de dados georreferenciados.”

Desta forma os SIGs têm como o objetivo de fornecer ferramentas computacionais de análise espacial através do geoprocessamento de um fenômeno geográfico. Servindo como ferramenta de integração de do Banco de Dados Geográficos que segundo Assad e Sano (1998, p.57) informa que é composto de um conjunto de planos de informação, de geo-objetos e por objetos não espaciais. Podendo trabalhar em diferentes escalas e as manipulações dos dados são facilitadas em suas superposição e interpolação das informações.

Um Sistema de Informação Geográfica, segundo Rosa (2003, p.220) “é servir de ferramenta eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados oriundos de diferentes fontes, gerando novas informações”.

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um processo de leitura. Por meio de vários sensores, dados são coletados remotamente (sem contato direto), para que sejam analisados com o objetivo de gerar informações acerca de objetos, áreas ou fenômenos interessados. O Sensoriamento Remoto evoluiu muito desde sua criação desde a década de 1970, devido à utilização de satélites que permitiam fazer levantamentos de vastas áreas do mundo obtendo informações em diferentes áreas do espectro eletromagnético e permitindo uma coleta e observação repetida das áreas. Atualmente é uma técnica amplamente utilizada nos mais diversos campos do conhecimento. Para Andriotti (2004 p.82) “essa técnica é de uso amplo e sem contestação, registrando-se o aparecimento de novos sensores, de modernas técnicas de interpretação e principalmente, de aplicabilidade nos mais diversos campos da atividade humana, sendo uma ferramenta de fundamental

---

<sup>1</sup> Plotar: imprimir;

importância no planejamento como um todo, em se tratando de estudos englobados pelas ciências da Terra”.

## 2.7. Caracterização regional da área

A área de estudo localiza-se no município de São Francisco de Assis, na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, na região Centro-Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, no compartimento geológico-geomorfológico do estado do Rio Grande do Sul denominado na depressão periférica. As litologias predominantemente na área estão relacionadas às rochas sedimentares detríticas da bacia do Paraná (figura 03).

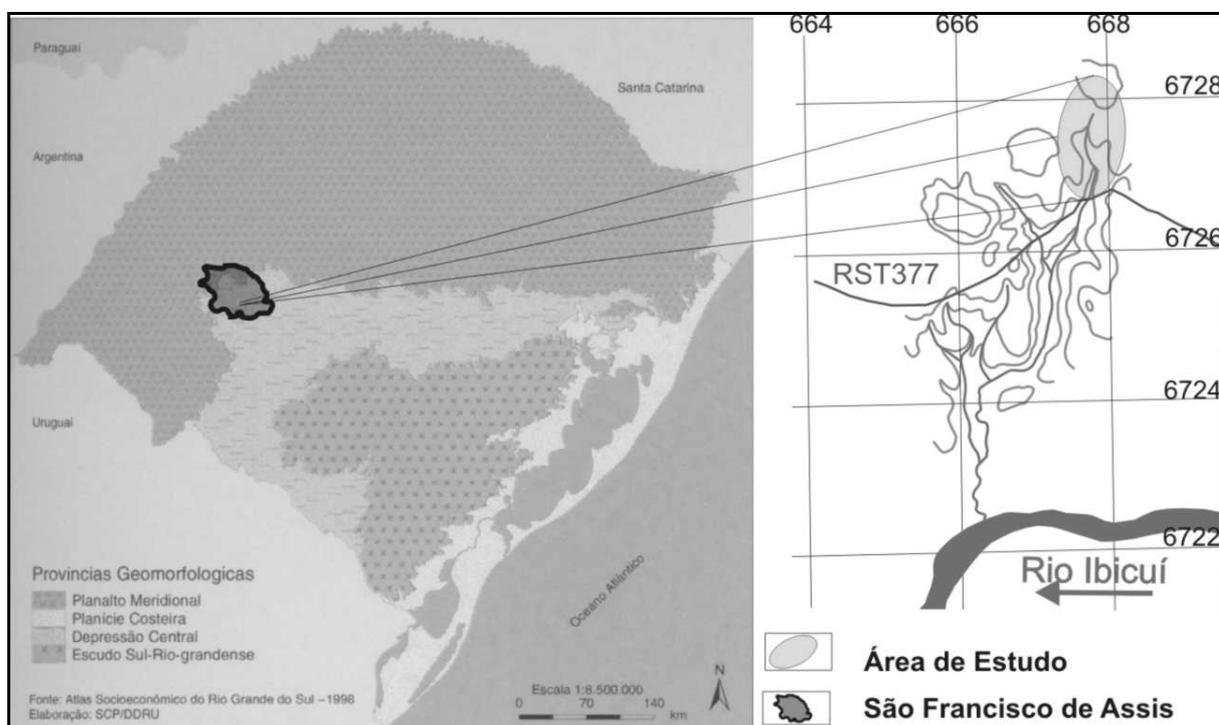


Figura 03: Províncias Geomorfológicas do RS, município de São Francisco de Assis e Área de Estudo.

Fonte: SCP – Secretária de Coordenação e Planejamento. [www.scp.rs.gov.br](http://www.scp.rs.gov.br)

Estudos recentes têm mostrado que esta região tem forte tendência para desenvolvimento de processos erosivos acentuados. Para os diversos pesquisadores que desenvolvem trabalhos nesta região, esses processos erosivos estão associados a condicionantes naturais, às condições de vida e à forma de uso e ocupação dessa área.

A característica econômica predominante da região, foi herdada de seus primeiros habitantes assim, a agricultura, a pecuária, são as formas de uso e

ocupação predominantes na área e constituem a base de desenvolvimento econômico da região.

A característica do relevo do oeste do RS, principalmente na área da bacia do Rio Ibicuí, é de colinas suaves alongadas com declividades baixas a média entre 2% a 15%, com comprimentos de rampas longos. Ocorrem também em toda região Oeste do RS cerros ou morrotes e afloramentos rochosos que formam relevos residuais onde a declividade é mais acentuada nestas feições. (de relevo)

O tipo de relevo e o tipo de litologia influenciam o sistema de drenagem onde as cabeceiras de vale ou drenagem se caracterizam por canais permanentes ou intermitentes e são estas cabeceiras áreas propícias ao desenvolvimento de processos erosivos intensos. Os canais permanentes podem ou não estar associados a processos erosivos. Os canais intermitentes alimentam todo o sistema de canais fluviais situados à jusante, contribuindo para a manutenção do nível do lençol freático, olhos-d'água e os canais de primeira ordem, e no desenvolvimento dos processos erosivos que estão localizados, principalmente, nos divisores das bacias hidrográficas.

Segundo Scherer et al. (2002), na região do município de São Francisco de Assis ocorrem quatro Formações litológicas da base para o topo: Sanga do Cabral, Guará, Botucatu e Serra Geral. Em direção ao topo da Formação Sanga do Cabral, ocorrem arenitos fluviais, com características diferenciadas. Associados aos conglomerados intraformacionais e arenitos grossos com estratificação cruzada acanalada, também ocorrem arenitos finos com laminação plano-paralela, sugerindo um sistema fluvial entrelaçado, efêmero e pobremente canalizado. Também, ocasionalmente, ocorrem arenitos finos a médios, bem selecionados com estratificações cruzadas de grande porte, provavelmente de origem eólica, indicando um retrabalhamento, pelo vento, da planície aluvial.

Segundo Scherer et al. (2002) a Formação Guará caracteriza-se por “um espesso pacote de arenitos quartzosos esbranquiçados” que ocorrem de Jaguari até Santana do Livramento. Os mesmos autores afirmam que a formação Sanga do Cabral trata-se de arenitos fluviais recobertos por pelitos e siltitos avermelhados, onde pode ocorrer gretas de contração ocasional. Por vezes ocorrem arenitos finos, bem selecionados, lenticulares, apresentando laminações cruzadas cavalgantes

formados em um ambiente lacustre com canais efêmeros que periodicamente secavam.

A Formação Botucatu é descrita com sendo composta de arenitos finos de origem eólica, com estratificação cruzada de alto ângulo. Esta Formação ocorre sotoposta à Formação Serra Geral e também formando arenitos intertrapps entre os primeiros derrames vulcânicos.

A Formação Serra Geral caracteriza-se pela presença de derrames básicos sotapostos ou intercalados por derrames ácidos. Estes derrames de lava são caracterizados pelo vulcanismo de platô originado no cretáceo inferior, esta formação ocorre no norte do município de São Francisco de Assis.

Os solos característicos da região próxima ao rio Ibicuí em São Francisco de Assis são os Neossolos Quartzarênicos órticos, Streck et al (2002, p. 39-41) que se desenvolvem sob sedimentos arenosos com uma seqüência de horizonte A-C, sobre rocha pouco alterada (horizonte C), são solos profundos, excessivamente drenados, apresentando uma textura de areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo a profundidades de 150 cm ou até o contato lítico. Os Neossolos Quartzarênicos órticos são altamente susceptíveis à erosão hídrica e eólica.

Os solos arenosos são normalmente mais porosos, permitindo rápida infiltração das águas de chuva, dificultando o escoamento superficial. Possuem baixa proporção de partículas argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores o que facilita o transporte destas, portanto susceptíveis aos processos erosivos.

Os solos da área apresentam grande profundidade o que indica boa permeabilidade e porosidade, tem pouca estrutura, baixa quantidade de matéria orgânica. Estão associados às precipitações de grande concentração, isto é, grande volume de água em pequeno intervalo de tempo. Esses seriam talvez os elementos potencialmente causadores do início dos processos erosivos na área. Porém, depois de iniciado o processo erosivo, qualquer precipitação irá propiciar a retirada do material, pois a interação de substrato, solo e vegetação que deveria minimizar o efeito das precipitações é frágil. Os solos desta área são propícios a desenvolver processos erosivos.

O clima é uma variável relevante para o desenvolvimento de processos erosivos. O regime pluviométrico de uma determinada região é fundamental para

compreensão do desenvolvimento dos processos erosivos. Assim a intensidade e duração das precipitações são relevantes, pois as chuvas de grande intensidade possuem um potencial erosivo elevado.

O Rio Grande do Sul caracteriza-se por clima subtropical úmido, classificado por **Cfa** por Köppen segundo Moreira e Neto (1998, p.77), onde o **C** significa clima temperados quentes, com média do mês mais frio entre 18°C e 3°C; **f** significa ausência de estação seca, com o mês mais seco a média é superior a 60 mm; **a** indica que a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C. Na área de estudo o regime das chuvas é constante provocado essencialmente por frentes frias, portanto o processo de erosão pluvial e fluvial se distribui pelo ano todo, pois a área não apresenta estação seca.

Segundo Klamt e Schneider (1990, p.72) a precipitação na região é superior a 100 mm mensais, na maior parte do ano, a precipitação supera a evaporação, exceto de dezembro a fevereiro, período com uma relativa deficiência hídrica dependendo das circunstâncias climáticas. Essas condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento do processo erosivo, pois a distribuição das chuvas na região durante todas as estações do ano, com a ocorrência de eventos esparsos de grande potencial erosivo no período do verão.

A vegetação desta região do Estado, segundo Marchiori (2004), é típica do pampa do Rio Grande do Sul, onde predomina a fisionomia “campestre entremeada de matas insulares e ciliares, com pequenos capões esparsos, associados a uma topografia suave-ondulada características das colinas. Os campos nativos são caracterizados por apresentarem um conjunto, graminóide e herbáceo com alturas de 10 a 50 cm aproximadamente, com existência de poucas árvores”.

É possível identificar alguns fatores condicionantes de formação de processos erosivos que se destacam sobre os demais. O clima, a geologia e o solo são três fatores condicionantes importantes e, pelas suas características, se pré-dispõem a desenvolver processos erosivos.

O relevo na região não é o principal fator para o desenvolvimento do processo erosivo. A declividade, que em geral é fator muitas vezes fundamental no desenvolvimento da erosão, na área, é suave devido às colinas longas e amplas. Iniciado o escoamento superficial, quando o solo estivesse saturado devido às

chuvas intensas ou de longa duração, o comprimento de rampa pode influir no desenvolvimento dos processos erosivos.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia aplicada na área de estudo consistiu no levantamento e discussão sobre como se desenvolvem o processo erosivo e sua relevância na área de estudo, que apresentam uma fragilidade natural e propicias a ação deste fenômeno.

Segundo Zuquette, Gandolfi (2004) “uma metodologia compreende um conjunto de conceitos, postulados técnicos, métodos, classificações, recursos tecnológicos de investigação e processamentos utilizados durante o mapeamento, em suas diferentes etapas”. E para isso ocorrer Santos (2004, p.111) comenta que os critérios de avaliação devem ser sistematizados e para isso tratá-los com imparcialidade e objetividade evitando a qualidade em prol da quantificação.

Em Santos (2004, p.32) a “pesquisa tem o objetivo de reunir e organizar dados para facilitar sua interpretação”. E estes dados devidamente organizados que irão proporcionar a compreensão do espaço estudado do fenômeno, que caracteriza a fase analítica do trabalho.

O conhecimento das características do solo no que se refere a sua estrutura requer o uso de métodos e técnicas que auxiliem o entendimento das relações entre solo e relevo. Trabalho semelhante a este foi desenvolvido em Cacequi-RS por Robaina et. al. (2002) e utilizou a análise granulométrica para caracterizar os materiais grosseiros e a análise por difratômetro de raios-X para caracterizar os materiais microscópicos. A intensidade do processo erosivo depende de alguns fatores tais como precipitação, topografia, cobertura vegetal e manejo do solo além das características do solo e do relevo da região. A realização desse trabalho envolve quatro etapas, nas quais foram realizadas as seguintes atividades:

#### **3.1 Trabalho em escritório:**

Nesta etapa foi realizado o levantamento bibliográfico, buscando elucidar a gênese e evolução dos processos erosivos e seus fatores condicionantes. Esse estudo foi realizado a partir das mais recentes publicações (livros e artigos

apresentados em congressos, simpósios e revistas especializadas), especialmente nos trabalhos com abordagem semelhante e realizados nas regiões vizinhas. Também nessa primeira fase foram realizadas as seguintes atividades: i) análise de mapas geológicos regionais em escala 1:500.000 onde foram reconhecidas as principais litologia e estruturas da área; ii) análise de imagens de satélite LandSat na escala de 1:50000, onde foram localizadas as áreas de afloramentos de rocha, voçorocas e areais; iii) vetorização das curvas de nível da área a ser estudada, realizou-se através de cartas topográficas em escala 1: 50.000 por meio do software Spring 4.1 formando uma base cartográfica e delimitando a cabeceira de drenagem da área em estudo; iv) Também foram transpostas as feições identificadas na imagem de satélite para o mapa base.

O georeferenciamento foi o meio que as informações das cartas topográficas e da imagem de satélite conseguiram se “comunicar” para a formação de uma base de dados única. Esta base de dados foi formada através do software Spring 4.1.

Os dados de altimetria, obtidos da carta topográfica foi montado um banco de dados (projeto) no Spring 4.1 para posterior inserção de imagem grib (.grb) com as bandas 1, 2, 3, mostrando as informações vindas das cartas topográficas para formar um mapa básico de informações da área referida. Após este passo foram georeferenciado em “teclado” posteriormente em “tela”, as informações das cartas. Por meio deste processo foram digitalizadas as curvas de nível no modo MNT do software SPRING 4.1. e a drenagem demarcada nas cartas topográficas, servindo como um referencial para o relevo da área e arredores. Desta maneira também a imagem de satélite foi inserida no banco de dados georeferenciados.

Este procedimento serviu para caracterizar o relevo da área, a partir da geração da superfície que envolve os pontos amostrados e pontos estimados. Desse modo foi possível obter o comportamento geral da superfície digital do terreno e separar áreas alvo para realizar trabalhos de detalhe na área de estudo, buscando identificar feições de relevo com maior detalhe através dos trabalhos de campo.

### **3.2 Trabalhos de Campo:**

Os trabalhos de campo foram realizados em três fases. i) caracterização regional para reconhecimento da área de estudo e para, identificação e tomada de fotos das voçorocas para descrição morfométrica de detalhe; ii) mapeamento de

detalhe da área da cabeceira de drenagem; iii) mapeamento e caracterização das voçorocas e feições erosivas encontradas internamente nas voçorocas, bem como coleta de amostras deformadas para caracterização física.

Para o desenvolvimento destes trabalhos de campo utilizou-se como referencia o mapa base construído na etapa anterior, GPS, de navegação, para localização das feições erosivas, máquina de fotografia digital, bússola, material para coleta de amostras. O mapeamento se deu por caminhamento utilizando o GPS, locando os pontos no mapa base e descrevendo os seguintes itens:

i) as principais litologias e feições erosivas distribuídas na região, bem como as características geomorfológicas regionais;

ii) mapeamento de detalhe: que serviu para a descrição do perfil estratigráfico das rochas de entorno da cabeceira de drenagem que forma a área de estudo, caracterizando cada uma das camadas sedimentares, a análise do relevo e a posição das feições erosivas encontradas na área de estudo;

iii) descrição das feições erosivas: a identificação foi através do caminhamento dentro das voçorocas, fotografando e classificando as feições segundo Oliveira (1999; p.69) Também foram coletadas sete amostras deformadas em diferentes níveis altimétricos de diferentes camadas tanto de solo, material intemperizado e três amostras de rocha da área de estudo.

Algumas características morfológicas do solo representam sua aparência em campo, sendo visíveis a olho nu ou perceptível por manipulação. A sua observação no perfil é utilizada na identificação de solos, na avaliação da capacidade de uso da terra, no diagnóstico da causa de variação no crescimento de plantas e no diagnóstico de degradação em propriedades do solo.

### **3.3 Trabalhos de Laboratório:**

Essa etapa consistiu de atividade de laboratório para classificação granulométrica e identificação de componentes mineralógicos das amostras.

A análise granulométrica foi realizada em todas as amostras coletadas, (solo e rocha intemperizada) para classificação granulométrica do material grosseiro por peneiramento: areia grossa (>1 mm); areia média (1 mm-0,5mm) e (0,5mm-0,25mm); areia fina (0,25mm-0,125mm) e (0,125mm-0,062mm); A classificação granulométrica do material fino (silte e argila) foi feita por pipetagem.

A seguir os procedimentos para a análise granulométrica de amostras deformadas.

Procedimentos:

1. Coleta da amostra de campo;
2. Secagem da amostra ao ar;
3. Separar em quartis;
4. desagregação da amostra, em grau de porcelana com pistilo de borracha;
5. Passa-se o material pela peneira de 2mm;

Deste material que passou pela peneira de 2mm, aproximadamente 50 gramas é retirado pra a umidade higroscópica. Também de 70 a 120 gramas para a análise granulométrica

6. Adiciona-se este material em um béquer de 500 ml e põe em suspensão;

Adiciona-se hexametáfosfato de sódio 125ml, na proporção de 49,7 gramas para um litro de água destilada; deixar o material em suspensão por 12 horas;

Dispersão:

7. retira-se do béquer o material e passa-se a um copos com chicanas, põe no dispersor e bate por 5 minutos a 15 minutos.

Pipetagem:

8. do copo transfere-se para uma proveta graduada de 1000 ml (completa com água destilada); agita-se o material após completar com água destilada; realizam-se as pipetagens pela diferenciação de tempo de: 1' 56"; 7' 44"; 31' 00"; 2h 03'; 8h 10' na profundidade de 10 cm na proveta e 16h 21'; 65h 25' na profundidade de 5 cm. Esta pipetagem ocorre com uma pipeta de 100 ml na proveta até uma profundidade de 10 cm, pipetar. Transferir a amostra pipetada (100 ml) para becker de 250 ml e colocar pra secar em estufa a 105° C;

Pesagem do material fino:

9. Seca-se o material coletado pelas pipetagens em copos de vidro a 105°C à 110°C pelo termo de 24 h, até a constância do peso; Pesando as amostras nos copos obtém-se as frações silte e argila da amostra coletada

Realizada as pipetagens passa-se o material restante da proveta na peneira de 0,062 mm. O material retido na peneira é lavado até que todo o silte e argila tenham sido retirados.

Separação dos elementos grosseiros: as quantidades retidas entre as peneiras

10. O material retido na peneira é seco na estufa e faz-se o peneiramento nas peneiras: 1 mm; 0,50mm; 0,25mm; 0,125mm; 0,062mm; Pesando os valores retidos nas peneiras obtêm-se os valores das porções areia: areia grossa: (2mm – 1mm); areia média: (1mm – 0,25mm); areia fina: (0,25mm – 0,062mm)

Os gráficos dos resultados foram colocados no aplicativo Excel do software Windows, formando as curvas granulométricas acumuladas e mostrando quais frações são as mais relevantes das amostras e sua distribuição na área.

A fração argila foi utilizada para confecção de lâminas para identificação dos argilominerais por análise no difratômetro de raios-X. O método de difração de raios-X foi utilizado para identificação dos argilominerais (fração menor de 0,063mm) existentes nos diferentes estratos das amostras coletadas em campo. O método consiste na seleção do material em suspensão que ao depositar-se é coletado das amostras sobre uma lamina de vidro. Espera-se o material secar e depositar formando uma camada orientada dos argilominerais, através do método natural. Assim a varredura do aparelho difração de Raios-X pelo desvio dos raios que atingem a amostra. Este efeito depois é utilizada a Equação de Bragg pra obter os desvios e conseqüentemente o tipo de material. Utilizou-se uma varredura entre 2° e 32°, de passo a passo de 0,1° durante o tempo de 7s totalizando 35 minutos por amostra.

Foram escolhidas 5 amostras dentre as coletadas, que apresentaram maior heterogeneidade em suas características granulométricas e visuais. Como na maioria das amostras o principal mineral constituinte é o quartzo, buscou-se identificar quais os argilominerais presentes como cimento nestas amostras.

#### **3.4. Análise dos Resultados obtidos**

Com o somatório e análise das informações obtidas, formou-se um banco de dados com diferentes bases de informações (carta topográfica, trabalho de campo e laboratório) serviu para adequar as diferentes informações em diferentes escalas em uma única base de trabalho. As informações via carta topográfica foram utilizadas como base do mapa base da área de estudo.

Acrescentam-se as informações coletadas em trabalho de campo (via GPS e descrição de campo) serviram para uma ampliar a escala de trabalho, com o objetivo

de um ajuste mais adequado ao detalhamento do trabalho. Assim o detalhamento das feições erosivas pode ser melhor apresentado.

As informações coletadas para análise em laboratórios foram acrescentadas para a caracterização dos setores mostrados na figura 29 no mapa de feições do relevo, que é o produto final da interpretação de todas as etapas anteriores mostradas.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada entre as coordenadas 55° 15" 46' e 55° 16" 33' de longitude, 29° 34" 00' e 29° 34" 46' de latitude (figura 04). Trata-se de uma cabeceira de drenagem nas nascentes de uma bacia hidrográfica associada à bacia do Rio Ibicuí.

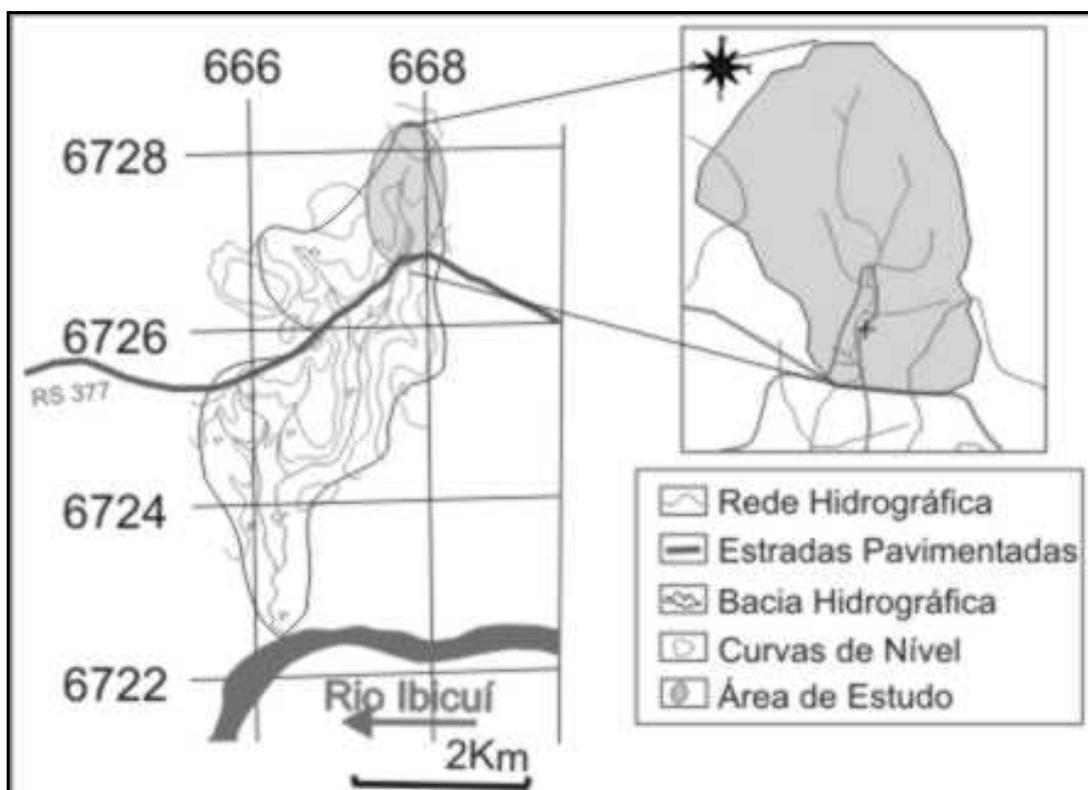


Figura 04: Localização da área de estudo em relação a bacia hidrográfica do Rio Ibicuí

Org: Corrêa, L. da S. L.

O relevo da área de estudo é característico da região da Oeste do RS, onde a declividade média geral da área é baixa, (inferior a 15%), com amplitude das vertentes em geral, um pouco superior a 40m, caracterizando vertentes longas de forma geral.

Ocorre variação no comprimento de rampa de oeste para leste da área de estudo, onde geralmente, as vertentes a leste tem menor comprimento do que a oeste. A declividade na área de estudo não é um determinante significativo (inferior a 15%), associado à amplitude das vertentes da área, não indica uma forte tendência a desenvolver voçorocas. Apenas quando é observado em campo um

acréscimo local na declividade (em grande escala) mostra um desenvolvimento dos processos erosivos em relação aos demais setores da área de estudo.

Segundo Scherer et al. (2002) a área de estudo está em uma região que tem como característica litológica arenitos médios para finos, de origem fluvio-eólica, com algumas áreas conglomeráticas e concreções ferruginosas esparsas que se caracterizam pela Formação Guará e o topo da Formação Sanga do Cabral.

O pacote litológico da área de estudo, está representado pelo croqui da figura 05. Na figura pode ser identificar da base para o topo do perfil camadas alternadas de arenitos silicificados e friáveis onde: 1) uma camada de 6,00m de arenito friável; uma camada de 4,80m de arenito coeso; 3) uma fina camada de 0,20m com predomínio de óxido de ferro, 4) uma camada de 7m de arenito friável e 5) uma camada de 2,00m de arenito coeso.

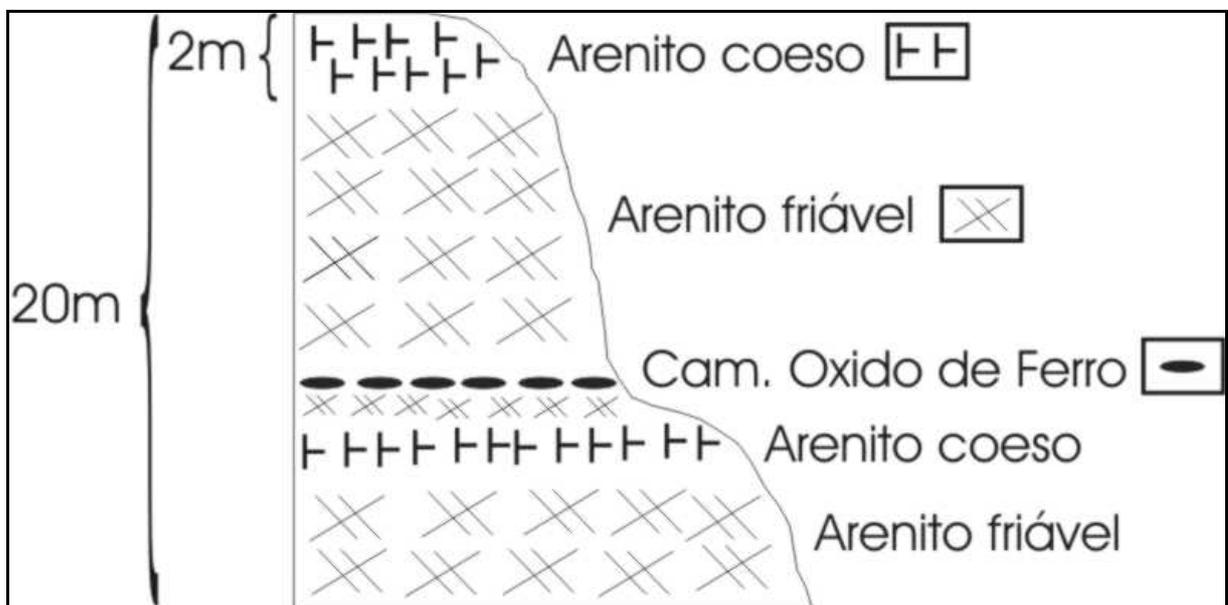


Figura 05: Croqui geológico em corte de estrada na RST 377, porção sudoeste da área de estudo

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 11-10-2005.

Este croqui representa um plano de direção E-W, que corta transversalmente o pacote sedimentar, mostrando a seqüência de afloramentos de arenitos coesos e friáveis ocorrem em diferentes níveis altimétricos, seguindo a estratificação mostrada na figura 05.

Os arenitos coesos nesta área são mais resistentes à erosão devida cimentação por óxido de ferro e tem tamanhos de grãos de areia fina e média. Os arenitos friáveis menos resistentes a erosão mostram uma cimentação feita por

argilo-minerais e tamanhos de grãos variando de areia fina e média com baixa proporção de argila e silte.

Os arenitos coesos são fluviais e, quando ocorrem na área, formam degraus ou lajeados, gerando patamares na meia encosta. Na vertente oeste ocorre em dois níveis, um próximo ao topo da colina e outro na baixa vertente formando lajes.

No topo da colina, como mostra a figura 06, vê-se um afloramento de arenito coeso que formando degrau, a rocha é resistente a erosão e contribui a sua jusante ao início do escoamento superficial, podendo formar pequenos canais que poderão desenvolver ou não processos erosivos mais avançados. O desenvolvimento destes canais a jusante do pacote rochoso concentra o escoamento superficial destas camadas e geram sulcos e canais incipientes. A figura registra que espécies arbustivas se associam a estes afloramentos conforme Marchiori (2004).



Figura 06: Afloramento arenito coeso no topo da colina formando degrau  
Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 11-10-2005.

Na baixa vertente os arenitos coesos formam lajes uma feição de relevo comum na região mostrada na figura 07, são camadas resistentes à erosão.

Abaixo destas encontra-se, geralmente, um substrato arenítico com uma quantidade maior de cimento. Estes arenitos coesos com mais resistência à erosão, ocorrem em toda a região de forma esparsa, formando muitas vezes morros residuais, conhecidos como cerros e/ou linhas de pedras no meio ou a baixa vertente formando lajeados.



Figura 07: Arenito Fluvial na baixa vertente formando lajeado

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 11-10-2005.

O arenito friável forma um pacote de maior espessura, com baixa cimentação e coesão onde se desenvolve os processos erosivos avançados. Esta baixa coesão é devido a pouca cimentação, agravada pela baixa porcentagem de argila e silte, isto é, as frações mais grosseiras são os principais constituintes. Algumas vezes ocorrem concreções ferruginosas.

A camada de arenito friável basal mostra uma aparente resistência aos processos erosivos com uma maior quantidade de argila e silte (figura 05). Ocorre nas proximidades do lençol freático, nas áreas de baixa declividade e nas proximidades do curso principal da drenagem. São arenitos com baixa cimentação, aflora nas colinas e caracterizam o relevo da área.

Este fato associado à presença de arenitos mais friáveis nesta porção mostra um desenvolvimento dos processos erosivos mais intensos. A oeste encontra-se um bloco com arenitos coesos e mais resistentes, sendo que voçorocas que ocorrem nesta porção estão localizadas a montante das vertentes e próximos ao divisor de água. A leste ocorre voçorocas lineares e em anfiteatro que se localizam tanto a

montante como a jusante das vertentes. O que revela uma relação direta entre os afloramentos e voçorocas lineares a jusantes destes afloramentos, as voçorocas também estão associadas a drenagem cujos padrão estrutural reflete a geologia regional (fraturamentos e lineamentos).

Porém a análise granulométrica mostra que as frações areia finas e médias são predominantes. Os argilo-minerais (ilita e caulinita) quando conjuntamente encontrados mostram uma maior resistência a erosão. Ocorre nas proximidades do lençol freático, nas áreas de baixa declividade e nas proximidades do curso principal da drenagem. São arenitos com baixa cimentação e afloram nas colinas caracterizando o relevo da área.

A característica dos solos desenvolvidos em São Francisco de Assis, na porção do entorno do rio Ibicuí são de solos de textura arenosa, normalmente porosa, permitindo uma rápida infiltração das chuvas e diminuindo o escoamento superficial; entretanto possuem baixa proporção de partículas argilosas, que facilita o desenvolvimento do processo erosivo, que se verifica mesmo com pequenas precipitações.

A formação dos solos da área de estudo é de origem arenítica. Possuem baixa proporção de partículas argilosas, que poderiam atuar como uma ligação entre as partículas maiores. A ausência dessa ligações entre as partículas facilita o transporte das mesmas. O que não permite a formação de horizonte A, bem desenvolvido. Nessas condições, a vegetação presente na área é de baixa densidade.

A figura 08 mostra o padrão da vegetação campestre predominante na área da cabeceira de drenagem em estudo. Os campos se apresentam com baixa densidade de biomassa com influencia do uso da área. Esta porção não desenvolve processos erosivos avançados. Por outro lado, nessa porção ocorre o desenvolvimento de pequenos sulcos. Também nesta porção a movimentação de material ocorre por erosão laminar e ou eólica. Assim mesmo quando não ocorre o desenvolvimento de voçorocas as áreas estão sujeitas ao desenvolvimento de areais, devido a pouca proteção que a vegetação exerce para a fixação do solo e do material intemperizado.



Figura 08: Campo sujo com baixa densidade de biomassa  
Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

#### 4.1 Caracterização das feições erosivas

Os processos erosivos atuantes na área originam diferentes feições encontradas na cabeceira de drenagem em estudo foram divididas e classificadas em quatro tipos: voçorocas desconectadas; voçoroca em anfiteatro; voçorocas lineares e areais mostradas nas figuras 10 a 13.

A figura 09 mostra os tipos de voçorocas e as feições erosivas e deposicionais e sua localização na área de estudo. Do canto superior esquerdo no sentido horário, segue-se a figura 08, que mostra a baixa densidade de biomassa nos campos existentes na área de estudo; a figura 33, mostra uma voçoroca desconectada e como se expande a voçoroca este exemplo ocorre em uma parte da voçoroca em anfiteatro; a figura 18, mostra uma corrida de detrito formando um leque deposicional; a figura 10, mostra a voçoroca em anfiteatro; a figura 11, mostra uma voçoroca linear; a figura 36, mostra a deposição a jusante da área de estudo; a figura 06, mostra a linha de afloramento de arenito coeso.

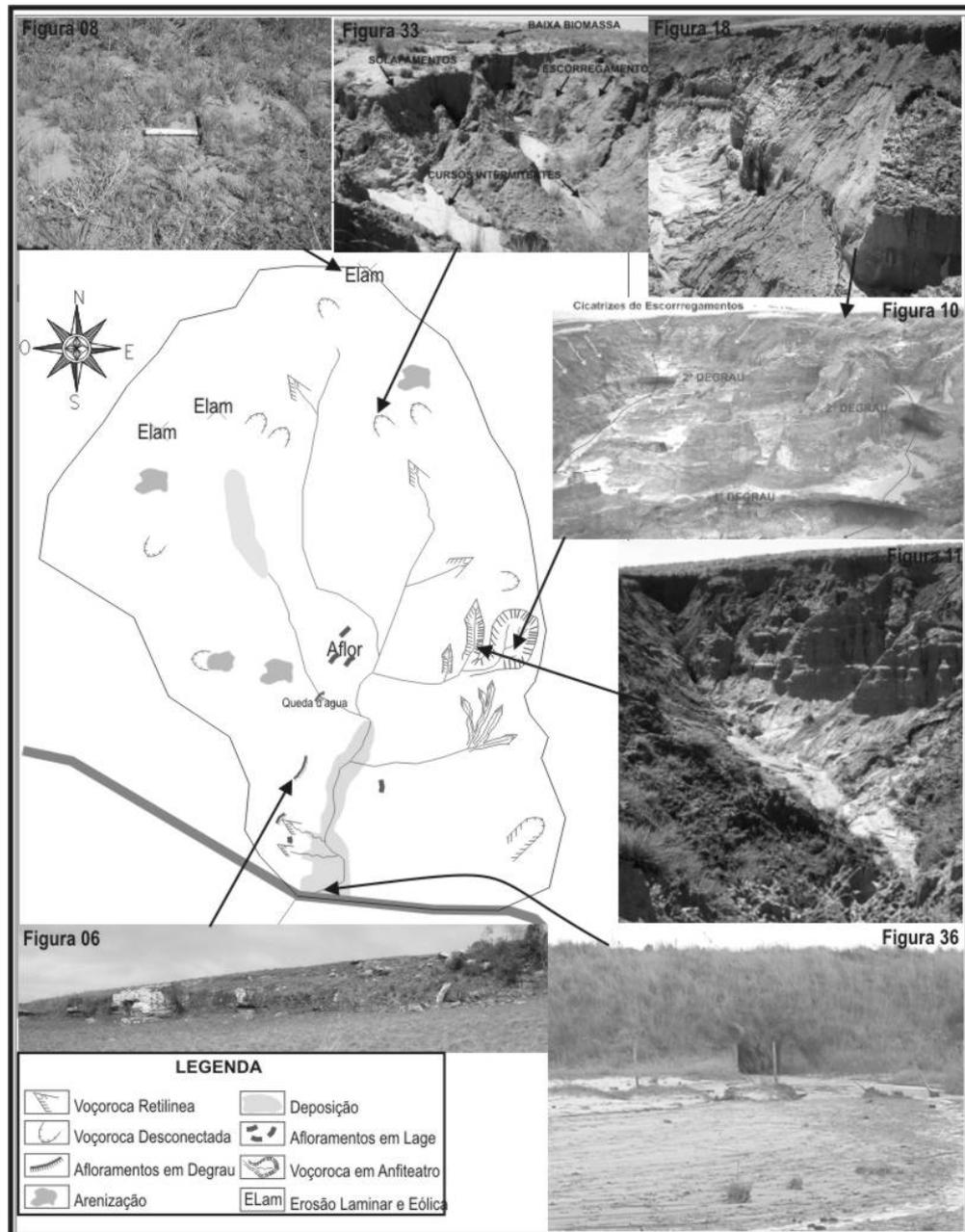


Figura 09: croqui da área com a localização e fotos das feições ocorrentes na área

O quadro 03 mostra a distribuição das feições erosivas, classificadas conforme o tipo, característica, quantidade e setor predominante. Foram identificadas vinte e três feições erosivas na área de estudo. Salienta-se a porção leste (E)<sup>1</sup> as voçorocas em anfiteatros e voçorocas lineares com grande extensão e profundidades acima que 5m. Na porção sudeste (SE) registra-se um processo erosivo linear composto por cinco (5) ramos próximos e conectados. O sulco mais desenvolvido encontra-se a jusante com 4m de profundidade, com direção de Leste

<sup>1</sup> E, SE, SW, NNW, C: faz referência aos setores mostrados no Mapa de feições erosivas na figura 30

para Oeste até o curso principal. A distribuição destas feições está mostrada na figura 08.

Quadro 03: Tipos e quantidades de Feições erosivas

Tipo feições erosivas	Nº de ocorrência	Setor de domínio
Voçorocas desconectadas a drenagem	8	NNW
Voçoroca em anfiteatro	1	E
Voçorocas Lineares	10	E, SW e SE
Areais	4	NNW

Org: Corrêa, L. da S. L.

As voçorocas desconectadas da drenagem são originadas por processos erosivos de pequena profundidade (geralmente inferior a 2,0m), com maior largura em relação à profundidade, em formato linear ou em ferradura. A ocorrência tipo de voçoroca predomina na porção norte-noroeste (**NNW**) da área de estudo (figura 30).

Já as voçorocas em anfiteatro estão conectadas a drenagem, atingindo muitas vezes o lençol freático a grande profundidade (superior a 5,0m), com vários metros de largura devido ao avanço lateral das cabeceiras através de escorregamentos e movimentos de massa. As figuras 10 e 11 mostram voçoroca em anfiteatro e linear respectivamente. Estas ocorrem na porção sudeste (**SE**) e leste (**E**) da área de estudo mostradas na figura 29.

A figura 10 mostra uma voçoroca em anfiteatro com pontos de ruptura estabelecida em rochas cujas camadas apresentam diferenças de resistência à erosão (degraus) e braços lineares internos onde fluem alguns canais intermitentes e permanentes. A direção dos braços lineares internos (dentro da voçoroca em anfiteatro) é N 15° E e N 80° E. A drenagem permanente associada ao lençol freático segue a orientação N 80° E.

Mostra também os pacotes pedogenéticos e escorregamentos, numa vista SE-NW. Esta figura mostra as cicatrizes de escorregamentos é a forma mais recorrente de expansão do anfiteatro erosivo.

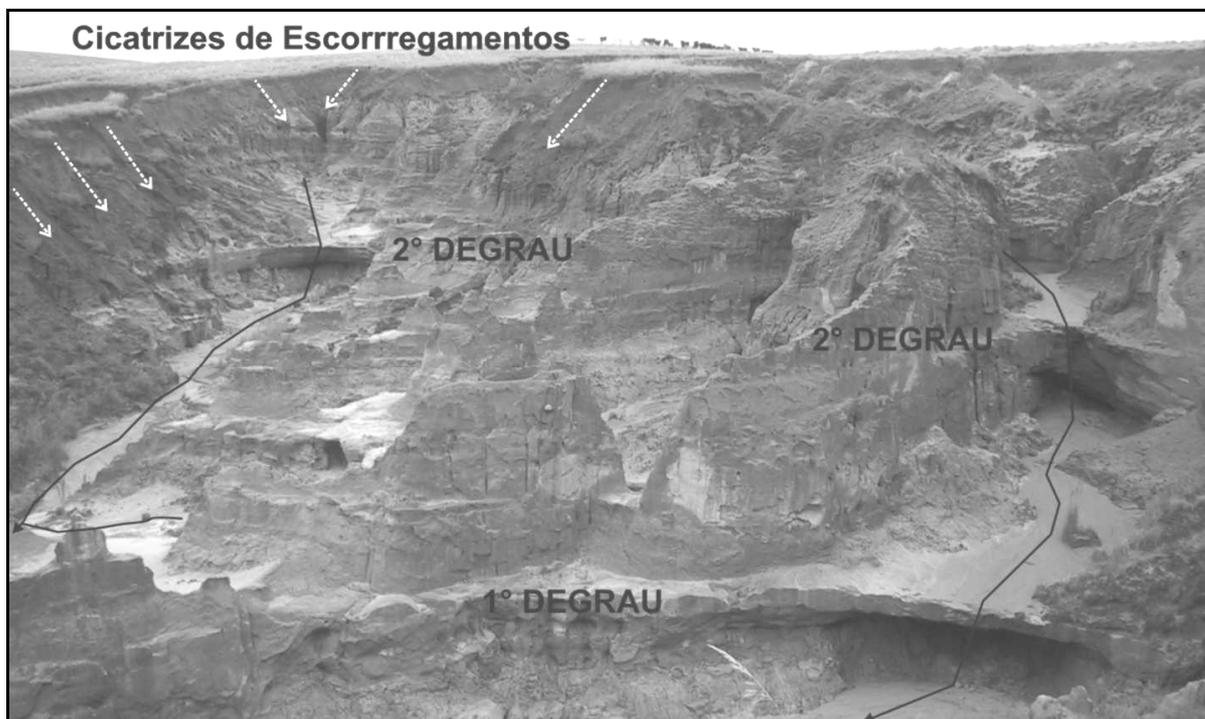


Figura 10: Voçoroca em anfiteatro na porção E. cicatrizes de escorregamentos e 1º e 2º Degraus de erosão diferenciada - vista SE para NW. Foto: 11-10-05

As voçorocas lineares podem ser descritas como sulcos profundos atingindo mais de 2,0m de profundidade e ocorrem em diversos pontos da área em estudo, como observamos na figura 10. As voçorocas lineares foram divididas em simples e compostas, para uma melhor caracterização. As voçorocas lineares simples seriam modelos especiais de voçorocas compostas de um único sulco, isolado ou um único sulco de maior profundidade ligado diretamente à drenagem. As voçorocas lineares compostas seriam formadas por diversos sulcos não tão profundos (superiores a 2,0m) que estão interligados formando uma maior área atingida (figura 10).

As voçorocas lineares têm um grande potencial destrutivo em sua expansão, pois todas elas podem se conectar a outras ou abrir novos ramos de ação, o que interfere diretamente na perda de mais áreas produtivas para a erosão.

A figura 10 mostra voçoroca em sulco linear que atinge tanto solo quanto as rochas. Mostra diversos escorregamentos laterais que é a forma de expansão mais atuante, porém internamente ocorre coluna de tombamento quando atinge o pacote rochoso, mostrando outro processo de expansão da voçoroca em atuação. Essa voçoroca linear ocorre na porção leste (**E**), a oeste da voçoroca em anfiteatro.

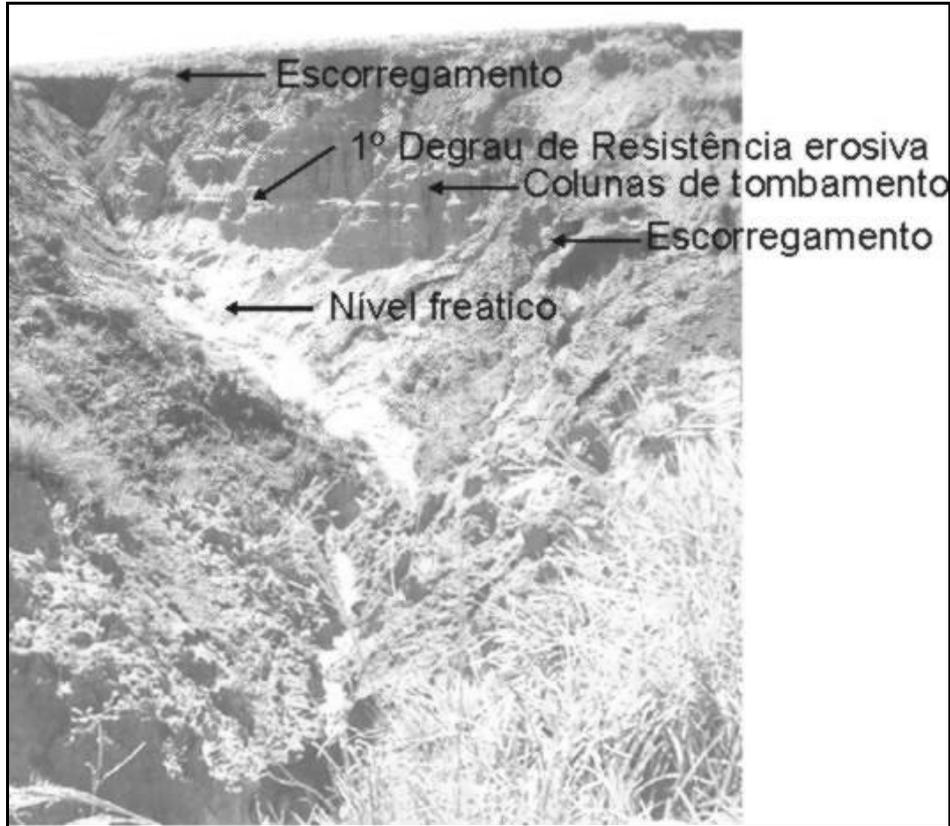


Figura 11: Voçoroca em sulco linear a W da voçoroca em anfiteatro.

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A figura 12 mostra alcova de regressão associada a um canal bem desenvolvido, o degrau de sustentação tem maior teor de argila e silte, portanto maior resistência à erosão, comparado com os arenitos friáveis. Esta feição interna ocorre em um braço linear da voçoroca em anfiteatro.

Também mostra as diferentes dinâmicas da ação erosiva, pois a alcova de regressão evolui pelo escoamento do canal formado que corta o degrau de sustentação e pela ação da erosão subterrânea pela movimentação da água em subsuperfície na direção do fluxo do lençol freático como ocorre na figura 12.

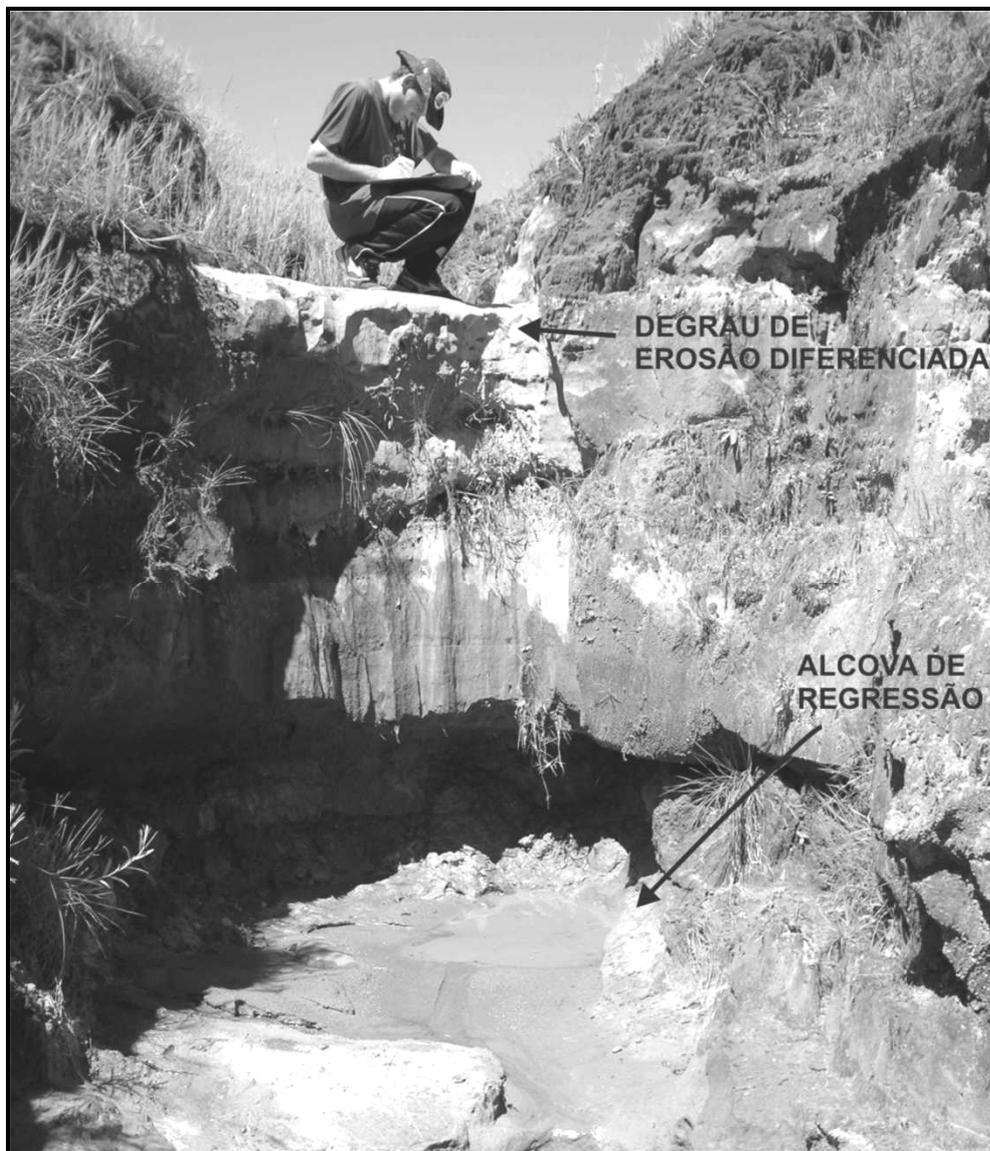


Figura 12: Alcova de regressão - associada a um canal bem desenvolvido com degrau  
 Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A figura 13 mostra dois degraus onde as camadas de arenito apresentam diferentes graus de resistência à erosão. O primeiro degrau está demarcado pelo martelo geológico que também serve de escala. O segundo pode ser identificado na porção superior da fotografia, ao fundo. Em ambos se desenvolve alcova de regressão abaixo dos degraus.

A figura 13 pode associar alguns processos, a formação de duas alcovas de regressão, de cima para baixo, está associada aos degraus de resistência à erosão e ao lençol freático respectivamente. O fluxo de água em superfície desenvolveria as alcovas de regressão são controlados por estes degraus, e o fluxo em subsuperfície também controlados pelos degraus e o lençol freático ao longo do tempo poderia até

mesmo desenvolver o piping (o fluxo em subsuperfície) formando pipes que ajudariam no aprofundamento das voçorocas ao longo do tempo.

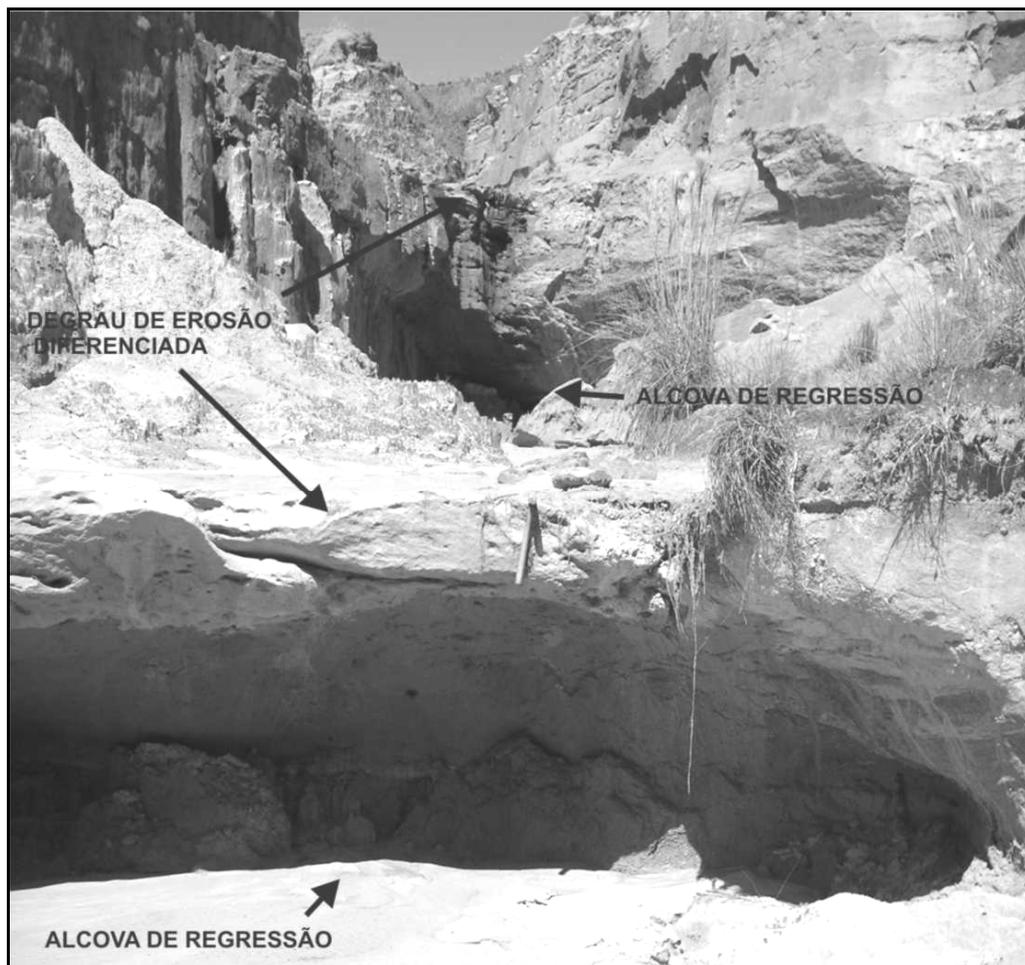


Figura 13: Degraus com diferenças de resistência erosiva e alcovas de regressão.  
Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

Essas alcovas de regressão se desenvolvem dentro do anfiteatro erosivo de maior proporção, no interior desta feição erosiva ocorrem outras como é mostrado nas figuras 12, 13, com a presença de degraus residuais e cicatrizes de escorregamentos nas bordas do anfiteatro erosivo. Também ocorrem alcovas de regressão abaixo dos degraus, em consequência da diferença na resistência das camadas de arenito frente ao processo erosivo. Foram observadas pequenas quedas de água efêmeras sendo que, somente abaixo do 1º degrau residual da figura 11 foi registrada a presença do lençol freático.

A figura 14 mostra pipe solapado conectado ao anfiteatro erosivo no setor leste (**E**) mostrada na figura 29, mostrando que a erosão subterrânea também é um processo ativo na área de estudo. O pipe se desenvolveu abaixo de um braço linear associado ao anfiteatro erosivo com mais de seis (6) metros de profundidade. Esta

forma ajuda no crescimento a montante e lateral do braço, pois desestabiliza o talude da voçoroca.



Figura 14: Pipe solapado conectado ao anfiteatro erosivo no setor leste.  
Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A figura 15 mostra o interior do anfiteatro, com algumas direções preferenciais do avanço da voçoroca e os diferentes patamares ou degraus de erodibilidade diferenciada. A letra **A**, mostra os escorregamentos ocorrentes no talude do anfiteatro onde foram tiradas amostras para análise granulométrica (amostra 01 e 04), a letra **B**, mostra o primeiro degrau com resistência a erosão relativamente maior que o material superior e inferior, a letra **C**, mostra o segundo degrau semelhante à letra **B**, onde foram retiradas amostras para granulometria (amostra 06). A letra **D** mostra o desenvolvimento de sulcos lineares, onde a erosão remontante é significativa sobre a camada superficial, que ajuda no desenvolvimento do processo erosivo.

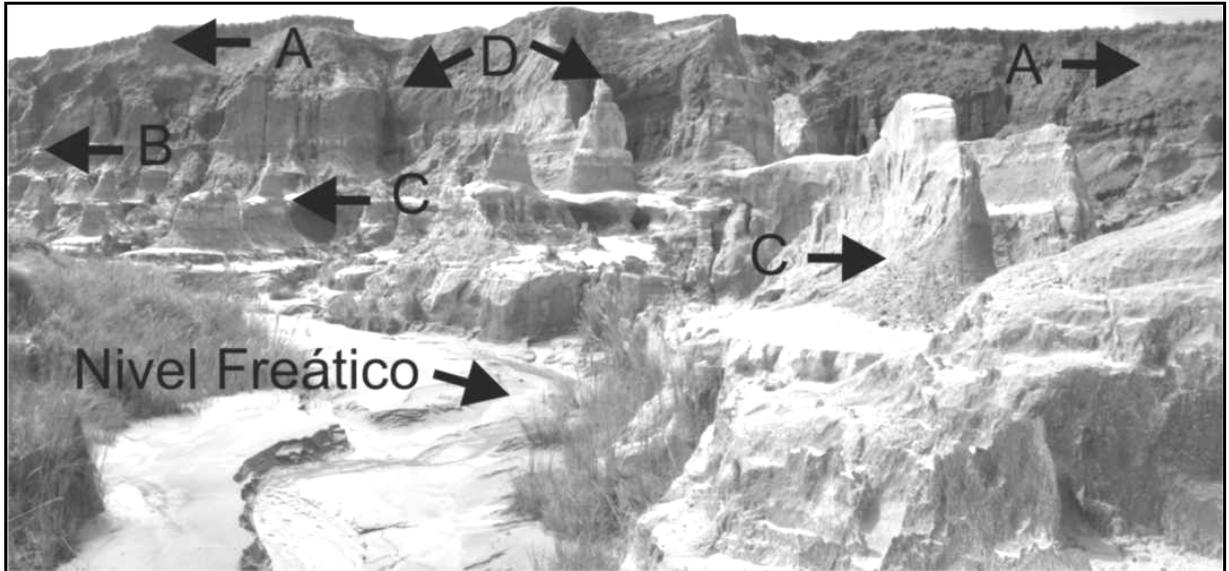


Figura 15: Interior do anfiteatro de voçoroca e os diferentes patamares ou degraus de erodibilidade diferenciada. Foto 11-10-05.

A figura 16 mostra dois pontos de ruptura. Em primeiro plano, uma alcova de regressão e um degrau com diferente resistência a erosão em relação ao material situado na porção inferior. Na porção superior da figura registra-se outro degrau com maior resistência. Também se observa uma estratificação do pacote superior do talude da voçoroca. Na figura também pode ser identificado o local de coleta das amostras 05 e 06.

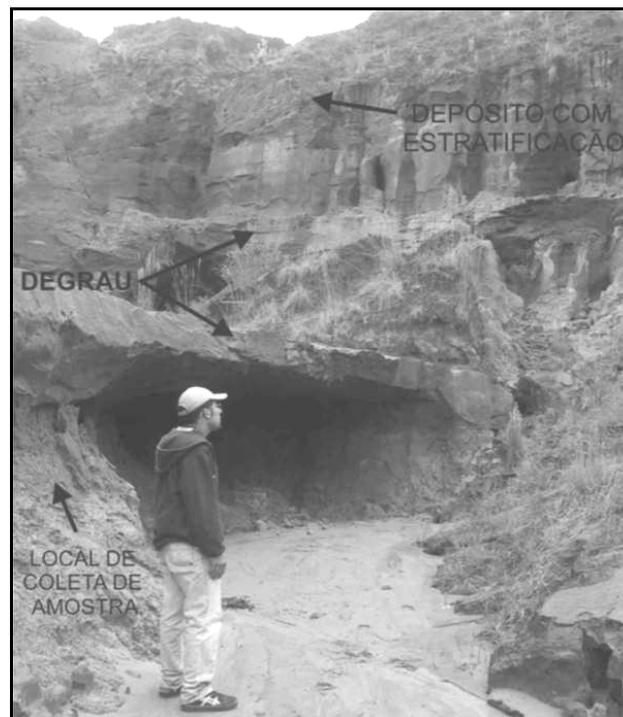


Figura 16: Dois pontos de ruptura o primeiro no primeiro plano e o segundo mais a montante.

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-10-04.

As figuras 17 e 18 mostram dois tipos diferentes de movimentos de massa. Os tombamentos de colunas que ocorrem em sua maioria voçorocas desconectadas de pequena profundidade (inferior a 2m), à esquerda, pela ação da erosão laminar. Já os escorregamentos ocorrem de forma mais sistemática nos anfiteatros e nos braços mais incisos com grande profundidade (superiores a 2m) que muitas vezes atinge diferentes pacotes geológicos. São áreas internas de voçorocas que indicam o aumento do processo erosivo; através do tombamento em pequenas colunas como forma do avanço erosivo.

À figura 17 representa o tipo de avanço mais comum nas laterais da voçoroca o tombamento das colunas. Próximo a este local foi coletado a amostra 06. Este tipo de avanço é mais comum nas voçorocas desconectadas à drenagem, geralmente localizadas na porção **NNW**.



Figura 17: Voçoroca desconectada e representa o avanço por tombamento das colunas.

Foto: 12-12-05

A figura 18 mostra uma corrida de detrito formando um leque, devido à liquefação do material. Este tipo de movimento de massa interna as voçorocas geralmente ocorre nas voçorocas lineares em taludes instáveis com erosão remontante efetiva.



Figura 18: Escorregamento formando um leque, devido à liquefação do material. Foto: 12-12-05

As figuras 17 e 18 mostram que movimentos de massa são as formas segundo as quais as ravinas e voçorocas tendem a se expandir, com pequenos deslizamentos, proporcionados pela ação da gravidade e por diferenças de resistência, pois a vertente tem uma declividade e o canal da voçoroca forma uma superfície de ruptura com uma declividade discordante.

A figura 19 mostra uma queda d'água devido à presença de camada de arenito coeso. Nesse local o arenito coeso causa a formação do depósito arenoso a montante deste curso de água mostrado no mapa de feições erosivas (figura 29).

Esses afloramentos estão no setor central (C) da área de estudo, juntamente com os solos com maior proporção de material orgânico, mostrados na figura 18.



Figura 19: Arenito resistente à erosão, queda de água marcada no Mapa. Foto: 12-12-05

## 4.2 Análise das Amostras Coletadas

Foram coletadas 07 (sete) amostras de *solo e/ou material intemperizado*, e de rochas para uma caracterização física dos diferentes materiais identificados em campo. Após esta caracterização, 04 amostras foram selecionadas dentre as 07 primeiras e mais uma (01) amostra de rocha arenítica para uma análise por Difratomia de raios-X, para a identificação dos constituintes microscópicos.

### 4.2.1. Análise granulométrica

Foram realizados ensaios granulométricos com a utilização de peneiras e pipetagem de todas as amostras coletadas. O quadro 04 apresenta a localização das amostras e resume os resultados obtidos através da análise granulométrica, cujas frações obtidas foram: areia grossa ( $> 1 \text{ mm}$ ), areia média ( $1 \text{ mm}$  e  $0,25\text{mm}$ ), areia fina ( $0,125\text{mm}$  e  $0,062\text{mm}$ ), silte ( $0,062\text{mm}$  e  $0,004\text{mm}$ ) e argila ( $< 0,004\text{mm}$ ).

O procedimento dos ensaios granulométricos se deu de seguinte forma: as amostras foram secas em estufa, por peneiramento foram separadas as frações grosseiras (areia fina, média e grossa) e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. Para a separação das frações finas (silte e argila) foi realizada a pipetagem onde se fixa o tempo para o deslocamento vertical da suspensão solo /água. Após a adição de um dispersante químico (pirofosfato de sódio) em uma proveta de 1000ml. Pipeta-se um volume da suspensão (de 20ml) a 5 cm de profundidade, para determinação da fração silte e argila que após seca em estufa, são pesadas. A fração silte e argila correspondem ao complemento dos percentuais para 100%, das frações grosseiras, sendo este obtido pela diferença das outras frações em relação à amostra original.

Quadro 04: Análise granulométrica em porcentagem:

Amostras	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila	Total	
01	0,02	<b>52,46</b>	<b>31,89</b>	5,01	9,77	99,15	Figura 09
02	0,29	<b>37,10</b>	<b>47,86</b>	4,60	10,15	100,0	
03	0,07	1,86	<b>40,44</b>	<b>40,73</b>	<b>16,88</b>	99,98	Figura 31
04	0,04	<b>49,80</b>	<b>38,02</b>	3,90	8,24	100,0	Figura 09
05	-	15,80	<b>49,32</b>	10,50	<b>24,37</b>	99,99	
06	0,02	<b>45,12</b>	<b>34,74</b>	3,16	<b>16,86</b>	99,90	Figura 22
07	0,02	25,27	<b>65,14</b>	4,24	7,33	100,0	

Org: Corrêa, L da S. L.

Fonte: trabalho de campo 11-10-05 e 12-12-05

Na figura 20, mostra as curvas granulométricas obtidas para as amostra 01 a 07, onde as frações Areia Grossa, Areia Média, Areia Fina, Silte e Argila são representadas nas abscissas gráficas pelos números, 1, 2, 3, 4, 5 respectivamente. Analisando os gráficos pode-se concluir que o comportamento das amostras 01, 02, 04 e 06 são semelhantes, pois mais de 79% destas amostras consistem de areia média a areia fina. As amostras 03, 05 e 07 apresentam um comportamento diferenciado onde, por exemplo, na amostra 03 as frações finas (areia fina, silte, argila) somam 98,05%, e as amostras 05 e 07 a fração areia fina é mais significativa correspondendo a 49,32% e 65,14% respectivamente.

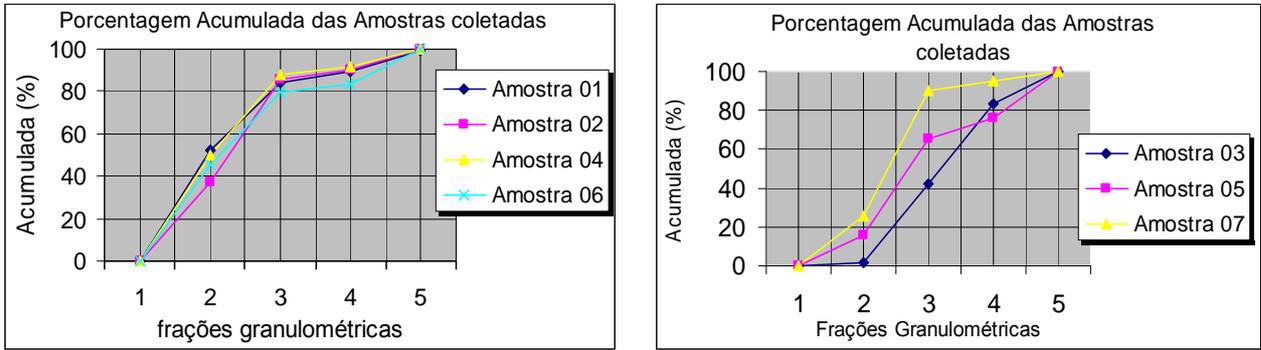


Figura 20: Gráfico granulométrico das amostras coletadas

As amostras de número (04 e 01), retiradas na ruptura entre voçoroca e a colina demonstraram que o horizonte A e o horizonte B respectivamente, são muito próximos em suas concentrações de areia média onde no horizonte A obteve porcentagem de 49,8%, do peso da amostra e no horizonte B 52,46% do peso da amostra. Esta pequena diferença de porcentagem da fração areia média entre os dois horizontes mostra que o solo desenvolvido nesta região originado de substrato arenítico é muito homogêneo conforme pode ser observado no quadro 04 em negrito. A figura 21 mostra que existe uma diferença pequena, mas de material fino (silte e argila) no horizonte B (01) maior que no horizonte A (04). Onde estas amostras foram coletadas está na figura 35.

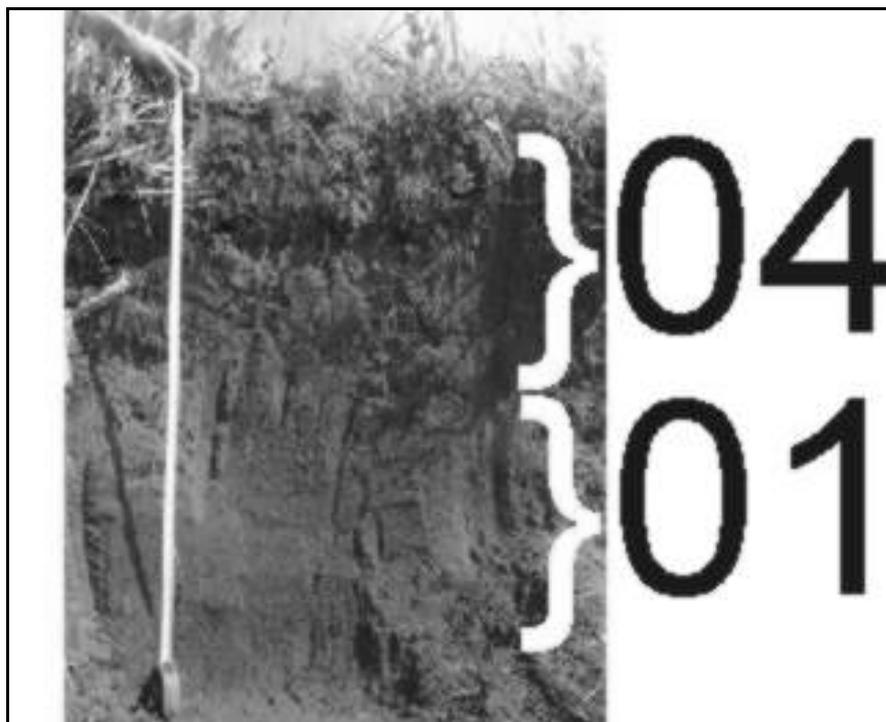


Figura 21: Perfil das amostras 01 e amostra 04 no topo da colina

A amostra 02 foi coletada em um horizonte A em outro ponto da área de estudo e que demonstrou o seguinte resultado nas peneiras 0,250 – 0,125mm (areia média) tiveram 34,74% de material e na entre 0,125 – 0,062mm (areia fina) 41,84% mostrando um material muito fino que concentrou nestas peneiras 76,29% de todo o material coletado.

A amostra 03 foi coletada em uma área da área de estudo em que se formaram solos com grande quantidade de material orgânico e que houve uma reativação de processo erosivo. Esta amostra apresentou uma concentração maior de material na fração silte e argila com 57,63%, mostrando uma grande quantidade de sedimento fino e mostrando que aquele ponto representa uma área de sedimentação da cabeceira de drenagem. Outra fração importante é areia fina (40,44%), porém as frações mais grosseiras não são significantes (figura 32).

A amostra 05 foi coletada no fundo da voçoroca, (figura 22) onde se encontra material mais fino e formando patamares internos próximo ao lençol freático, não foi encontrado material maior que 1 mm e a maior concentração de material foi areia fina (49,32%), também mostrando maior quantidade de argila (24,37%) e silte (10,50%) do que as amostras anteriores.

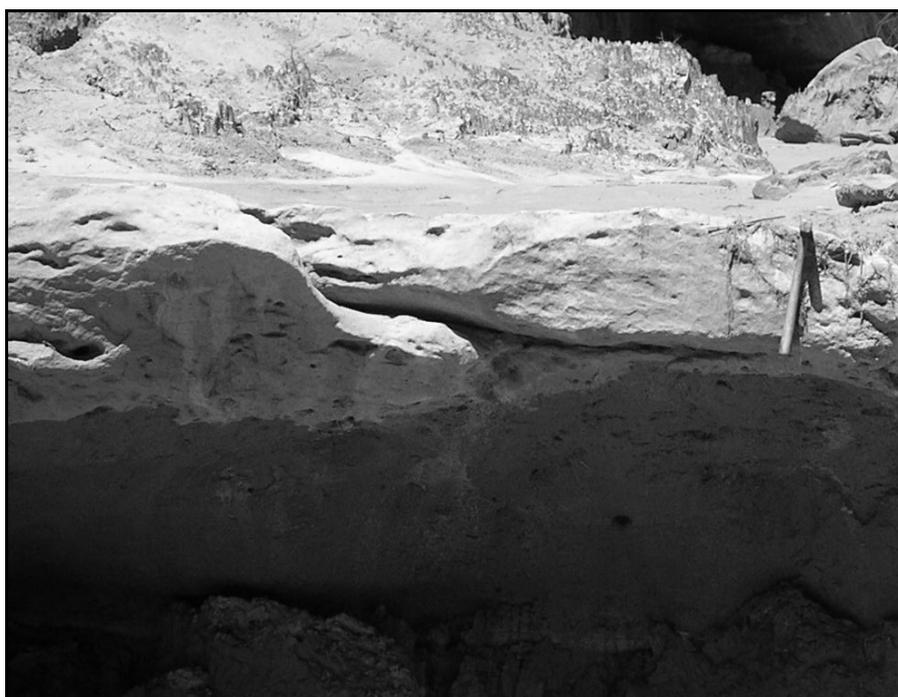


Figura 22: Degrau no fundo da Voçoroca Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A amostra 06 foi coletada no fundo de um anfiteatro (Figura 23), em uma feição residual de um degrau no interior da voçoroca, este material, aparentemente mais coeso, também consiste em areia muito fina, menor que 0,25mm representando 79,54% do peso da amostra. O material silte e argila representam (menor que 0,062mm) 20,02% do material assim com grande percentagem de material muito fino. Porém no Raios-X apresentou Caulinita no 1º (7,13Å) e 3º (3,42Å) pico e quartzo nos restantes.



Figura 23: Material do fundo de anfiteatro erosivo

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A amostra 07 foi Coletada a jusante da área em deposição mais recente, próxima à estrada na drenagem principal da cabeceira de drenagem. A fração principal é a de areia fina (65,14%) onde a fração de 0,125mm-0,062mm tem 37,83% do peso da amostra, silte e argila foram frações pouco significantes nesta amostra, somando 11,57%.

#### 4.2.2. Difratomia por raios X

Em cinco (5) amostras foram realizadas análise de difratometria por raios X, para a identificação dos argilominerais constituintes sendo que (4) amostras é solo e/ou material intemperizado e de uma (01) amostra é de rocha sedimentar coletada

na área da cabeceira de drenagem em estudo. A seguir são demonstrados os difratogramas de cada amostra e os respectivos argilominerais encontrados.

Na amostra 03 a difratometria de raios-X determinou a presença de Caulinita no primeiro ( $7,19\text{Å}$ ) e quinto ( $3,35\text{Å}$ ) pico e nos restantes apresenta quartzo da esquerda para direita (Figura 24).

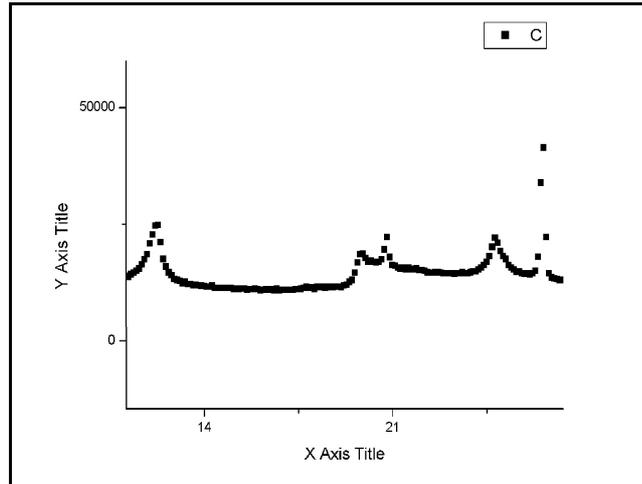


Figura 24: Difratometria de raios-X da amostra 03.

Para as amostras 01 e 04, como apresentam frações granulométricas muito próximas a difratometria de raios-X, foi realizado apenas na amostra (04), onde foi constatadas a presença de Illita ( $9,50\text{Å}$ ) no primeiro pico, caulinita no segundo ( $7,19\text{Å}$ ), quinto ( $3,59\text{Å}$ ) e sexto ( $3,35\text{Å}$ ) pico da esquerda para direita, e quartzo demais constituintes nos outros picos (figura 25).

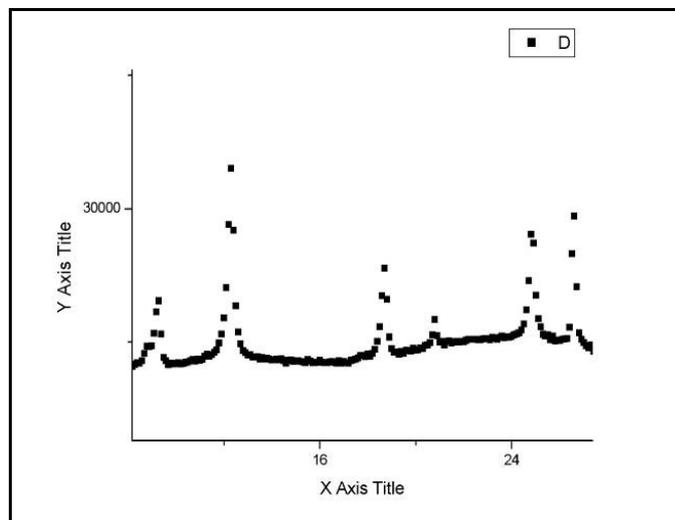


Figura 25: Difratometria de raios-X da amostra 04.

Na amostra 05 a difratometria de raios-X encontrou-se Ilita ( $10,04\text{\AA}$ ) no primeiro pico e Caulinita no segundo ( $7,19\text{\AA}$ ) e quarto ( $3,59\text{\AA}$ ) picos, sendo que os demais foi classificado como quartzo. (figura 26)

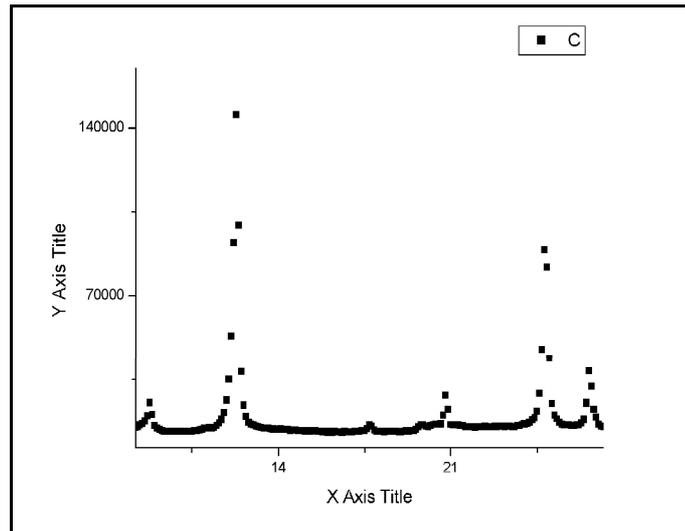


Figura 26: difratometria de raios-X da amostra 05.

Na amostra 06 a difratometria de raios-X apresentou Caulinita no  $1^\circ$  ( $7,13\text{\AA}$ ) e  $3^\circ$  ( $3,42\text{\AA}$ ) pico e quartzo nos restantes. (figura 27)

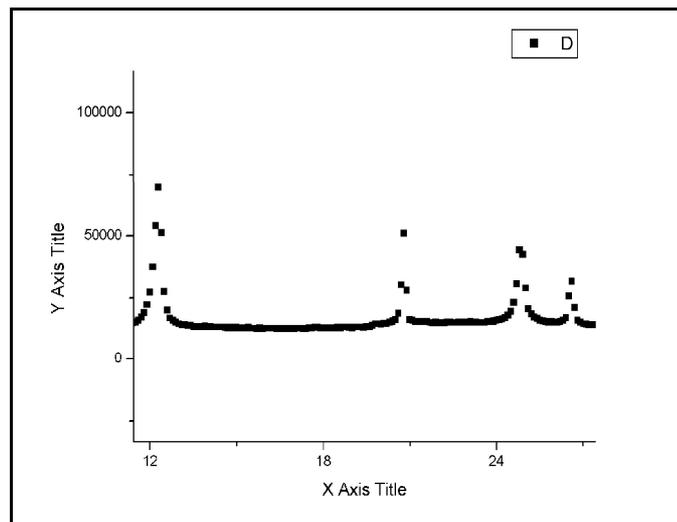


Figura 27: difratometria de raios-X da amostra 06.

A figura 28 mostra um afloramento de arenito coeso, com camadas milimétricas de Oxido de Ferro de onde foi coletada uma amostra para análise difratométrica. Foi identificado na figura 29, caulinita no primeiro ( $7,13\text{\AA}$ ) e o terceiro ( $3,42\text{\AA}$ ) pico como principal argilomineral presente e o demais quartzo.



Figura 28: Amostra de Rocha arenítica

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 11-10-2005.

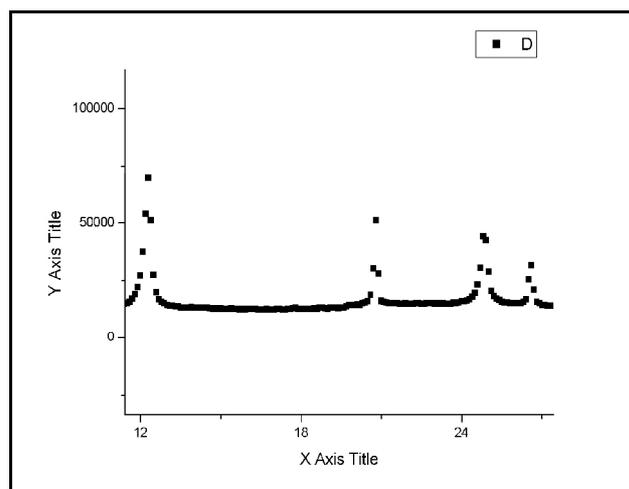


Figura 29: difratometria de raios-X da amostra de arenito.

Foi encontrado Caulinita em todas as amostras que foram realizadas a difratometria de raios X. Nas amostras 4 e 5 foi encontradas, além da caulinita também Ilita mostrando que no topo da colina e no fundo da voçoroca em anfiteatro tem a presença destes dois argilominerais.

A caulinita se caracteriza como um argilomineral cristalino equidimensional, originada da intemperização do feldspato de sódio, e/ou potássio e de micas que têm baixa capacidade de retenção de água, coesão e plasticidade.

A Illita é um argilomineral com três camadas, não expansiva, é formado por placas de sílica que podem ser substituídas por alumínio, magnésio e ferro. Quando associado ao íon potássio gera uma rigidez estrutural do mineral.

A observação dos resultados da análise das amostras coletadas indica que a fração areia fina é determinante em todas as amostras. Embora apareça com diferentes concentrações. Essas concentrações atingem valores nunca inferiores a 30%, com média de 43,92%, chegando a 65,14% na amostra. Nas três amostras coletadas no topo das colinas (amostra 01, amostra 02 e amostra 04) as características são semelhantes: a fração areia média e fração areia fina, somadas, ultrapassam 80% do valor das amostras. Este pacote sedimentar caracteriza todo o topo das colinas até a metade da vertente o que de certa forma explica a fragilidade da área frente à ação dos processos erosivos

Observa-se na amostra 03 valores para a fração silte em torno de 40,73%. Nesta porção da área onde se identificou um antigo depósito de sedimentos. Mostra também um solo mais desenvolvido com material orgânico e onde as frações mais grosseiras não são significativas. Esta amostra foi coletada no setor **C** (figura 30).

A amostra 05 está localizada no setor **E** (figura 30). Nesse setor onde às frações de menor granulometria tiveram grande importância. Somadas, as frações areia fina, silte e argila correspondem a 84,19% da amostra (quadro 03). Essa amostra é representativa do fundo da voçoroca, onde, aparentemente, existe uma maior resistência aos processos erosivos, justificada pela existência deste material fino que ajuda na resistência a erosão.

A amostra 06 apresenta uma variação dentro dos anfiteatros, setor **E** (figura 30), em uma porção mais a montante da voçoroca. Isso indica a existência de diferentes estratos, onde a fração areia é significativa. A fração areia média atinge 45,12%, a fração areia fina atinge 34,74%, enquanto a fração argila atinge a fração argila 16,86%.

### 4.3 Setorização da Área de Estudo

Considerando a litologia, o solo, a declividade e a distribuição das feições erosivas e às semelhanças dos estágios de desenvolvimentos destas, a área de estudo foi dividida em 5 (cinco) porções, com o objetivo de facilitar a compreensão destas feições e de como os processos erosivos atuam na área de estudo.

Levou-se em consideração a presença e o tipo de feição erosiva, a declividade média das vertentes e seu comprimento de rampa, as características do material litológico e pedológico que caracteriza cada porção. Assim, para a discussão das características dos diferentes estágios de evolução dos processos erosivos que ocorrem na área de estudo, é importante visualizar a sua distribuição espacial e poder relacioná-los com a geologia, litologia, relevo e drenagem.

Com base na distribuição das feições erosivas, semelhanças litológicas, declividade, comprimento de rampa dividiu-se a área de estudo em cinco porções distintas (figura 08): área sudoeste (**SW**); área sudeste (**SE**); área central (**C**); área noroeste (**NW**) e área Leste (**E**) (figura 30).

A porção **SW** pode ser identificada a partir da vista parcial da área de estudo (figura 30). Esta porção apresenta dois degraus formando patamares, formados por afloramentos de arenitos silicificados, além um outro afloramento de arenito silicificado próximo ao curso principal que ocorre na forma de lajeado (figura 31 detalhe a direita). Neste setor ocorrem duas voçorocas lineares sendo que uma delas encontra-se a jusante de um destes patamares. Estes processos erosivos estão associados à proximidade do lençol freático. As feições erosivas nesta porção estão associadas a canais já conectados ao canal principal e a área de deposição da drenagem.

Nesta porção foi descrito um perfil geológico próximo da estrada RST377 (figura 05), localizado na figura 29, onde ocorrem cinco camadas de rochas perfeitamente distintas. O topo é constituído de arenito silicificado, abaixo ocorrem os arenitos friáveis, seguidos de uma camada de óxido de ferro formando pequenas lajes, seguida de arenito silicificado. A base é constituída por arenito friável semelhante à segunda camada. A estrada atravessa o canal principal onde ocorre o transporte do material erodido e pode-se observar, pois está depositada grande quantidade de material arenoso antes da estrada. O duto de drenagem instalado

neste local diminui a capacidade de transporte do curso d'água que forma a jusante uma grande área de deposição. O que ocorre é que a estrada atualmente, forma uma barreira artificial para a drenagem, formando uma área deposicional.

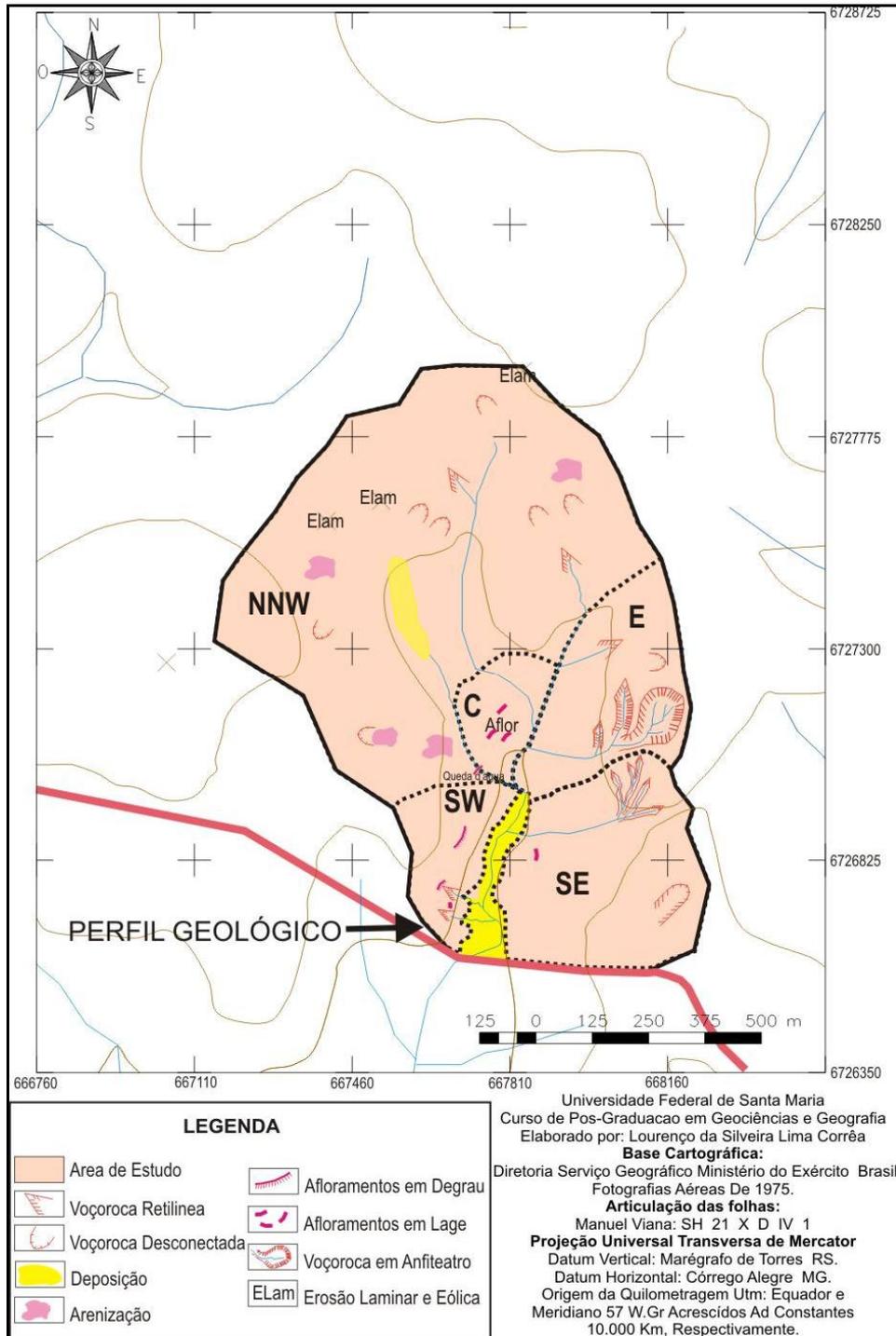


Figura 30: Mapa de feições do relevo

A porção **SW**, mais próxima da estrada RST 377 (figura 31), mostra feições erosivas lineares associadas ao sistema de drenagem, próximas à estabilização, não mostrando uma erosão regressiva mais intensa comparada a porção **E**. Mostra um

comprimento de rampa curto e uma declividade média baixa e constante. Esta porção apresenta uma estabilização do avanço das feições erosivas, porém, seria interessante implementar algumas técnicas de contenção como paliçadas internas e revestimento vegetativo dos taludes laterais.

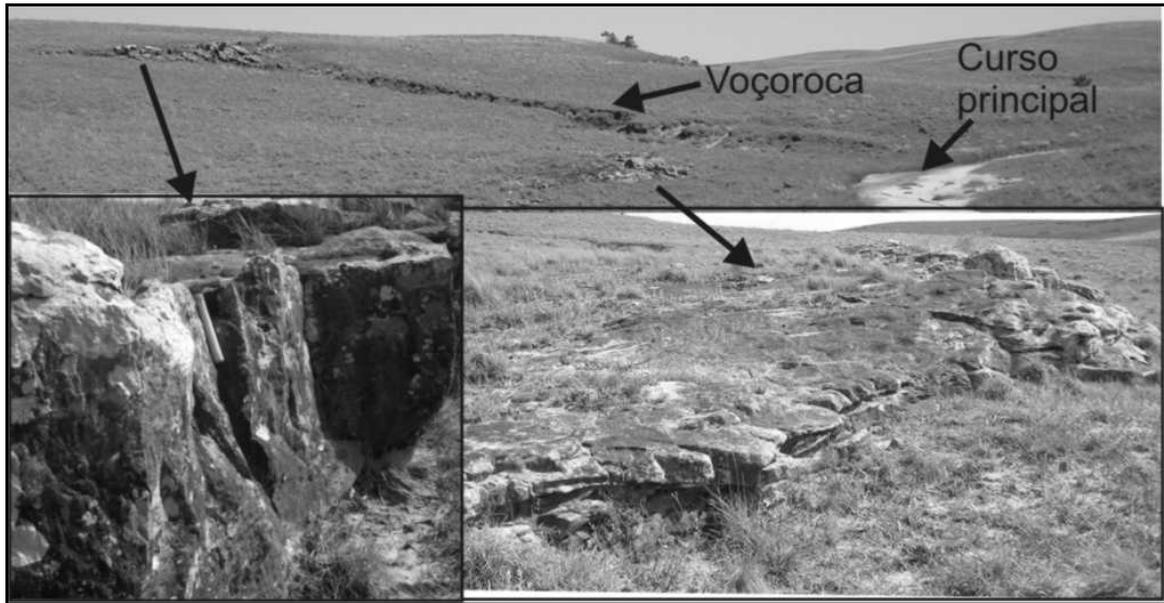


Figura 31: Porção SW, voçoroca linear e curso principal, abaixo em detalhe: esquerda degrau de arenito silicificado, direita arenito silicificado em lages.

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A porção **Sudeste** apresenta duas feições erosivas apenas, uma voçoroca linear a meia vertente para o topo da colina (figura 30), desconectada do canal principal e uma voçoroca linear complexa com vários ramos delineados que convergem em um único ramo, onde já existe um canal estabelecido. Nem todos os ramos têm uma drenagem permanente apenas quando ocorre a união destes que o canal se estabelece.

Em sua base ocorre um afloramento de rochas na forma de laje, não forma um degrau, pois está integrado a vertente da colina já próximo ao curso principal da cabeceira de drenagem. Esta porção mostra feições erosivas ainda ativas e avançando, portanto a implementação de técnicas de contenção como desvios do escoamento superficial para um canal divergente, paliçadas internas e revestimento vegetativo dos taludes laterais das voçorocas seriam eficazes.

Na porção central (**C**) ocorre depósito de sedimentos com areia e grande concentração de material orgânico como mostra a figura 32. Apresenta uma vegetação gramínea mais densa em relação às circunvizinhas, também mostra uma

reativação da erosão, pois atualmente à drenagem, que deixa de depositar e começa a transportar material. A montante localiza-se alguns afloramentos de arenitos muito coesos. Esta área fica na primeira bifurcação significativa que separa as porções com tipos de feições erosivas diferentes (**Leste** e **Norte-Noroste**) na figura 30.



Figura 32: Solo material orgânico residual no setor **C**  
Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A Figura 32, um solo arenoso que apresenta níveis de matéria orgânica na cor preta que se desenvolveu em um ambiente com grande quantidade de água e material orgânico. Este local anteriormente servia para a deposição de material, associado ao lençol freático, com a reativação da cabeceira de drenagem houve um aumento da capacidade erosiva levou a remoção e desestabilização do sistema hídrico. Neste local foi coletada a amostra 03.

Na porção Norte-Noroeste (**NNW**), o comportamento erosivo é mais homogêneo (figura 33). Nesta área a erosão laminar é superior à erosão linear, o que gera feições de menor profundidade, onde a largura é superior a sua

profundidade em geral. Alguns destes processos podem desenvolver arenizações (deposição de areias) incipientes.

A figura 33 mostra aspectos comuns das feições erosivas nesta porção onde pouca quantidade de biomassa, não protege o solo arenoso, surgindo voçorocas desconectadas onde a erosão atua apenas quando ocorrem precipitações, pois não constitui um curso de água permanente. A baixa profundidade e a característica de avanço lateral e a montante, através de escorregamentos e solapamentos nas bordas da voçoroca é uma característica geral nesta porção.



Figura 33: Voçoroca desconectada e movimentos de massa

Também ocorrem no topo da colina processo erosivo eólico (figura 34) apesar de não ser significativa na área, onde não aparecem afloramentos de arenito. Observamos que nesta porção (**NNW**) os processos erosivos se salientam pela erosão laminar, com influência da erosão eólica com voçorocas desconectadas a rede de drenagem com alguns processos de arenização incipientes (figura 08).

O retaludamento das margens das voçorocas ainda em desenvolvimento nesta porção **Norte-Noroeste**, seria a maneira de contenção mais eficiente sobre as feições erosivas conjuntamente com o florestamento, com o objetivo de amenizar o efeito das gotas da chuva e da erosão eólica. Assim evitaria o avanço e o

desenvolvimento de novos processos erosivos semelhantes aos mostrados na figura 33 e 34.



Figura 34: Ação erosiva do vento no topo da colina Foto: 12-12-05

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

A porção Leste **E**, caracteriza-se por incisões profundas, onde seu desenvolvimento é através de movimentos de massa e a erosão em subsuperfície. Estas incisões atingem vários metros de profundidade (superior a 5m), e a erosão remontante é um indicador que a atividade erosiva está muito atuante nesta porção da área seguindo muitas vezes as zonas de fraquezas existentes. Também ocorre a formação de um grande anfiteatro erosivo nesta porção com alcovas de regressão. (figura 35)



Figura 35: Vista de voçoroca linear e da voçoroca em anfiteatro na porção **E**. Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

Esta porção **E** mostra uma voçoroca em anfiteatro com e voçorocas lineares profundas (figura 35), onde os escorregamentos e movimentos de massa atuam constantemente, evoluindo para a unificação das voçorocas lineares a uma única voçoroca em anfiteatro, constituindo-se na porção mais problemática da área de estudo.

Esta porção **E** é a que se devem tomar medidas de contenção emergenciais, pois o seu avanço é progressivo e não mostra sinais de estabilização. Medida como barreiras de contenção interna associadas ao fundo da voçoroca e barreiras laterais associadas ao talude das voçorocas devem ser tomadas e até o retaludamento em patamares, e linhas que modifiquem o escoamento superficial associadas a canais divergentes com o objetivo de evitar movimentos de massa internos associadas a um cordão de vegetação ao redor da voçoroca em anfiteatro e lineares.

Observa-se que os avanços das feições erosivas nesta área ocorrem por escorregamentos laterais (translacionais) nas voçorocas já estabelecidas ou em voçorocas em desenvolvimento. Isso se deve à tendência de ocorrer o colapso pela ruptura da vertente da colina com o íngreme talude da voçoroca, através da força gravitacional que atua para re-estabilizar a vertente. Esse avanço gera perda de solo e deposição de material nos cursos d'água. Nesse sentido pode-se observar que um monitoramento dos processos erosivos avançados (voçorocas lineares ou em anfiteatros) são ações a serem tomadas, seguidas de medidas de contenção e a estabilização dos taludes das voçorocas.

Também se deve observar o avanço das ravinas e voçorocas desconectadas da drenagem e a ação da erosão eólica no topo das colinas, devido à fragilidade do solo arenoso da área, observadas na figura 33 no mapa da figura 30. Também as feições erosivas avançadas, ocorrem geralmente a montante da área a noroeste, onde o solo arenoso é atacado efetivamente pela ação da água e do vento. Isso se deve a fato de que essa área já foi utilizada para agricultura, anteriormente.

Um aspecto a ser considerado é a ser considerado é a erosão eólica que apesar de não ser significativa na área, sua ação é constatada em pequenas áreas, nos topos das colinas, na porção **NNW** da área de estudo. (figura 30)

Outro fato relevante é o assoreamento do curso de água. Devido fragilidade do sistema natural presente no local (relevo, geologia, vegetação, drenagem) associada ao mau uso do solo, uma grande quantidade de material, antes estável nas vertentes, esta se deslocando para os cursos de água. Isso modifica o regime

hidrológico do sistema. Inicialmente esses processos se desenvolvem em cabeceiras de drenagem e, posteriormente prejudicando toda a bacia hidrográfica.

Conforme mostram as figuras 30, 31 e 18, na estrada que corta a área em estudo e a área à jusante, há grande quantidade de material removido, trazido de montante. Também os dois braços lineares no setor **SW** apresentam alguma deposição quando conflui com o curso principal, atravessando a estrada e formando uma área deposicional extensa.

As áreas deposição de sedimento arenoso, decorrente do transporte superficial, ocorrem nas porções **NNW**, e a jusante associada ao curso principal da área de estudo (figura 30). Nesses locais, a cobertura apresenta as piores condições de densidade e biomassa para a proteção do solo arenoso, característico da área. A figura 37 mostra a consequência direta da erosão que é o assoreamento do curso d'água. O duto na estrada impede o escoamento o que pode gerar pequenas inundações nesta área.



Figura 36: Duto abaixo da estrada e deposição do material retirado das cabeceiras de drenagem.

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-12-05.

Esse duto, na estrada, marca a interferência antrópica, porém, não influencia diretamente na ação dos processos erosivos sobre o sistema a montante, mas facilita a deposição de material. Aproximadamente 23,6 m<sup>3</sup>, depositados em um período relativamente curto, pois a estrada tem poucos anos (figura 35). A figura também mostra a deposição do material o que caracteriza o nível de base local.



Figura 37: Área deposicional a jusante depois da estrada RST 377

Fonte: Corrêa, L. da S. L. trabalho de campo dia 12-10-05.

Além dos efeitos da desagregação do material na cabeceira de drenagem, a formação de áreas de depósito gerado pelo transporte de materiais resultantes da ação das águas correntes (aluvião), formado por um nível de base local, que também gera um problema como se pode observar na figura 36. Área deposicional a jusante, mostra o assoreamento do curso de água prejudicando a pequena mata ciliar existente, devido a grande quantidade de material removido pela erosão depositado nesta área.

## 5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Para a área de estudo, é possível identificar alguns fatores condicionantes de formação de processos erosivos que se destacam sobre os demais. O clima, a geologia e o solo são três fatores condicionantes importantes e, pelas suas características, se pré-dispõe a desenvolver processos erosivos.

Em relação à precipitação, pode-se destacar que a média mensal de precipitação pluviométrica é geralmente a 100 mm.

Em relação à geologia, pode-se destacar a característica das rochas da região. São arenitos, em geral friáveis, com baixa cimentação. Isso facilita a geração de solos arenosos com uma predisposição a desenvolver os processos erosivos. A declividade que em geral é fator muitas vezes fundamental no desenvolvimento da erosão, na área é suave devido às colinas longas e amplas.

Observa-se que os avanços dos processos erosivos nesta área ocorrem por escorregamentos laterais (translacionais) nas voçorocas já estabelecidas ou em voçorocas em desenvolvimento. Isso se deve à tendência de ocorrer o colapso pela ruptura da vertente da colina com o íngreme talude da voçoroca, através da força gravitacional que atua para re-estabilizar a vertente. Esse avanço gera perda de solo e deposição de material nos cursos d'água.

A área de estudo localiza-se em uma cabeceira de drenagem. Forma um sistema de processos erosivos. Esses processos e foram classificados, considerando a forma e estágio de evolução nos seguintes grupos: i) voçoroca linear simples; ii) voçoroca linear composta; iii) voçoroca em anfiteatro; iv) areais; Também se encontra duas áreas de deposição relevantes, mostradas no mapa de feições erosivas (figura 29). Estas feições se desenvolvem pela concentração do fluxo de água e a formação dos canais erosivos.

Observa-se o avanço das ravinas e voçorocas desconectadas da drenagem, além de ação da erosão eólica no topo das colinas, (figuras 32, 33) devido à fragilidade do solo arenoso da área, observadas na figura 09 e no mapa da figura 29. Também as feições erosivas avançadas ocorrem, geralmente, a montante da

área a noroeste, onde o solo arenoso é atacado efetivamente pela ação da água e do vento. Deve-se acrescentar o fato, observado em campo, de que essa área anteriormente já foi utilizada para agricultura, e atualmente utiliza-se a pecuária.

A técnica de difração de raios-X usada para identificação dos argilominerais resultou em difratogramas com os picos característicos dos argilosminerais: caulinita e a illita. Os dois não são argilominerais que apresentem uma resistência muito efetiva a erosão. A caulinita é presente em todas as amostras é um argilomineral pouco significativo na contenção dos processos erosivos. Porém a caulinita e a illita, foram encontradas nas amostras retiradas dos degraus, uma maior resistência erosiva identificadas em campo. Mas os degraus que apresentam os argilominerais illita e caulinita têm uma maior resistência à erosão. Porém esta maior resistência não é suficiente para conter completamente o avanço dos processos erosivos, como mostra na figura 12. A análise granulométrica (amostra 06) desta amostra não mostra a fração argila mais significativa (16,86%) na amostra coletada (quadro 04), pois as frações areia média (45,12%) e areia fina (34,74%) são as predominantes.

A formação destes degraus de resistência erosiva, ocorre pela presença dos argilominerais illita e caulinita a granulometria da amostra com as frações argila (16,86%) e silte (3,16%) é maior que nas amostras coletadas em outros pontos da voçoroca, explica a existência destes degraus no interior das voçorocas em anfiteatro e voçorocas lineares bem desenvolvidas na porção **E**.

No interior das voçorocas em estágio avançado, vimos que existem degraus de que apresenta uma maior resistência à erosão em relação à camada superior da colina. Em todas as amostras analisadas foi encontrado o argilo-mineral caulinita, portanto este não um fator que possa impedir o avanço dos processos erosivos atuantes na área.

Para a facilitação da análise das feições erosivas, foi realizada uma setorização, com o objetivo de descrever e compreender a distribuição destas feições erosivas. Assim, a utilização de técnicas de contenção descritas no item 2.5 nas áreas onde os processos erosivos estão muito desenvolvidos é de extrema importância para a contenção dos mesmos.

### 5.1. Análise dos setores:

Porção **E** da área é a mais preocupante (figura 29), como não existe nenhuma forma de contenção na área pra evitar o avanço destas voçorocas. A situação é propicia para um crescimento das áreas degradadas pela erosão.

Porção **SE** seria a segunda área preocupante no avanço rápido da erosão remontante, pois a dinâmica dos processos erosivos podem expandir, lateralmente e a montante da colina. Principalmente as voçorocas lineares composta, que sua expansão pode gerar um aumento significativo da área degradada.

Porção **NNW** os processos erosivos presentes tendem a não gerar voçorocas de grandes proporções, porém podem evoluir para areais e para o crescente número de voçorocas desconectadas. Também neste setor a erosão laminar contribui tanto na formação de canais, ravinas e voçorocas, devido a baixa densidade de biomassa, como também na formação da área deposicional na parte centra do setor **NNW**.

Porções **SW** e **C** apresentam menores risco de avanço dos processos, se comparados com os outros setores da área de estudo. Na porção **SW** apresenta duas voçorocas lineares que já apresentam deposição e uma estabilização natural de seu talude. Na porção **C** sofre o desgaste lateral das margens e erosão laminar pela atuação das drenagens permanentes, apenas nos momentos de precipitação intensa e elevação do curso de água. A porção **C** é a que apresenta o menor risco de desenvolver processos erosivos intensos comparados às demais porções.

Alguns trabalhos mais recentes têm relacionado o desenvolvimento de processos erosivos intensos à velocidade de escoamento das precipitações. Desse modo, o controle do escoamento superficial seria um importante procedimento para evitar o avanço dos processos erosivos existentes e evitar o surgimento de novos. O desencadeamento do processo está associado ao efeito do impacto das gotas da chuva sobre o pacote sedimentar e ao escoamento inicial que afetam os agregados e movimentam as partículas do solo.

A vegetação pode amenizar os efeitos desse processo e dificultar a evolução da erosão. A área de estudo não tem cobertura vegetal satisfatória observada em campo (figura 08), devido a fatores naturais, uma vez que o solo é arenoso e o substrato arenítico, principalmente. A proteção vegetal de toda a área de estudo é um procedimento interessante. Nesse sentido é recomendável o plantio de

pastagem mais adaptada à fragilidade natural do solo que, conjugado com a vegetação permanente, possa formar um cordão de proteção do solo.

Esse trabalho permitiu a identificação de alguns fatores condicionantes do desenvolvimento de processos erosivos intensos. O desenvolvimento de tais processos tem causado impactos consideráveis nas propriedades rurais localizadas na região oeste do estado do Rio Grande do Sul. Tais impactos têm conseqüências ambientais significativas pela dimensão das voçorocas que podem degradar a área, além das conseqüências advindas inviabilidade econômica dessas áreas degradadas.

## **5.2. Contribuição para a área de estudo**

A análise da área de estudo aponta para a necessidade de ações de contenção urgentes. A área atingida é de grande proporção e sua expansão é evidente (figura 29). Forma uma área degradada sem nenhum uso ou ganho econômico e sem nenhuma função social. Também a presença dos processos desconectados a drenagem seu predomínio é na porção NNW da área, com 4 (quatro) áreas registradas e também com três (3) pequenas áreas de arenização encontradas a W e Centro-Oeste. Porém em toda a colina a erosão laminar é significativa podendo ocorrer à formação de pequenos sulcos. Um processo de deposição também é formado nesta área acima dos arenitos mais resistentes existentes em uma determinada faixa da área (figura 35 e 36).

A feição erosiva em anfiteatro localizada na porção **E** é a mais preocupante. Requer maiores cuidados em relação do que outras feições erosivas identificadas na área de estudo. Esta voçoroca está em expansão, podendo conectar-se a uma voçoroca linear próxima, no seu lado oeste (W). Onde uma grande quantidade de material erodido é levada para o curso d'água principal e depositado mais a jusante, como mostra a figura 29.

O trabalho mostra que o mapeamento é a maneira satisfatória para análise dos fenômenos espaciais como os processos erosivos, e esta contribuição sobre a distribuição das feições erosivas e de que maneira estão se desenvolvendo devido a suas características granulométricas e da identificação dos argilo-minerais, associadas aos fatores geomorfológicos e geológicos servirão para a compreensão da evolução dos processos erosivos e de suas feições.

Finalizando seria importante que a continuidade dos estudos sobre os processos erosivos na área de estudo, para uma caracterização física mais detalhada, com o aprofundamento dos estudos sobre a erodibilidade do solo, com levantamentos em maior escala e acompanhamento da evolução das voçorocas desenvolvidas e das feições erosivas associadas aos fatores condicionantes (litologia e solo, relevo, escoamento superficial e subsuperficial). E desta forma propor as maneira mais adequadas para estabilizar e conter o avanço do processo erosivo na área e conseqüentemente nas áreas semelhantes no município de São Francisco de Assis.

Três ações na área de estudo seriam primordiais para o acompanhamento da evolução dos processo erosivos: cercamento das voçorocas observadas, a implantação de estacas para observar o avanço dos pontos de ruptura e dos braços das voçorocas observadas; e um monitoramento de longo prazo que verificasse o avanço ou estabilização dos processo erosivos ao longo do tempo;

Esse procedimento identificaria as voçorocas ativas e que posteriormente implementaria outras medidas de contenção, citadas por Mota (1997), Bigarella (2003) e Durlo e Sutili (2005), evitando que os processos erosivos existentes avançassem sobre a área produtiva. Pois a perda de área economicamente aproveitável é um problema grave nesta região onde a produção agropecuária é a principal atividade econômica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. Problemática da Desertificação e da savanização no Brasil Tropical. **Geomorfologia**, São Paulo: USP, n. 20, 1970.

AB'SABER, A. N., MÜLLER-PLANTENBERG, C. (orgs.). **Previsão de Impactos: o estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2.ed. São Paulo: Ed. da USP. 2002.

ALBERS, A. P. F. MELCHIADES, F. G. MACHADO, R. BALDO, J. B. BOSCHI, A. O. **Cerâmica v.48** Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. São Paulo jan./fev./mar. N°305. 2002. [www.scielo.com.br](http://www.scielo.com.br)

ALMEIDA, L. E. G e RODRIGUES, J. E. **Simpósio Brasileiro de Cartográfica Geotécnica**. A Avaliação dos Terrenos aplicada na Definição de Suscetibilidade à Erosão. Florianópolis. Outubro de 1998. anais.

ALMEIDA, J. & LOPES, M. **Simulação de Imagens da Precipitação Mensal para a Elaboração de Cartas de Risco de Erosão** (2003)

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos. 2004. p.165.

ARAGÃO, L. E. O. e C. de. **Modelagem Dos Padrões Temporal E Espacial Da Produtividade Primária Bruta Na Região Do Tapajós: Uma Análise Multi-Escala**. São José dos Campos. INPE. 2004. (Tese de Doutorado)

ASSAD, E. D. SANO, E. E. (edit.) **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. 434p. il.

AZEVEDO, A. A, ALBURQUERQUE FILHO, J. L. Águas subterrâneas. OLIVEIRA, A. M. dos S., BRITO, S. N. A. de. (editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de geologia de engenharia, 1998. 112-130p.

AZEVEDO, A.C. de, DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Ed. Pallotti, 2004. 100 p. il.

- BAHIA, V. G. CURI, N. CARMO, D. N. do. MARQUES, J. J. G. S. e M. **Informe Agropecuário. V.16.** Fundamentos de Erosão do Solo. Nº176. p.25-31, 1992.
- BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do cerrado. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). **Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 195-227p.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, B. & DOS SANTOS,A. **Origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Edufsc. 2003 v. 3
- BOTULUZZI, E. C., et al. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Alterações na mineralogia de um argissolo do rio grande do sul submetido à fertilização potássica. Nº 29. p. 327-335, 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 144p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** Rio Claro-SP: Edgard Blucher, 1981.
- CHASSOT, A. e CAMPOS, H. (org.). **Ciências da Terra e Meio Ambiente.** São Leopoldo: Ed. da UNISINOS, 2000.
- CUNHA, S. B. da, GUERRA, A. J. T. (org.) **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p.345.
- D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.
- DNPM. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul.** Brasília: Ministério de Minas e Energia. 1986. 1:500.000
- DUARTE, P.A. **Cartografia Básica.** 2.ed. Florianópolis; Ed. da UFSC, 1988. (série didática)
- DURLO, M. A., SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água.** Porto Alegre: EST edições, 2005. 189p. il.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FENDRICH, R., OBLADEN, N.L., AISSE, M.M. &GARCIAS, C.M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana.** 3ª ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: CHAMPAGNAT, 1991. 442 p.

- GANDOLFI, N. A cartografia geotécnica no planejamento do uso e ocupação do solo. CHASSOT, A. e CAMPOS, H. (org.). **Ciências da Terra e Meio Ambiente**. São Leopoldo: Ed. da UNISINOS, 2000. 113-127p.
- GOMES, C. B. (coord.) **Técnicas Analíticas Instrumentais aplicadas à Geologia**. São Paulo: Edgard Blücher: PROMINÉRIO, 1984.
- GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1992. 367p.
- GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1997. 9.ed.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). **Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 17-55p.
- GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). **Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.
- GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. da (org.). **Geomorfologia do Brasil**. Bertrand Brasil, 2003. 392p.
- IPT, **Alterações no meio físico decorrentes de Obras de Engenharia**, Boletim 61, São Paulo, 1992.
- INFANTI JR, N. e FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. OLIVEIRA, A. M. dos S., BRITO, S. N. A. de.(editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de geologia de engenharia, 1998. 131-152p.
- KLAMT, E., SCHNEIDER, P. Solos Suscetíveis à Erosão Eólica e Hídrica na Região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Ed. da UFSM. Nº 11. Vol 1(jul. 1990) p.71-80.
- LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R.C., CORSI A.C., **Introdução à Confecção de Mapas pelo Software Surfer**. Rio Claro: UNESP Depto. de Geologia Aplicada. 2002. texto didático.
- PECK, R. Description of an assemblage of particles. In: LAMBE, T.W. e WHITMAN, R. V. **Soils Mechanics, SI Version**. New York: Jonh Wiley & Sons, 1979. 553p. il.
- MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004. 110p. il.

- MARQUES, J.K.A. **Manual Brasileiro para Levantamento da Capacidade de Uso da Terra**. Brasília: IBGE, 1971.
- MENDONÇA, F. **Geografia Física: ciência humana?**. São Paulo: Contexto, 1989.
- MOREIRA, C. V. R. e NETO, A. G. P. Clima e relevo. OLIVEIRA, A. M. dos S., BRITO, S. N. A. de.(editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de geologia de engenharia, 1998. 69-85p.
- MOTA, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292p.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). **Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 57-99p.
- OLIVEIRA, A. M. dos S., BRITO, S. N. A. de.(editores) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de geologia de engenharia, 1998.
- RAMOS, C. da S., SANCHEZ, M.C. Estudo Metodológico de Classificação de Dados para Cartografia Temática. **Geografia**, Rio Claro, v.25, ago.p.23-52, 2000.
- RODRIGUES,E.B. E PEJON, A. Importância dos Landforms na elaboração de cartas de susceptibilidade aos movimentos de massa na região de Águas de Lindóia/SP. in: **III Congresso Brasileiro de Cartografia Geotécnica. anais**. São Paulo,1998.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Edufu, 2003. 238p. 5º ed.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia. Ambiente Planejamento**. São Paulo: Contexto, 2003, 85p. 7. ed.
- ROBAINA, L. E. NETO, S. F., PAULA, P. M. de, PEREIRA, V. P. Processo Erosivo Acelerado no RS: voçorocamento no município de Cacequi. **GEOGRAFIA**. Rio Claro, vol 27(2). p.109-120,Agosto 2002.
- SANTOS, R. F. dos, **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SALOMÃO, F. X. de T. Controle e Prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). **Erosão e**

**Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 229-267p.

SCHERER, C.M. DOS S.; FACCINI U.F.& LAVINA.,E.L, .Arcabouço Estratigráfico do mesozóico da bacia do Paraná. In: **Geologia do Rio Grande do Sul** /Michael Holz & Luiz Fernando de Ros.Porto Alegre :Cigo/Ufrgs.Edição revisada. 2002

SILVA, A. S. da. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da, BOTELHO, R. G. M.(org.). **Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 101-126p.

STRECK et. al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/UFRGS, 2002.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia.** Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1992. 71 p. il.

SUERTEGARAY, D.M.A; GUASSELLI,L.A.; VERDUM R. **Atlas de arenização: sudoeste do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e planejamento, 2001.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Geografia Física e Geomorfologia: uma (re)leitura.** Ijuí: ED. Unijuí, 2002. 112p.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2003. 400p.il.

VILLELA, S.M. e MATTOS, A **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: MCGRAW-Hill do Brasil. 1975.

VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (org.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

ZUQUETTE, L. V. GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica.** São Paulo: Oficina de Textos. 2004

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)