

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CARACTERIZAÇÃO DE VOÇOROCAS EM BORDAS DE  
RELEVO RESIDUAL TABULAR EM QUIRINÓPOLIS-GO

ALIK TIMÓTEO DE SOUSA

Orientadora:  
Profa. Dra. Vladia Correchel

Fevereiro – 2010

**ALIK TIMÓTEO DE SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO DE VOÇOROCAS EM BORDAS DE  
RELEVO RESIDUAL TABULAR EM QUIRINÓPOLIS-GO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientadora:

**Profa. Dra. Vladia Correchel**

Goiânia, GO – Brasil

2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

**S725c**

**Sousa, Alik Timóteo de.**

**Caracterização de voçorocas em bordas de relevo residual tabular em Quirinópolis-GO [manuscrito] / Alik Timóteo de Sousa. - 2010.  
162 f. : il.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vladia Correchel.**

**Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2010.**

**Bibliografia.**

**Inclui lista de tabelas e figuras.**

**1. Solos – Goiás (Estado) 2. Voçorocas. I. Título.**

**CDU: 551.435.162(817.3)**



### Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico:  Dissertação  Tese

#### 2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor(a):	ALIK TIMÓTEO DE SOUSA		
CPF:	86273175691	E-mail:	aliktimoteo@gmail.com
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Vínculo Empregatício do(a) Autor(a):	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS		
Agência de fomento:		Sigla:	
País:	BRASIL	UF:	GO
CNPJ:			
Título:	Caracterização de voçorocas em bordas de relevo residual tabular em Quirinópolis-GO		
Palavras-chave:	voçoroca, latossolo vermelho, neossolo quartzarênico, topossequência.		
Título em outra língua:	Characterization of gullies on the edges of tabular residual relief in Quirinópolis-GO		
Palavras-chave em outra língua:	gully, red dusky soil, sand soil, tposequence.		
Área de concentração:	Solo e Água		
Data defesa:	25.02.2010		
Programa de Pós-Graduação:	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA		
Orientador(a):	Vladiá Correchel		
CPF:	144.338.978-17	E-mail:	correchel@hotmail.com
Co-orientador(a):			
CPF:		E-mail:	

\* Necessita do CPF quando não constar no SisPG

#### 3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização? <sup>1</sup>  total  parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

Capítulos. Especifique: \_\_\_\_\_

Outras restrições: \_\_\_\_\_

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF não-criptográfico da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/ 2011

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) autor(a)

<sup>1</sup> Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

**ALIK TIMÓTEO DE SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO DE VOÇOROCAS EM BORDAS DE  
RELEVO RESIDUAL TABULAR EM QUIRINÓPOLIS-GO**

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 25 de fevereiro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

<hr/>	<hr/>
Prof. Dr. Alexandre Pereira de Bakker	f. Dr. Rildo Aparecido Costa
Membro – CNEN/CRCN-CO	Membro - FACIP/UFU

---

Profa. Dra. Patrícia Araújo Romão  
Membro - IESA/UFG

---

Profa. Dra. Virgínia Damin  
Membro - EA/UFG

---

Profa. Dra. Vladia Correchel  
Presidente – EA/UFG

Goiânia, Goiás  
Brasil

**Aos meus Pais**  
Timóteo N. de Souza e  
Dígmás P. de Sousa

**Minha Esposa**  
Juliana B. Marques

**Meus Filhos**  
Aline M. de Sousa e  
Alik T. de S. Filho

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me concedido vida, saúde e demais condições para a realização deste trabalho.

Muitas pessoas foram fundamentais e contribuíram enormemente para que esse trabalho chegasse à etapa final. Dentre elas a Profa. Dra. Vladia Correchel, orientadora sempre presente e dedicada, pelas condições indispensáveis na elaboração deste trabalho possibilitando a sua finalização, ficarei eternamente agradecido.

Devo também em especial a enorme contribuição da Profa. Dra. Selma Simões de Castro, que com enorme sabedoria geomorfológica/pedológica e em específico sobre processos erosivos, fez-me enxergar a essência de um trabalho científico dessa natureza. Muito obrigado pelas suas orientações.

Ao Prof. Dr. Nori P. Griebeler que com seu jeito calmo e tranquilo me concedeu diretrizes para a realização de várias fases da pesquisa.

À minha esposa Juliana e meus filhos Aline e Alik Filho que foram privados de minha companhia por longos períodos em função dessa pesquisa e souberam compreender, vocês foram e são fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao meu pai Timóteo Nunes de Souza que não mediu esforços para ajudar a coletar dados de solos em campo por vários dias consecutivos. E, a minha mãe (Dígmás) que me ensinou a ler as primeiras letras do alfabeto, minha eterna Professora.

Ao aluno Sílvio Ricardo Carvalho (Silvinho) que me apresentou a área de pesquisa em sua caminhonete ou em jornadas pela serra para observações dos focos erosivos a cavalo, além de contribuir em várias etapas de coleta de dados em campo, muito obrigado, serei eternamente grato à sua contribuição.

Aos alunos da UEG, Quirinópolis, ex-bolsitas (PIBIC/PVIC): Natã, Fabrício, Cleoneiva, Daniela e Estefânia, que muito contribuíram com os trabalhos de campo. Principalmente o Natã e o Hélcio que me auxiliaram em longas jornadas para coleta de informações quanto à condutividade hidráulica em campo, coleta de solos e cadastro das voçorocas.

À Rosane Amaral, no LABOGEF/IESA pelas enormes contribuições na elaboração dos mapas e todos os colegas desse laboratório, especialmente a Karla que finalizou alguns mapas.

Ao Max do LAGE/Engenharia Rural/EA, pelas contribuições no teste do Permeâmetro de Guelph, e a todos os colegas deste laboratório.

A todos os colegas da turma de Pós-Graduação da EA/UFG 2006, notadamente o João Ferreira Oliveira que muito me ajudou na compreensão de conceitos de solos

Ao fazendeiro Sr. José Quirino da Silveira juntamente com sua esposa e a filha Else colega de trabalho na UEG, que gentilmente permitiram a coleta de dados em sua propriedade. Ao vaqueiro da fazenda Sr. Mauro pela boa hospitalidade.

Aos amigos da Serra: Sr. Jordelírio, Da. Fia e seus filhos: Walson e Wilson e sua esposa. À diretora da UEG/UnU Quirinópolis (Joana Correia Goulart) que sempre que solicitei contribuiu para que essa pesquisa pudesse ser realizada. A colega Profa. Nilda pelas enormes contribuições. Ao colega Jean por ajudar em encontrar alguns textos, artigos fundamentais para a fundamentação teórica deste trabalho.

Ao Prof. Edevaldo pelas ajudas nos trabalhos de campo e computacionais. Ao Professor e Pastor Gilberto que tanto insistiu para que eu viesse para Quirinópolis e através dessa vinda interessei em estudar as ocorrências erosivas aqui investigadas. Muito obrigado.

À coordenação do PPG/EA em especial o Secretário Wellington Mota pela eterna presteza e eficiência em seu trabalho, sempre pronto a atender a todas as requisições que fiz.

Às minhas irmãs Sandra e Rosa e cunhados: Cidy e Luciano que muito contribuíram durante a minha longa estadia em Goiânia durante o período de cumprimento dos créditos, bem como, durante a realização dos ensaios e análises de solos.

A todos que me encorajaram me dando forças para a elaboração desta pesquisa que por ventura não mencionei aqui, muito obrigado.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	8
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>RESUMO</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1 OS CONDICIONANTES (FATORES) DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES .....	15
2.1.1 Condicionante litoestrutural de erosões lineares .....	16
2.1.2 Topografia .....	19
2.1.3 Solo .....	21
2.1.4 Clima .....	23
2.1.5 Dinâmica hidráulica e gênese de voçorocas .....	25
2.1.6 Uso do solo e sua relação com erosões lineares de grande porte .....	30
2.2 AS METODOLOGIAS DE ESTUDO DOS PROCESSOS EROSIVOS ....	34
2.2.1 Uso do geoprocessamento para identificação de feições e controle de processos erosivos .....	34
2.2.2 Cadastramento de erosões lineares e sua utilização .....	37
2.3 OS INSTRUMENTOS DE CONTROLE .....	40
2.3.1 Técnicas para contenção/estabilização de ravinas e/ou voçorocas .....	40
2.3.2 Monitoramento de erosão laminar e linear e suas aplicações .....	49
2.4 USO ALTERNATIVO DE ÁREAS COM PROCESSOS DE VOÇOROCAMENTO .....	53
2.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADA A PROCESSOS EROSIVOS .....	55
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	63
3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA REGIÃO DE ESTUDO .....	63
3.2 SELEÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	67
3.2.1 Voçoroca Córrego do André .....	67
3.2.2 Voçoroca Tingá .....	68
3.3 OBTENÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS .....	69
3.4 OBTENÇÃO DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	72
3.5 ESQUEMA DE COLETA DE AMOSTRAS NAS ÁREAS DE ESTUDO.	73
3.6 ANÁLISES DOS SOLOS .....	74
3.6.1 Análises físicas .....	74
3.6.1.1 Ensaios de infiltração .....	74
3.6.1.2 Resistência do solo à penetração mecânica .....	75
3.6.1.3 Textura .....	77
3.6.1.4 Densidade de partículas .....	78

3.6.1.5	Densidade do solo .....	78
3.6.1.6	Volume total de poros .....	78
3.6.1.7	Microporosidade e macroporosidade .....	78
3.6.1.8	Umidade gravimétrica .....	78
3.6.2	<b>Análises químicas</b> .....	79
3.7	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE CHUVA NA REGIÃO .....	79
3.8	ANÁLISE DOS DADOS .....	80
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>81</b>
4.1	BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA SERRA DA CONFUSÃO DO RIO PRETO .....	81
4.2	EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO.....	90
4.2.1	<b>Uso da terra em 1980</b> .....	91
4.2.2	<b>Uso da terra em 2008</b> .....	93
4.2.3	<b>Evolução do uso do solo – 1980 e 2008</b> .....	95
4.3	CADASTRAMENTO DAS VOÇOROCAS SELECIONADAS NA REGIÃO .....	97
4.3.1	<b>Voçoroca Córrego do André</b> .....	97
4.3.2	<b>Voçoroca tingá</b> .....	102
4.4	TOPOGRAFIA DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO E TOPOSSEQUÊNCIA DAS VOÇOROCAS .....	107
4.4.1	<b>Topografia da área de contribuição da voçoroca Córrego do André</b> ....	107
4.4.2	<b>Topossequência da voçoroca Córrego do André</b> .....	108
4.4.2.1	Legenda da topossequência A (lado direito da voçoroca) .....	111
4.4.2.2	Legenda da topossequência B (lado esquerdo da voçoroca) .....	114
4.4.3	<b>Topografia da área de contribuição da voçoroca Tingá</b> .....	118
4.4.4	<b>Topossequência da voçoroca Tingá</b> .....	119
4.4.4.1	Legenda da topossequência .....	120
4.5	DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS DA VOÇOROCA CÓRREGO DO ANDRÉ .....	123
4.6	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO .....	133
4.7	DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS DA VOÇOROCA TINGÁ .....	136
4.8	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO .....	141
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>145</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>146</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Chave de interpretação adotada para a classificação dos tipos de usos do solo na Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno .....	71
<b>Tabela 2.</b>	Quantificação do uso do solo no município de Quirinópolis em 1980 ..	93
<b>Tabela 3.</b>	Quantificação do uso do solo no município de Quirinópolis em 2008 ..	95
<b>Tabela 4.</b>	Ficha de cadastro da voçoroca Córrego do André.....	97
<b>Tabela 5.</b>	Ficha de cadastro da voçoroca Tingá .....	102
<b>Tabela 6.</b>	Avaliação de atributos físicos e químicos do solo (n=30), a 20 cm de profundidade em área de pastagem no entorno da voçoroca .....	124
<b>Tabela 7.</b>	Valores médios (n=9) dos atributos físicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo em taludes da voçoroca C. do André .....	125
<b>Tabela 8.</b>	Umidade gravimétrica e resistência à penetração (n=87) de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem no entorno da voçoroca. Córrego do André .....	127
<b>Tabela 9.</b>	Valores médios (n=9) de algumas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem no entorno da voçoroca Córrego do André .....	128
<b>Tabela 10.</b>	Valores médios (n=9) dos atributos químicos de horizontes de perfis de solo coletados em taludes da voçoroca Córrego do André .....	133
<b>Tabela 11.</b>	Avaliação de atributos físicos e químicos do solo (n=30), a 20 cm de profundidade em área de pastagem no entorno da voçoroca Tingá .....	137
<b>Tabela 12.</b>	Valores médios (n=9) dos atributos físicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo em taludes da voçoroca Tingá .....	138
<b>Tabela 13.</b>	Valores médios (n=9) de algumas propriedades físico-hídricas de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem no entorno da voçoroca Tingá..	138
<b>Tabela 14.</b>	Umidade gravimétrica e resistência à penetração de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem no entorno da voçoroca Tingá .....	139
<b>Tabela 15.</b>	Valores médios (n=9) dos atributos químicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo em taludes da voçoroca Tingá .....	143

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Localização da área de pesquisa .....	64
<b>Figura 2.</b>	Unidades Geológicas da Serra da C. do rio Preto .....	66
<b>Figura 3.</b>	Vista aérea parcial da bacia de contribuição da Voçoroca C. do André .....	68
<b>Figura 4.</b>	Vista parcial da encosta direita da voçoroca Tingá .....	69
<b>Figura 5.</b>	Fluxograma de elaboração do mapa de uso da terra .....	70
<b>Figura 6.</b>	Utilização de rapel para descrição morfológica .....	73
<b>Figura 7.</b>	Transects (Ti, i=1 a 10), indicando os pontos dos testes de resistência à penetração .....	76
<b>Figura 8.</b>	Transects (Ti, i=1 a 7) indicando os pontos dos testes de resistência à penetração .....	77
<b>Figura 9.</b>	Geomorfologia da Serra da Confusão do Rio Preto e de seu entorno ...	82
<b>Figura 10.</b>	Mapa hipsométrico da Serra da Confusão do Rio Preto e seu entorno .	83
<b>Figura 11.</b>	Declividade da Serra da Confusão do Rio Preto e de seu entorno .....	85
<b>Figura 12.</b>	Classes de solos da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno ...	86
<b>Figura 13.</b>	Drenagem da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno .....	87
<b>Figura 14.</b>	Precipitação média mensal de Quirinópolis no período de 1972 a 1990	88
<b>Figura 15.</b>	A. Precipitação Média Anual de Quirinópolis 1972/1990; B. Precipitação Média Anual de Quirinópolis 2003/2006 .....	89
<b>Figura 16.</b>	Precipitação Média Mensal – Serra da C. do rio Preto .....	90
<b>Figura 17.</b>	Precipitação Média Anual – Serra da C. do rio Preto.....	90
<b>Figura 18.</b>	Mapa de Uso do Solo em 1980 .....	92
<b>Figura 19.</b>	Mapa de uso do Solo em 2008 .....	94
<b>Figura 20.</b>	Gráfico da mudança do uso da terra entre os anos de 1980 e 2008 .....	96
<b>Figura 21.</b>	Vista aérea parcial da voçoroca .....	99
<b>Figura 22.</b>	Croqui da voçoroca Córrego do André .....	100
<b>Figura 23.</b>	Mecanismos erosivos na voçoroca .....	100
<b>Figura 24.</b>	Vista parcial das ramificações muito instáveis .....	101
<b>Figura 25.</b>	Escoamento superficial concentrado na cabeceira da voçoroca .....	101
<b>Figura 26.</b>	Tentativas de contenção da voçoroca .....	101
<b>Figura 27.</b>	Vista parcial da cabeceira da voçoroca Tingá .....	104
<b>Figura 28.</b>	Trecho médio/inferior da voçoroca Tingá .....	104
<b>Figura 29.</b>	Teste de infiltração com Permeâmetro de Guelph .....	105
<b>Figura 30.</b>	Croqui da Voçoroca Tingá .....	105
<b>Figura 31.</b>	Mecanismos erosivos atuantes .....	106
<b>Figura 32.</b>	Dutos biogênicos no talude da erosão .....	106
<b>Figura 33.</b>	Perfil topográfico da vertente direita da voçoroca C. do André .....	107
<b>Figura 34.</b>	Localização dos perfis descritos nos taludes da voçoroca C. do André	109
<b>Figura 35.</b>	Topossequência A – talude direito da voçoroca C. do André .....	110
<b>Figura 36.</b>	Horizonte diagnóstico Bw espesso no talude direito da voçoroca .....	112
<b>Figura 37.</b>	Vista parcial do trecho inferior da erosão .....	113
<b>Figura 38.</b>	Arenito róseo no trecho superior da voçoroca .....	113
<b>Figura 39.</b>	Topossequência B – talude esquerdo da voçoroca C. do André .....	115
<b>Figura 40.</b>	Seixos extraídos do horizonte concrecionário .....	116
<b>Figura 41.</b>	Arenito da Formação Marília .....	118
<b>Figura 42.</b>	Perfil topográfico da vertente direita da voçoroca Tingá .....	119
<b>Figura 43.</b>	Localização dos perfis descritos nos taludes da voçoroca Tingá .....	120

<b>Figura 44.</b>	Toposequência da voçoroca Tingá .....	121
<b>Figura 45.</b>	Detalhe do horizonte concrecionário sotopondo o arenito .....	122
<b>Figura 46.</b>	Localização das sondagens para os testes de infiltração em torno da voçoroca Córrego do André .....	128
<b>Figura 47.</b>	Distribuição dos valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) .....	129
<b>Figura 48.</b>	Solapamento do talude no trecho inferior da voçoroca .....	131
<b>Figura 49.</b>	Localização das sondagens para os testes de infiltração em torno da voçoroca Tingá .....	140
<b>Figura 50.</b>	Distribuição dos valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) .....	140

## RESUMO

SOUSA, A. T. **Caracterização de voçorocas em bordas de relevo residual tabular em Quirinópolis-GO**. 2010. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2010<sup>2</sup>.

O município de Quirinópolis, localizado no Sudoeste do Estado de Goiás, na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, cujas altitudes variam de 370 m a 880 m é constituído de relevos suavizados, contendo morros tabulares residuais. A Serra da Confusão do rio Preto, situada no centro norte do município, é representativa da paisagem local. Nas partes mais altas dessa serra, ocorrem muitos focos erosivos de grande porte do tipo ravinhas e voçorocas, sobretudo nas proximidades de sua borda sul, onde se desenvolve uma grande reentrância dissecada contendo várias cabeceiras de drenagem. Duas voçorocas foram selecionadas para estudos detalhados por estarem na mesma situação geomorfológica de borda concavizada de relevo residual, no entanto, relacionadas a diferentes sistemas de solos, uma sobre cobertura pedológica representada pelo Latossolo Vermelho, Plintossolo Pétrico e Gleissolo e outra sobre Neossolo Quartzarênico e Organossolo. O trabalho teve como objetivos identificar a origem, os condicionantes e a evolução dos processos que causaram o surgimento e a evolução dessas voçorocas, visando elaborar propostas de estabilização e/ou controle adequadas. Foram realizadas cinco entrevistas com antigos moradores da serra sobre a origem e evolução das voçorocas selecionadas. Posteriormente, foram elaborados mapas temáticos do meio físico e de uso e ocupação do solo da área de pesquisa tendo como fonte imagens do satélite Landsat TM (resolução de 60 m) 1980 e, Landsat TM5 (resolução de 30 m) 2008 e imagens SRTM, para observar a evolução dos usos do solo e dos focos erosivos ao longo desse período. Os recursos operacionais utilizados foram os softwares: Envi 4.3, Arc Map – ArcGis 9.2, o Spring 5.0 e o CorelDRAW X3 versão 13. Em seguida, foram elaborados cadastros das ocorrências erosivas de acordo com a metodologia do IPT. Posteriormente foram descritos os horizontes dos solos expostos nos taludes das voçorocas em topossequência, com a utilização de rapel. As características físico-hídricas dos solos foram obtidas por meio de ensaios em campo de resistência à penetração com o penetrômetro de impacto, de condutividade hidráulica saturada com o uso do permeâmetro de Guelph, sucedidos pela caracterização dos atributos físicos (umidade gravimétrica, textura, densidade de partículas e do solo, porosidade total, macro e microporosidade) e químicos (pH, MO, Fe, P, K, Ca, Mg, H+Al, Al, CTC e V). Foram realizadas análises de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação de médias. Os resultados mostraram que a voçoroca Córrego do André está se desenvolvendo sobre antiga cicatriz erosiva, evidenciada por meio da identificação de horizontes e/ou camadas pedológicas distintas entre os taludes direito e esquerdo da erosão que provavelmente foram depositados através de cortes e preenchimentos sucessivos. A sua evolução é comandada pelos fluxos superficiais concentrados em trilhas de gado que a circundam, associados aos fluxos concentrados que transbordam os terraços e atingem as suas bordas, bem como, em função da exfiltração da água subsuperficial no contato dos horizontes Bw ou Bc com o C subjacente nos taludes fortemente inclinados. A voçoroca Tingá com solos de textura mais arenosa, no seu trecho superior, possui baixa resistência à penetração (compactação) e elevada condutividade hidráulica saturada, por isso, sua progressão está associada à atuação contínua dos mecanismos erosivos internos representados pelos *pipings*. O escoamento superficial pouco contribui para a progressão dessa erosão.

*Palavras-chave:* voçoroca, latossolo vermelho, neossolo quartzarênico, topossequência.

---

<sup>2</sup> Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correchel. EA-UFG.

## ABSTRACT

SOUSA, A. T. **Characterization of gullies on the edges of tabular residual relief in Quirinópolis-GO. 2010.** 162 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy: Soil and Water) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2010<sup>1</sup>.

The city of Quirinópolis, which is located in the Southwest part of Goiás State, in the Basin of Paranaíba River, is consisted by smoothed reliefs containing residual tabular hills whose altitudes range from 370 to 880m. The “Serra da Confusão do Rio Preto”, located in the center part of the city, is representative on the local landscape. In the highest parts of this hill there are many erosive foci, which are of a huge size, especially of gullies type and mainly near of its south edge, where it is developed a big dissected recess containing several headwaters drainage. Two gullies were selected for detailed studies because they are in the same geomorphological situation of a concave edge of a residual relief, however, related to different systems of soil, one on a pedological cover represented by a Red Dusky Soil, Plinthosol petroferric and Gley soil and one on PSAMENT and Histosols . The study aimed to identify the source, the constraints and the evolution of the processes that caused the emergence and evolution of gullies to devise proposals for stabilization and / or appropriate control. Five interviews were carried out with former residents of the hill about the origin and evolution of the selected gullies. Subsequently, thematic maps were produced in the physical environment of use and occupation of the research area and as a source, satellite images Landsat TM (60 m resolution) 1980 and Landsat TM5 (30 m resolution) and SRTM images in 2008, to observe the evolution of land uses and gullies throughout this period. The operational capabilities of the software used were: Envi 4.3, Arc Map - ArcGIS 9.2, Spring 5.0 and CorelDRAW X3 version 13. Then, the entries were drawn erosive events according to the methodology of the IPT. Later on, they were described the horizons of exposed soil on the slopes of gullies in toposequence, with the use of rappelling. The physico-hydric soil characteristics were obtained from field tests of resistance to penetration with an impact penetrometer, saturated hydraulic conductivity using the Guelph permeameter, followed by the characterization of the physical attributes (water content, texture, density particles and soil total porosity, macro and micro) and chemical (pH, OM, Fe, P, K, Ca, Mg, H + Al, Al, CEC and V). Analyses were performed by ANOVA and Tukey test at 5% of probability for the comparison of means. The results showed that the gully of “Córrego do Andre” is developing on old scar erosive, as evidenced by the identification of horizons and / or different soil layers between the right and left slope erosion that probably were deposited by successive cuts and fills. Its evolution is driven by surface flows concentrated on cattle trails that surround it, associated with concentrated flows that spill over the terraces and reach their borders, as well as through the exfiltration of subsurface water in contact horizons Bw Bc or with C underlying the slopes strongly inclined. The Ting gully soils with lower clay in its upper reaches, has low penetration resistance (compaction) and high hydraulic conductivity, so the progression is linked to performance continues the erosion mechanisms represented by the internal *pipings*. The superficial runoff contributes little to the progression of this erosion.

*Key words:* gully, red dusky soil , sandy soil, toposequence.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Vladia Correchel. EA-UFG.

# 1 INTRODUÇÃO

O município de Quirinópolis está localizado no Sudoeste do Estado de Goiás, na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, um dos formadores do rio Paraná, cujas altitudes variam de 370 m a 880 m e apresenta paisagem típica dessa porção do estado, composta de relevos suavizados, contendo morros tabulares residuais. A Serra da Confusão do rio Preto, situada no centro norte do município, é representativa da paisagem local. Nas partes mais altas dessa serra, ocorrem muitos focos erosivos de grande porte do tipo ravinas e voçorocas, sobretudo nas proximidades de sua borda sul, onde se desenvolve uma grande reentrância dissecada contendo várias cabeceiras de drenagem.

Nas partes mais rebaixadas e planas do modelado predominam o basalto da Formação Serra Geral, recoberto pelo Latossolo de textura argilosa, dominado por lavoura de cana-de-açúcar e soja. Nas áreas mais elevadas da região, representadas pelas superfícies regionais de aplainamentos ou seus testemunhos, ocorrem arenitos, siltitos e conglomerados pertencentes ao Grupo Bauru, a saber, Formação Adamantina na base e Formação Marília no topo. Sobre essa litologia predominam os Neossolos Quartzarênicos desde as partes mais elevadas das encostas até os fundos de vale, vez por outra com manchas de Latossolo Vermelho nos topos. Constatam-se ainda pequenas ocorrências de Gleissolos, Cambissolos, Plintossolos e Organossolos próximo às bordas dos relevos tabulares, principalmente associados às cabeceiras de drenagem. É justamente nessa situação que se situa a maioria dos focos erosivos lineares de tipo voçorocas e ravinas de grande porte.

Predomina, em Quirinópolis, o clima Tropical Quente Sub-úmido (Aw), de acordo com a classificação climática de Köppen, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa (outubro a março) e outra seca (abril a setembro), com precipitação anual variando entre 1500 mm e 1800 mm. Tais características favorecem eventos pluviométricos concentrados que associados aos outros elementos do meio físico, como solo, declividade, comprimento de rampa, forma da encosta e tipo de uso e ocupação do solo favorecem o surgimento de incisões erosivas. Essas, freqüentemente evoluem para voçorocas, como relataram em entrevistas antigos moradores rurais de Quirinópolis, que

acompanham a evolução de alguns focos erosivos em suas propriedades e circunvizinhanças, nas últimas quatro décadas.

Pesquisadores em todo o Brasil têm demonstrado que o surgimento de incisões erosivas de grande porte está frequentemente associado a fatores naturais, como destaca Bacellar (2000). Contudo, é comum notar a atuação das atividades antrópicas em áreas urbanas e rurais, acelerando a instalação e desenvolvimento desses fenômenos, como se verifica em Quirinópolis.

O uso do solo das áreas afetadas é marcado atualmente pela presença de pastagens cortadas por numerosos trilheiros e, não raro, estendendo-se até praticamente as bordas do relevo residual tabular, que, segundo as leis ambientais, deveriam ser de preservação permanente. Com o intuito de conter a evolução rápida das incisões, alguns proprietários fizeram terraceamento inclinado, com terraços em nível de base larga e elevados, que em alguns pontos surtiram efeito passageiro e em vários outros foram rompidos rapidamente pela enxurrada.

Como se trata de borda de relevo tabular residual por si só já se caracteriza como área naturalmente suscetível a processos geomorfológicos de dissecação. Some-se a isso o fato da área ser sustentada por arenitos finos e associados a solos arenosos em amplas cabeceiras de drenagem, compondo grandes concavidades ou embaciados onde também ocorrem Organossolos e Gleissolos Hísticos na base dos interflúvios, indicadores de nível freático raso ou aflorante. Esse tipo de área, quando desmatada e convertida em pastagem, se mal manejada, costuma desenvolver processos de voçorocamento.

Dois voçorocas foram selecionadas para estudos detalhados por estarem na mesma situação geomorfológica de borda concavizada de relevo residual, no entanto, relacionadas a diferentes sistemas de solos, uma sobre cobertura pedológica representada pelo Latossolo Vermelho, Plintossolo Pétrico e Gleissolo e outra sobre Neossolo Quartzarênico e Organossolo.

O presente trabalho teve como objetivos identificar a origem, os condicionantes e a evolução dos processos que causaram o surgimento e a evolução de duas voçorocas selecionadas em função da presença de solos distintos na Serra da Confusão do Rio Preto, visando elaborar modelo de estabilização e/ou controle mais adequados dos referidos fenômenos erosivos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta breves discussões teórico-conceituais sobre a temática erosiva dispostas em três itens principais. Inicialmente são apresentados os condicionantes dos processos erosivos lineares, seguidos de metodologias de investigação sucedidas pelos instrumentos de controle, e, finalmente, são discutidos tópicos referentes à Legislação Brasileira relacionada a processos erosivos.

### **2.1 OS CONDICIONANTES (FATORES) DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES**

Segundo Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998), os fenômenos associados à formação de erosões lineares são comandados fundamentalmente por dois conjuntos de fatores ou condicionantes, denominados de fatores antrópicos e fatores naturais. Os primeiros referem-se ao desmatamento e as variadas formas de uso e ocupação do solo, como urbanização, construção de estradas/rodovias, áreas agrícolas, pastagens, dentre outras. Os segundos determinam a intensidade dos processos, destacando-se a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solo e o substrato rochoso.

Para Bertoni & Lombardi Neto (2005), a erosão é produto da interação de forças ativas como as características da chuva, declividade e comprimento do terreno e a capacidade de absorver água do solo e, as forças passivas, constituídas pela resistência do solo à abrasão da água, bem como, pela densidade da cobertura vegetal.

Bacellar (2000) considera que os fatores condicionantes dos processos erosivos são: geológicos (litológicos e estruturais), pedológicos, geomorfológicos, climáticos, biológicos e antrópicos.

Destarte, os fatores condicionantes do surgimento e evolução de erosões lineares do tipo sulcos, ravinas e voçorocas, têm sido estudados por muitos pesquisadores (Morgan, 1996; Salomão, 1999; Bacellar, 2000; Lepsch, 2002; Furlani, 2003; Rezende, 2003; Coelho Neto, 2003; Castro et al., 2004; Castro, 2005; Bertoni & Lombardi Neto, 2005; Camapum

de Carvalho et al., 2006; Pruski, 2006). Contudo, ainda é necessário maiores investigações neste assunto, notadamente quanto à dinâmica hidráulica superficial e subsuperficial e ao mapeamento dos elementos do meio físico em escala de detalhe e semi-detalhe, para que a dinâmica dos processos erosivos dessa natureza seja mais bem compreendida.

A seguir serão apresentadas breves considerações sobre os condicionantes da erosão linear: controle litoestrutural, topografia (declividade e comprimento da encosta), solo, clima (chuva), uso do solo e sua relação com erosões lineares de grande porte.

### **2.1.1 Condicionante litoestrutural de erosões lineares**

O condicionante litoestrutural é um fator importante a ser considerado em estudo de erosões lineares, pois muitas erosões quando atingem o saprólito ou mesmo a rocha sã tendem a evoluir ou a paralisar seu desenvolvimento em função da estrutura litológica atingida.

Bacellar (2000), ao estudar a ocorrência de voçorocas na bacia do rio Maracujá, Quadrilátero Ferrífero, entre as cidades de Ouro Preto e Belo Horizonte, MG, constatou que a litologia exerceu elevada influência sobre as erosões da região. Pequenas variações na textura ou composição da rocha podem comandar o direcionamento evolutivo de voçorocas. Estruturas geológicas como foliações, fraturas e falhas são importantes para o direcionamento de incisões erosivas. Neste sentido, Rezende (2003) afirma também que a coincidência da orientação das juntas e falhas com *pipings* e voçorocas é evidente.

Destarte, “a litologia e a estrutura são muito importantes na progressão do fenômeno erosivo, atuando de forma passiva, quando controlam a resistência à erosão, e ativa, quando governam o direcionamento dos fluxos subsuperficiais (Bacellar, 2000, p. 182)”. Ainda para o autor, as informações geológicas possibilitam o entendimento da concentração de voçorocas em algumas áreas, bem como, o direcionamento de seus canais e, a inexistência desses fenômenos em outras áreas aparentemente suscetíveis. Por outro lado, outros condicionantes (além dos geológicos) podem influenciar a proliferação de voçorocas, como as características topográficas e tipos de uso e ocupação do solo.

Pinto & Sígolo (2001), ao estudarem os condicionantes de erosões lineares em Herculândia, Quintana e Pompéia, no Oeste do Estado de São Paulo, constataram que os contatos litológicos são importantes vetores dos processos erosivos acelerados. A litologia

regional representada por rochas (em geral arenitos) da Formação Marília, Grupo Bauru da Bacia Sedimentar do Paraná, possuem elevado potencial de risco à erosão.

Sousa (2001), ao estudar uma voçoroca no Município de Orizona (sudeste de Goiás), verificou que o Latossolo Vermelho (com textura média a argilosa, boa coesão e resistência aos processos erosivos), associado à declividade relativamente suave (menos de 5° de declive), conferia certa resistência à ocorrência de erosão. Todavia, uma antiga estrada de carro de boi no local, desencadeou o surgimento de um sulco, que evoluiu para o estágio de ravina e finalmente transformou-se em uma voçoroca, ao longo de quase um século de evolução, quando atingiu o saprólito de gnaiss e migmatito (Grupo Araxá) muito intemperizados e fraturados localmente. Tais estruturas geológicas favoreceram o aprofundamento, o alargamento, a evolução remontante, bem como a bifurcação da voçoroca em dois eixos (dúgitos/ramificações) principais, provavelmente, em função do controle litoestrutural.

Coelho Neto (2003), em pesquisas no médio vale do rio Paraíba do Sul, entre São Paulo e Rio de Janeiro, constatou a evolução de voçorocas por meio de processos de erosão em túnel ao longo de fraturas subverticais preservadas no saprólito de rochas granitóides. De acordo com a autora, essas fraturas são responsáveis pela formação de concavidades estruturais suspensas e ajustadas à rede de drenagem da região, bem como à expansão remontante das cabeceiras de drenagem. Nestes locais ocorrem as incisões erosivas lineares em função das características do modelado (morfologia), exfiltração do aquífero temporário local e regional, em fraturas subverticais da litologia, associadas às características das chuvas locais e regionais que favorecem a escavação.

Na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT), Barbalho & Castro (2003) observaram que a drenagem da área apresenta controle litoestrutural ligado a fraturas e falhas concordantes com a direção dos lineamentos regionais, apresentando correlação com as direções das erosões investigadas, pois estas ocorrem em prolongamento das cabeceiras dos canais. Portanto, as voçorocas dessa região parecem obedecer a um controle litoestrutural. Martins (2000) e Campos et al. (2000) mapearam as direções litoestruturais dessa mesma área e constataram que as voçorocas ocorrem preferencialmente nas cabeceiras de drenagem em prolongamento remontante de lineamentos brasileiros (NE-SW dominantes cruzados com os ortogonais NW-SE), sobretudo quando essas cabeceiras eram desmatadas, portanto eram respostas hidrogeológicas de reajuste ao impacto.

Fato corroborado por Castro (2005) que afirmou que os focos erosivos (voçorocas) estudados no setor sul da Alta Bacia do rio Araguaia, são fortemente condicionados pela suscetibilidade dos solos e do relevo, mas também, “por direções estruturais dominantes ligadas ao acamamento e ao sistema de fraturas, tanto em seu surgimento quanto em sua evolução.” Segundo Castro (2005), isso favorece “fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais concentrados e convergentes para a base das vertentes.” Em relação à litologia dessa área, destacam-se os arenitos róseos avermelhados, pertencentes à Formação Botucatu (Marinho & Castro, 2003; Castro et al., 2004; Castro, 2005; Marinho et al., 2006), geralmente suscetíveis ao desencadeamento dos processos erosivos lineares.

Rezende (2003) realizou pesquisa sobre o processo de voçorocamento na bacia do córrego Capivara, alta bacia do rio Araguaia, em Mineiros (GO) e, afirmou que o controle estrutural foi o responsável pela instalação e desenvolvimento da voçoroca. Esta surgiu conectada ao curso d’água e evoluiu remontantemente, seguindo a “orientação das fraturas de direção NW.” Segundo o pesquisador, os *pipings* no interior da voçoroca estudada “coincidem claramente com as direções das fraturas.”

Martins et al. (2006), ao cadastrar as erosões em Goiânia, afirmam que a xistosidade das rochas (xisto: Grupo Araxá Sul de Goiás) facilita e orienta a direção da erosão. Segundo os autores, a forma do canal das voçorocas estudadas apresenta sinuosidades, denotando a direção da xistosidade das rochas que compõem essa formação.

Carneiro & Souza (2003) afirmam que rochas que apresentam planos de foliação favorecem os processos de erosão, como ocorre em Campo Limpo Paulista nas proximidades de Jundiaí/SP. Nesta região as aberturas de estradas paralelas à foliação, favorecem processos de deslizamentos e formação de sulcos ao longo da estrada, constituindo, portanto, em um tipo de condicionante litoestrutural no surgimento de erosões lineares.

Silva et al. (2003), ao relacionarem a orientação de feições erosivas lineares e características geológicas, numa bacia hidrográfica em Paty dos Alferes/RJ, constataram que as ravinas/voçorocas desconectadas de canais de drenagem apresentam direções subordinadas às estruturas do substrato geológico local. Por outro lado, observaram também que as voçorocas conectadas não seguem orientações das estruturas regionais. Outros fatores parecem ser mais importantes para o desenvolvimento destas do que a estrutura geológica. Segundo esses autores, as orientações das ravinas/voçorocas desconectadas obedecem as das fraturas e falhas do substrato rochoso, notadamente nas

direções NW-SE e N-S, denotando grande influência da estrutura geológica.

Determinados tipos de rochas são naturalmente mais suscetíveis ao ravinamento e ao voçorocamento do que outros. Até mesmo dentro de uma unidade litológica ocorrem diferentes resistências do substrato a ocorrência de erosões lineares. Bacellar (2000) afirma que saprólitos espessos tendem a ser mais erodíveis do que outros de espessura delgada. Para ele os quartzitos ferruginosos do Supergrupo Minas e o manto de alteração do gnaiss Funil, da região do Quadrilátero Ferrífero/MG são mais suscetíveis ao desenvolvimento de voçorocas do que outras rochas dessa região, como os granitos e os xistos, por exemplo.

Augustin & Aranha (2006) estudaram a ocorrência de *piping* em área de voçorocamento, no noroeste mineiro e encontraram vários tipos de dutos condicionados pela erosão interna, alguns relacionados com o início e evolução de voçorocas e outros não. Um dos tipos desses processos está diretamente relacionado com o controle litoestrutural, denominado pelos autores de “dutos sem colapso, mas associados à presença de voçorocas”, que apresenta dois subtipos: a) mais superficiais que ocorrem próximos a fraturas, induzindo incremento da infiltração e possibilitando a retirada das partículas mais finas do solo; outros associados à fauna (roedores), possuindo formatos arredondados; e os, b) mais profundos, no contato solo/saprólito, culminando no surgimento de alcova de regressão. Observa-se, portanto, a importância das estruturas geológicas para instalação desses dutos em uma encosta.

Outro aspecto que merece ser destacado, refere-se à neotectônica (movimento crustal recente – a partir do Terciário), que provocou alterações nas estruturas geológicas. Em muitos casos, tais estruturas, representadas principalmente por sistemas de fraturas e falhas, comandaram a gênese e a evolução de erosão linear de grande porte. Muitas voçorocas se instalaram acompanhando as direções de estruturas geológicas que surgiram a partir de fenômenos neotectônicos.

### **2.1.2 Topografia**

As características do terreno representadas pela declividade e comprimento da encosta (vertente) influenciam a velocidade do escoamento superficial (IPT, 1986; Salomão, 1999; Bertoni & Lombardi Neto, 2005) e, conseqüentemente seu poder de desprender e transportar partículas de solo. Portanto, quanto maior a declividade e o comprimento da vertente maior será o poder abrasivo da enxurrada.

Terrenos mais inclinados são mais suscetíveis aos processos erosivos do que as áreas planas. Em relevos com pequena inclinação a água esco lentamente sobre a superfície e por isso tende a infiltrar, por outro lado, áreas com elevada inclinação apresentam menor resistência ao escoamento e, conseqüentemente, o escoamento superficial atinge maiores velocidades (Lepsch, 2002), conferindo maiores riscos de perdas de solos.

Netto & Sobreira (2006), ao estudarem os processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do Ribeirão Carioca em Itabirito, MG, encontraram maior densidade de focos erosivos, feições estabilizadas, em processo de estabilização e ativas, à montante da bacia, em áreas de relevo mais movimentado e com maior declividade, enquanto que no trecho inferior da bacia, à jusante, os valores de densidade de focos erosivos foram relativamente baixos, relacionados principalmente ao relevo pouco movimentado, com menor declividade do que no trecho superior da área analisada.

A forma da encosta é outro aspecto topográfico a ser considerado no estudo de erosões (Bertoni & Lombardi Neto, 2005), pois, pode determinar o tipo de escoamento, difuso ou concentrado (IPT, 1986; Salomão, 1999). As vertentes convexas dispersam o escoamento enquanto aquelas côncavas convergem os fluxos superficiais para determinados pontos da encosta (Lepsch, 2002; Castro, 2005), contribuindo para o aumento de sua velocidade e riscos de surgimento e evolução de incisões erosivas lineares.

Bacellar (2000) afirma que os vales de cabeceira de drenagem que possuem formas côncavas funcionam como encostas coletoras de fluxos d'água, sendo, portanto, mais suscetíveis à ocorrência de erosões.

Bertoni & Lombardi Neto (2005) salientam que é comum a associação da erosão com a declividade sem levar em consideração o comprimento de rampa (encosta ou vertente). Para os autores, o comprimento de rampa é um dos fatores mais importantes na erosão dos solos, porque rampas mais extensas tendem a perder mais solos do que rampas menores em condições semelhantes de tipo de solo, declividade e tipos de uso e manejo. Portanto, em áreas agrícolas, para o controle da erosão é importante o parcelamento dos lançantes, visando a implantação de terraços ou cordões de vegetação permanente (Salomão, 1999; Bertoni & Lombardi Neto, 2005; Pruski, 2006).

Para Pruski et al. (2006), os terraços consistem em diques e canais construídos no sentido transversal à declividade do terreno, formando obstáculos físicos visando reduzir e disciplinar o movimento da água sobre os terrenos. São estruturas importantes em áreas

agrícolas para evitar principalmente a perda de água e solo, consistindo em importante mecanismo de conservação pedológica.

### **2.1.3 Solo**

As características do solo como textura, estrutura, consistência, conteúdo de matéria orgânica, desenvolvimento do perfil, dentre outras, conferem diferentes vulnerabilidades à erosão (Mafra, 1999). Para Bertoni & Lombardi Neto (2005), as propriedades físicas do solo como textura, estrutura, permeabilidade e densidade, juntamente com as suas propriedades biológicas e químicas influenciam a erosão.

De acordo com Castro et al. (2004), corroborando Salomão (1999), as diferentes resistências de um solo aos processos erosivos ocorrem devido às suas propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas. Denomina-se, ainda, de erodibilidade a capacidade erosiva de um solo e, de suscetibilidade ao potencial erosivo natural e de risco à erosão quando essa poderá tornar-se real (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). De acordo com estes autores, os solos mais erodíveis são os arenosos e siltosos.

Entretanto, as características físicas e químicas conferem menor ou maior resistência à força das águas para desprender e transportar partículas do solo, tipificando-o quando exposto em semelhantes condições de topografia, cobertura vegetal e chuva (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Assim, a textura do solo compreendida como a dimensão de suas partículas: argila, silte e areia interferem nas taxas de infiltração e de absorção da água pluvial, isto reflete no potencial da enxurrada, bem como, na maior ou menor coesão entre as partículas (Salomão, 1999). Nesse sentido, os solos arenosos em geral possuem porosidade e permeabilidade elevadas, permitindo rápida infiltração, contudo, mesmo um pequeno volume de enxurrada logo após a saturação do perfil pedológico já é capaz de promover o desprendimento e transporte de suas partículas, pois, a aderência (coesão) entre elas é pequena. Por outro lado, o estado de umidade de um solo anterior no momento da precipitação também é relevante, pois solos saturados ou com elevado teor de umidade tendem a dificultar a infiltração ou mesmo favorecer o escoamento superficial (Salomão, 1999).

Solos com maior porcentagem de argila ou de matéria orgânica tendem a ser mais resistentes aos processos erosivos, pois, estas partículas apresentam maior aderência

(coesão) entre si se comparadas com aquelas ricas em areia, além de favorecerem retenção de umidade. Lepsh (2002), Bertoni & Lombardi Neto (1985); IPT (1986) e Salomão (1999), dentre outros, atestam que os solos arenosos são mais facilmente erodidos do que os de textura argilosa. Entretanto, diferenciam solos arenosos grossos dos finos, atribuindo a estes últimos, maior erodibilidade devido à diminuição dos diâmetros dos poros, favorecendo drenagem interna mais lenta e, ou saturação mais rápida, potencializando escoamento superficial.

A estrutura ou o modo como as partículas estão organizadas entre si no perfil do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2005) também interfere na capacidade de infiltração e redistribuição da água pluvial e, no arraste de partículas do solo (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Salomão, 1999). Sendo assim, estrutura microagregada ou granular típica de um Latossolo, de tendência esferoidal, possui boa permeabilidade e infiltração moderada a rápida, devido boa adesão (coesão) entre as partículas, conferindo, portanto, maior porosidade entre os microgregados e boa resistência ao arraste de partículas pela ação do escoamento superficial (Salomão, 1999).

A permeabilidade determina a capacidade de infiltração das águas pluviais, estando diretamente relacionada com a porosidade (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998). Geralmente, os solos arenosos são mais porosos do que os argilosos, porém mais erodíveis, sendo os arenosos finos mais erodíveis do que os grossos.

Outro aspecto do solo a ser considerado em relação aos processos erosivos refere-se à sua espessura. Solos rasos tendem a ser mais suscetíveis à erosão do que os mais profundos, porque logo após a saturação do perfil a água inicia o escoamento superficial aumentando a possibilidade de arraste e transporte de partículas. Porém, os perfis com maior profundidade quando saturados e, depois de submetidos a intenso escoamento superficial ou mesmo subsuperficial, podem desencadear incisões erosivas de grande porte (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Salomão, 1999).

O gradiente textural entre os horizontes superiores (A arenoso e Bt argiloso, por exemplo) também pode influenciar em diferentes suscetibilidades erosivas (Salomão, 1999). Neste sentido, Lepsh (2002) afirma que os Argissolos, por apresentarem um horizonte B com maior quantidade de argila em relação ao horizonte sobrejacente (A), tendem a ser mais erodíveis do que um Latossolo nas mesmas condições de textura e topografia. Isto ocorre devido à saturação rápida do A, com formação de lençol suspenso acima do horizonte Bt, que poderá formar dutos subsuperficiais concentradores de

escoamento (pipe), gerando subsidências topográficas nos terrenos, favorecendo a concentração de fluxos superficiais (Salomão, 1999).

Por vezes, nem é preciso gradiente textural, pois a convergência de fluxos superficiais e subsuperficiais a jusante, zona de elevado gradiente hidráulico, também podem desencadear voçorocamentos (Marinho & Castro, 2003).

As características químicas, mineralógicas e biológicas no solo refletem no estado de agregação das partículas, conferindo-lhe maior ou menor resistência à erosão (Salomão, 1999). Para Lepsch (2002), solos naturalmente mais férteis, ou adubados adequadamente, ficam propícios ao bom desenvolvimento das plantas, refletindo em maior cobertura do solo e resistência à ação erosiva.

Segundo Salomão (1999), solos com elevado teor de matéria orgânica são naturalmente mais estáveis em água, apresentam boa porosidade e elevada agregação e coesão entre as partículas, portanto, resistente aos processos erosivos. Todavia, D'Agostini (1999) argumenta que a percepção de que um solo mais coesivo é mais resistente à desagregação só faz sentido mediante o pressuposto do conhecimento do fluxo da energia desagregadora da massa d'água que precipita, bem como, na massa d'água que escoam superficialmente. Segundo ele, a desagregação do solo pode não ser produto de um processo apenas mecânico, pois solos saturados tendem a desagregar-se facilmente, mesmo que o processo mecânico de aporte de água ao solo se tornasse incapaz de desagregação.

#### **2.1.4 Clima**

A chuva é o elemento climático que mais influencia na erosão dos solos (IPT, 1986; Salomão, 1999; Bertoni & Lombardi Neto, 2005), sendo responsável pela energia necessária para a deflagração da erosão hídrica, por meio do impacto direto das gotas sobre a superfície do solo, efeito *splash* (salpico), assim como pela capacidade de produzir escoamento superficial (Pruski, 2006). A água é o principal agente erosivo e o escoamento concentrado provoca entalhamentos profundos e movimentos de massa generalizados (IPT, 1986; Domingues et al., 1998; Salomão, 1999).

Para Pruski et al. (2006), os totais pluviométricos anuais têm pouca importância no desencadeamento dos processos erosivos se comparados com a distribuição do tamanho, velocidade de queda, momento e energia cinética das gotas, associadas com a intensidade,

duração e frequência da chuva. Para o autor o conjunto dessas características pode ser denominado de erosividade da chuva, representando a sua capacidade de desencadear a erosão hídrica. Neste sentido, Morgan (1996) destaca que a intensidade é a principal característica das chuvas em provocar perdas de solos.

De acordo com Guerra (1999), a erosão por salpicamento ou efeito *splash* é o estágio inicial da erosão hídrica, pois, o impacto das gotas de chuva, que atinge de  $5 \text{ km.h}^{-1}$  a  $15 \text{ km.h}^{-1}$  (Lepsch, 2002) promove a ruptura dos agregados, fragmentando-os em menores dimensões, provocando transporte no momento do choque da gota com o solo, bem como, liberando partículas que irão ser transportadas pelo escoamento superficial. A argila e a matéria orgânica por serem pequenas e mais leves são as que mais se despreendem neste processo (Pires & Souza, 2006).

As pequenas partículas liberadas pelo *splash* contribuem para o entupimento dos poros superficiais do solo (selamento), reduzindo a infiltração, originando as poças que aos poucos, dependendo da intensidade e duração da chuva, irão contribuir para o aumento do escoamento superficial (Guerra, 1999) com velocidade geralmente não superior a  $1 \text{ km.h}^{-1}$  (Lepsch, 2002).

Contudo, o escoamento superficial é dependente de fatores como cobertura do solo, manejo, tipo de solo, declividade, comprimento de rampa, intensidade da chuva, umidade antecedente, capacidade de infiltração, podendo provocar intensos processos erosivos laminares e lineares em função da desagregação e transporte de partículas do solo.

Segundo Morgan (1996), a erosão dos solos parece estar associada a dois tipos de eventos pluviométricos. O primeiro refere-se a eventos muito intensos e breves, mas, que excede a capacidade de infiltração e, o segundo, em eventos de baixa intensidade, mas, duradouros, que saturam o solo e, conseqüentemente liberam água para o escoamento superficial. O autor salienta, ainda, que eventos chuvosos extremos com valores oscilando entre 100 mm a 150 mm diários ou em torno de 200 mm em dois ou três dias, são os mais propícios à ocorrência de fenômenos erosivos, principalmente aqueles associados a movimentos de massa generalizados.

Contudo, para Thomas (1994), as chuvas muito intensas favorecem os processos erosivos comandados pelo escoamento superficial, por outro lado, chuvas prolongadas e pouco intensas favorecem a infiltração e os processos erosivos subterrâneos.

Salomão (1999) assinala que a erosividade da chuva é fator importante, contudo lembra que é o conjunto de fatores que determina os fluxos e seus impactos. Nesse sentido,

Santana & Castro (2007) chamam a atenção para o fato de que a erosividade das chuvas tropicais é considerada a mais elevada de todas no planeta, porém, mesmo apresentando erosividades elevadas, nem sempre ocorrerá processo erosivo significativo.

Ramos et al. (2001), Ramos & Castro (2001), Marinho & Castro (2003), Castro (2005) e Santana & Castro (2007) lembram também que a erosividade associada a um episódio de chuva pode ser mais impactante do que a taxa de erosividade anual média. Os primeiros autores advertem que as taxas de precipitação efetiva  $\geq 10 \text{ mm.h}^{-1}$  (Reichardt, 1987) são as mais erosivas em regiões tropicais de estações contrastadas, enquanto Marinho & Castro (2003) assinalam que a intensidade máxima instantânea (de um episódio) de  $3,8 \text{ mm.h}^{-1}$  e que chuvas de  $50 \text{ mm.h}^{-1}$  precipitadas de fato entre 10 e 30 minutos são chuvas erosivas críticas para a alta bacia do rio Araguaia, sobre solos Neossolos Quartzarênicos derivados do arenito eólico da Formação Botucatu.

Portanto, a chuva influencia diretamente na erosão, pois, determina o potencial erosivo (erosividade), porém sua intensidade máxima é que parece ser mais importante e mais ainda o que acontece em seguida, ou seja, os fluxos superficiais e subsuperficiais, os quais associam-se também, indiretamente, à erodibilidade dos materiais litológicos/pedológicos e à umidade antecedente do solo.

### **2.1.5 Dinâmica hidráulica e gênese de voçorocas**

Em pesquisas sobre erosão linear é importante entender os fatores naturais e o comportamento das águas pluviais e do lençol freático (Salomão, 1999). Para esse autor, o estudo em toposseqüência dos solos com a aplicação da análise estrutural da cobertura pedológica como proposto por Boulet (1988), pode determinar o potencial erosivo dos processos de ravinamento nos diversos segmentos de uma vertente e, conseqüentemente sua evolução para o estágio de voçoroca, se houver.

Os levantamentos em toposseqüência permitem compreender a dinâmica hidráulica dos horizontes pedológicos, as direções dos fluxos superficiais e subsuperficiais (horizontal e vertical) numa encosta, bem como, sua predisposição a ocorrência de processos erosivos laminares e lineares, dentre eles, a gênese e evolução de voçorocas.

Castro (1999) salienta que a compactação do solo é um fator de erosão muito investigado “agronomicamente, em termos físico-hídricos”, podendo desencadear o selamento da porosidade e estrutura e conseqüentemente a diminuição das taxas de

infiltração, refletindo no aumento do escoamento superficial acima da camada compactada, gerando riscos de surgimento da erosão linear acelerada.

Neste sentido, Marinho & Castro (2003), ao realizarem a caracterização físico-hídrica de uma cobertura pedológica em topossequência constituída por Neossolo Quartzarênico, de montante a jusante, sendo um órtico e outro hidromórfico, e um Gleissolo a jusante, na alta bacia do rio Araguaia, constataram que a camada superficial (0 cm a 20 cm de profundidade) dos primeiros solos, apresentando adensamento pelo uso (atividades agropecuárias), favorece o escoamento superficial concentrado, devido à reduzida quantidade de macroporos, por isso possuem baixa condutividade hidráulica ( $65 \text{ mm.h}^{-1}$ , em média). Por outro lado, em função das características texturais, os horizontes mais profundos (notadamente de 60 cm a 80 cm), apresentam elevada condutividade hidráulica, cerca de  $235 \text{ mm.h}^{-1}$ . Características que favorecem o desencadeamento de erosão por *piping*, que pode se agravar em áreas com voçorocas já instaladas. Já, o Gleissolo, em função da maior quantidade de argila, de umidade antecedente, da posição da vertente (terço inferior) que ocupa e pequena quantidade de macroporos, favorece mais o escoamento superficial do que o subsuperficial (Marinho, 2003), concentrando forte gradiente hidráulico, com eminentes riscos de instalação de *pipings* e surgimento de voçorocas no contato desses dois tipos de solos.

Cabe mencionar que, de acordo com muitos autores dentre eles Castro et al. (2004), as ravinas surgem e evoluem por meio da ação da água do escoamento superficial, enquanto que as voçorocas, embora freqüentemente surjam a partir da evolução das primeiras, são mais complexas, pois conjugam o fluxo superficial com o subsuperficial. Lembram, ainda, que as voçorocas podem se instalar e desenvolver de jusante para montante, sem nenhuma relação com ravinamentos, associadas ao gradiente hidráulico elevado a jusante e convergência de fluxos nessa posição. Para os autores, essas incisões constantemente possuem fluxo d'água em seu interior devido à interceptação do lençol freático, podendo ocorrer surgências em forma de tubulações naturais denominadas de *pipes*.

Augustin & Aranha (2006, p.12), ao pesquisarem a relação do *piping* com voçorocamento em Gouveia (Noroeste de Minas Gerais), encontraram quatro tipos de dutos (sem colapso, sem colapso, mas associados à presença de voçorocas, com colapso progressivo e dutos com colapso parcial) e/ou tubulações (Castro et al., 2004). Para os autores, dutos ou túneis são formados devido ao transporte de pequenas partículas do solo,

de argila e outros colóides, com a remoção dos componentes do solo por solução, ou seja, por fluxos subsuperficiais que exfiltram nas paredes e sopés das voçorocas. O transporte desse material ocorre por meio do transporte de sólidos e de componentes dissolvidos em rotas preferenciais, tanto por forças físicas como químicas (Augustin & Aranha, 2006).

As características dos dutos, principalmente forma e diâmetro variam muito. Augustin & Aranha (2006) encontraram dutos com formatos irregulares nas proximidades das fraturas e outros arredondados com gênese associada a roedores, possuindo diâmetro entre 5 cm e 10 cm, localizados a profundidades de 0,40 m a 1,50 m. Na Alta Bacia do rio Araguaia, Rezende (2003) encontrou dutos naturais na rocha, controlados por fraturas com, aproximadamente, 2 m de diâmetro e 6 m de comprimento.

Muitos túneis apresentam formas circulares depois do desabamento de seus tetos. Essas feições tendem a evoluir no sentido vertical e horizontal devido a tensão crítica de cisalhamento do solo dependente do gradiente hidráulico, como exposto por Crouch et al. (2006).

O escoamento superficial no canal das voçorocas durante o período chuvoso no Alto Araguaia, desempenha maior poder erosivo do que o escoamento subsuperficial proveniente dos dutos interceptados pelos taludes das erosões (Rezende, 2003). Oliveira (1999) assinala esse poder do encachoeiramento e das alcovas de regressão, fato corroborado por Rezende (2003). Castro (2005) assinala também o poder dos ravinamentos laterais convergentes ao eixo principal de uma voçoroca.

Para Salomão (1999), estudos do comportamento piezométrico do lençol freático podem determinar o potencial erosivo de uma encosta para instalação de voçorocas. A concentração do fluxo de água e do gradiente hidráulico da água subterrânea, principalmente o concentrado em canal, podem favorecer o desenvolvimento de *piping*. Portanto, são necessários altos níveis de concentração de fluxo de água subsuperficial, associados a valores elevados de gradiente hidráulico, suficientes para permitir a remoção de partículas do solo na zona de percolação do lençol. Assim, a erosão interna ou subterrânea por fluxos tubulares surge em função do aumento da taxa de infiltração e/ou do gradiente hidráulico (Cemig, 2001; González et al., 2006).

Segundo Ribeiro & Salomão (2003), áreas de nascentes, fundos de vales e cabeceiras de drenagem, em especial as que possuem formas de anfiteatros côncavos suaves com rampas longas ( $\geq 1$  km de extensão), apresentam elevado gradiente hidráulico subterrâneo e suscetíveis à ocorrência de voçorocas com presença de *piping*. Em terrenos

com lençol freático raso, próximos à superfície e suscetíveis à ocorrência de sulcos e ravinamentos, fenômenos de erosão interna associados a processos de voçorocamento ocorrem facilmente.

Karmann (2003) afirma que os principais agentes geomórficos da Terra correspondem aos movimentos de água superficial e subsuperficial e que a ação da água subterrânea produz inúmeras modificações no planeta, sendo um de seus produtos a voçoroca, a qual tem como processos atuantes a erosão interna e os conseqüentes solapamentos, que contribuem para a progressão lateral e remontante das erosões. Sua ação é tanto maior quanto maior for o incremento hidráulico na área afetada.

A surgência do fluxo d'água subterrâneo propicia o solapamento da base dos taludes, carreando material em profundidade e formando vazios no interior do solo (erosão interna ou tubificação). O colapso desses vazios instabiliza as vertentes e é responsável pela inclinação abrupta e pelo recuo das paredes de voçorocas (Karmann, 2003).

De acordo com Baccaro (1999), os fundos de vales são os locais preferenciais dos fluxos de chuvas, bem como as zonas côncavas próximas às cabeceiras de drenagem, onde há convergência dos fluxos d'água subsuperficiais. Nesses locais, em geral, depois da instalação de ravinamento ocorre a interceptação do freático e o desencadeamento de voçorocas. As zonas de discontinuidades granulométricas e litológicas provocam erosão em dutos, acelerando o aumento das erosões. As zonas de falhas e fraturas e os contatos litológicos são os locais preferenciais para o alívio da pressão piezométrica através da exfiltração da água, favorecendo a erosão em túneis que provocam colapso do terreno e avançam remontantemente formando a frente de erosão.

Em terrenos com gradiente hidráulico menor, como em áreas de agradação, com declividade quase nula, representada por planícies de inundação junto aos cursos d'água, não geram fenômenos de *piping* (Ribeiro & Salomão, 2003), sendo, portanto, resistentes à instalação de voçorocas.

Castro (2005) cita resultados do estudo do comportamento do lençol freático ao longo de uma vertente, na alta bacia do Rio Araguaia, através do monitoramento com piezômetros (durante três anos), uso de GPR (Radar de Penetração no Solo), SEV (Sondagem Elétrica Vertical) e levantamentos dos solos em topossequência. A autora relata que o nível freático raso pode ser facilmente interceptado por fluxos superficiais relacionados ou não a ravinas, facilitando a sua descompressão e liberação, o que aumenta

o gradiente hidráulico e favorece a remoção de partículas e o estabelecimento de fluxos rápidos, de alto poder erosivo.

Contudo, Castro (2005) afirma que o indicador mais significativo para a compreensão do processo de voçorocamento é o alojamento em zona de concavidade de origem geológico-geomorfológica, que exerce controle na instalação e aceleração do processo quando o lençol é interceptado e descomprimido, o que pode ser induzido pelo uso e manejo inadequados. Constatou ainda, que na alta bacia do Rio Araguaia, durante o período chuvoso, o lençol freático apresenta maiores gradientes hidráulicos em relação ao período de estiagem, favorecendo a ocorrência de fluxos subsuperficiais concentrados, podendo desencadear processos erosivos. Neste caso, poderão ocorrer dutos (pipes) subsuperficiais intensificados na estação chuvosa, em geral, associados a voçoroca.

Os movimentos de massa são indicativos da dinâmica hidráulica subsuperficial. Considerados por muitos autores como importantes componentes da evolução de voçorocas condicionados por trincas ou fendas verticais, desconfinados e influência de gradientes hidráulicos mais elevados (Rezende, 2003).

De acordo com Marinho (2003), o alto potencial hidráulico contribui para a evolução de voçorocas. O fluxo hídrico pode seguir caminhos preferenciais no interior do solo devido às características do material percolado e desencadear a erosão interna através de dutos. Estes mecanismos desencadeiam o início de alcovas de regressão, que ao evoluírem, desestabilizam os taludes erosivos aumentando as dimensões das voçorocas.

Augustin & Aranha (2006), após observações em campo, conseguiram correlacionar os *pipings* e o início de voçorocas, demonstrando a importância desses processos na gênese desse tipo de incisão erosiva.

Santos (1997) constatou em Goiânia dois tipos básicos de voçorocas: retilíneo e semicircular. O primeiro apresenta extensão longitudinal superior à largura e localiza-se no trecho intermediário da encosta, em áreas com declividade média e baixo gradiente hidráulico. No segundo tipo a largura e o comprimento são semelhantes e ocorre conectado às cabeceiras de drenagem. Por isso, apresenta elevado gradiente hidráulico, principalmente na parte inferior da ocorrência erosiva.

Solos com horizontes Bt estão sujeitos a formação de eixos de drenagem internos no topo desse horizonte, possibilitando a ocorrência de *piping* e rebaixamentos topográficos que poderão concentrar o escoamento superficial (Castro, 1999) e,

conseqüentemente, desencadear o surgimento de erosão do tipo ravina e/ou voçoroca, esta principalmente quando houver conjugação dos dois escoamentos.

### **2.1.6 Uso do solo e sua relação com erosões lineares de grande porte**

Determinados tipos de usos do solo provocam o surgimento e evolução de erosões lineares de grande porte, em áreas rurais, dentre eles se destacam as valas para divisa de propriedades muito comuns nos primeiros séculos de ocupação do território brasileiro, que perdurou durante o século XIX.

Em Goiás essa técnica foi bastante utilizada, como observado nos municípios de Abadiânia e Orizona, sendo responsável pelo surgimento de grandes voçorocas que ainda encontram-se instabilizadas, geralmente sobre espessos Latossolos Vermelhos, associados a outros tipos de solos menos espessos representados pelos Argissolos, Cambissolos, Neossolos Litólicos e outros, em relevo suavemente ondulado.

Bacellar (2000) afirma que aproximadamente 70% das erosões (ravinas e voçorocas) que ocorrem na bacia do rio Maracujá (entre Ouro Preto e Belo Horizonte, MG), estão direta ou indiretamente associadas a atividades antrópicas, com destaque para as valas de divisa (muito antigas algumas com mais de 200 anos). Estas possuem grande capacidade para concentrar fluxos d'água superficiais e desencadear o surgimento da erosão linear.

Outras intervenções antrópicas, como caminhos, trilhas de gado, estradas rurais, rodovias sem pavimentação e pavimentadas com sistema de drenagem deficitária, pastagens degradadas, práticas agrícolas em áreas com elevada declividade associadas a solos suscetíveis à erosão, bem como em vertente com grande extensão e forma concavizada/retilínea, aceleram os processos erosivos.

Para Castro et al. (2004), o surgimento da erosão hídrica depende de fatores relacionados as características do clima, relevo, solo, vegetação e ação antrópica, e igualmente do “manejo das terras e sistemas de cultivo, ocupação urbana e viária.”.

Analisando os trabalhos de Xavier et al. (2005) sobre risco à erosão linear e de Oliveira & Castro (2005) sobre risco à erosão laminar na mesma área, a alta bacia do rio Araguaia (GO/MT), pode-se constatar nos dois casos que mesmo quando a suscetibilidade é baixa, o risco é maior quando há conflito entre a capacidade de uso e o uso e manejo das

terras, sendo que áreas de elevada suscetibilidade e maior conflito são as que apresentam o risco máximo ou iminente.

Para Cemig (2001), as ações humanas responsáveis pela deflagração das erosões consistem no desmatamento, práticas agrícolas inadequadas, criação intensiva de animais, abertura de valetas, abertura de estradas e novos loteamentos.

Lepsch (2002) relata que as voçorocas normalmente evoluem a partir de sulcos causados por cultivos alinhados no sentido “morro abaixo”, facilitando o desgaste do solo.

Dias et al. (2004), ao estudarem áreas de risco à erosão do solo em Volta Redonda (RJ), utilizando o geoprocessamento, constataram que a pecuária extensiva associada à pastagens degradadas, ao superpisoteio do gado e, as condições ambientais da região (principalmente características do relevo e declividade) favorecem a ocorrência de ravinas e voçorocas. Fato similar foi relatado por Barbalho et al. (2001) para a alta bacia do rio Araguaia.

Nas áreas urbanas a intensa impermeabilização do solo associado à comum ineficácia do sistema de captação de águas pluviais e servidas é outro agravante da instalação de erosões lineares de grande porte, que geralmente ocorrem na periferia das cidades em cabeceiras e fundos de vales. Essas características foram também relatadas para Goiânia, por Santos (1997).

Cassetti (1991) observou que erosões do tipo ravinas e voçorocas são comuns nas cidades em áreas sem pavimentação asfáltica, devido aos problemas relativos ao escoamento, constantemente aumentado em função do acréscimo da área impermeabilizada do solo associado à ausência de estrutura de vazão. Tendendo assim, as disritmias pluviométricas, comuns no país durante a estação chuvosa, como tem ocorrido nos últimos anos.

Neste sentido, Salomão (1999) destaca como principais fatores desencadeadores de erosões lineares nas cidades:

a) Plano de obra inadequado do sistema viário, muitas vezes agravado pela falta de pavimentação, guias e sarjetas; b) Traçado inadequado do sistema viário, não considerando a declividade e comprimento das vertentes; c) Deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais e servidas; d) Expansão urbana descontrolada.

Vale destacar que projetos mal executados associados ao entupimento e ao monitoramento inadequado das obras de galerias de águas pluviais, como observado por

Nascimento (1994) em Goiânia, são responsáveis pela evolução de erosões nas periferias das cidades brasileiras.

Santos (1997) constatou que as características do meio físico relativas à geologia, geomorfologia, pedologia e clima aliadas ao aumento do escoamento superficial devido às atividades antrópicas que impermeabilizam o solo urbano favoreceram o surgimento de grandes voçorocas em Goiânia. Cabe mencionar, que a declividade e o comprimento de rampa são fatores importantes que também influenciam o desenvolvimento de erosões hídricas pluviais.

Ridente Júnior et al. (2003), ao estudarem as erosões lineares de grande porte em duas bacias hidrográficas em Presidente Prudente e Álvares Machado, SP, apontaram as principais causas do surgimento dessas erosões como listadas a seguir: a) traçado inadequado do sistema viário associado à ausência de pavimentação, guias e sarjetas; b) ausência ou ineficácia das galerias de águas pluviais e de águas servidas; c) instalação de loteamentos e conjuntos habitacionais em áreas geotecnicamente inadequadas sem infraestrutura básica, aumentando ainda mais a suscetibilidade erosiva dessas referidas áreas.

Além dos problemas já apontados, vale destacar que as estradas também se constituem em outra fonte de surgimento de ravinas e voçorocas. Para Salomão (1999), isto se deve à imprecisão dos projetos de drenagem, pois, normalmente não consideram as características dos terrenos referentes à suscetibilidade aos processos erosivos, ausência de obras complementares, bem como, falta de monitoramento e/ou manutenção. É comum observar essas erosões de grande porte atingindo propriedades rurais nas proximidades do corpo da estrada. Camapum de Carvalho & Diniz (2005) concordam que em áreas rurais, ravinas e voçorocas podem surgir “junto a cercas, caminhos de gado e estradas.”

Sousa (2001), ao estudar processos erosivos lineares de grande porte em Orizona, sudeste goiano, constatou que a maior voçoroca da região surgiu no final do século XIX associada à estrada boiadeira. Inicialmente, a erosão surgiu na forma de sulco que evoluiu para ravina e, posteriormente interceptou o lençol freático, momento que atingiu o estágio de voçoroca. Tudo isso, em função da estrada em área com declividade média, em torno de 10% e, da falta de monitoramento ou obra de contenção das incisões erosivas iniciais, que com o passar dos anos foram evoluindo até atingir o estágio mais espetacular da erosão hídrica linear (voçoroca).

Em Palmelo, sudeste de Goiás existe grandes voçorocas associadas à abertura de estrada de carro de boi no início do século XX, que ligava essa cidade à Estação ferroviária

do Roncador (Pires do Rio), às margens do rio Corumbá. Logo que as erosões surgiram o proprietário tentou contê-las com aterramento (Caseti, 1987/1988). Na década de 1980 o fazendeiro local tentou outras técnicas para estabilizar as erosões, tais como construção de terraços no setor montante da vertente e, construção de uma represa no trecho médio/inferior da maior voçoroca. Contudo, essas medidas não surtiram o efeito desejado. Os terraços estouraram e canalizaram o escoamento superficial para a cabeceira da erosão, contribuindo para a sua evolução remontante e alargamento deste setor. A barragem também cedeu liberando e transportando enorme quantidade de sedimentos para a calha do ribeirão Caiapó, nível de base local. Com isso houve elevado acréscimo de suas dimensões laterais nas proximidades do antigo aterro.

Baccaro (1999), em trabalhos sobre voçorocas na região do Prata, Triângulo Mineiro, em unidade de relevo medianamente dissecado sobre espessos pacotes de formações superficiais, constatou que os avanços das frentes de erosão se dão nas ramificações, impulsionados por curva de nível. Os terraços na área estudada, coberta por pastagem cultivada, concentram as enxurradas provocando o “efeito cachoeira” nas erosões existentes, aumentando suas dimensões. Em alguns casos, determinadas intervenções ao invés de evitar os processos erosivos tendem a contribuir para a sua deflagração e/ou evolução, como nesse caso. Na mesma região, Farias et al. (2006) constataram que os carreadores de escoamento da produção de algumas fazendas, favorecem a concentração do escoamento superficial e conseqüentemente a ocorrência de erosões lineares de grande porte.

Em João Pinheiro, no noroeste mineiro, também ocorrem erosões lineares extensas, largas e profundas, geralmente apresentando interceptação do lençol freático, associadas aos carreadores de glebas cultivadas com eucalipto desde a década de 1970, bem como, às trilhas de gado nas áreas de pecuária extensiva. Nesta região predominam os Neossolos Quartzarênicos, altamente erodíveis, que juntamente com as cabeceiras de vale representadas pelas veredas, extensos comprimentos de rampas e bordas de chapadas, qualificam o ambiente como altamente suscetível à ocorrência de ravinas e voçorocas.

Em Quirinópolis, sudoeste goiano, na área de contribuição de um dos tributários que abastece o sítio urbano local, o proprietário da área atingida por uma voçoroca construiu terraços e/ou camalhões para reduzir o seu desenvolvimento, porém, essa intervenção contribuiu para a evolução da erosão. Isto porque os terraços foram mal projetados e implantados culminando com a concentração de água pluvial na cabeceira e

nas laterais da incisão erosiva, provocando o que Baccaro (1999) denomina de “efeito cachoeira”, fato que contribuiu para rápida aceleração do processo, instabilizando os taludes destes setores da ocorrência erosiva.

Vale destacar, portanto, que determinadas intervenções no meio físico, ao invés de prevenir a degradação do solo ao ataque dos processos erosivos, tende a desestabilizar o ambiente provocando danos irreversíveis, deixando a área em condição resistásica, distante do limiar de recuperação, como salienta Casseti (1987/1988; 1991).

## 2.2 AS METODOLOGIAS DE ESTUDO DOS PROCESSOS EROSIVOS

Neste item são apresentadas: a importância do geoprocessamento para a identificação e controle das feições erosivas, bem como as etapas e a utilidade do cadastramento das incisões erosivas lineares em campo.

### 2.2.1 Uso do geoprocessamento para identificação de feições e controle de processos erosivos

O geoprocessamento é constituído por um conjunto de técnicas computacionais que funcionam sobre bases de dados georreferenciados. Para que esses dados se transformem em informação faz-se necessária a utilização de adequadas percepções ambientais (Xavier-da-Silva, 2006).

Xavier-da-Silva & Zadan (2004) comentam que o geoprocessamento associado ao sensoriamento remoto surgiu para atender atividades bélicas, objetivando o melhor conhecimento e obtenção de dados ambientais atualizados, visando à execução de análises de distribuição territorial de eventos e entidades de interesse militar. Porém, atualmente têm sido muito utilizado para estudos relativos às questões ambientais, dentre as quais as erosões de origem hídrica pluvial.

Lourenço (2008) salienta que dentre os princípios e/ou vantagens do geoprocessamento cabe destacar: a) a capacidade de armazenamento de informações geográficas em formato digital; b) a possibilidade de manipulação de dados para geração de novas informações; e, c) a possibilidade de geração de saídas de dados na forma de mapas e relatórios.

Em pesquisas de caráter ambiental o uso de Sistemas Geográficos de Informações (SGIs), associados às técnicas de geoprocessamento tem contribuído para o apoio à decisão. Destarte, o geoprocessamento, pode ser considerado como ferramenta precisa, possibilitando a realização de pesquisas em várias áreas do saber, como a ambiental e, gerando produtos digitais básicos e aplicados para as análises de cada situação ambiental definida (Dias et al., 2004), como os processos erosivos de origem hídrica, tanto laminar como linear de grande porte (ravinas e voçorocas).

Os SIG's são destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente, sendo uma tecnologia para a aquisição, armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados espaciais (Rosa, 1995). Por meio do SIG é possível automatizar dados analógicos, facilitando a realização de tarefas complexas e necessárias para estudos em áreas ambientais, bem como, integrar dados de diferentes fontes, sendo, portanto, uma ferramenta importante em estudos do meio físico relativos à investigação da ocorrência de erosões laminares e lineares.

Muitos SIGs têm sido utilizados em estudos do meio físico visando a avaliação de processos erosivos, como o SPRING (desenvolvido pelo INPE), SAGA (desenvolvido por Xavier-da-Silva - UFRJ), IDRISI, SURFER, ARCINFO, ARCVIEW, RELIANCE PROCESSOR (GPS), entre outros.

Para Rosa (1995), o sensoriamento remoto e os SIG's são tecnologias complementares, pois, com o primeiro é possível obter dados de forma rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais, espaciais e temporais, enquanto que os segundos, permitem interligar essas informações com outros produtos, como dados de trabalhos de campo, ensaios em laboratório, mapas convencionais, índice de chuva, inclinação de encostas, e gerar um mapa de áreas de risco de erosão (Florenzano, 2002).

Conforme esse último autor, o desmatamento generalizado e os diferentes usos do solo aumentam a incidência dos processos de erosão, que podem ser estudados e monitorados por meio de imagens de sensores remotos, como o cadastramento de uma voçoroca realizado por Sousa (2001) em Orizona-GO, utilizando fotografias aéreas pancromáticas e imagens de satélite Landsat com sensores multiespectrais.

Nos estudos dos processos erosivos desencadeados pelo agente pluvial, o geoprocessamento tem sido mais utilizado para estimar, diagnosticar, mapear e monitorar as erosões laminares ou entre sulcos, principalmente quanto às áreas de risco de ocorrência

destes fenômenos. Contudo, recentemente têm surgido alguns trabalhos sobre processos erosivos lineares, inclusive voçorocas, empregando essa metodologia.

Dias et al. (2004), ao realizarem um inventário ambiental, incluindo a detecção de áreas de risco à erosão do solo, em Volta Redonda, RJ, utilizando o SIG SAGA da UFRJ (Xavier-da-Silva, 1982), constataram sua importância para diagnosticar áreas de ocorrência de ravinas e voçorocas, bem como, outros impactos ambientais, como as enchentes, e potencialidades do referido município.

Para Lopes & Guerra (2001), essas ferramentas proporcionam bom monitoramento de voçorocas, possibilitando interpretações da evolução do fenômeno erosivo e proposições de resolução. Esses autores monitoraram uma voçoroca em Praia Mole, Florianópolis-SC e, comprovaram a eficiência da técnica do posicionamento por satélites - GPS para detectar o avanço da erosão durante 11 meses de observações.

Avaliações ambientais realizadas com a utilização do geoprocessamento evidenciam a realidade ambiental da área investigada, traduzida pela magnitude de áreas de riscos à erosão do solo, por exemplo, servindo como instrumento de reconhecimento ambiental ajudando no planejamento para ocupações adequadas do meio físico, visando minimizar impactos ambientais dessa magnitude (Dias et al., 2004).

Marçal & Guerra (2003) estudaram a distribuição regional de ravinas e voçorocas, no alto curso da bacia do rio Açailândia, no Maranhão, utilizando recursos do geoprocessamento, SIG e sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens do satélite Landsat TM/5 de 1991 e 1996), bem como, atividades de campo. Os autores concluíram que a ação antrópica é a principal responsável pela geração e potencialização de antigos e novos processos erosivos. Sobretudo, com os desmatamentos para implantação de atividades agropastoris, uso urbano e industrial e, construção de estradas (rodovias e ferrovias). Afirmaram ainda, que as ocorrências erosivas em sua maioria estão condicionadas às descontinuidades do relevo, porém, potencializadas pela intervenção humana.

Ao elaborarem o cartograma de potencial natural de erosão (PNE), de São Carlos, SP, Pedro & Lorandi (2004) utilizaram a Equação Universal de Perdas de Solos e o SIG IDRISI 32, visando regionalizar as áreas de maior risco de processos erosivos do sítio urbano local. Em uma das áreas estudadas de alto potencial natural de erosão, havia uma grande incisão erosiva linear (voçoroca), evidenciando a eficiência da metodologia

aplicada, capaz de contribuir para o planejamento e melhor ocupação do solo, visando evitar a deflagração de erosões lineares de grande porte.

Martins et al. (2006) identificaram e cadastraram incisões erosivas lineares do tipo ravinas e voçorocas, no Distrito Federal, por meio de processamento de imagens Landsat-7, de 2002, utilizando o SPRING, desenvolvido pelo INPE. Após a seleção das áreas com possíveis ocorrências erosivas na imagem, os pesquisadores foram a campo e, constataram a eficácia do uso do SIG, para estudo de erosões lineares.

Macêdo et al. (2006) utilizaram técnicas de geoprocessamento para caracterizar áreas suscetíveis à erosão laminar e linear (ravinas voçorocas) na bacia do rio Indaiá, afluente do rio São Francisco, no Centro-Sul de MG, para identificar as áreas produtoras de sedimentos que colmatam a represa hidroelétrica de Três Marias. Ao confrontar mapas com maior suscetibilidade do meio físico à erosão linear e os de classes de potencial atual à erosão linear com o mapa de cadastro de erosão linear realizado após trabalho de campo, os autores obtiveram boa correlação entre as duas metodologias. As áreas críticas com médio-alto e alto potencial de suscetibilidade à erosão linear, identificados com a utilização de SIG, corresponderam àquelas com maior incidência de ravinas e voçorocas cadastradas diretamente em observações de campo.

### **2.2.2 Cadastramento de erosões lineares e sua utilização**

O cadastramento é importante para busca do entendimento dos mecanismos envolvidos no desencadeamento, evolução e dinâmica de erosões lineares, principalmente as de grande porte do tipo ravina e voçoroca. Consiste em anotações numa ficha apropriada de dados regionais e locais relativos à ocorrência erosiva (tais como largura, profundidade, volume, riscos, extensão, etc.), visando à implantação de medidas corretivas e preventivas mais eficazes para o controle do problema.

De acordo com Martins et al. (2006), o cadastro das ocorrências erosivas do tipo ravinas e voçorocas é o primeiro passo para o controle e recuperação das mesmas, pois o registro de suas características em ficha cadastral apropriada apresenta o seu nível de risco. Para esses autores, um dos objetivos do cadastro é destacar a dinâmica ou fenomenologia do processo erosivo.

O cadastro permite também caracterizar a erosão com maior número de detalhes possível. Por isso, é um registro do diagnóstico atual da erosão, possibilitando proposições

e/ou indicações prognósticas de evolução para posterior consulta e comparação do desenvolvimento do fenômeno. Pode ser realizado por meio do uso de técnicas do geoprocessamento com a utilização de vários SIGs como o SPRING, por exemplo. Essa tecnologia permite análises mais complexas e completas do fenômeno erosivo em pouco tempo de pesquisa.

Muitos são os materiais utilizados nesta etapa do estudo de incisões erosivas, dentre os mais comuns cabe destacar: mapas topográficos, fotografias aéreas, imagens de satélites, mapas temáticos (solos, geologia, geomorfologia, uso do solo, dentre outros) disponíveis, GPS, trena, bússola, clinômetro, máquina fotográfica e material normalmente usado para descrever perfis de solo (Martins et al., 2006, p. 196).

Oliveira (1999) salienta que na etapa de cadastramento das incisões erosivas (ravinas ou voçorocas) a observação da ação de mecanismos específicos em campo é difícil, por isso, é importante identificar as feições erosivas decorrentes de tais mecanismos, pois o dimensionamento de eventuais medidas corretivas a serem implementadas se torna mais preciso.

Martins et al. (2006) elaboraram duas fichas para cadastro das feições erosivas no Distrito Federal, sendo uma para a escala regional (mais abrangente – menor escala) e outra para escala local (mais específica e elaborada em campo). Segundo esses autores, o cadastro disponibiliza de forma prática e ágil, dados que podem ser adotados como metas de gestão ambiental, permitindo também a análise comparativa das características ambientais antes e depois da execução de obras de contenção do problema, principalmente, com a utilização de recursos computacionais.

Salomão (1999), quando propõe o método de abordagem para delimitação de áreas com diferentes suscetibilidades à erosão por ravinas e voçorocas, utilizando o método qualitativo, sugere o cadastramento das ocorrências de ravinas e voçorocas por meio de interpretação de fotografias aéreas atualizadas. Para esse autor, a interpretação deve distinguir as incisões relacionadas a áreas de reativação de cabeceira de drenagem com aquelas provenientes de concentrações de águas pluviais. Segundo ele dessa forma é possível verificar áreas com maior suscetibilidade ao fenômeno de *piping*, que geralmente está associado a processos erosivos de reativação de cabeceira de drenagem.

O cadastramento de erosões lineares é constituído pela caracterização da incisão erosiva quanto à identificação, localização, acesso, característica morfológica e dinâmica atual. É feito em ficha cadastral que contém os elementos essenciais de uma ocorrência

erosiva, conforme proposto pelo IPT (1986; 1998); DAEE/IPT (1989), Salomão & Rocha, (1989) citados por Martins et al. (2006) e, Salomão (1999).

A ficha cadastral consiste de um formulário que contempla: a) dados regionais: bacia hidrográfica, geologia, geomorfologia, solos, pluviometria e vegetação original; b) características da bacia de contribuição: e da feição erosiva propriamente dita como forma, dimensões, declividade, comprimento de rampa, presença de *piping* e de surgências, resultados de ensaios realizados como os de vazão e de infiltração, histórico de ocupação, uso do solo; c) desenhos (cortes ou seções), além de fotos; d) interpretações relativas às causas do surgimento e evolução, condicionantes e atenuantes; e) sugestões de medidas preventivas e corretivas, disponibilidade de materiais de contenção, dentre outros. O cadastramento pode ser expedito, isto é, simplificado, quando não se dispõe de muito tempo, ou quando se faz um trabalho preliminar a fim de selecionar uma área para estudos de comportamento erosivo.

Lopes & Guerra (2001) propuseram a utilização do SIG para o posicionamento de voçorocas no cadastro. Eles testaram essa metodologia para estudar uma incisão erosiva em Florianópolis, SC. Para o georreferenciamento da voçoroca e outros elementos pertinentes de interesse da pesquisa como: árvores, postes, sistema de drenagem de águas pluviais, utilizaram os métodos: cinemático *stop and go* e, cinemático. Segundo os autores com esse sistema é possível cadastrar a erosão, monitorar a sua evolução e alimentar um SIG com dados de fenômenos geográficos, tornando possível a elaboração de mapa temático de risco a erosão.

Ridente Júnior et al. (2003) cadastraram 22 feições erosivas lineares urbanas nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente, SP, visando diagnosticar as características geométricas, dinâmica e fenomenologia dos processos, nível de criticidade, interação com a área urbana e as medidas de controle adotadas e indicação de diretrizes de controle, para cada uma delas. Nota-se assim, a importância do cadastro para melhor entendimento das erosões e proposições adequadas de contenção e/ou controle.

Cabe destacar que o cadastramento de ocorrências erosivas em uma pequena área de abordagem, como em uma pequena microbacia, deve ser executado visando obter o maior número de informações possíveis. Por isso, deve ser utilizada uma escala de abordagem a nível de detalhe. Por outro lado, estudos a nível regional, como o cadastro da distribuição de voçorocas ao longo de uma bacia hidrográfica, o trabalho pode ser executado em uma escala menor em relação ao exemplo anterior, de semi-detalhe.

Por fim, o cadastro bem executado de ocorrências erosivas lineares, ravinas e voçorocas, por profissionais capacitados, é um excelente instrumento de diagnóstico dos impactos ambientais dessa natureza, servindo como elemento norteador de implementação de medidas preventivas e corretivas do processo erosivo, pois que permite estabelecer uma análise entre suas características ambientais e o histórico da área afetada.

## 2.3 OS INSTRUMENTOS DE CONTROLE

Neste item serão apresentadas breves considerações sobre as técnicas de controle da erosão pluvial, o monitoramento das ocorrências erosivas e das obras de estabilização/recuperação implantadas e a legislação pertinente, como a seguir.

### 2.3.1 Técnicas para contenção/estabilização de ravinas e/ou voçorocas

No Brasil, em função do predomínio do clima tropical na maior parte do país, a erosão hídrica é a mais importante (Pruski, 2006), destacando as incisões lineares de grande porte do tipo ravinas e voçorocas em áreas urbanas e periurbanas, em áreas rurais e estradas, devido ao uso inadequado dos terrenos, associado à falta de práticas preventivas e corretivas do fenômeno erosivo.

A atuação desse tipo de erosão hídrica reflete em grande perda de solo e conseqüentemente, assoreamento dos recursos hídricos superficiais como: rios, lagos, reservatórios para abastecimento público e produção de energia elétrica, além da perda de biodiversidade dos ambientes afetados, repercutindo em impactos sociais e ambientais.

Este trabalho apresenta algumas alternativas de controle sem pretensão de esgotar o assunto, pois, o tema é amplo e complexo, dependente de inúmeras variáveis, dentre as quais, as características ambientais próprias de cada área a ser implementada a intervenção de controle dos processos erosivos. A seguir serão abordadas algumas sugestões de controle e recuperação.

Existem inúmeras técnicas de controle de erosões do tipo ravina e voçorocas sendo empregadas em todo o mundo, algumas bem sucedidas e outras que precisam de ajustes. Camapum de Carvalho & Diniz (2005, p. 28) afirmam que além da variedade de técnicas para conter a erosão é grande também a variação dos custos de sua recuperação. Antes da

execução das obras é necessário “conhecer como e por que a erosão ocorre”, seguido de trabalhos de campo para proposições de medidas de contenção mais adequadas (Camapum de Carvalho & Diniz, 2005, p. 21).

A contenção de erosões lineares com a implantação de grandes obras necessita de conhecimentos técnicos básicos na área da engenharia civil e/ou ambiental relativos à geotecnia, sondagens, hidrologia, hidráulica e sobre materiais de construção (Cemig, 2001).

De acordo com Ridente Júnior et al. (2003), antes da implantação de obras corretivas de voçorocas, faz-se necessário a obtenção de informações básicas da área selecionada para elaboração das diretrizes de estabilização, como as cartas topográficas da área da erosão e de seu entorno, fotografias aéreas em escala de detalhe ou semi-detalhe, dados hidrológicos, histórico da erosão e a importância de seu controle para áreas adjacentes, projetos de drenagem e disponibilidade de materiais de construção.

As técnicas de contenção/estabilização de ravinas e voçorocas dividem-se em dois grupos: corretivas e preventivas. Porém, poucos produtores rurais possuem a preocupação de uso sustentável dos recursos naturais, tanto no que se refere à produção agrícola ou pecuária, quanto ao escoamento do que é produzido, ou seja, muitas estradas funcionam como verdadeiros canais concentradores do escoamento superficial, contribuindo para o surgimento e evolução de ravinas e voçorocas em seus leitos e margens (Griebeler et al., 2006).

Nas cidades os problemas erosivos hídricos pluviais também são constantes associados à falta de planejamento urbano e, ausência de obras de infra-estrutura básica relacionadas à pavimentação, implantação de meio fio, sargeta e drenagem pluvial, como salienta Salomão (1999).

As práticas corretivas de erosões hídricas, notadamente, aquelas referentes às obras civis em voçorocas são muito caras e faltam avaliações adequadas de seu desempenho (Almeida Filho, 2000), em muitos casos esse elevado custo de recuperação inviabiliza a estabilização adequada do problema. Assim, os responsáveis pela implantação de obras de recuperação de erosões adotam técnicas alternativas mais baratas, mas, que normalmente não resolvem completamente a problemática erosiva. Neste sentido, a introdução de medidas preventivas durante as fases de planejamento e implantação de obras urbanas (Iwasa & Fendrich, 1998) ou atividade agropecuária reduz impactos ambientais

decorrentes da perda de solo por erosões, bem como, futuros gastos para estabilizar e/ou corrigir incisões erosivas de grande porte.

De acordo com Andrade Pinto (2007), o custo de recuperação de voçoroca era de aproximadamente R\$ 10.000,00 por hectare. Neste sentido, a Embrapa (2006), ao recuperar uma voçoroca em Pinheiral, RJ, em uma área com 15.000 m<sup>2</sup>, gastou o equivalente a R\$ 10.904,10, sendo que mais de 64% desse valor foi utilizado para pagamento de mão-de-obra.

Cabe destacar que a melhor alternativa para o controle de erosões hídricas está baseada no controle do escoamento superficial, que normalmente desencadeou o problema (Castro et al., 2004; Pruski et al., 2006). No caso de voçorocas a interceptação do lençol freático com presença de *piping* é outro agravante que merece atenção especial, pois, é necessária a busca do entendimento da sua dinâmica e de sua vazão para a elaboração de projetos para obras de drenagem.

Ridente Júnior et al. (2003) relatam a dificuldade em generalizar soluções padrões para um conjunto desses fenômenos, uma vez que os projetos de contenção devem considerar as especificidades de cada voçoroca.

Existem dois conjuntos de intervenções para minimizar os impactos erosivos em áreas urbanas, denominadas de “soluções estruturais” e “soluções não estruturais” (Santos, 1997). As primeiras referem-se às obras de engenharia como a construção de galerias de águas pluviais, para disciplinar o escoamento superficial e conseqüentemente evitar as erosões. As não estruturais estão associadas ao aumento da infiltração da água da chuva nas bacias de drenagem. Essas intervenções procuram criar mecanismos semelhantes aos da bacia natural, favorecendo a infiltração em detrimento da redução do escoamento superficial, sendo, portanto, mais indicadas do que as estruturais porque são de baixo custo e não envolvem grandes obras de engenharia (Cemig, 2001).

Portanto, o ideal é incentivar a criação de parques, praças e outras áreas verdes, inclusive em cada lote da cidade, visando reduzir o escoamento superficial e aumentar a infiltração. Essas atitudes reduzirão os picos de enchentes e riscos de erosão acelerada, notadamente na periferia, pois, geralmente é desprovida de obras de infra-estrutura básica, principalmente, galerias de águas pluviais e pavimentação asfáltica. Daí a importância do Plano Diretor em enfatizar e/ou exigir a criação dessas áreas de maior permeabilidade, tanto pelo poder público como pela sociedade em geral, em novas frentes de expansão da cidade, bem como, em áreas já solidamente ocupadas.

Semelhante a Santos (1997), Salomão (1999) afirma que o projeto de controle da erosão urbana envolve aspectos geotécnicos e urbanísticos. Os primeiros envolvem o conhecimento dos fatores que deflagraram os processos erosivos, enquanto que os últimos estão relacionados aos projetos de planejamento urbano que visam disciplinar a ocupação do solo de forma a evitar impactos ambientais, principalmente às erosões lineares em estágios mais evoluídos. Por isso, Castro et al. (2004) recomendam a não ocupação das áreas de risco, evitar o lançamento de águas servidas à meia encosta e a realização de obras de microdrenagem urbana.

Muitos gestores públicos, donos de indústrias, proprietários rurais e população em geral tentam controlar as voçorocas utilizando práticas inapropriadas como entulho de natureza variada (lixo). Isso é comum no Brasil, como no Estado de São Paulo nos municípios de Bauru (Almeida Filho & Almeida, 2001; Salomão, 1994), Casa Branca (Furlani, 2003), Franca (Almeida Filho et al., 2004) e São Pedro (Chiquito, 2006). Fato semelhante foi detectado por Nascimento (1994) que, ao cadastrar 45 voçorocas em Goiânia, observou que essas incisões eram palco de lançamento de lixo de natureza variada pela população circunvizinha às erosões, às vezes como tentativa de controle do problema.

Em muitos municípios goianos a população urbana e rural descarta lixo doméstico, animais mortos e outros resíduos de fontes variadas nas grandes incisões erosivas, o que reflete a falta de conhecimento da problemática que envolve os processos erosivos e a dinâmica hídrica superficial e subsuperficial.

Sales et al. (2006) enfatizam a preocupação com a utilização de entulho variado como técnica para aterrar erosões. Esses autores afirmam que o lixo domiciliar é uma prática inadequada para controle de ravinas e voçorocas, devido aos riscos de contaminação do solo e do lençol freático devido à dissolução e transporte dos poluentes contidos e gerados com a decomposição desses materiais.

Santos (1997), estudando voçorocas em Goiânia, sugeriu a implantação de drenagem de fundo em voçoroca de aspecto retilíneo e com gradiente hidráulico relativamente baixo, para evitar a erosão tubular. Para as voçorocas de formato semicircular, com gradientes hidráulicos mais elevados, conectadas às cabeceiras de drenagem, o autor propôs a instalação de obras de filtragem da água subterrânea e diminuição do ângulo de inclinação dos taludes. Além disso, sugeriu também a construção de barragens com solo ou outro material, visando paralisar o processo de assoreamento de montante para jusante.

Dentre as muitas técnicas para conter ravinas e voçorocas propostas pela Cemig (2001) e por Camapum de Carvalho & Diniz (2005), devem ser destacadas as seguintes: eliminação das causas do problema com desvios do escoamento superficial utilizando estruturas adequadas (terraços e valas de desvio), proteção das cabeceiras da erosão, retaludamento em alguns casos, revegetação dos taludes, implantação do sistema de drenagem superficial e subsuperficial, dependendo o caso, barragens (de concreto, solo-cimento, sacos plásticos de areia, dentre outros) para reter os sedimentos no interior da erosão, muro de contenção, reaterro quando for necessário, etc.

Alguns dos principais materiais usados no controle de erosão, conforme Cemig (2001) são a geogrelha, o geotêxtil não-tecido, o tubo corrugado, módulo têxtil confeccionado com tecido de combinações sintéticas, com fios de alta tração, geogrelha de poliéster com alta densidade para reforço de solos.

Farias et al. (2006) propuseram uma solução de baixo custo para conter os processos erosivos que eles denominaram de sistema de barramentos para recuperação de ravinas e voçorocas, com a contenção de sedimentos produzidos a montante da área recuperada. Essa técnica consiste na instalação de sucessivas barreiras transversais ao talvegue da incisão, de montante para jusante, utilizando haste de madeira, tela metálica e geotêxtil (sintético ou de fibras naturais). Este último material possui as funções de reter o sedimento e drenar a água. Com isso, a erosão será lentamente colmatada.

Segundo Farias et al. (2006), as principais vantagens do sistema de barramento se referem ao baixo custo da obra e a facilidade de execução. Sendo, portanto, uma alternativa para mitigar e/ou solucionar as erosões lineares de grande porte. Em Goiás, essa técnica é muito utilizada por pequenos agricultores. Contudo, para que essa técnica seja eficiente à área de contribuição da erosão e os seus próprios taludes devem produzir sedimentos para que o seu talvegue seja colmatado, revegetado naturalmente ou por indução e, conseqüentemente estabilizado.

A Cemig (2001) propõe: a) o plantio interno nas erosões com desvio pluvial, com o objetivo de proteger o solo utilizando plantas com fácil crescimento, como bambuzinho e gramíneas; b) implantação de barragens de estabilização na parte inferior da erosão com vários materiais como: pneus, bambus, solo-cimento, tambor, madeira, concreto, dentre outros. Essa obra deve ser precedida do desvio das águas superficiais ao redor de toda a voçoroca; c) reaterro com dreno de bambu, objetivando repor parte do solo erodido. É

necessário instalar dreno de fundo com brita, tubo, seixo, cascalho, ou outros materiais disponíveis na região.

O reaterro é uma medida de controle de ravinas e voçorocas que deve ser executada com ressalvas, pois nem todas as ocorrências erosivas podem ser aterradas. Portanto, deve ser a última ação no processo de recuperação, como observam Sales et al. (2006, p. 459). Todavia, alguns casos exigem essa técnica, como a recuperação da parte de uma rua atingida por uma grande incisão erosiva. Para os autores, um dos problemas está relacionado ao material (entulho ou solo) que será utilizado nesse reaterro. O melhor é o próprio solo, porém, será necessário movimentar enorme quantidade refletindo em novo impacto na área de coleta. Além disso, surge outro problema referente à compactação, que geralmente é complicada devido à dificuldade da movimentação de máquinas na área da erosão. Com isso, ocorrem acomodações do material, culminando em subsidências, abatimentos e outros movimentos de massa, agravados se o material for entulho ou lixo domiciliar. Além disso, caso a drenagem subterrânea não seja bem executada poderá provocar a atuação do *piping* que desestabilizará todo o material do reaterro.

Segundo Gonzáles et al. (2006) no Brasil, nas últimas duas décadas surgiram alternativas de controle de áreas degradadas com uso de biotecnologia. Os autores salientam que o Programa de Pós-Graduação em Geotecnia juntamente com o Laboratório de Microbiologia da FAV ambas da Universidade de Brasília (UNB), tem estudado o emprego de bactérias para melhorar as características físico-mecânicas dos solos em áreas de ravinas e voçorocas. As bactérias estudadas apresentam propriedades calcificantes capazes de aumentar a resistência e a rigidez dos solos (mesmo os arenosos), podendo ser utilizados para pavimentação de estradas e estabilização de encostas. Isto já tem sido utilizado na Colômbia por grupos de pesquisa que estudam as “Bactérias Estructurales – Bacest” (González et al., 2006).

Resende et al. (2005) afirmam que a Embrapa Agrobiologia, juntamente com a Embrapa Solos e o Colégio Agrícola Nilo Peçanha, no Rio de Janeiro, têm desenvolvido trabalhos de recuperação de voçorocas com a construção de paliçadas com bambu e pneu velho, bem como, técnicas vegetativas utilizando cultivo de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio inoculadoras com bactérias do gênero *rizobium* e fungos micorrízicos, no Médio Vale da bacia do rio Paraíba do Sul. Essas técnicas são de baixo custo e possibilitam a redução da produção de sedimentos que contribuem para o assoreamento de represas de abastecimento público da Região Metropolitana do estado.

A quantidade de sedimentos produzidos em duas voçorocas em que essas técnicas foram aplicadas diminuiu. Resende et al. (2005) afirmam que a utilização do esterco bovino e de fertilizantes pouco solúveis, associados com o combate às formigas e acero da área são fundamentais para o sucesso da estabilização. O isolamento da erosão com cerca de arame é outro importante elemento neste contexto.

Uma das alternativas mais propaladas entre os especialistas do assunto para estabilizar/conter as erosões lineares é o plantio de mudas de árvores no seu interior e em seu entorno (área de contribuição). Porém, algumas particularidades devem ser observadas, as espécies a serem plantadas devem ser cuidadosamente selecionadas, é necessário levar em consideração conhecimentos técnicos referentes aos aspectos climáticos, edáficos, fisiológicos e ambientais, visando melhores resultados no controle da erosão (Pereira, 2006).

Devem ser priorizadas as espécies típicas da área a ser recuperada. Sales et al. (2006) não recomendam, por exemplo, o plantio de bananeiras nas proximidades da erosão, pois, estas plantas possuem sistema radicular pouco profundo, retém muita umidade, tornam o solo muito poroso e adquirem grande volume e peso podendo contribuir para o chamado efeito alavanca nas bordas da erosão, ou seja, instabiliza os taludes e provocam movimentos de massa, como os deslizamentos.

O bambu é uma das espécies vegetais mais indicadas e usadas para o controle de erosões. Sempre com bons resultados quando plantado dentro da erosão. Possui crescimento rápido mesmo em solos com deficiência em nutrientes como nos talwegues das voçorocas. Atinge grandes dimensões, retendo os sedimentos de montante e, possibilitando com isso, o repovoamento espontâneo da área assoreada e/ou estabilizada. Contudo, deve ser plantado no interior da incisão erosiva e o seu cultivo em torno da erosão deve ser evitado (Sales et al., 2006).

O capim Vetiver (*Vetiveria zizanoides*) tem sido outra opção usada com sucesso para estabilizar taludes de estradas e erosões, como observam Laet (2003) e Abreu (2007). Porque além de contribuir para a estabilização da erosão através de seu sistema radicular muito profundo, chegando a cinco metros em solos férteis (DNIT, 2006), possui valor econômico, pois as raízes desse capim são usadas para extração da essência de sândalo (Abreu, 2007).

Para Araújo et al. (2005), o Vetiver não é uma gramínea de pastagem, é rude e cresce em touceiras com até 1,0 m de largura junto ao solo e 1,0 m a 1,5 m de altura,

possuindo caules densos e uma massa agrupada. Apresenta semelhanças com a citronela (erva-cidreira) ou o capim-limão, sendo mais eficiente para conter erosões quando plantado em sebes ou em curvas de nível.

Pereira (2006) publicou a obra “Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão” na qual ele elegeu dezenas de espécies vegetais, leguminosas e gramíneas, aptas para recuperação de áreas degradadas, incluindo o capim Vetiver. Essa planta é típica de ambientes tropicais e subtropicais, resistente a grandes variações de temperatura (-9°C a 50°C) e umidade/pluviosidade (300 mm a 3.000 mm de chuva ao ano), tolerante a valores extremos de pH, salinidade, toxicidade e, baixos índices de nutrientes no solo, resistente ao fogo, alagamentos e ao pastoreio (Pereira, 2006).

As espécies a serem escolhidas para estabilização de processos erosivos devem apresentar rápido crescimento e formação cerrada, formação de barreira densa junto ao solo, não ser invasoras e não abrigar pragas, doenças e parasitas (Abreu, 2007).

Falta, portanto, ainda, uma ampla disseminação da importância do Vetiver para estabilizar os intensos processos erosivos lineares brasileiros entre técnicos dessa área, gestores públicos e produtores rurais. Entretanto, cabe lembrar que em uma perspectiva ecológica essa gramínea se desenvolve em monocultura e não auxilia a sucessão natural ou biodiversidade (Araújo et al., 2005).

Araújo et al. (2005) sugerem a implantação de estacas e caniçadas vivas (estacas amarradas em fardos e enterradas a pequenas profundidades) para controle de ravinas e pequenas voçorocas em taludes de corte e de aterro, muito comuns em estradas. Essas técnicas objetivam colonizar a área afetada pela erosão, inicialmente com plantas pioneiras (nativas ou exóticas - invasoras) que protegem o solo do efeito *splash* e escoamento superficial, permitindo o estabelecimento de vegetação arbórea nativa em estágios sucessivos tardios, pois estas, geralmente, possuem dificuldade de se estabelecer em áreas degradadas.

Cappi (2004) sugere a utilização de pneus inservíveis para conter erosões lineares, utilizando duas técnicas. Uma refere-se à construção de diques de contenção de sedimentos e, a outra concernente ao enterramento de pneus no interior das incisões. Essa última técnica foi testada em Piracicaba/SP, com bastante sucesso, pois, permitiu a revegetação de antiga voçoroca e o restabelecimento da paisagem, não sendo verificada a liberação de metais pesados na água presente em mananciais e poços artesianos próximos à área de intervenção três anos depois da voçoroca ter sido preenchida com os pneus. Isso elimina

dois graves problemas: cria um destino adequado para enorme quantidade de pneus usados que ficam estocados em muitos municípios sem serem reciclados ou reaproveitados adequadamente, servindo apenas como habitat do mosquito *Aedes aegypti* (transmissor da dengue) e de outros vetores de doenças, além de ajudar a estabilizar e recuperar enormes incisões erosivas. Essa técnica pode ser considerada ambientalmente adequada quanto aos aspectos de contaminação do solo e água e interferências com a microbiota do solo (Cappi, 2004).

Conforme Abreu (2007), a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) propôs uma alternativa de baixo custo para conter voçorocas, denominada de “barreiras vegetais”. Devendo ser executada tanto fora da erosão (barreiras vegetais externas) para dispersar a água do escoamento superficial que atinge as cabeceiras da voçoroca, como em seu interior (barreiras vegetais internas), visando paralisar o movimento de sedimentos de montante para jusante. Essas barreiras podem ser construídas com sacos de aniagem preenchidos com solo, sementes de gramíneas ou outras espécies, adubo, folhas, solo vegetal e, devem-se usar também estacas de madeira (eucalipto) para dar suporte à barreira. Barreiras de pedras também podem ser construídas, porém, o custo da mão-de-obra torna-se mais elevado.

A técnica de revegetação de áreas afetadas por ravinas e voçorocas deve levar em consideração espécies nativas e exóticas. Ao selecionar as plantas os técnicos devem priorizar as nativas, porém, é sempre difícil encontrar sementes e/ou mudas em quantidade suficiente, nas proximidades do projeto, o que constantemente inviabiliza a sua escolha. Além disso, por questões paisagísticas, principalmente no espaço urbano, as plantas exóticas quase sempre são as escolhidas para “embelezarem” as áreas recuperadas. Neste sentido, Abreu (2007) observa os cuidados que devem ser tomados na escolha da vegetação para estabilização de processos erosivos, pois, plantas como a brachiária e o capim elefante e outras espécies exóticas dificultam a colonização de espécies nativas e, o perfeito restabelecimento do equilíbrio ecológico.

A legislação é outro fator a ser considerado, antes da implantação de um projeto de revegetação de área impactada por processos erosivos. Alguns órgãos ambientais exigem que sejam utilizadas apenas espécies nativas, proibindo o uso de outras espécies, mesmo se eficazes para fins de estabilização (Araújo et al., 2005). O uso de fertilizantes e pesticidas, principalmente em áreas próximas a reservatórios de abastecimento público, deve ser evitado, pois, está sujeito a penalidades legais.

Vale ressaltar que para a maioria das grandes incisões erosivas o mais indicado é a estabilização dos processos que condicionam a sua evolução, não sendo recomendada a recuperação, pois, além dos custos elevados o ambiente já atingiu um elevado grau de degradação muito difícil de ser recuperado de acordo com suas características originais.

Como já mencionado, o controle corretivo de ravinas e voçorocas exige o conhecimento de sua dinâmica atual e do estágio evolutivo que se encontra. Para isto faz-se necessário a realização de um cadastro em campo. Além disso, ao implantar as obras e/ou medidas corretivas deve-se levar em consideração não apenas a erosão, mas, também o seu entorno, para o completo sucesso de recuperação do fenômeno erosivo, como propõem Castro et al. (2004). Assim, ações de controle da erosão somente podem ser corretamente introduzidas, se ligadas a um bom conhecimento das condicionantes ligadas aos fatores do meio físico e da ocupação (Salomão, 1999).

E, independentemente da qualidade da obra implantada, sempre se faz necessário o acompanhamento de sua resistência e eficácia, notadamente após os períodos chuvosos, para verificar a possibilidade de implementação de medidas corretivas complementares (Sales et al., 2006).

Em suma, é necessário, que haja uma completa conscientização de toda a população, notadamente produtores rurais e gestores públicos, sobre o real valor dos elementos do meio físico, principalmente o solo e a água, para que estes recursos sejam utilizados de maneira menos agressiva e de forma sustentável. Visando reduzir e/ou minimizar o surgimento de erosões hídricas de grande porte como ravinas e voçorocas, bem como, a implantação de medidas estabilizadoras e corretivas daquelas ocorrências já instaladas.

### **2.3.2 Monitoramento de erosão laminar e linear e suas aplicações**

O monitoramento da erosão laminar (Baccaro, 1999; Guerra, 1999; Mafra, 1999; Lepsch, 2002; Bertoni & Lombardi Neto, 2005), em lençol (Guerra, 1998, 1999; Baccaro, 1999) ou entressulcos (Montolar-Sparovek et al., 1999; Cantalice et al., 2005), bem como as erosões lineares (Nascimento, 1994; Domingues et al., 1998; Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998; Castro et al., 2004; Camapum de Carvalho et al., 2006; Martins et al., 2006) é uma forma de compreender a dinâmica evolutiva desses processos erosivos, visando o planejamento de prevenção e contenção desses fenômenos, minimizando os impactos sócio-ambientais decorrentes do uso do solo.

Em geral, as incisões erosivas que deixam marcas perceptíveis no terreno, denominadas erosões lineares (Iwasa & Fendrich, 1998) são classificadas como sulcos, ravinas e voçorocas (IPT, 1986, 1998; Oliveira, 1994; Salomão, 1994, 1999; Castro, 1999; Castro et al., 2004; Camapum de Carvalho et al., 2006) ou, apenas como ravinas e voçorocas (Guerra, 1998, 1999; Oliveira, 1999).

Poesen & Vandekerckhove (2004), ao estudarem a evolução de erosões no Sudeste da Espanha, salientaram que o uso de fotografias aéreas em diferentes escalas temporais e o monitoramento em campo são importantes recursos para avaliar as taxas de progressão erosiva e para proposição de mudança de uso e manejo do solo, visando reduzir os impactos ambientais causados pelas ravinas e / ou voçorocas. Almeida Filho & Almeida (2001) e Drumond & Bacellar (2006) também utilizaram recursos de aerofotogrametria em diferentes escalas temporais para identificar, mapear e investigar a evolução de ravinas e voçorocas nos Municípios de Bauru, São Paulo e Itabirito, Minas Gerais, respectivamente.

A erosão superficial pode ser monitorada através de estação experimental montada em campo, com apenas duas parcelas com 10 m de comprimento por 1 m de largura cada, em uma vertente com declividade média em torno de 5° (Guerra, 2002), sendo uma mantida recoberta por vegetação e outra com solo exposto, o que permite comparar a perda de solo submetido a dois usos. Esse experimento deve ser conduzido por, pelo menos, quatro anos sendo a coleta de material (sedimentos e água) das parcelas realizada diariamente no período chuvoso.

Outro método simples e eficaz de monitorar a erosão dos solos é a colocação de pinos de erosão (De Ploey & Gabriels, 1980; Guerra, 2002) em uma encosta com presença de erosão laminar, que devem ser enterrados, mas mantendo a parte superior dos pinos exposta. Periodicamente (uma vez por semana, quinzenalmente ou uma vez por mês), durante um ano, deve ser feito o monitoramento da exposição dos pinos para verificar a altura de solo erodido. De acordo com Guerra (2002), essa técnica permite constatar a perda de solos em espessura e volume, bem como, quais partes da encosta a erosão é mais pronunciada. Cabe salientar que o monitoramento da erosão em áreas de cultivo é uma forma de compreender o papel das ravinas no processo erosivo (Guerra, 1999).

Para Guerra (1998) e Oliveira (1999) as ravinas se distinguem das voçorocas devido ao caráter dimensional. As ravinas apresentam até 50 cm de largura e profundidade, acima dessas dimensões a incisão erosiva passa a ser considerada voçoroca. Contudo, Oliveira (1994) e Salomão (1994, 1999) conceituam sulcos como incisões erosivas lineares

de pequeno porte, ravinas incisões de grande porte, contudo, a evolução destas é comandada pelo escoamento superficial, enquanto as voçorocas correspondem às incisões que apresentam também o escoamento subsuperficial (afloramento do lençol freático).

Considerando as ravinas (englobando o conceito de sulcos) como o primeiro estágio da erosão linear, seu monitoramento como proposto por Guerra (2002), deve obedecer aos seguintes passos:

1. Localização das ocorrências em carta topográfica;
2. Elaboração de um diagrama em caderneta de campo ou em papel milimetrado, em escala de detalhe, plotando as ravinas identificadas;
3. Medição das dimensões: comprimento, largura e profundidade, medidas a cada 10 m nas incisões monitoradas;
4. Anotação da declividade da encosta nos mesmos pontos que forem realizadas as medidas de dimensões;
5. Coleta de amostras para determinação em laboratório de propriedades físicas e químicas do solo, como granulometria, porosidade, densidade, argila dispersa em água (ADA), estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica.

Depois de realizar o levantamento dos dados elencados acima, os resultados relativos à erodibilidade, por exemplo, permitem correlacionar as incisões erosivas com os tipos de solos. Os dados referentes às dimensões possibilitam determinar a densidade de ravinas e densidade de extensão das incisões investigadas. De acordo com Guerra (2002) é possível também com os dados de comprimento das ocorrências e a declividade obterem as formas predominantes das encostas: retilíneas, convexas ou côncavas, além, de facilitar a identificação dos pontos de ruptura dessas formas.

Guerra (2002) sugere o monitoramento de voçorocas para verificar sua expansão. Isso pode ser feito com a colocação de estacas (numeradas e fixadas) ao redor da voçoroca. A distância da borda da erosão e entre estacas não há um valor rígido a ser seguido, depende de dimensões, ou seja, quanto maior a incisão maior deverá ser o número de estacas a serem colocadas. Em erosões com 500 m de extensão e largura de 100 m o espaçamento entre as estacas pode ser de 20 m enquanto que a distância da borda da incisão pode ser de 3 m. É necessário desenhar a voçoroca na caderneta de campo e plotar o estaqueamento com suas respectivas distâncias da incisão. A cada quatro meses deve ser monitorada a evolução da voçoroca, entre as estacas e suas bordas. Após o período de

monitoramento (um ano ou mais) é possível determinar a taxa de evolução da voçoroca e, sugerir medidas de contenção da erosão monitorada.

Vale destacar que para monitorar o desenvolvimento de voçorocas é importante o uso do pluviômetro, para obtenção do total de chuvas em determinado período. Esse dado associado a outros do meio físico como tipo de solo (principalmente textura, estrutura e espessura), declividade, comprimento e forma da encosta, características litológicas, bem como, tipo de uso e ocupação do solo, fornecem bons indicativos da evolução do processo erosivo considerado. Contudo, o pluviógrafo é um instrumento mais adequado para coleta de dados de chuva para monitoramento da erosão, uma vez que fornece, além da precipitação total (como o pluviômetro), a intensidade da chuva (volume por tempo). Portanto, estes instrumentos são fundamentais para este tipo de estudo de impacto ambiental.

Lopes & Guerra (2001) efetuaram o monitoramento da evolução de uma voçoroca em Florianópolis (SC), com uso de SIG's durante onze meses e constataram os pontos mais instáveis da erosão. A metodologia aplicada permitiu detectar pequenas alterações nas dimensões da erosão investigada.

Ao estudar o comportamento físico-hídrico dos solos e sua suscetibilidade erosiva linear na sub-bacia do córrego Queixada, alta bacia do rio Araguaia, em Goiás, Marinho (2003) realizou o monitoramento do meio físico, entre 2001 e 2003, quanto ao comportamento das chuvas por meio de dados obtidos com pluviômetro e pluviógrafo em estações locais; da dinâmica do lençol freático frente ao regime pluvial, em diversas profundidades; do monitoramento geofísico com GPR (Ground Penetrating Radar) e, SEV (Sondagem Elétrica Vertical) e, da medição do nível de água subterrânea em poços piezométricos no trecho inferior da vertente selecionada. Os resultados obtidos indicaram as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos, notadamente os pontos mais favoráveis à instalação de *piping* e com riscos à instalação e evolução das voçorocas já instaladas, bem como para planejamento da implantação de obras de recuperação das erosões existentes e proposições de alternativas preventivas do fenômeno erosivo.

Recentemente, pesquisadores da temática erosiva têm desenvolvido inúmeras técnicas para monitorar a perda de solos e a distribuição de sedimentos em superfície causados pela erosão hídrica. Uma metodologia utilizada refere-se à técnica de análise da redistribuição do "fallout" do  $^{137}\text{Cs}$  (Fujikama et al., 1999, Correchel, 2003; Andrello et al., 2003; Golosov & Panin, 2004; Everett et al., 2007).

Os métodos tradicionais de medições de evolução de voçorocas não são suficientemente precisos e não permitem calcular a quantidade de sedimentos provenientes da erosão e depositados à sua jusante (Golosov & Panin, 2004). Por isso, os autores propõem a utilização do método do  $^{137}\text{Cs}$  para verificar a distribuição de sedimentos provenientes de grandes incisões erosivas ao longo de vales profundos, uso de um sistema geodésico GPS (Trimble Geodetic Surveyor), modo estático e cinemático, para verificar a evolução precisa das dimensões da erosão, bem como, a utilização de SIG para elaboração de mapas temáticos.

De acordo com Sales et al. (2006), depois da execução de obras de recuperação e/ou estabilização de ravinas e voçorocas, faz-se necessário o monitoramento das ações implementadas para controle da erosão considerada. Pois, por melhor que seja a intervenção executada sempre após os períodos chuvosos surge à necessidade de medidas corretivas complementares, em concordância com Abreu (2007), que recomenda o monitoramento das bordas da voçoroca, pois essas evidenciam a dinâmica de sua evolução.

Diante do exposto anteriormente, o monitoramento é importante para evitar perdas de recursos financeiros, ambientais e sociais, em áreas com processos erosivos controlados e estabilizados.

## 2.4 USO ALTERNATIVO DE ÁREAS COM PROCESSOS DE VOÇOROCAMENTO

No Brasil existem poucos trabalhos científicos que relatam usos alternativos de áreas com voçorocas. Até pouco tempo era comum as erosões de grande porte serem entulhadas com lixo tanto nas cidades, como em áreas rurais, fato observado em Goiânia durante a década de 1990, em Franca e Bauru, SP, bem como, em muitas outras cidades brasileiras. Os próprios moradores vizinhos à ocorrência erosiva recorriam aos administradores públicos para entulharem a erosão, não se importavam como e com quê, queriam ficar livres do problema, pois, temiam aumento de suas dimensões e possíveis acidentes. Às vezes eles próprios, na tentativa de entupir o “rasgo” no solo, depositavam resíduos de natureza variada, incluindo animais mortos, como cachorros, gatos, galinhas, dentre outros.

Em áreas rurais em Goiás, isso ainda acontece. Produtores rurais depositam todo o lixo da propriedade (doméstico e embalagens de produtos químicos) em voçorocas

próximas da sede das fazendas. Nos arredores de Goianésia, GO, em Vila Propício, região de terrenos cársticos, com existência de cavernas, sumidouro de rio, surgência d'água e dolinas, o proprietário da fazenda foi flagrado descartando lixo nas maiores dolinas da propriedade. Outro proprietário rural, em São Miguel do Passa Quatro, GO, colocou animais mortos (gado) por doença não identificada dentro de uma grande voçoroca conectada ao manancial hídrico que abastece a sua fazenda.

Além desses usos considerados incorretos de áreas com voçorocas, outros podem ser verificados como a criação de porcos dentro de uma erosão em João Pinheiro, MG. A água da voçoroca conectada a um curso d'água, pertencente à Bacia do Rio São Francisco vem sendo utilizada para consumo humano e dessetentação de animais. Em Orizona, GO, outra voçoroca é utilizada como área de lazer, principalmente por crianças e adolescentes que brincam, inclusive, com a lama do interior da voçoroca (Sousa, 2001).

A professora Cristina Augustin, em palestra proferida durante o Simpósio Brasileiro de Geografia Física, na UFMG, em Belo Horizonte, em 1999, afirmou que as voçorocas atualmente funcionam como áreas de “refúgio ecológico”, pois, muitas espécies de plantas e animais que estão ameaçados de extinção, encontram abrigo nessas erosões espalhadas por todo o país. Nas voçorocas, em função de suas grandes dimensões os animais constroem seus ninhos e habitat em lugares de difícil acesso, dificultando a ação dos predadores, principalmente dos caçadores. Isto é uma alternativa interessante para se pensar, as voçorocas protegem parte da biota que está ameaçada de extinção, portanto, torna-se necessário a sua existência. Neste sentido, Furlani (2003) considera as voçorocas de Casa Branca, SP, como “santuários ecológicos,” porque abrigam várias fitofisionomias da região florestadas natural ou artificialmente.

Lima et al. (2004), em pesquisa sobre uma voçoroca numa área de assentamento (Dona Antônia) do INCRA, em Conde, litoral sul da Paraíba, propuseram transformá-la em fonte de água de boa qualidade com usos múltiplos: lazer, criação de peixes, criação de camarões, hidroponia e industrialização e comercialização da água. Segundo Torres et al. (2006), que estudaram a mesma voçoroca e sugeriram medidas para sua contenção, após análise, a água em seu exutório, foi considerada como Água Natural de acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), portanto, apta para ser engarrafada e comercializada, aumentando as possibilidades econômicas das famílias assentadas nas redondezas.

Vale ressaltar que muitos outros usos podem ser destinados a áreas afetadas por voçorocas, uma vez que geralmente, essas incisões atingem grandes dimensões dificultando a sua contenção e restauração das características originais do ambiente. Destarte, após a estabilização de seus taludes, dos *pipings*, controle do escoamento superficial, o proprietário da área ou responsável, administradores públicos, podem transformar enormes crateras desencadeadas por processos erosivos em atrativos turísticos, com mudanças paisagísticas interessantes, como ocorreu com a Pedreira Paulo Leminski, em Curitiba, transformada em casa de espetáculos ao ar livre, nos anos 1990, com capacidade para 30 mil pessoas. Na área funcionava uma pedreira municipal com enorme impacto ambiental. Atualmente, é um dos pontos mais visitados na cidade.

## 2.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL RELACIONADA A PROCESSOS EROSIVOS

O Artigo 225 da Constituição Federal (1988) declara que: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Daí a importância de pesquisadores da área, gestores públicos, proprietários rurais e comunidade geral de conhecer o meio físico, base de nossa existência, para usos mais racionais e/ou sustentáveis visando uma melhor qualidade de vida atual e futura.

No Brasil, não há uma legislação ambiental que trata especificamente da temática erosiva, porém, o termo erosão aparece em alguns trechos da legislação vigente (Camapum de Carvalho & Melo, 2006, p.8). Desde o novo Código Florestal de 1965, há preocupações relativas implícitas aos processos erosivos, como abordadas a seguir.

A Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que instituiu o novo Código Florestal, considera em seu Artigo 1º, no parágrafo 2º, no inciso II áreas de preservação permanente como sendo:

II - “área de preservação permanente: área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo

gênico de fauna e flora, **proteger o solo** e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Grifo nosso).

O inciso V do mesmo artigo relativo ao interesse social, alíneas a e b, refere-se:

a) as atividades imprescindíveis à proteção da integridade da vegetação nativa, tais como: prevenção, combate e controle do fogo, **controle da erosão**, erradicação de invasoras e proteção de plantios com espécies nativas, conforme resolução do CONAMA (Grifo nosso);

b) as atividades de manejo agroflorestal sustentável praticadas na pequena propriedade ou posse rural familiar, que não descaracterizem a cobertura vegetal e não prejudiquem a função ambiental da área;

(...).

No Artigo 2º da mesma Lei são consideradas áreas de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural, obedecendo às devidas dimensões, situadas:

a) ao longo dos rios e demais cursos d’água;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d’água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50m (cinquenta metros) de largura;

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas e partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

(...).

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

(...).

As voçorocas podem ser incluídas no caso das nascentes (alínea c), ou olhos d’água, uma vez, que muitos autores conceitualmente, consideram o processo erosivo com

essa denominação a partir da interceptação do lençol freático. Transformando então a partir desse momento em uma nascente, que em muitos casos se tornam perenes, outras vezes funciona como cursos temporários, com surgência d'água nos taludes e talvegue durante o período chuvoso. Portanto, de acordo com a Legislação devem ser protegidas num raio de 50m. Isto não tem sido verificado em nenhum lugar do país. A não ser quando o proprietário rural isola a área para evitar trânsito de animais e, principalmente perda de gado. Contudo, a cerca geralmente é colocada nas bordas da erosão, não obedecendo a essa distância mínima.

Em Goiás, e bem como em outros Estados brasileiros, as áreas de preservação permanentes não são respeitadas nas condições mencionadas acima nas alíneas *d*, *e*, *g*. Por isto, é comum a ocorrência de erosões nessas áreas principalmente os sulcos, ravinas e voçorocas, em função do desconhecimento da legislação ambiental pertinente associado a práticas nefastas de usos do solo, objetivando apenas o retorno financeiro da área explorada.

Em seu artigo 3º, a Lei 4.771/1965, considera-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declarada por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

**a) atenuar a erosão das terras** (grifo nosso);

(...);

c) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;

(...);

h) a assegurar condições de bem-estar público.

Portanto, de acordo com o Código Florestal Brasileiro as áreas de preservação permanente têm papel fundamental para conter e/ou atenuar os processos erosivos. Por isso, devem ser preservadas visando manter o equilíbrio climático do ambiente, como proposto por Bertrand (1968), ou seja, em biostasia (equilíbrio entre elementos bióticos e abióticos da natureza) em detrimento da condição resistásica (ambiente em desequilíbrio), bem como, para manter a sadia qualidade de vida da população.

A Lei nº 6.902 de 27/04/1981, dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências, em seu artigo 9º, o Poder Executivo estabelece normas, limitando ou proibindo determinadas atividades, dentre outras, aquelas relacionadas à erosão e o conseqüente assoreamento, como exposto na alínea c:

(...)

c) o exercício de atividades capazes de provocar uma acelerada erosão das terras e/ou um acentuado assoreamento das coleções hídricas;

(...)

A Política Nacional do Meio Ambiente instituída pela Lei nº 6.938 de 31/08/1981, em seu 2º artigo, aborda itens relacionados à erosão do solo, como constatados nos incisos (II, VIII, IX, e X):

(...);

II – racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

(...);

VI – incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção de recursos ambientais;

VIII – recuperação de áreas degradadas;

IX – proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X – educação ambiental a todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

Os princípios II, VI, VIII e IX tratam de assuntos relacionados à erosão do solo, portanto, se colocados em prática o solo ficará relativamente protegido dos agentes desencadeadores dos processos erosivos.

O artigo 3º dessa Lei (6.398/1981) é todo voltado para as questões ambientais, apresentando conceituação de meio ambiente, poluição e outros termos pertinentes e estabelecendo, relação com o solo e sua degradação através das erosões, como elencado a seguir:

I – meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

II – degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;

III – poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
  - b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
  - c) afetem desfavoravelmente a biota;
  - d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
  - e) lancem matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;
- (...);
- V – recursos ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.

Já o artigo 13 dessa Lei (6.938/1981), salienta que o Poder Executivo incentivará as atividades voltadas ao meio ambiente, visando:

- I – ao desenvolvimento, no País, de pesquisas e processos tecnológicos destinados a reduzir a degradação da qualidade ambiental;
- (...).

No parágrafo único desse artigo (13), “os órgãos, entidades e programas do Poder Público, destinados ao incentivo das pesquisas científicas e tecnológicas, considerarão, entre as suas metas prioritárias, o apoio aos projetos que visem a adquirir e desenvolver conhecimentos básicos e aplicáveis na área ambiental.” Podendo então, serem contemplados neste parágrafo, os projetos com a temática erosiva.

A Política Agrícola instituída pela Lei nº 8.171 de 17/01/1991, em seu capítulo I, artigo 4º sobre as ações e instrumentos de política agrícola, salienta no inciso IV, “a proteção do meio ambiente, conservação e recuperação dos recursos naturais”. As atividades agropecuárias tem se destacado no Brasil, notadamente, a partir de 1970, principalmente com a chamada revolução verde. Isto provocou aumento do uso intensivo do solo e contribuiu para o surgimento e evolução de processos erosivos acelerados. Portanto, o meio ambiente tem sofrido graves agressões tanto no campo como nas cidades, apesar de nos últimos 20 anos ter proliferado no país inúmeras ONGs e pessoas mais preocupadas com as questões ambientais. Grandes voçorocas no noroeste paranaense, nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás surgiram no final da década de

1970 e início da década de 1980 associadas com a mudança do tipo de uso do solo deste período, fruto da intensa mecanização e aplicação de insumos no campo.

No capítulo VI da Lei da Política Agrícola (8.171/1991) concernente a proteção ao meio ambiente e conservação dos recursos naturais, o artigo 19, inciso II, exprime que o Poder Público deverá:

II – disciplinar e fiscalizar o uso racional do solo, da água, da fauna e da flora;

(...);

VII – coordenar programas de estímulo e incentivo à preservação das nascentes dos cursos d'água e do meio ambiente, bem como o aproveitamento de dejetos animais para conversão em fertilizantes.

Infelizmente o poder público em nenhuma de suas esferas (municipal, estadual ou federal) tem colocado em prática esse artigo da Política Agrícola. Pelo contrário, em todas as unidades da federação existem desrespeitos com os elementos do meio físico, através de usos múltiplos além da capacidade de suporte do ambiente. Isto pode ser observado através da contaminação química dos solos, compactação de sua camada superficial, exposição do solo à erosão eólica e hídrica, assoreamento dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais, riscos eminentes de extinção de espécies da flora e da fauna, dentre outros.

O artigo 20, da Lei 8.171/1991 destaca que as bacias hidrográficas constituem-se em unidades básicas de planejamento do uso, da conservação e da recuperação dos recursos naturais. Destarte, o estudo de erosões pode ser realizado através desse recorte metodológico, ou seja, utilizando as bacias hidrográficas como método de análise, da erosão, produção e distribuição de sedimentos, como proposto por Botelho (1999).

Ainda no capítulo VI da Lei da Política Agrícola, o artigo 22 determina que a prestação de serviços e aplicações de recursos pelo Poder Público em atividades agrícolas devem ter por premissa básica o uso tecnicamente indicado, o manejo racional dos recursos naturais e a preservação do ambiente.

O capítulo XXIII, que trata das disposições finais da Política Agrícola, no artigo 102 salienta que “o solo deve ser respeitado como patrimônio natural do País.” Poucos brasileiros, até mesmo, os profissionais que trabalham com atividades diretamente relacionadas ao solo, valorizam esse importante recurso, fundamental para a manutenção da vida na Terra.

O parágrafo único do artigo 103 declara que para os efeitos da Lei 8.171/1991, consideram-se como incentivos, dentre outros:

(...);

V – o apoio técnico-educativo no desenvolvimento de projetos de preservação, conservação e recuperação ambiental.

A Lei nº 9.605 de 12/02/1998, trata das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. O capítulo II referente à aplicação da pena, em seu artigo 23, sobre a prestação de serviços à comunidade pela pessoa jurídica, destaca os incisos I, II e IV que consistem em:

I – custeio de programas de projetos ambientais;

II – execução de obras de recuperação de áreas degradadas;

(...);

IV – contribuições a entidades ambientais ou culturais públicas.

O capítulo V dessa Lei (9.605/1998) referente aos crimes contra o Meio Ambiente, na seção II relacionada a flora, artigo 53 “nos crimes previstos nesta Seção, a pena é aumentada de um sexto a um terço se:

I – do fato resulta à diminuição de águas naturais, **a erosão do solo** ou a modificação do regime climático (grifo nosso);

(...)

Na Seção III – poluição e outros crimes ambientais – da referida Lei, no artigo 54, menciona que quem “causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”, está sujeito à:

Pena – reclusão, de um a quatro anos, e multa.

§ 1º Se o crime é culposo:

Pena – detenção, de seis meses a um ano, e multa.

§ 2º Se o crime:

I – tornar uma área, urbana ou rural, imprópria para a ocupação humana;

(...);

V – ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos;  
(...).

Pena – reclusão, de um a cinco anos.

§ 3º Incorre nas mesmas penas previstas no parágrafo anterior quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível.

Cabe destacar que existem voçorocas conectadas aos cursos d'água e outras que atuam como reativadoras de cabeceiras de drenagem, funcionando como novas extensões da cabeceira do curso d'água. Portanto, devem ser consideradas áreas de riscos a processos erosivos acelerados e, por isso, protegidas por lei.

Contudo, os processos erosivos lineares, entendidos como aqueles que deixam marcas perceptíveis no terreno, notadamente os de grande porte do tipo ravina e voçoroca, ocorrem nos terrenos associados à dinâmica hidráulica superficial e subsuperficial. As voçorocas conjugam os dois tipos de escoamento concomitantemente no período chuvoso.

Para definição das áreas de risco à erosão por voçorocas é necessário definir com precisão os mananciais, pois com frequência é destes que provém à água que produz a erosão (Oliveira, 1999).

Muitas vezes, de acordo com a lei específica, "manancial" e "erosão" se relacionam, através das medidas preconizadas para a sua respectiva preservação ou prevenção (Oliveira, 1999). Para esse autor há uma imprecisão por parte da Legislação Federal quanto aos conceitos de manancial, nascente e "olhos d'água". Ele salienta que restringir conceitualmente manancial ao afloramento do lençol freático, como é comum ocorrer, implica riscos, pois, a nascente pode variar de posição sazonalmente. Por isso, a área que alimenta a nascente deve ser protegida por lei. Ainda de acordo com o autor, mananciais são fontes de água que mantêm o escoamento canalizado. Como nas voçorocas é comum este tipo de escoamento, há aí uma nítida relação.

Segundo Thomas (1994), existem leis de proteção ambiental, mas, é necessário adequá-las à prevenção de erosões, principalmente de voçorocas, o estágio erosivo hídrico mais evoluído.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA REGIÃO DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em Quirinópolis, Sudoeste Goiano (Figura 1), a 280 km de Goiânia, que apresenta 38.064 habitantes (Sepin, 2008), distribuídos em 3.792 km<sup>2</sup> (Prefeitura Local, 2008), com áreas drenadas por afluentes da margem direita do rio Paranaíba, dentre eles: rio Alegre, rio Preto, rio São Francisco e rio dos Bois.

Entre 2005 e 2008 foram instaladas duas unidades agroindustriais de produção de álcool e açúcar na região, alterando o cenário rural e urbano. As lavouras de cana-de-açúcar ocuparam os melhores solos (Latosolos Vermelhos, provenientes da alteração dos basaltos - Formação Serra Geral) em áreas de relevo mais plano e em áreas de pastagens (gado de corte) e de cultivo de soja que até então, eram as principais atividades agropecuárias.

O desmatamento para a implantação de pastagens cultivadas, lavouras monocultoras como a soja, milho, sorgo, feijão, arroz e, mais recentemente, a cana-de-açúcar, tem contribuído para o desgaste dos solos locais por meio dos processos erosivos acelerados, refletindo na perda deste importante recurso mineral, perda da produtividade no campo e assoreamento dos recursos hídricos regionais.

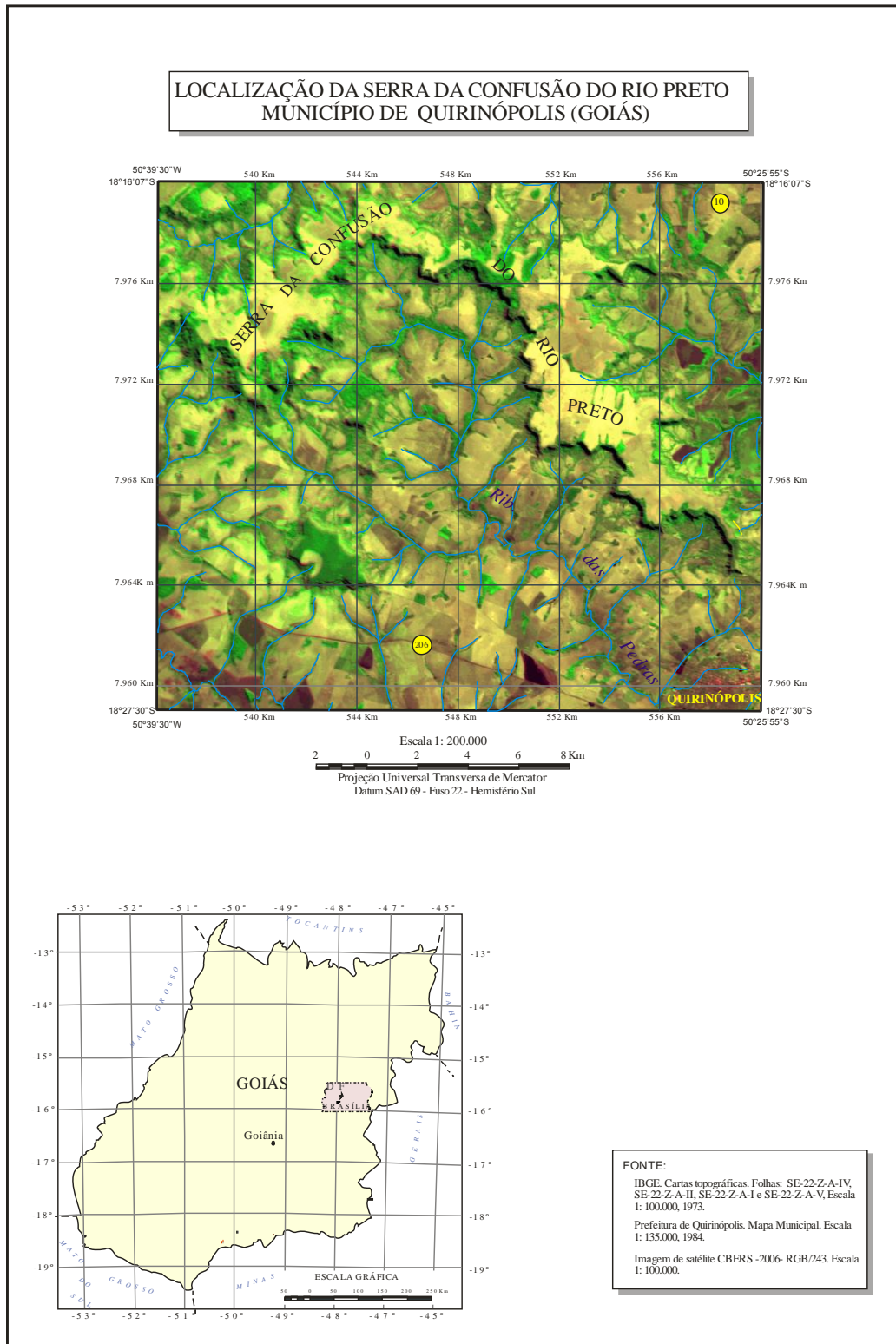
O uso do solo associado ao tipo de manejo tem desencadeado o surgimento e a evolução de erosões lineares de grande porte do tipo ravinas e voçorocas, notadamente em áreas de solos mais friáveis, representados pelos Latossolos de textura média e por Neossolos Quartzarênicos localizados nos topos de relevos residuais (Serra da Confusão do rio Preto).

Quirinópolis está inserido na Bacia Sedimentar do Paraná, que é uma das três bacias sedimentares fanerozóicas<sup>3</sup> brasileiras. Possui sedimentos da ordem de 4.500 m a 5.000 m de espessura no centro da bacia (Mendes & Petri, 1971), de idades variadas, cujo início

---

<sup>3</sup> Sedimentos com idades variadas desde aproximadamente 600 milhões de anos, ou seja, desde os mais antigos (Paleozóicos), intermediários (Mesozóicos) até aos mais recentes (Cenozóicos). As três bacias são: Amazônica, do Parnaíba e do Paraná.

remonta ao Paleozóico. No período de organização das bacias sedimentares brasileiras os terrenos sul-americanos encontravam-se em posições altimétricas bem mais baixas do que



**Figura 1.** Localização da área de pesquisa.

atualmente. Por isso, foram inumadas por sedimentos de origem marinha e continental (Ross, 1998), durante o Paleozóico, especialmente no período Devoniano.

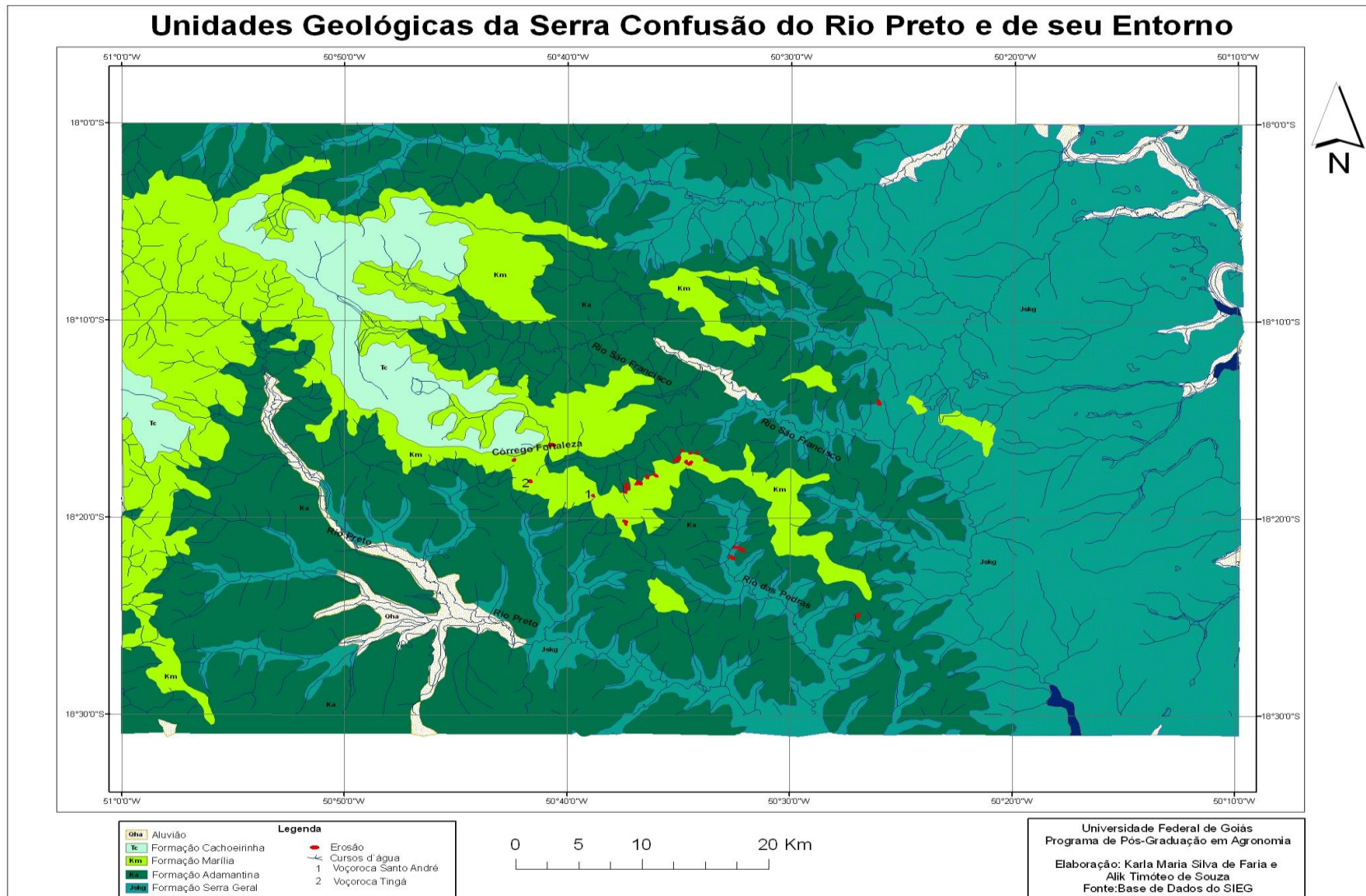
Na Bacia Sedimentar do Paraná predominam arenitos com diferentes idades e granulometrias, comumente intercalados com siltitos, conglomerados, calcários e argilitos, ocorrendo também basaltos provenientes do derrame de lavas vulcânicas que sobrepuseram às rochas sedimentares, em camadas horizontais e estratificadas, durante os períodos Jurássico e Cretáceo (Ross, 1998). De acordo com Mendes & Petri (1971), essa bacia foi afetada por tectonismo do “tipo de falhamento em bloco e em boa parte germanótico,” antes e após as sucessivas atividades vulcânicas mesozóicas.

A área de pesquisa encontra-se na borda norte da referida bacia, representada por litologias do Grupo São Bento (Formação Serra Geral) e do Grupo Bauru (Formações Adamantina e Marília), ambos de idade mesozóica, e pela Formação Cachoeirinha do Terciário (Figura 2), constituída por sedimentos areno-argilosos inconsolidados, vermelhos, argilitos cinza com estratificação incipiente e arenitos mal selecionados com lentes de conglomerados decimétricas (Lacerda Filho et al., 1999).

Em Quirinópolis é comum o afloramento de basalto nos talvegues dos rios das Pedras, Preto e São Francisco, bem como, em seus tributários e, em pequenos e pontuais ressaltos topográficos localizados em seus interflúvios. Sobre estes afloramentos há presença de vegetação nativa original parcialmente preservada. Os basaltos locais são recobertos por sedimentos do Grupo Bauru representados pela Formação Adamantina (Ka) e Formação Marília (Km), de origem flúvio/lacustre, depositados durante o Cretáceo superior (Lacerda Filho et al., 1999).

Na Serra Confusão do rio Preto é comum à ocorrência de pavimentos detríticos aflorando superficialmente, em concreções ferruginosas centimétricas de três a cinco centímetros de diâmetro, arestados até blocos/matações contínuos, formando a Petroplintita, ou mesmo em camadas e/ou horizontes do solo ou até capeando o horizonte C subsuperficial.

Quirinópolis está inserido na unidade geomorfológica de Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo identificados 21 focos erosivos de grande porte na região de estudo. A maioria localizada na superfície de aplainamento com mais de 750 metros de altitude representada pela Serra da Confusão do rio Preto.



**Figura 2.** Unidades Geológicas da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno.

## 3.2 SELEÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A seleção das áreas de estudo foi feita a partir de entrevistas aos moradores locais, registros fotográficos, levantamentos de campo, fotos aéreas, imagens, vôos e levantamentos de campo.

Foram realizadas cinco entrevistas com antigos moradores da Serra da Confusão do rio Preto, com idades entre 55 e 83 anos, sobre o surgimento de erosões de grande porte do tipo ravinas e voçorocas. A principal questão dirigida a todos os entrevistados foi sobre o surgimento e evolução de grandes erosões nas redondezas. Essas entrevistas serviram de referência para a seleção das ocorrências erosivas investigadas, bem como, para a elaboração de seus cadastramentos realizados conforme metodologia do IPT (1986, 1989).

Foram realizados registros fotográficos dos elementos físicos, da paisagem, em torno das ocorrências erosivas estudadas, bem como, das incisões e de seus mecanismos erosivos durante o período chuvoso e o de estiagem. As fotos foram obtidas com máquina fotográfica digital comum, possuindo 6.0 Mega Pixels e zoom óptico de seis vezes.

Por meio de um sobrevôo em Ultraleve a 200 m acima do nível do solo, a voçoroca Córrego do André e seu entorno foram fotografados para melhor caracterizar a área de contribuição da erosão.

Em sucessivos trabalhos de campo e interpretações de imagens de satélite (LANDSAT, TM 5 de 2008) entre 2006 e 2008, foram identificados 21 focos erosivos de grande porte do tipo ravinas e voçorocas na área selecionada para a pesquisa. Destes foram escolhidas as duas maiores voçorocas em função de suas dimensões e histórico de surgimento.

As bacias de contribuição das duas ocorrências erosivas estão ocupadas por pastagens cultivadas com brachiária, para criação de gado de corte (Nelore). Entre as décadas de 1960 e 1970 a vegetação natural, cerrado, foi retirada para implantação de lavoura de subsistência durante três anos. Conforme depoimentos de antigos moradores, após este período a lavoura foi substituída pela pastagem, uso que predomina até os dias atuais.

### 3.2.1 Voçoroca Córrego do André

A voçoroca do Córrego do André está conectada ao córrego homônimo, afluente do Córrego Manoel Gomes um dos mais importantes tributários da margem direita do rio das

Pedras, no centro-sul da Serra da Confusão do rio Preto. Esta voçoroca está localizada em borda de platô, próximo à escarpa, em  $18^{\circ}20'12''\text{S}$  e  $50^{\circ}37'28''\text{W}$  e 806 m de altitude.

O segmento da vertente onde instalou a voçoroca possui forma convexa-retilínea no trecho médio superior e, forma concavizada no setor mais a jusante, com declividade média em torno de 13%, rupturas de declive relativamente acentuadas onde aflora o arenito Marília sob o Cerrado (Figura 3).



**Figura 3.** Vista aérea parcial da bacia de contribuição da Voçoroca Córrego do André. A: Rupturas de declive e, B: encosta na qual foram obtidos dados topográficos.

### 3.2.2 Voçoroca Tingá

A voçoroca Tingá (Figura 4) está localizada no Centro-Norte da Serra da Confusão do rio Preto, a 3 km da voçoroca Córrego do André, em  $18^{\circ}18'30''\text{S}$  e  $50^{\circ}37'20''\text{W}$  e 770 m de altitude média local, sendo o córrego Tingá afluente do ribeirão Fortaleza, tributário do rio São Francisco que deságua no rio Paranaíba.



**Figura 4.** Vista parcial da encosta direita da voçoroca Tingá, suavemente convexizada-retilínea.

A vertente onde instalou a voçoroca possui forma suavemente convexa-retilínea nos setores superior e intermediário, sob domínio de solo muito arenoso e, concavizada no setor jusante, com ocorrência de Organossolo, bem como forte ruptura de declive junto à borda da serra, pois a voçoroca incidiu sobre a escarpa, provocando escalonamentos topográficos e pequenas cachoeiras até se conectar ao córrego Tingá, no sopé da encosta. Possui declividade média em torno de 10 %.

### 3.3 OBTENÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

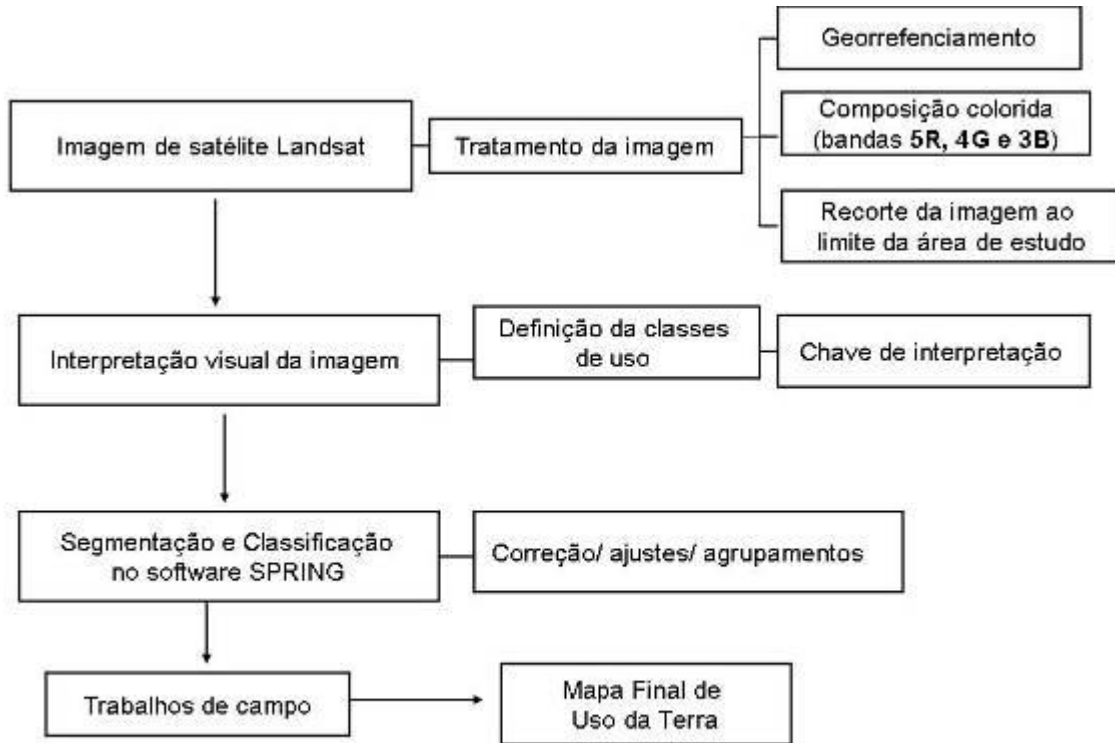
Os mapas temáticos do meio físico e de uso e ocupação do solo da área de pesquisa foram elaborados no Laboratório de Geografia Física (LABOGEF), do IESA/UFG, tendo como fonte imagens de satélites e imagens SRTM. Os recursos operacionais utilizados foram os softwares: Envi 4.3, Arc Map – ArcGis 9.2 e o Spring 5.0, CorelDRAW X3 versão 13.

Utilizou-se imagens do satélite Landsat TM (resolução de 60 m) 1980 e, Landsat TM5 (resolução de 30 m) 2008, (obtidas na página do INPE), para observar a evolução dos usos do solo e dos focos erosivos ao longo desse período. A escolha temporal das datas das imagens, a partir da década de 80, quando a modernização agropecuária estava em curso, foi determinada através da seleção da melhor qualidade da imagem, período do ano,

ausência de nuvens e de queimadas, utilizando-se a composição colorida RGB-543, que apresenta os melhores contrastes de uso do solo e permite visualizar os focos erosivos.

Os mapas de uso da terra (1980 e 2008) foram realizados no software Spring, a partir da ferramenta de classificação segmentada por regiões. Esta ferramenta utiliza como critérios de análise para a classificação a informação espectral de cada pixel e relação deste entre seus vizinhos (Moreira, 2003).

Assim, obedeceram-se às seguintes etapas identificadas no fluxograma (Figura 5).



**Figura 5.** Fluxograma de elaboração do mapa de uso da terra.

Ressalta-se que como a interpretação para classificação da imagem considera fatores como cor, textura, forma e relevo é necessário se adotar uma composição de bandas com falsa-cor. Adota-se, então, a composição nas bandas **5R, 4G e 3B** que apresenta forte semelhança com as cores da natureza e é frequentemente utilizada por facilitar a interpretação da cobertura e uso da terra.

Durante a elaboração de mapas de uso da terra nem sempre é possível abranger toda a complexidade de usos da área alvo de estudo. Segundo Diniz (1984), as classificações só podem ser julgadas “na esfera do adequado – inadequado; significativo – não-significante, e jamais na do certo e errado”.

Foram, então, identificadas na área de estudo as classes de uso antrópico (agricultura, pastagens, solo exposto, áreas urbanas), de remanescentes (Cerrado denso, Cerrado ralo e mata ciliar) e áreas de corpos d'água, sendo adotada para a chave de interpretação as características apresentadas na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Chave de interpretação adotada para a classificação dos tipos de usos do solo na Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno.

<b>Características</b>				
	<b>Textura</b>	<b>Tonalidade</b>	<b>Porte</b>	<b>Aspectos Associados</b>
<b>Classes de uso</b>				
<b>Mata Ciliar</b>	Homogêneo	Verde escuro	Alto	Fundos de Vale; cursos d'água
<b>Cerrado Denso</b>	Homogêneo	Verde médio	Médio/Alto	Formas irregulares
<b>Cerrado Ralo</b>	Grossa	Verde claro	Baixo	Árvores isoladas
<b>Cerradão</b>	Grossa	Verde Escuro	Alto	Formas retangulares/isoladas
<b>Agricultura</b>	Fina; aveludada e granular.	Rosa; verde claro.	Rasteiro	Formas geométricas; carreadores/pivôs.
<b>Pastagens</b>	Fina/homogênea/aveludada	Clara com algumas variações	Baixo	Formas geométricas, trilhas/árvores isoladas.
<b>Área Urbana</b>	Grossa	Cinza claro e médio	-	Formas geométricas/arruamentos
<b>Solo Exposto</b>	grossa	vermelho	-	Formas irregulares
<b>Pivôs</b>	Lisa	Vermelho/verde	-	Forma Circular, próxima a cursos d'água
<b>Água</b>	Lisa	Cinza escuro a negro	-	Áreas rebaixadas e fundos de vale

Fonte: Assad & Sano (1998).

Na definição e classificação das classes de uso foram necessários alguns ajustes e agrupamentos, em virtude, especialmente, do tamanho da área e escala. Assim, a fisionomia associada aos córregos e rios da área foram todas classificadas como mata ciliar. Em função da escala e métodos, não foi possível a diferenciação entre mata ciliar e mata de galeria que, segundo a classificação de Ribeiro & Walter (1998), baseia-se em critérios florísticos.

Após a classificação, edição das classes e agrupamentos necessários foram realizados os cálculos da área de cada uso mapeado e sumarização dos resultados da classificação em forma de tabelas.

As imagens foram georreferenciadas no Envi 4.3. Os mapas temáticos: geologia, geomorfologia e solo foram obtidos na página da Secretaria de Planejamento do Estado de Goiás (SEPLAN/SIEG) em formato digital, da folha Quirinópolis, articulação: SE 22-Z-A, escala 1:250000, as quais em seguida foram recortadas, de acordo com a seleção prévia da área e, finalizadas no ArcGis.

O mapa de drenagem da Serra da Confusão do rio Preto e seu entorno foi confeccionado por meio da compilação da imagem de drenagem obtida do mosaico do mapeamento Brasileiro do IBGE, associada com imagem da missão topográfica por Radar Interferométrico (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM), obtidos no site da NASA, e organizado no ArcGis.

Com dados topográficos do projeto produzido pelo SRTM foi possível a confecção dos mapas hipsométrico e clinográfico da área da serra e seu entorno, na escala 1:100000. Os mapas de usos do solo foram elaborados a partir da interpretação das imagens Landsat com o uso do Spring 5.0.

Os mapas temáticos de caracterização do meio físico também foram ajustados por meio de visitas técnicas na área da Serra da Confusão do rio Preto e seu entorno. Todos os mapas temáticos obtidos serviram para caracterizar o meio físico, biótico e de uso do solo da área de estudo, bem como para avaliar os fatores condicionantes, a suscetibilidade e os graus de risco aos processos erosivos.

### 3.4 OBTENÇÃO DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS DAS ÁREAS DE ESTUDO

Para a elaboração do perfil topográfico foram usados clinômetro, régua graduada e trenas de 10 m e 30 m, escolhendo-se a encosta mais adequada quanto à maior visibilidade para traçar uma reta, que nos dois casos foi à direita da erosão. Posteriormente, foram colocadas estacas alinhadas de 20 m em 20 m nas proximidades da voçoroca Córrego do André (declividade mais acentuada) e de 30 m em 30 m na voçoroca Tingá.

Em seguida procedeu-se à tomada de nível, utilizando o clinômetro. Os dados obtidos em campo foram transferidos para o papel milimetrado A3, possibilitando a elaboração do perfil topográfico. Em seguida foi realizada a leitura em scanner e, finalizado, utilizando o software CorelDRAW X4.

### 3.5 ESQUEMA DE COLETA DE AMOSTRAS NAS ÁREAS DE ESTUDO

Para o entendimento dos solos afetados pelas voçorocas investigadas foram feitas coletas de solos com estrutura deformada e indeformada em transects com extensão variando entre 40 m e 80 m, com 20 m de distância um do outro. Em cada transect foram coletados três pontos de coleta (A, B e C) com três repetições.

A coleta de amostras deformadas para a caracterização química e física dos horizontes dos perfis de solo representativos do segmento do relevo, foi feita com três repetições, a partir da base para o topo dos perfis (Figura 6).



**Figura 6.** Utilização de rapel para descrição morfológica dos taludes da voçoroca Córrego do André.

Foram descritos 17 perfis ao longo dos taludes da voçoroca Córrego do André e seis perfis do topo à jusante da voçoroca Tingá de acordo com o modelo de ficha descritiva proposta por Santos et al. (2005). Devido à inclinação e profundidade dos taludes (>25 metros), foi usada a técnica de rapel (Figura 6) para descrição dos horizontes e coletas de amostras de solo.

Na voçoroca Córrego do André em seus taludes foram coletadas 49 amostras deformadas e nove indeformadas com anéis volumétricos (todas com três repetições) e mais 12 amostras indeformadas (também com três repetições), nos transects nas proximidades da erosão.

Na voçoroca Tingá em seus taludes foram coletadas 35 amostras deformadas em seus taludes de montante para jusante e, cinco amostras indeformadas (com três repetições), mais cinco amostras indeformadas (com três repetições) no entorno da voçoroca (pastagens).

As amostras coletadas nos taludes das erosões foram analisadas quanto à densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade, fertilidade do solo.

A descrição morfológica dos solos foi realizada seguindo os procedimentos descritos em Santos et al. (2005), para classificar os solos da área de contribuição das erosões, bem como, inferir o comportamento hídrico superficial e sub-superficial e sua relação com as incisões erosivas analisadas.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e, enviadas para análises no Laboratório de Solo e Análise Foliar e no Laboratório de Física dos Solos da Escola de Agronomia da UFG.

## 3.6 ANÁLISES DOS SOLOS

### 3.6.1 Análises físicas

Para caracterizar os atributos físicos do solo foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos de 5x5 cm, sendo em seguida acondicionadas com filme plástico e papel alumínio e armazenadas na geladeira para a preservação de suas características, antes de se iniciar as determinações físicas. Essas amostras foram coletadas em perfis ao longo dos taludes das voçorocas e, em transeções perpendiculares as incisões em suas áreas de contribuição. Também foram coletadas amostras deformadas nos pontos referidos anteriormente para análises referentes à textura e umidade do solo. As amostragens foram realizadas no final do período de estiagem de 2007 e início do período chuvoso do mesmo ano.

#### 3.6.1.1 Ensaio de infiltração

Os ensaios de infiltração em campo foram feitos com um permeâmetro de Guelph (Soil Moisture Corporation, 1991), sendo realizados da cabeceira à jusante das voçorocas, a dez metros de sua borda, a 20 cm de profundidade, obtendo-se 15 leituras de dois em dois minutos com uma carga hidráulica de 5 cm. Posteriormente, foi elevada a 10 cm e realizadas mais 15 leituras a cada um minuto ou até a obtenção de três medições iguais de infiltração.

Foram realizados 26 testes no entorno da voçoroca Córrego do André e 18 testes na voçoroca Tingá. A taxa de infiltração foi calculada segundo o modelo proposto pelo manual do aparelho, como o exemplo a seguir:

$$\bar{R}_1 = \frac{(.3)}{60} = .005 \text{ cms}^{-1}$$

R1

$$\bar{R}_2 = \frac{(.5)}{60} = .0083 \text{ cms}^{-1}$$

R2

$$K_{fs} = [ (.0041) (35.39) (.0083) ] - [ (.0054) (35.39) (.005) ] = 2.5 \times 10^{-4} \text{ cms}^{-1}$$

Field Saturated	Reservoir	R <sub>2</sub> - Steady State	Reservoir	R <sub>1</sub> - Steady State
Hydraulic	Constant	Rate of flow	Constant	Rate of flow
conductivity				

Em que:

R<sub>1</sub> - média das últimas três leituras (2 minutos de intervalo) com carga hidráulica de 5 cm;

R<sub>2</sub> - médias das últimas três leituras (1 minuto de intervalo) com carga hidráulica de 10 cm.

35.39 cm<sup>2</sup> - volume constante do reservatório combinado (interno e externo).

### 3.6.1.2 Resistência do solo à penetração mecânica

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada com um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, (Stolf et al., 1983) na profundidade de 0 cm a 60 cm, sendo realizados 27 ensaios com três repetições cada em dez transectos de 40 m a 50 m de extensão perpendicular à cabeceira e bordas mais instáveis da erosão na voçoroca Córrego do André (Figura 7). Nessa área, em cada transect foram realizados três ensaios (A, B e C), a 10 m, 25 m e 40 m ou 50 m de distância da erosão, exceto os de número sete, oito e nove em função das proximidades da área de Cerrado, onde se realizaram apenas dois ensaios (A e B). O teste no transect 10 foi o mais longo, sendo iniciado a 100 m (A) da erosão, com o ponto médio a 150 m (B) e o último a 200 m (C) da cabeceira da erosão.

Na voçoroca Tingá foram feitas 22 penetrometrias distribuídas em sete transectos, com extensão aproximada de 80 m e, três pontos (A, B e C) com três repetições a cada 10 m ou 20 m (A), 40 m (B) e 80 m (C) distantes da borda da voçoroca, totalizando 66 penetrometrias na área. No sétimo transect, em pequena depressão com ocorrência de solo orgânico sotoposto pontualmente por sedimentos coluviais recentes, os testes foram

realizados em quatro pontos distintos, sendo respectivamente, A 20 m, B 30 m, C 40 m e D a 60 m da erosão (Figura 8).

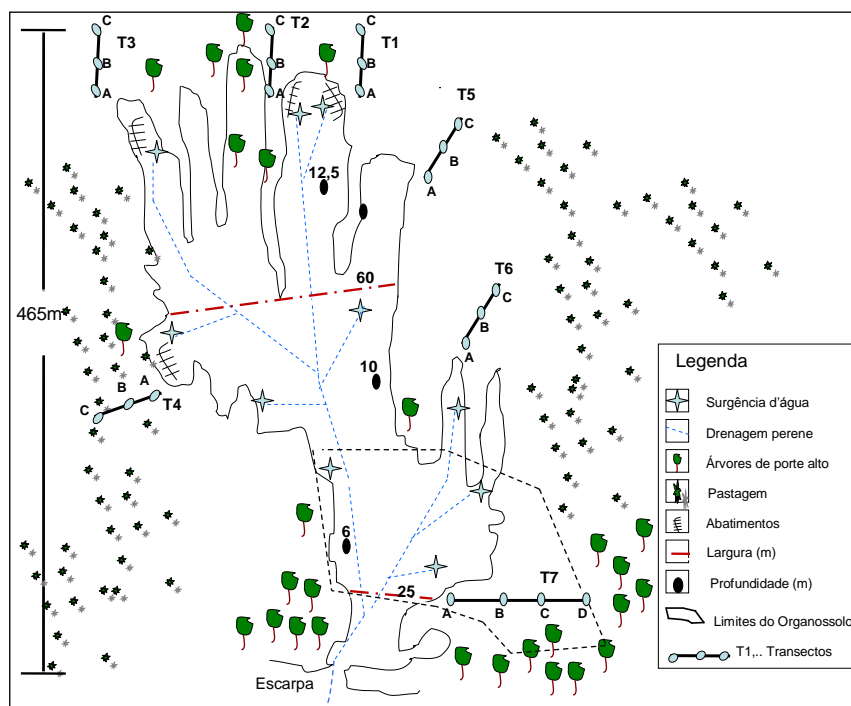


**Figura 7.** Transects (Ti, i=1 a 10), indicando os pontos dos testes de resistência à penetração e coleta de solos nas proximidades da voçoroca Córrego do André.

O princípio da utilização do penetrômetro é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste (ponta fina), após a aplicação do impacto de um bloco de ferro (4 kg), com queda livre de 40 cm. Quando o teste atinge zonas compactadas são necessários mais impactos para que a penetração da haste atinja uma mesma profundidade.

Os resultados expressos em impactos  $\text{dm}^{-1}$  devem ser transformados em unidades do Sistema Internacional, isto é,  $\text{kgf cm}^{-1}$  e posteriormente em mega pascal (MPa). Para efetuar essa transformação, é necessário utilizar a equação abaixo:

$$R = \frac{(M + m).g}{A} + \frac{f.M.g.h}{10A} .N$$



**Figura 8.** Transectos (Ti, i=1 a 7) indicando os pontos dos testes de resistência à penetração e coleta de solos nas proximidades da voçoroca Tingá.

Em que: R é a resistência do solo a penetração em  $\text{kgf cm}^{-2}$ ; M, é a massa de impacto (4 kg, modelo comercial); m, a massa do corpo do penetrômetro (3,2 kg); g, a aceleração da gravidade; f, a fração de energia restante para promover a penetração  $[M/(M+m)]$ ; h, a altura da queda da massa de impacto (40 cm); N, o número de impactos por decímetro; A, a área da base do cone de penetração de ponta fina ( $1,28 \text{ cm}^2$ ).

Essa equação pode ser resumida em:

$$R (\text{kgf cm}^{-2}) = 5,6 + 6,89.N$$

E, finalmente, para transformar  $\text{kgf cm}^{-2}$  em mega pascal (MPa) basta utilizar a equação:

$$R (\text{MPa}) = 0,0980665 \times \text{kgf cm}^{-2}$$

### 3.6.1.3 Textura

As análises granulométricas dos solos coletados na pastagem (0-20 cm de profundidade) em torno das erosões e nos taludes das voçorocas foram realizadas através do método do densímetro de Bouyoucos, no LASF/EA/UFG. Utilizou-se solução de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e dispersão lenta (mesa agitadora durante 2 horas). A fração areia total foi separada da fração fina (silte + argila) conforme descrito no método do densímetro

(Embrapa, 1997). A classificação da textura foi realizada a partir do triângulo textural apresentado por Santos et al. (2005).

#### 3.6.1.4 Densidade de partículas

A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi determinada pelo método do balão volumétrico (50 mL), segundo Blake & Hartge (1986). Subtraindo-se o volume de sólidos do volume de álcool gasto na análise.

#### 3.6.1.5 Densidade do solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico conforme Blake (1965), que consiste na relação entre a massa de solo e seu volume total, depois de passado pela estufa com temperatura entre 105°C e 110°C durante 24 horas.

#### 3.6.1.6 Volume total de poros (VTP)

Foi obtido através dos valores de densidade do solo ( $D_s$ ) e densidade de partículas ( $D_p$ ) através da expressão:  $VTP = [1 - (D_s/D_p)]100$  (Vomocil, 1965).

#### 3.6.1.7 Microporosidade e macroporosidade

A determinação da microporosidade foi realizada através da mesa de tensão, conforme Grohmann (1960). As amostras foram previamente saturadas com água destilada e submetidas à tensão de 60 cm de altura de coluna de água, para separar a porosidade não capilar, macroporosidade, e a capilar, microporosidade. A porcentagem da água retida nas amostras após equilíbrio expresso em volume, refere-se à microporosidade. A macroporosidade foi conseguida pela diferença entre a microporosidade e a porosidade total.

#### 3.6.1.8 Umidade gravimétrica

As amostras para determinação da umidade gravimétrica ( $U$ ) do solo foram coletadas com trado holandês em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) em cada ponto dos testes de resistência à penetração. Foi determinada com base em peso ou

umidade gravimétrica, expressa pela relação entre o peso da amostra úmida (a) e o peso da amostra seca (b), conforme Embrapa (1997). Assim descrita:

$$U = 100 (a-b) / b$$

### 3.6.2 Análises químicas

Para determinação do teor de nutrientes extraíveis dos solos coletou-se amostras deformadas na pastagem (0-20 cm de profundidade) em torno das erosões e nos taludes das voçorocas em profundidades variadas, de acordo com a disposição/espessura dos horizontes e/ou camadas de cada perfil investigado de 0-20, 20-50, 50-100, 100-150, 150-200 cm, e até mais de 200 cm de profundidade. As coletas foram realizadas no final do período seco de 2007 e durante o início do período chuvoso subsequente.

As análises para a obtenção das características químicas das amostras de solo foram realizadas no LASF/UFG, conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997). Foram determinados: pH em CaCl<sub>2</sub>; a MOS pela oxidação matéria orgânica por ácido crômico e ácido sulfúrico; P e K extraídos pelo método Mehlich-I e analisado por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente; Ca, Mg extraídos com KCl N e analisados por absorção atômica; a saturação por bases (V) foi determinada pela relação entre a soma dos valores de cátions básicos trocáveis e a soma dos cátions totais.

Essas análises foram importantes para melhor caracterização e classificação dos solos afetados pelas voçorocas, bem como, para identificar suas interferências na deflagração e evolução das referidas incisões erosivas.

## 3.7 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE CHUVA NA REGIÃO

A distribuição das chuvas na região foi avaliada para o período de 2001 a 2006, por meio de dados de chuvas coletados diariamente às 10:00 horas, por um proprietário rural com uso de um pluviômetro numa fazenda circunvizinha à voçoroca Tingá, e os dados de precipitação média mensal e anual coletados para região de Quirinópolis no período de 1972/2006 foram extraídos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2007).

### 3.8 ANÁLISE DOS DADOS

As variáveis foram analisadas por meio do teste de variância e de médias em cada área de estudo. Utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação de médias pelo SAS (Statistical Analysis System – SAS 2000) (Freund & Littell, 1981).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

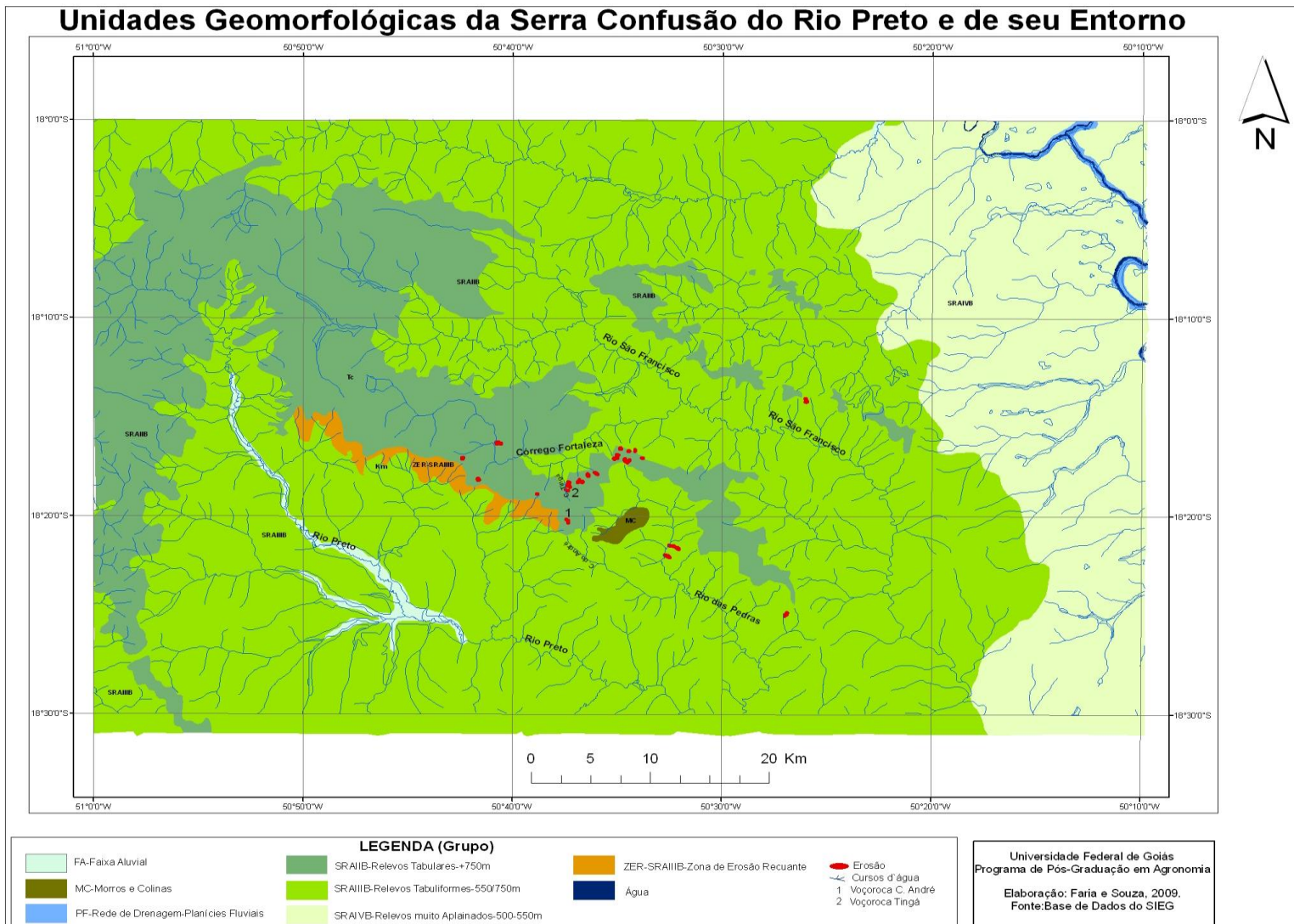
### **4.1 BREVE CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA SERRA DA CONFUSÃO DO RIO PRETO**

O Município de Quirinópolis está inserido na unidade geomorfológica regionalmente denominada de Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná. O recorte da área de estudo abrangendo a Serra da Confusão do rio Preto e seu entorno possui sub unidades geomorfológicas identificadas por Latrubesse & Carvalho (2006) (Figura 9).

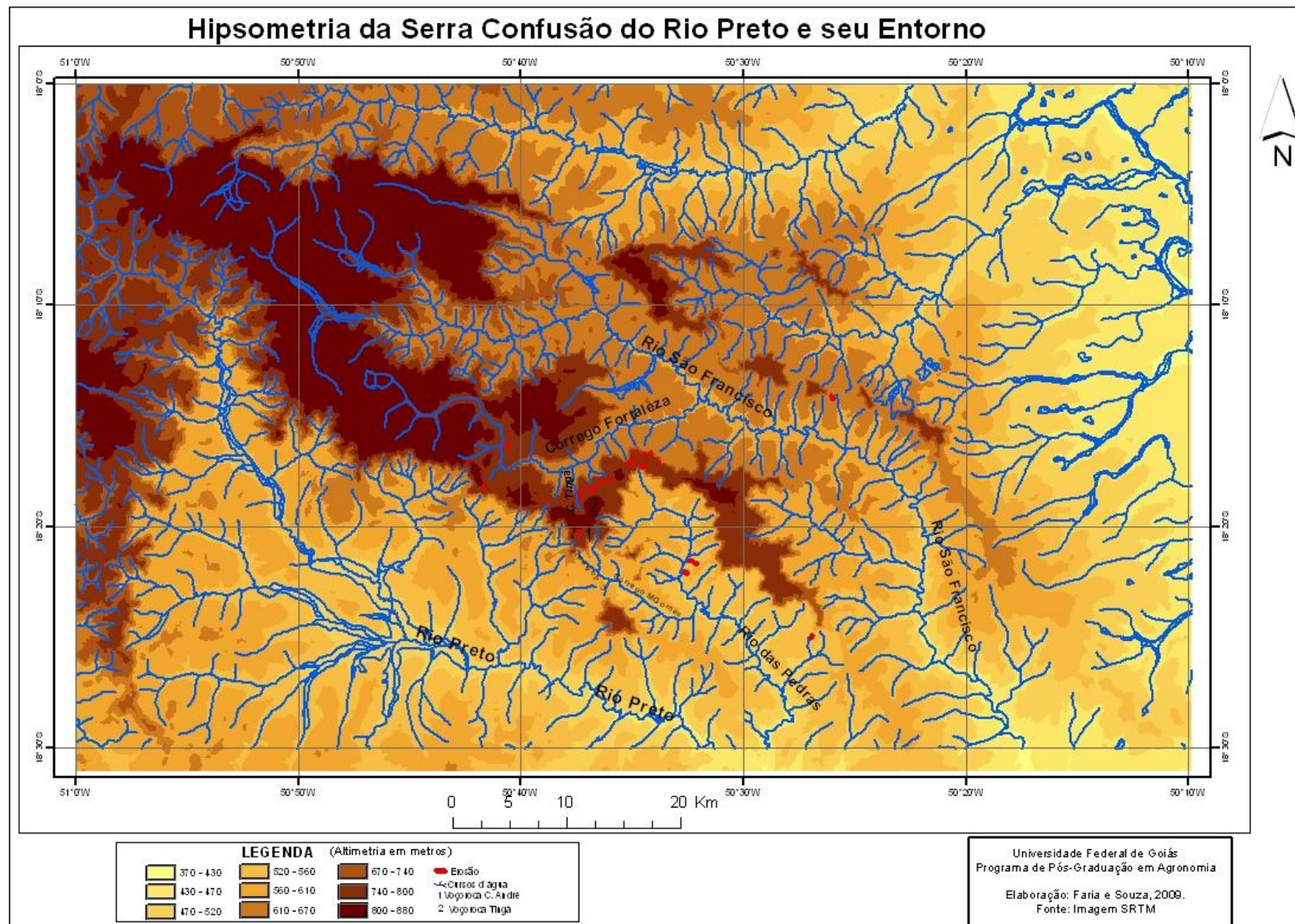
Na área ocorrem faixas e planícies aluviais ao longo da rede de drenagem, morros e colinas isolados, superfícies regionais de aplainamento subdivididos em três compartimentos, um constituído por relevos muito aplainados com altitude variando de 500 m a 550 m, o segundo denominado de relevo tabuliforme com altimetria entre 550 m e 750 m e, o terceiro identificado como relevo tabular com altitude superior a 750 m. Por último, bordejando os setores mais elevados do modelado regional ocorre a zona de erosão recuante, junto às escarpas contribuindo para a evolução da paisagem.

Foram identificados 21 focos erosivos de grande porte na área de estudo sendo que a maioria está localizada na superfície de aplainamento com mais de 750 m de altitude, incluindo as duas incisões selecionadas para a pesquisa.

No mapa hipsométrico (Figura 10) observa-se a topografia da Serra da confusão do rio Preto em nove classes de altitude: 370 m a 430 m = fundos de vale dos rios principais (dos Bois, São Francisco, das Pedras e rio Preto); 430 m a 470 m = terraços dos rios principais rios; 470 m a 520 m = setores planos a suave ondulados com vertentes retilíneas a convexas; 520 m a 560 m = compartimento intermediário plano a suavemente inclinado; 560 m a 610 m = compartimento intermediário ligeiramente convexizado bordejando os colúvios dos residuais; 610 m a 670 m = colúvios nos sopés dos relevos residuais, incluindo o da Serra da Confusão do rio Preto; 670 m a 740 m = escarpas erosivas; 740 m a 800 m = topo tabular, aplainado a suavemente convexizado à ligeiramente concavizado em direção às nascentes sobre os residuais e 800 m a 880 m = topos convexizados isolados.



**Figura 9.** Geomorfologia da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno.



**Figura 10.** Mapa hipsométrico da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno.

Nessa região a declividade varia de 0 % a 45% com predomínio de um setor rebaixado com valores oscilando entre 3 % e 6% (Figura 11), ocupado por lavouras de cana-de-açúcar e pequenas glebas ainda ocupadas por pastagens e lavouras de soja e/ou milho sob plantio direto. A declividade da região aumenta em direção ao topo da Serra da Confusão do rio Preto e de outros morros residuais similares. As voçorocas estudadas estão localizadas em encostas com declividade de 6 % e 20%.

O mapeamento do solo da Serra da Confusão mostrou solos profundos, antigos e bem desenvolvidos (Latosolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos) (Figura 12) nas áreas mais planas, sobre basalto da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Adamantina, ocorrendo também nos topos mais elevados, em arenitos da Formação Marília e sedimentos da Formação Cachoeirinha. Sobre estes ocorrem algumas erosões de grande porte como a voçoroca Córrego do André.

Outra classe de solo de maior porcentagem de ocorrência é a dos Argissolos, comuns em terrenos suavemente inclinados e entre 500 m a 700 m de altitude na região. Nas áreas com declive mais elevada, em especial junto às bordas de escarpas, ocorrem os Neossolos Litólicos e Cambissolos associados a estes.

No domínio dos arenitos da Formação Marília e da Formação Adamantina é comum a presença de Neossolos Quartzarênicos, como no topo da Serra da Confusão do rio Preto, que são muito friáveis e, por isso, destacam-se pela concentração de focos erosivos de grande porte, ravinas e voçorocas, como a voçoroca Tingá.

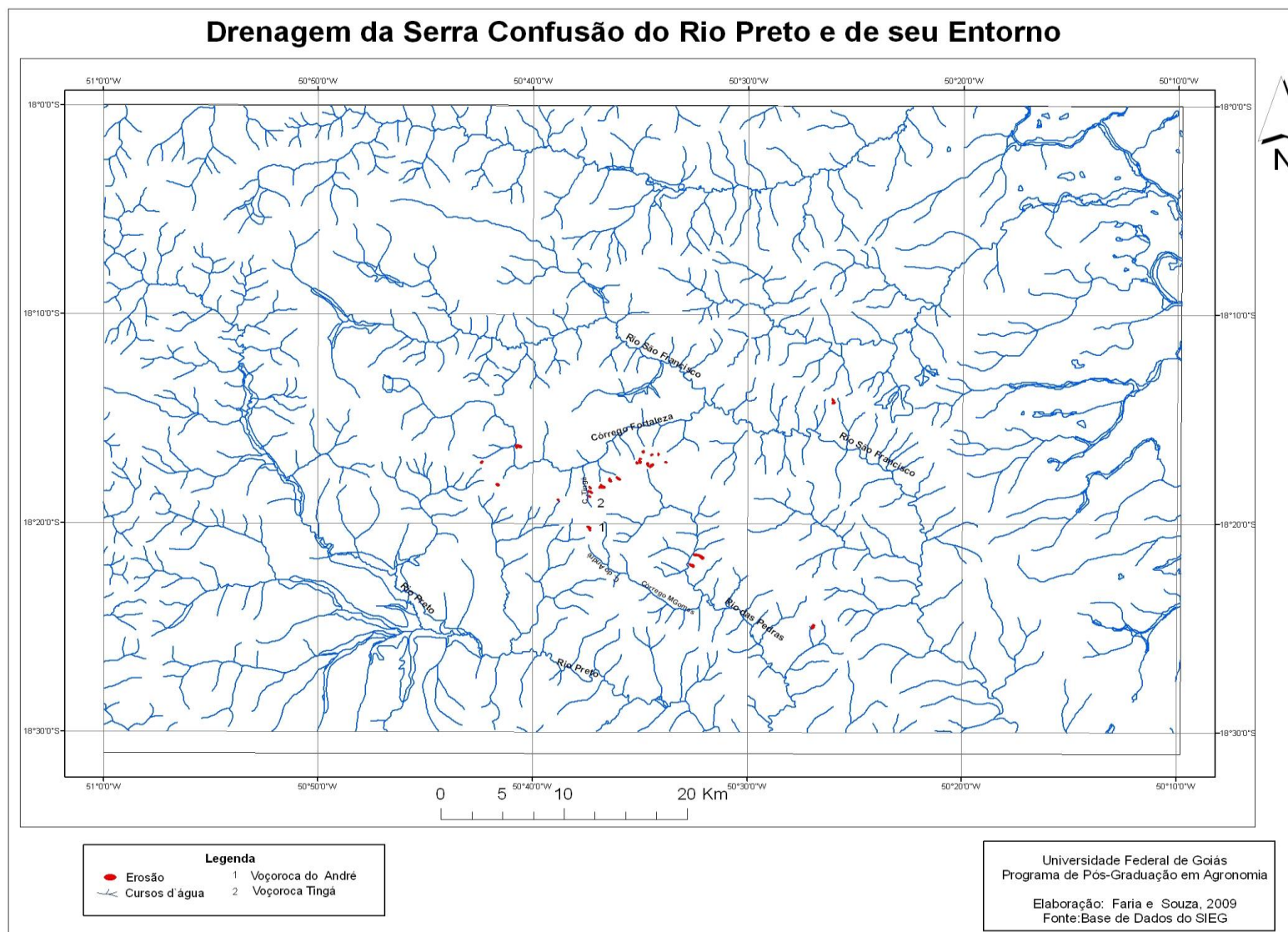
Pequenas ocorrências de Plintossolo Pétrico concrecionário, (utilizado como revestimento de estradas vicinais), Plintossolo Pétrico litoplúntico e Organossolo também foram observadas durante os trabalhos de campo no topo da Serra da Confusão do rio Preto, nas proximidades das nascentes do Córrego do André e Tingá, mas não estão representados no mapa devido à escala do mesmo. A região é drenada por rios tributários da margem direita do rio Paranaíba, pertencente à bacia do rio Paraná. Os rios principais correm no sentido noroeste – sudeste (Figura 13).

Sobre a Serra da Confusão do rio Preto nascem córregos que descem a escarpa em verdadeiros ressaltos topográficos de dezenas de metros de profundidade, formando inúmeras quedas d'água e belíssimas cachoeiras. Os córregos que drenam o norte da serra são afluentes do rio São Francisco, que corre no sentido Noroeste – Sudeste, bordejando a serra, na qual está à voçoroca Tingá.



**Figura 11.** Declividade da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno.

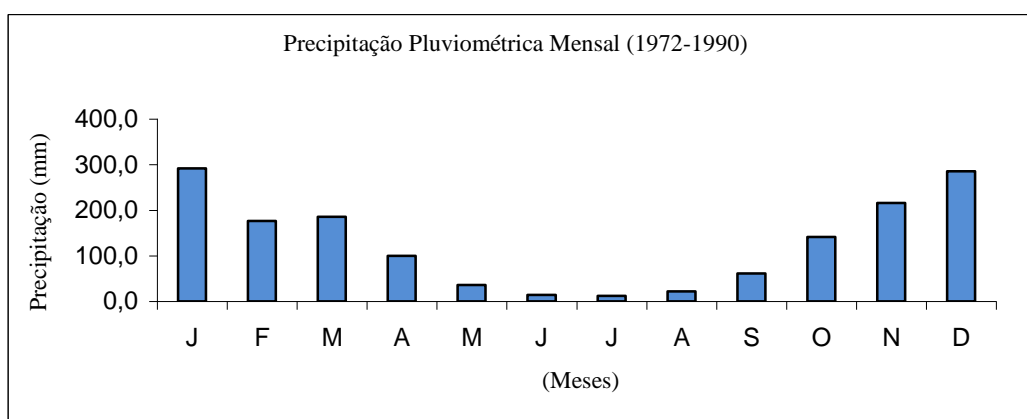




**Figura 13.** Drenagem da Serra Confusão do rio Preto e de seu entorno.

A voçoroca Córrego do André se localiza na área centro-sul da serra, onde nascem tributários do rio das Pedras, manancial que abastece a população, junto com os córregos e ribeirões que ocorrem na parte sudoeste da serra, tributários do rio Preto.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2007), na região o período chuvoso se concentra entre seis e sete meses (Figura 14). Nesse período há maior ocorrência de erosões lineares, sendo comuns chuvas com mais de 50 mm em apenas uma ou duas horas de duração, de grande impacto erosivo, em especial no final da estação chuvosa, quando os solos já se encontram saturados pelas águas das chuvas anteriores, momento em que os processos erosivos comandados pelo escoamento superficial e subsuperficial tendem a progredir com mais rapidez, dado o maior volume e velocidade das águas de enxurrada e mesmo de *piping*.



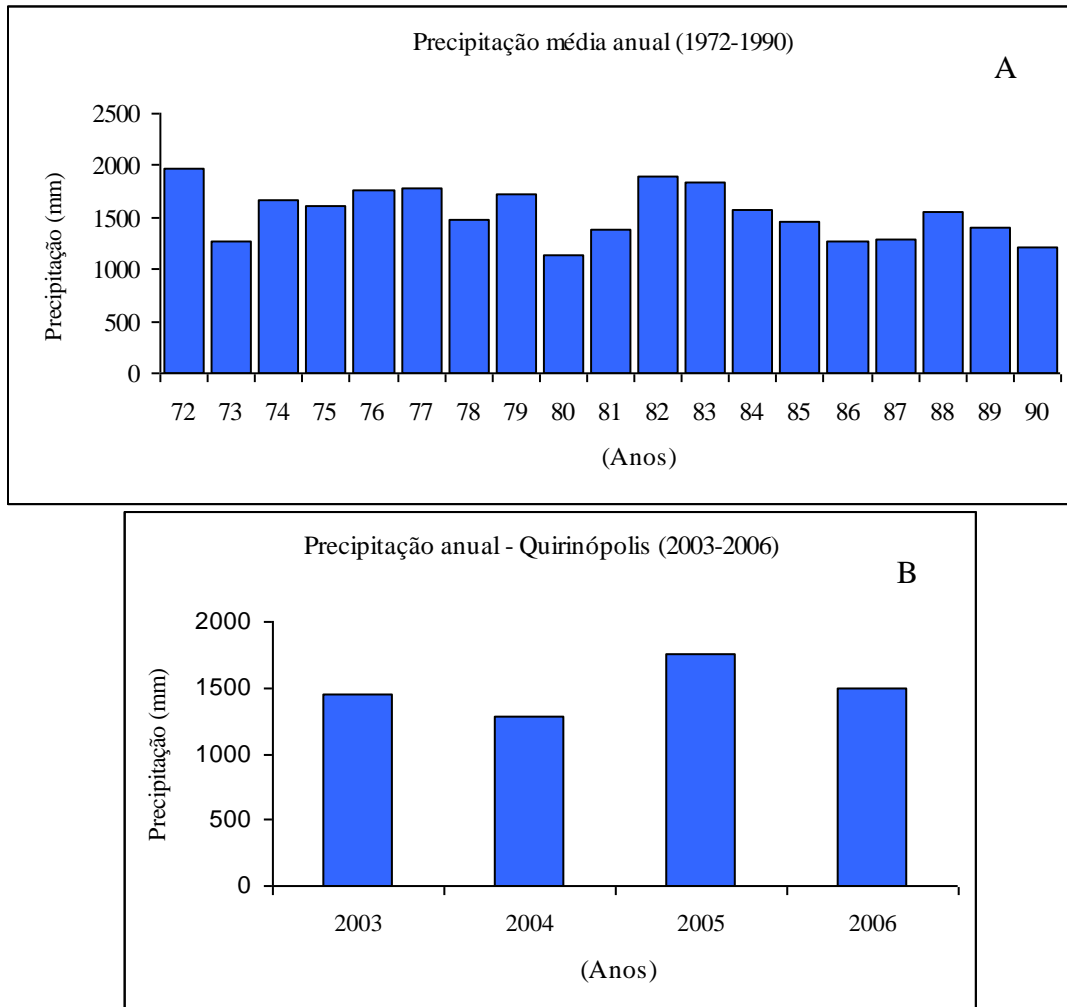
**Figura 14.** Precipitação média mensal de Quirinópolis no período de 1972 a 1990, (ANA, 2007).

De 1972 a 2006, a pluviosidade média anual oscilou entre 1.500 mm e 1.700 mm. Em alguns anos as precipitações anuais podem ficar abaixo de 1.300 mm e outros eventualmente acima de 1.800 mm (Figura 15).

Os anos mais chuvosos apresentam maiores riscos de formação e evolução de erosões lineares do tipo sulcos, ravinas e voçorocas. Na série observada, os anos de 1972, 1983 e 1984 foram os que apresentaram maiores índices pluviométricos. Contudo, foi no ano de 1975, com pouco mais de 1.500 mm de chuva que se instalou a voçoroca Tingá, podendo estar associada a um evento pluviométrico mais intenso, isolado.

Os dados pluviométricos coletados entre 2001 e 2006 na fazenda vizinha à voçoroca Tingá revelaram valores médios de pluviosidade superiores àqueles registrados pela ANA (2007), em uma estação localizada junto ao rio dos Bois. Os meses mais chuvosos, novembro a março, registraram pluviosidade média acima de 250 mm (Figura 16) cada um, sendo

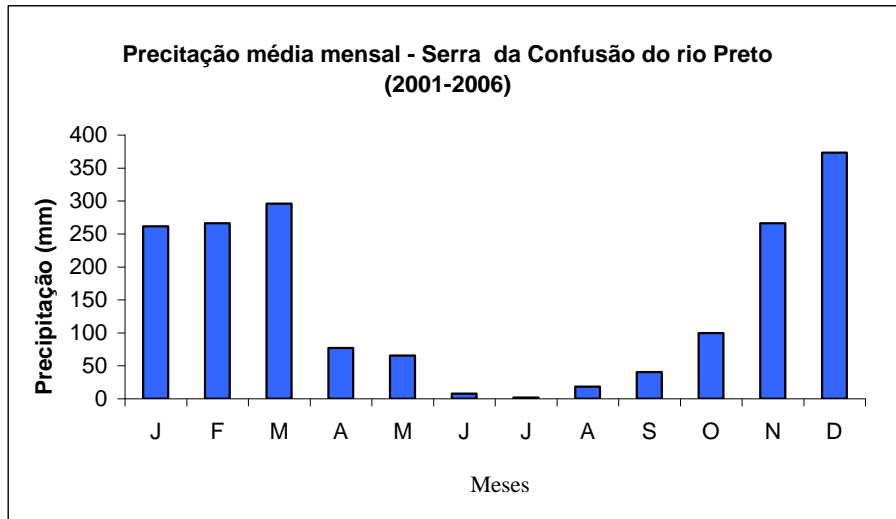
dezembro o mais chuvoso (= 373 mm) na serra. Esses dados são importantes para compreensão da dinâmica erosiva da área selecionada para a investigação.



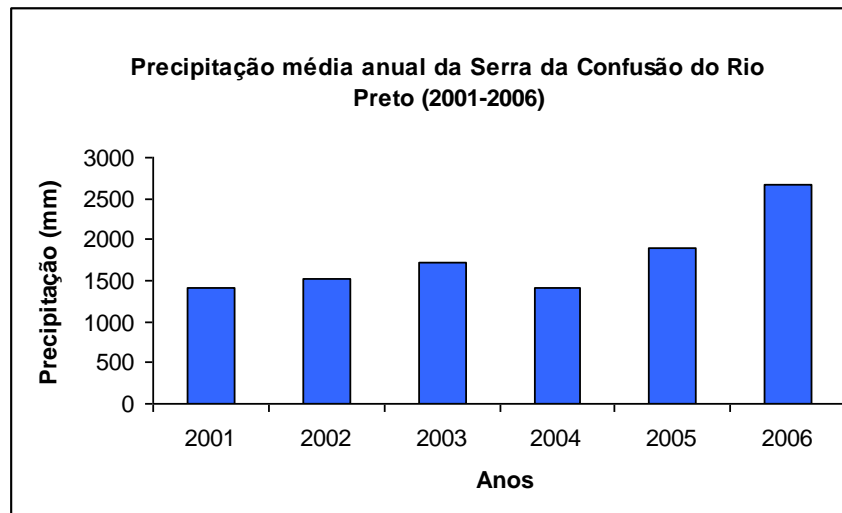
**Figura 15.** A. Precipitação Média Anual de Quirinópolis 1972/1990; B. Precipitação Média Anual de Quirinópolis 2003/2006, (ANA, 2007).

A média anual da série 2001 a 2006, registrada a partir dos dados do mesmo pluviômetro também ficou acima dos dados registrados pela ANA (Figura 17).

Vale destacar os anos de 2005 e 2006, com precipitações acima de 1800 mm, notadamente este último que superou os 2600 mm. Talvez por isso, no início de 2007 houve um grande movimento de massa nas proximidades dos focos erosivos estudados, que culminou no desenvolvimento de uma erosão já iniciada como voçoroca com mais de 50 m de comprimento, 3 m de profundidade e 40 m de largura.



**Figura 16.** Precipitação Média Mensal – Serra da Confusão do rio Preto em Quirinópolis 2001/2006, (Vilson Carvalho, 2007).



**Figura 17.** Precipitação Média Anual – Serra da Confusão do rio Preto em Quirinópolis 2001/2006. (Vilson Carvalho, 2007).

## 4.2 EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO

Na área de pesquisa e em seu entorno predomina o Cerrado com suas várias fitofisionomias, destacando-se o cerrado *stricto sensu* e o cerradão, ocupando as áreas mais elevadas do modelado e solos pobres quimicamente.

Boa parte dessa vegetação foi desmatada para a implantação de lavouras que posteriormente foram transformadas em pastagem. É justamente nessas áreas que estão concentrados os maiores focos erosivos, incluindo os que são objeto dessa pesquisa.

Nas áreas rebaixadas com presença de solos mais férteis provenientes da alteração do basalto, ocorre uma vegetação florestal mais densa, típica de floresta de transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica, a qual foi devastada para implantação de lavouras: arroz seguido por milho, depois soja/sorgo e atualmente a cultura da cana-de-açúcar. Nestas áreas não são verificadas erosões, talvez em função de a topografia ser plana, com menos de 6 % de declividade (Figura 11) e os solos serem argilosos.

#### **4.2.1 Uso da terra em 1980**

O mapa de uso da terra (Figura 18) indica que entre as atividades antrópicas identificadas, em 1980 predominou a atividade de pastagem, correspondendo a 42,72% (193.436,81 ha) da área, seguida pelas atividades agrícolas que com área de 130.729,19 ha que correspondem a 28,87%.

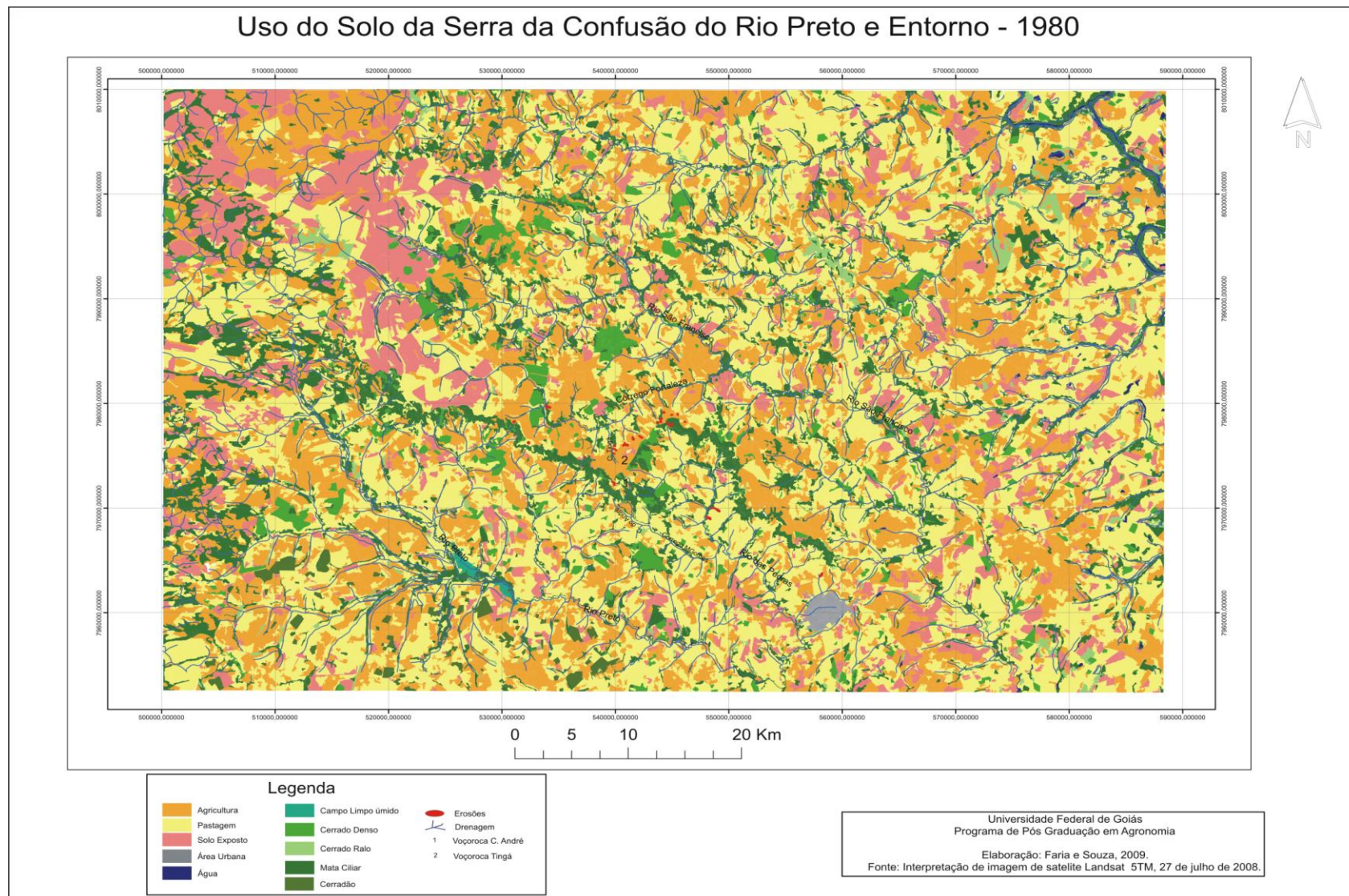
As áreas de solo exposto correspondem a áreas degradadas por atividades agrícolas que se encontravam, na data da imagem, abandonadas e correspondentes a 10,24% da área total. A área urbana de Quirinópolis corresponde a 0,24%.

Segundo a classificação de Ribeiro & Walter (1998), os remanescentes da vegetação nativa foram identificados, em mata ciliar, cerrado denso, cerrado ralo e cerradão. Estas classes correspondem a fragmentos de cerrado, raramente grandes, as áreas de reserva legal, ou áreas onde não são possíveis atividades agropecuárias. Encontram-se, portanto, “ilhados” pelos usos predominantes de pastagens e agricultura.

A predominância é de fitofisionomia de mata ciliar que corresponde a 11,61% da área de estudo. Segundo Ribeiro & Walter (1998), esse dado pode estar superestimado devido à zona de transição nem sempre evidente entre essa fisionomia e a formação florestal.

A classe de cerrado denso corresponde a 4,02% da área e encontra-se dispersa e restrita a pequenos fragmentos, que não se apresentam conectados com as demais formas de vegetação nativa, situação semelhante aos fragmentos da classe de cerradão, que se encontram situados na porção sudoeste da área e correspondem a 0,61% do total.

Foram identificadas ainda as classes de Campo Limpo Úmido (0,09% da área), situados próximo ao Rio Preto e áreas de Cerrado Ralo (1,22% da área), que possivelmente já correspondiam a áreas de vegetação degradadas. A classe de água correspondente a áreas de represas e lagos representando 0,36% da área de pesquisa (Tabela 2).



**Figura 18.** Mapa de uso do solo da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno – Ano 1980.

**Tabela 2.** Quantificação do uso do solo no município de Quirinópolis em 1980.

	<b>Usos da Terra</b>	<b>Área (hec)</b>	<b>%</b>
<b>Usos antrópicos</b>	Agricultura	130.729,19	28,87
	Pastagens	193.436,81	42,72
	Solo Exposto	46.367,95	10,24
	Área Urbana	1.068,35	0,24
	<b>Sub-Total de usos antrópicos</b>	<b>371.602,30</b>	<b>82,07</b>
<b>Vegetação Remanescente</b>	Campo limpo Úmido	403,04	0,09
	Cerrado Denso	18.212,85	4,02
	Cerrado Ralo	5.543,23	1,22
	Cerradão	2.783,64	0,61
	Mata Ciliar	52.570,50	11,61
	<b>Sub-total de Vegetação remanescente</b>	<b>79.513,26</b>	<b>17,56</b>
	Água (*)	1.650,83	0,36
	<b>Total</b>	<b>452.766,39</b>	<b>100,00</b>

(\*) canais de drenagem, lagos, represas.

#### 4.2.2 Uso da terra em 2008

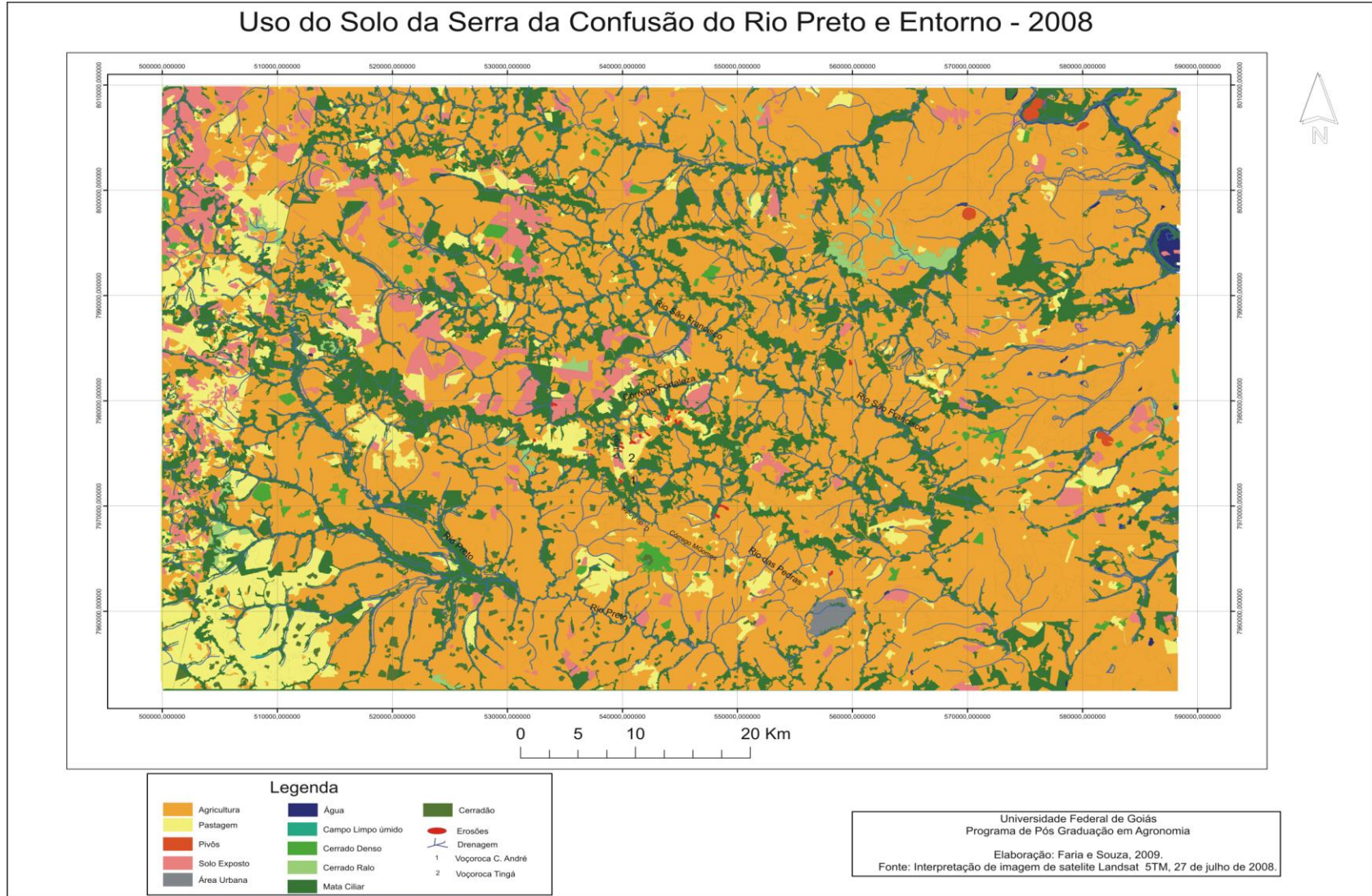
A Figura 19 mostra que a agricultura, corresponde a 312.313,01 ha, ou seja, 68,98% da área, predominando o uso da terra, seguida por pastagens que ocupam 9,28 % da área. As áreas de solo exposto correspondem a 5,39% da área total, enquanto a área urbana de Quirinópolis corresponde a 0,22%. Foram identificadas ainda como área antropizada a classe de pivôs, que correspondem a 0,19% da área.

Dentre os remanescentes a predominância é de mata ciliar que corresponde a 12,43% da área de estudo. Essa classe, embora predominante, apresenta-se fragmentada devido ao processo de desmatamento. Alguns cursos d'água não apresentam essa vegetação ou a apresentam de forma descontínua.

A classe de Cerrado denso corresponde a 1,53% da área, enquanto as áreas de Cerrado ralo a 0,90%; as áreas de cerradão a 0,74% e as áreas de campo limpo úmido a 0,01%. A classe de água representa 0,33% da área de pesquisa (Tabela 3).

Analisando-se a Tabela 3 e a Figura 19, pode-se constatar que a cobertura vegetal natural remanescente não chega a 15,61% da área total e que os usos antrópicos





**Figura 19.** Mapa de uso do solo da Serra da Confusão do rio Preto e de seu entorno – Ano 2008.

correspondem a quase 84,06% da área. Observa-se ainda, quanto à cobertura vegetal que as matas ciliares (Áreas de Preservação Permanente - APP, protegidas por lei), além de responderem pelo domínio em área de cobertura natural, não são contínuas, o que não se observa para os demais tipos de vegetação natural, cujo aspecto é de remanescentes fragmentários, incluindo-se as reservas legais e outros tipos de áreas de preservação permanente.

**Tabela 3.** Quantificação do uso do solo no município de Quirinópolis em 2008.

	<b>Usos da Terra</b>	<b>Área (hec)</b>	<b>%</b>
<b>Usos antrópicos</b>	Agricultura	312.313,01	68,98
	Pastagens	42.036,77	9,28
	Solo Exposto	24.407,27	5,39
	Área Urbana	1.002,46	0,22
	Pivôs	841,45	0,19
		<b>Sub-Total de usos antrópicos</b>	<b>380.600,96</b>
<b>Vegetação Remanescente</b>	Campo limpo Úmido	36,42	0,01
	Cerrado Denso	6.945,10	1,53
	Cerrado Ralo	4.080,51	0,90
	Cerradão	3.354,34	0,74
	Mata Ciliar	56.260,59	12,43
	<b>Sub-total de Vegetação remanescente</b>	<b>70.676,96</b>	<b>15,61</b>
	Água (*)	1.488,47	0,33
	<b>Total</b>	<b>452.766,39</b>	<b>100,00</b>

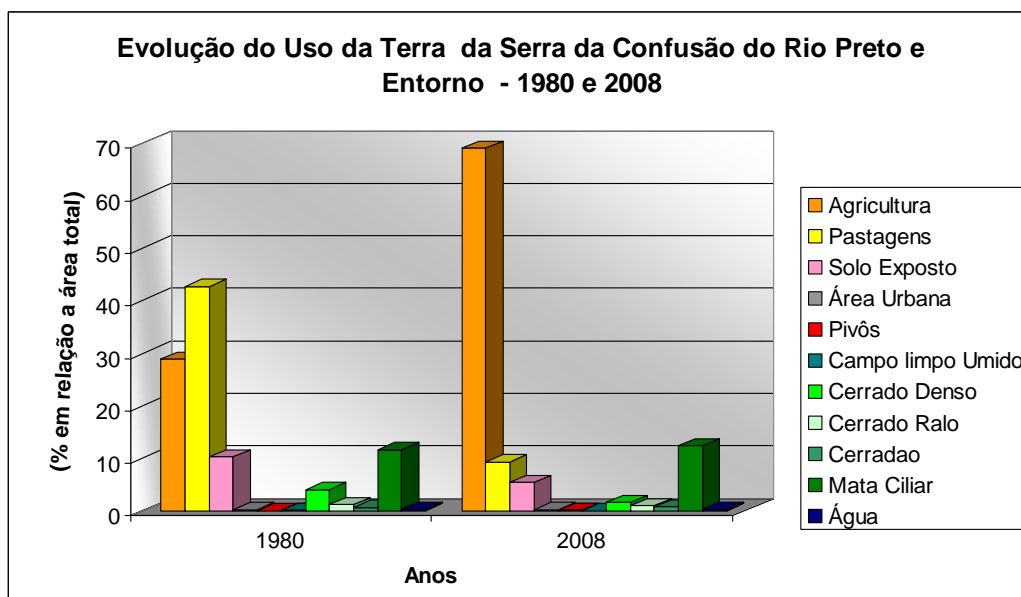
(\*) canais de drenagem, lagos, represas.

#### 4.2.3 Evolução do uso do solo – 1980 e 2008

Ao se comparar os mapas e dados quantitativos dos anos de 1980 e 2008 (28 anos), verifica-se em muitas áreas a substituição das pastagens por culturas (Figura 20), em consequência das políticas públicas direcionadas para a região que, a partir da década de 1980, incentivaram a modernização da agricultura e a transformaram em um grande pólo agrícola do Estado.

Verifica-se também que a maioria das classes de vegetação natural remanescente teve um decréscimo em sua área total (Figura 20), indicando ações antrópicas. A classe de

mata ciliar teve um aumento em 2008 em relação a 1980. Esse fato pode estar associado à recomposição natural após desmatamento para implantação de pastagens na década de 80.



**Figura 20.** Gráfico da mudança do uso da terra entre os anos de 1980 e 2008.

A entrevista realizada aos moradores locais revela que na Serra da Confusão do rio Preto há um predomínio das práticas pecuárias, com pastagens cultivadas e algumas pequenas glebas pontuais de lavoura que apresentam elevada produtividade em relação a outras áreas rebaixadas do município. Revelam também que as maiores erosões lineares que se instalaram tiveram sua gênese associada a fortes eventos pluviais, em áreas com elevada umidade ao longo do ano, nas proximidades de cursos d'água, próximas as bordas de escarpas e, que foram inicialmente ocupadas por lavouras tradicionais, de coivara, substituídas pela gramínea brachiária (*Brachiaria decumbens*). Foi a partir da implantação da pastagem que deflagrou o surgimento das grandes incisões erosivas.

A maior fragilidade natural da Serra da Confusão do rio Preto quanto a ocorrência de processos erosivos está associada ao substrato (arenito da Formação Marília), muito friável, presente à borda de escarpa. Além disso, a declividade, forma e comprimento da encosta, bem como, as características da cobertura pedológica, com predomínio de solos arenosos (Neossolos Quartzarênicos) e Latossolos Vermelhos sotopondo horizontes concrecionários, potencializam a área como altamente suscetível aos processos erosivos.

Portanto, faz-se necessário repensar o tipo de uso do solo da região, visando conter e/ou estabilizar as incisões erosivas atualmente ativas e mesmo, evitar o surgimento de novos focos erosivos.

## 4.3 CADASTRAMENTO DAS VOÇOROCAS SELECIONADAS NA REGIÃO

Foram cadastradas as duas maiores incisões erosivas da Serra da Confusão do rio Preto, uma sobre cobertura pedológica representada pelo Latossolo Vermelho, Plintossolo Pétrico Concrecionário e Gleissolo Háptico (voçoroca Córrego do André) e outra sobre Neossolo Quartzarênico e pequena ocorrência de Organossolo Háptico (voçoroca Tingá), utilizando metodologia de cadastramento do IPT (1986, 1998) com adaptações.

### 4.3.1 Voçoroca Córrego do André

O cadastro da voçoroca do Córrego do André (Tabela 4) foi elaborado a partir de trabalhos de campo para investigação dos mecanismos que comandam a sua evolução somadas as informações extraídas das entrevistas com antigos moradores das proximidades da erosão e que conhecem o problema.

**Tabela 4.** Ficha de cadastro da voçoroca Córrego do André.

FICHA DE CADASTRO DA EROSÃO			
1. Identificação e localização da erosão		Estado: GO	Município: Quirinópolis
<b>Descrição:</b> Voçoroca Córrego do André		<b>Localização:</b> Fazenda Fortaleza, Proprietário: José Quirino.	
<b>Acesso:</b> GO 206 Quirinópolis a Caçú, a 5 km do sítio urbano, estrada rural à direita que dá acesso a Serra Confusão do rio Preto, mais 25 km até a Fazenda Fortaleza, margem esquerda da referida estrada.			
2. Dados regionais			
<b>Bacia Hidrográfica:</b> Córrego do André, Córrego Manoel Gomes, Rio das Pedras, Rio Preto, Rio Paranaíba, Bacia do Rio Paraná.		<b>Geomorfologia:</b> Superfície erosiva tabular. Relevo residual de topo aplanado, limitado por escarpas erosivas.	
<b>Geologia:</b> Grupo Bauru, Formação Marília, constituída por arenitos finos a grosseiros, predominantemente mal selecionados, vermelhos, róseos-amarelados e esbranquiçados.		<b>Pedologia:</b> Latossolo Vermelho (LV), Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc) e Gleissolo Háptico Tb distrófico (GXbd).	
<b>Vegetação Original:</b> Vegetação Higrófila Florestal no setor inferior da encosta, e Cerrado ralo a denso nos trechos médio e superior. Este último foi desmatado para implantação de lavouras e pastagens.			
3. Dimensões da erosão			
Comprimento: 600m	Largura: 60m	Profundidade: 20m	Volume: 720.000m <sup>3</sup>
4. Características da área de contribuição			
<b>Uso e ocupação da área de contribuição:</b> Pastagem cultivada com brachiária ( <i>Brachiaria decumbens</i> ).			
<b>Causas, condicionantes e atenuantes:</b> Um entrevistado, antigo morador da região, informou que essa erosão surgiu em novembro de 1966. Após a “queda de uma grande nuvem escura na Furna do André”, denominação regional para intenso festonamento da serra nas proximidades do córrego homônimo e, presença de um grande ressalto topográfico, culminando em uma cachoeira com dezenas de metros de queda d’água. Segundo o morador, o episódio ocorreu no final da tarde provocando um forte estouro em área que “merejava água,” desencadeando o surgimento da “grota,” já com grandes dimensões. Neste período, havia na região pequenos cultivos pontuais de arroz, milho e feijão em roçados, ou seja, em lavouras cultivadas em áreas com derrubadas manuais e queimas de matas às margens dos cursos d’água, bem como, pastagens em áreas de antigas lavouras. A voçoroca surgiu inicialmente junto ao córrego do André e, ao longo dos anos foi regredindo em direção ao topo da encosta. Sua evolução foi fortemente incrementada após a construção de grandes terraços do tipo murundus, no início da primeira década deste século, nos trechos médio e superior da bacia de contribuição da erosão, como tentativa de conter a			

sua evolução. Contudo, essa medida aumentou os fluxos superficiais e subsuperficiais em direção à cabeceira da erosão, provocando o rompimento de muitos terraços o que contribuiu para intenso aumento das dimensões da erosão. O uso atual do solo, pastagem com predomínio de brachiária e secundariamente, grama batatais (invasora) com intenso pisoteio de gado de cria (Nelore) tem agravado os mecanismos erosivos da referida voçoroca.

#### 5. Características da voçoroca

**Dinâmica Erosiva (Características gerais):** A voçoroca possui forma linear/bulbiforme, possuindo quatro ramificações principais, relativamente pouco extensas, com aproximadamente 50 m de extensão, uma em sua margem direita e três na margem esquerda. A ramificação mais à jusante (em seu lado esquerdo encontra-se totalmente estabilizada, com presença de vegetação em suas bordas e em seu interior, apresenta ainda drenagem perene. As outras duas, no trecho médio/superior da voçoroca, na mesma borda (esquerda) estão com forte tendência de progressão lateral, em função da concentração do escoamento superficial, principalmente ao longo dos canais de cinco terraços neste setor (Figuras 21 e 22). Estas evoluem apenas durante o período chuvoso, pois, ainda não interceptaram o lençol freático, portanto, caracterizam-se como ravinas. Contudo, no ponto comum (jusante) dessas ravinas ocorre exfiltração do freático que somado à surgência d'água na ramificação da margem direita, caracteriza a erosão neste setor (trecho médio) como voçoroca, porém, a cabeceira, apresenta características de ravina extremamente instável, com taludes muito íngremes, com profundidade máxima de 25 m e média em torno de 20 m. Os mecanismos erosivos associados ao escoamento superficial, nos taludes e talvegue da erosão, conferem elevada instabilidade representada pelos sulcos profundos nos taludes, fendas de tração (trincas) entorno da voçoroca, abatimentos sucessivos provocados pelos descalçamentos dos taludes, alcovas de regressão, efeito cachoeira, marmitas, dentre outros mecanismos (Figura 23, 24 e 25).

**Previsões de evolução:** A erosão tende a evoluir lateral e remontantemente, principalmente em seu trecho médio/superior em função da concentração do escoamento pluvial nos canais dos terraços que transbordam durante os eventos chuvosos mais intensos. Além disso, a compactação do solo neste setor efetuada pelo pisoteio ininterrupto do gado, notadamente em inúmeras trilhas que circundam a incisão erosiva (vide Figura 21) agravam os efeitos do *runoff* que atingem os taludes já altamente instáveis patrocinando o desencadeamento de alcovas de regressão e outros mecanismos associados, notadamente entre os horizontes Bw e o C e na base deste último. Destarte, as bordas ficam estabilizadas proporcionando contínua progressão da erosão durante o período chuvoso.

#### 6. Principais impactos

Dentre os impactos dessa erosão vale destacar os seguintes:

- Perda de solo local com redução de área de pastagem e APP (Área de Preservação Permanente);
- Assoreamento do córrego do André e conseqüentemente do córrego Manoel Gomes e rio das Pedras; este último é o manancial que abastece a população Quirinopolina. Além de assorear também os rios Preto, Paranaíba e a barragem da UHE de São Simão.
- Riscos de acidentes por quedas de animais e pessoas dentro da voçoroca.

#### 6. Medidas Preventivas e de contenção implantadas:

Construção de grandes terraços do tipo murunduns com até dois metros de altura e plantio de mudas isoladas de bambu dentro da erosão (Figura 26).

#### 7. Medidas preventivas e de contenção sugeridas:

Como medida preventiva do processo erosivo sugere-se a adequação do uso do solo local à sua capacidade de suporte evitando o desencadeamento de impactos ambientais dessa natureza, enquanto que as alternativas de contenção definitiva visam estabilizar a ocorrência erosiva por meio de práticas vegetacionais (plantas nativas e exóticas) até implantação de obras de engenharia e bioengenharia mais complexas.

##### 7.1 Área de contribuição

Dentre as inúmeras possibilidades de intervenções para estabilizar a erosão, sugerem as listadas a seguir:

- a) Isolamento da área em um raio igual ou superior a 100 metros das bordas da erosão, para impedir o trânsito de animais (bovinos e equinos) e favorecer o repovoamento espontâneo em torno da erosão;
- b) Revegetar com espécies nativas típicas da região a área de contribuição para reduzir a velocidade do escoamento superficial que atinge a cabeceira e os taludes da voçoroca.

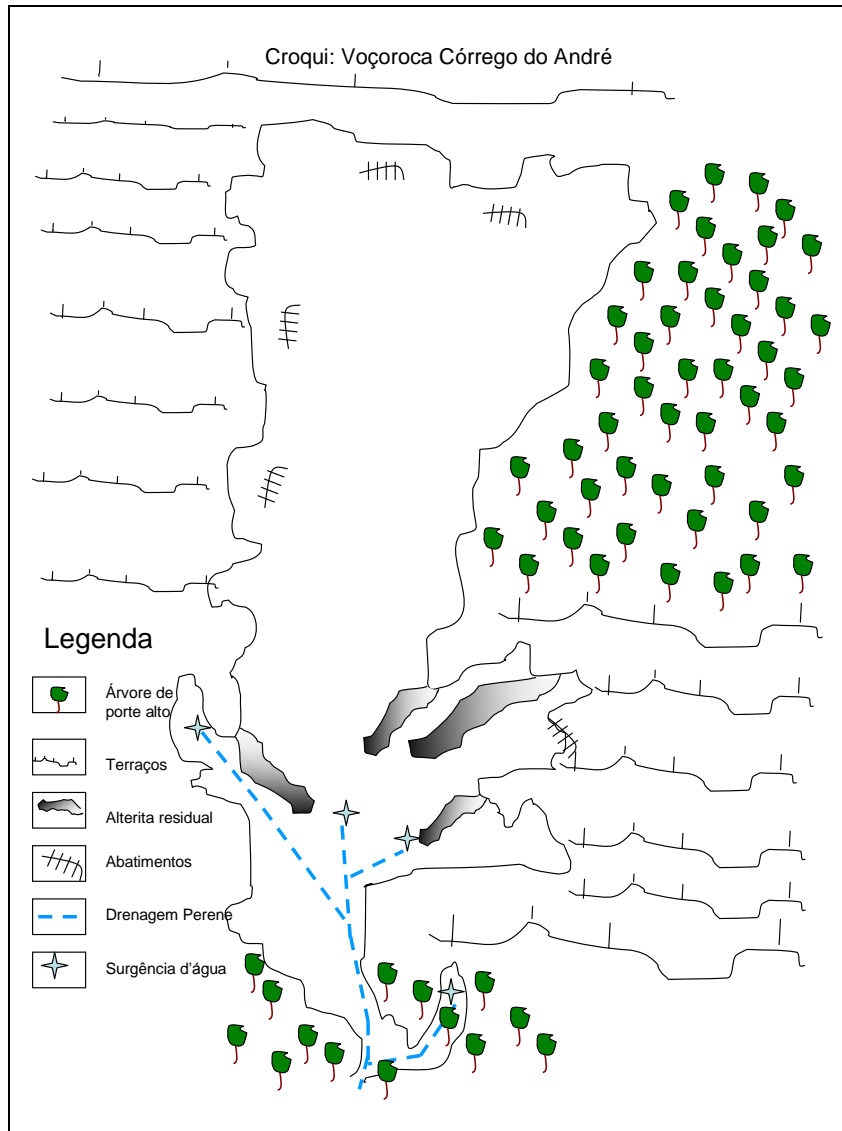
##### 7.2 Voçoroca

- a) Plantar espécies nativas de árvores dentro da voçoroca e em pontos mais distantes de sua borda para evitar o efeito alavanca;
- b) Colocar estruturas em tela gabião e “pedra marruada” junto aos sopés e bordas dos taludes para aumentar a sua resistência e reter os sedimentos de montante.
- c) Revegetar os taludes com espécies de gramíneas apropriadas, como mix (várias espécies, ex.: *Brachiária Decumbens*, feijão-guandu e andropogon, dentre outras) proposto por Pereira (2006) e protegidos com biomanta antierosiva.

d) Plantar a gramínea Vetiver ( <i>Vetiveria zizanoides</i> ) nos sopés dos taludes e nas proximidades da jusante da erosão. Essa gramínea é perene, não palatável e possui sistema radicular muito profundo e resistente, portanto, apropriada para este caso, pois, retém os sedimentos de montante e aumenta a resistência de cisalhamento do solo.		
9. Ensaio realizado		
9.1. Infiltração com Permeômetro de Guelp	9.3. Química completa	
9.2. Textura – Densímetro	9.4. Resistência à penetração – Penetrômetro de impacto	
10. Vazão: 33,6L/min. / 2.016L/h (medida em 29/09/2008)		
11. Identificação da ficha		
Referências: Sr. Agostinho Barcellos dos Santos e Sr. José Quirino		
Equipe: Alik Timóteo de Sousa	Localização: 18°20'12"S / 50°37'28"W. Altitude: 806 m	Data: 29/09/2008



**Figura 21.** Vista aérea parcial da voçoroca com quatro ramificações secundárias ( $R_i$ ,  $i=1$  a 4) e uma principal e mais extensa (cabecera) e trilhas de gado circundando a erosão.



**Figura 22.** Croqui da voçoroca Córrego do André, (SOUSA, 2008).



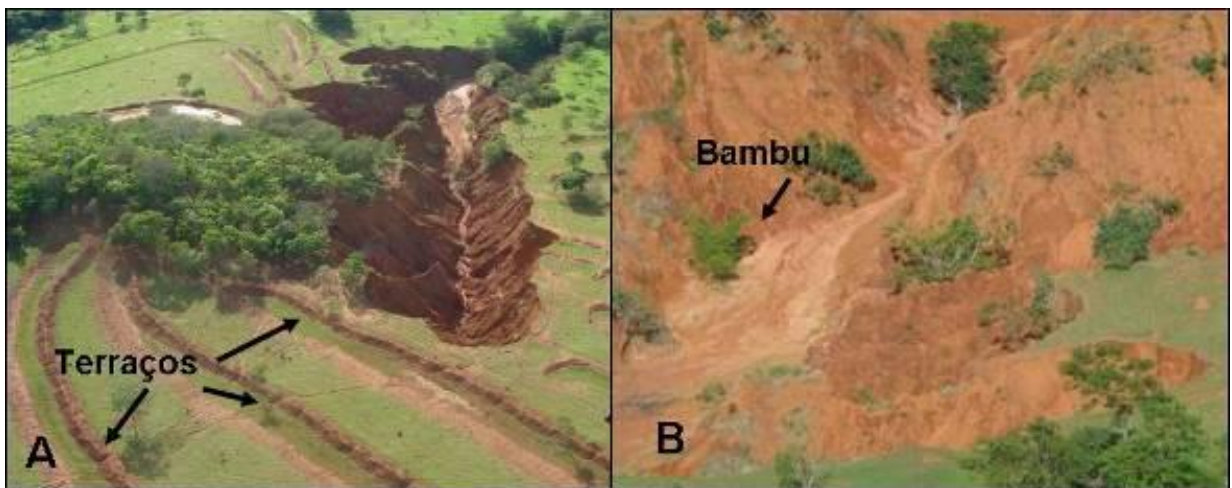
**Figura 23.** Mecanismos erosivos na voçoroca. A. Sulcos no talude direito; B. Fendas de tração no talude esquerdo, (SOUSA, 2008).



**Figura 24.** Vista parcial das ramificações muito instáveis do lado esquerdo da voçoroca, (SOUSA, 2008).



**Figura 25.** Escoamento superficial concentrado na cabeceira da voçoroca, (SOUSA, 2008).



**Figura 26.** Tentativas de contenção da voçoroca; A. Implantação de terraços do tipo murundum; B. Plantio de bambu no interior da erosão, (SOUSA, 2008).

### 4.3.2 Voçoroca Tingá

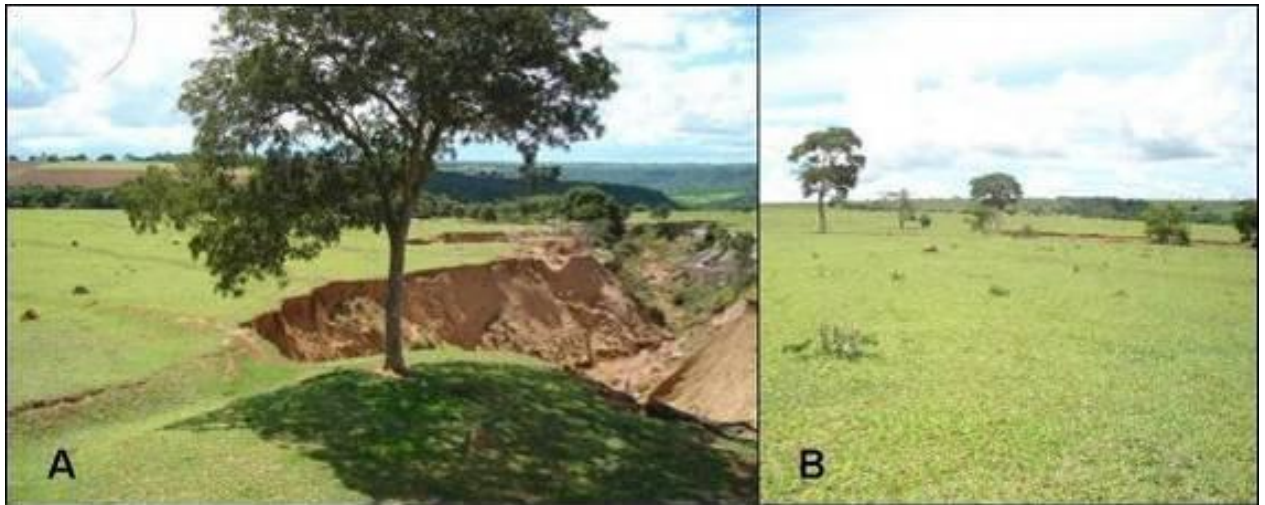
O cadastro da voçoroca Tingá (Tabela 5) foi realizado por meio de sucessivas observações em campo dos mecanismos erosivos que comandam a sua evolução, bem como, por informações de antigos moradores da Serra Confusão do rio Preto.

**Tabela 5.** Ficha de cadastro da voçoroca Tingá.

FICHA DE CADASTRO DA EROSÃO			
<b>I. Identificação e localização da erosão</b> Estado: <b>GO</b> Município: <b>Quirinópolis</b>			
<b>Descrição:</b> Voçoroca Tingá		<b>Localização:</b> Fazenda Fortaleza; Proprietário: José Quirino	
<b>Acesso:</b> GO 206 Quirinópolis a Caçú, a 5 km do sítio urbano estrada rural à direita que dá acesso a Serra Confusão do rio Preto, mais 25 km até a Fazenda Fortaleza, margem direita da referida estrada.			
<b>II. Dados regionais</b>			
<b>Bacia Hidrográfica:</b> Córrego Tingá, Ribeirão Fortaleza, Rio São Francisco, Rio Paranaíba – Bacia do Rio Paraná.		<b>Geomorfologia:</b> Superfície erosiva tabular. Relevo residual de topo aplanado testemunho de superfície aplanada, limitado por escarpas erosivas.	
<b>Geologia:</b> Grupo Bauru, Formação Marília, constituída por arenitos finos a grosseiros, predominantemente mal selecionados, vermelhos, róseos e esbranquiçados.		<b>Pedologia:</b> Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) e Organossolo Háptico sáprico (OXs).	
<b>Vegetação Original:</b> Vegetação Higrófila Florestal (APP), Cerrado Denso e Cerrado Ralo. Estes dois últimos foram desmatados para implantação de lavouras e pastagens.			
<b>III. Dimensões da erosão</b>			
Comprimento: 470m	Largura: 60m	Profundidade: 8m	Volume: 225.600m <sup>3</sup>
<b>IV. Características da área de contribuição</b>			
<b>Uso e ocupação da área de contribuição:</b> Pastagem cultivada com brachiária ( <i>Brachiaria decumbens</i> ) e APP (Jusante da encosta).			
<b>Causas, condicionantes e atenuantes:</b> Um antigo morador da região informou que essa erosão surgiu em outubro de 1975. Segundo o morador, após chuva intensa e prolongada ocorreu à noite um forte estrondo em área de uma pequena nascente, culminando com o desencadeamento da incisão erosiva já no estágio de voçoroca, devido à interceptação do lençol freático. Nesse período a área de contribuição da erosão era cultivada com arroz. Atualmente é ocupada por pastagem cultivada com brachiária (Figura 27). Neste local, nos trechos médio e superior da encosta predomina o Neossolo Quartzarênico. No trecho inferior predomina o Organossolo em área com várias surgências d'água (Figura 28). Nas proximidades da borda da escarpa da Serra ocorre o Neossolo Quartzarênico pouco espesso. A voçoroca incidiu sobre todos estes solos incluindo até o embasamento arenítico (Formação Marília) junto à borda da superfície regional de aplainamento, conectando-se ao córrego Tingá no sopé da escarpa. Portanto, ela está na Zona de Erosão Recuante, como proposto por Latrubesse & Carvalho (2006). Em síntese, as características do meio físico local são indicadoras da fragilidade da área quanto ao desenvolvimento de erosões lineares de grande porte, que associadas ao tipo de uso e ocupação do solo deflagraram o surgimento da referida voçoroca. Tudo indica que o Organossolo presente à jusante da área, menos permeável e com menor condutividade hidráulica do que o Neossolo Quartzarênico à montante, confirmada com os testes de infiltração com o Permeâmetro de Guelph (Figura 29), retinha sazonalmente o escoamento subsuperficial, mantendo-o em relativo equilíbrio dinâmico que foi rompido após evento pluviométrico excepcional em outubro de 1975, como relatou o entrevistado.			
<b>V. Características da voçoroca</b>			
<b>Dinâmica Erosiva (Características gerais):</b> A voçoroca possui forma coalescente, apresentando vários eixos com cabeceira mais larga que a parte de jusante (Figura 30). O eixo central é o mais instável demonstrando abatimentos sucessivos, alcovas de regressão e <i>pipings</i> . Os taludes possuem forte inclinação nos trechos médio e superior da encosta. Em vários pontos da ocorrência erosiva é comum a presença de <i>pipings</i> principalmente onde predomina o Neossolo Quartzarênico. Nestes pontos aflora água do lençol freático perenemente contribuindo para o solapamento dos taludes (Figura 31).			
<b>Previsões de evolução:</b> Os <i>pipings</i> junto aos sopés dos taludes e surgências no interior da voçoroca,			

<p>provocam o surgimento de alcovas de regressão, que associados aos dutos biogênicos (Foto 32) e sulcos nas paredes da erosão tem contribuído para a ocorrência de movimentos de massa localizados do tipo abatimentos sucessivos e/ou desabamentos de taludes. Tais mecanismos conferem grande instabilidade à referida erosão que tende a evoluir remontantemente, aumentando sua extensão e lateralmente, devido a futuras junções de seus eixos menores.</p>		
<p><b>VI. Principais impactos</b></p>		
<p>A deflagração dessa incisão erosiva desencadeou os seguintes impactos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perda de solo local com redução de área de pastagem;</li> <li>- Assoreamento do córrego Tingá e conseqüentemente do ribeirão Fortaleza, rio São Francisco, rio Paranaíba e barragem da UHE de São Simão.</li> <li>- Riscos de acidentes por quedas de animais (foram registradas duas ossadas de vacas que morreram dentro da erosão) e pessoas dentro da voçoroca.</li> </ul>		
<p><b>VII. Medidas Preventivas e de contenção implantadas:</b></p>		
<p>Foram construídos terraços de infiltração na década de 1980 que atualmente encontram-se desconfigurados por ausência de manutenção.</p>		
<p><b>VIII Medidas preventivas e de contenção sugeridas:</b></p>		
<p>Como medida preventiva do processo erosivo sugere-se a adequação do uso do solo local à sua capacidade de suporte, evitando o desencadeamento de impactos ambientais dessa natureza, enquanto que as alternativas de contenção definitiva visam estabilizar a ocorrência erosiva através de práticas vegetacionais (plantas nativas e exóticas) até implantação de obras de engenharia e bioengenharia mais complexas.</p>		
<p><b>A) Área de contribuição</b></p>		
<p>Dentre as inúmeras possibilidades de intervenções para estabilizar a erosão, sugerem as listadas a seguir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Isolamento da área em um raio igual ou superior a 50 metros das bordas da erosão como prevê a Legislação Ambiental, por se tratar de surgência d'água perenemente, para impedir o trânsito de animais (bovinos e eqüinos) e favorecer o repovoamento espontâneo em torno da erosão;</li> <li>b) Revegetar com espécies nativas típicas da região a área de contribuição para reduzir a velocidade do escoamento superficial que atinge a cabeceira e os taludes da voçoroca.</li> </ul>		
<p><b>B) Voçoroca</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Colocação de drenos profundos para coletar a água subterrânea que aflora no interior e taludes dos eixos mais instáveis da erosão com lançamento no trecho inferior da própria voçoroca;</li> <li>b) Plantar espécies nativas de árvores dentro da voçoroca e em pontos mais distantes de sua borda para evitar o efeito alavanca;</li> <li>c) Colocar estruturas em tela gabião e “pedra marruada” junto aos sopés e bordas dos taludes para aumentar a sua resistência do solo e reter os sedimentos de montante.</li> <li>d) Revegetar os taludes com espécies de gramíneas apropriadas, como mix (várias espécies, ex.: brachiária decumbens, feijão-guandu e andropogon, dentre outras) proposto por Pereira (2006) e protegidos com biomanta antierosiva.</li> <li>e) Plantar a gramínea Vetiver (<i>Vetiveria zizanoides</i>) nos sopés dos taludes e nas proximidades da jusante da erosão. Essa gramínea é perene, não palatável e possui sistema radicular muito profundo e resistente, portanto, apropriada para este caso, pois, retém os sedimentos de montante e aumenta a resistência de cisalhamento do solo.</li> </ul>		
<p><b>IX. Ensaio realizados</b></p>		
9.1. Infiltração com Permeâmetro de Guelp	9.3. Química completa	
9.2. Textura – Densímetro	9.4. Resistência à penetração – Penetrômetro de impacto	
<p><b>X. Vazão: 360L/min. / 21.600L/h (medida em 01/10/2008)</b></p>		
<p><b>XI. Identificação da ficha</b></p>		
<p>Referências: Sr. Vilson Martins Carvalho</p>		
Equipe: Alik T. de Sousa, Nori Paulo Griebeler e Selma Simões de Castro.	Localização: 18°18'30"S 50°37'20"W - Altitude: 770 m	Data: 01/10/2008

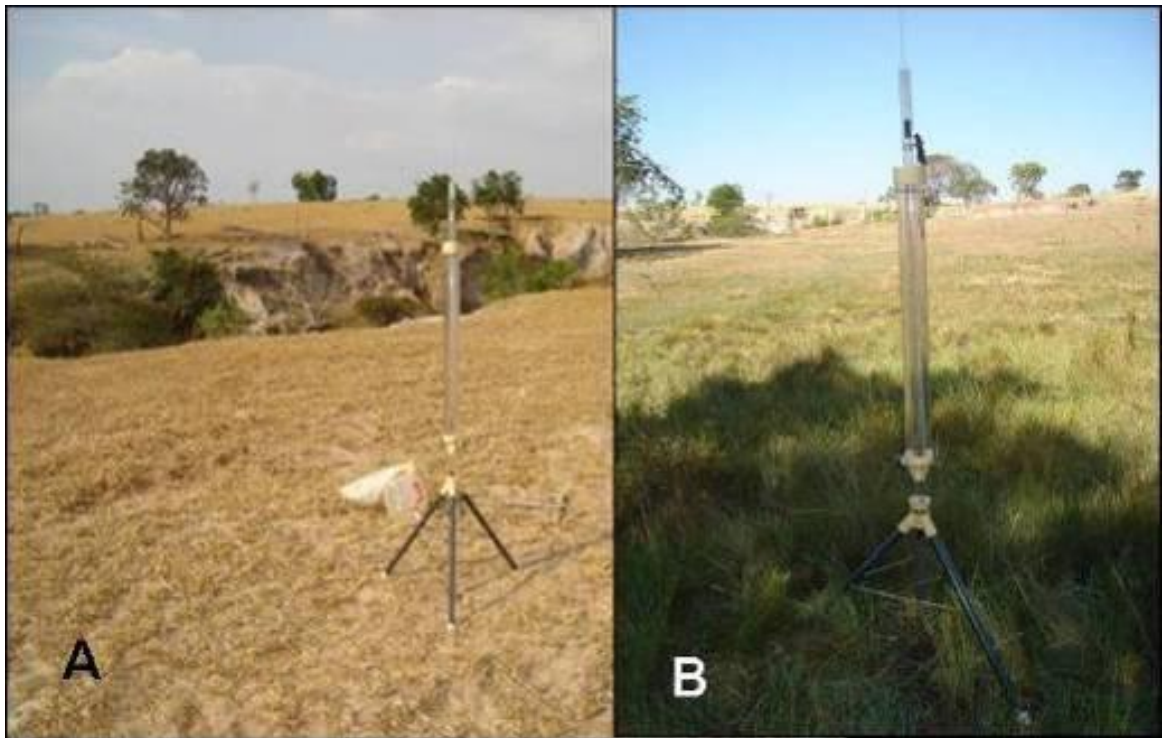
Cabe ressaltar que o surgimento dessas erosões já se deu como voçoroca, o que as distingue da maioria das ocorrências erosivas do município, que geralmente ocorrem a partir da evolução de um sulco ou ravina, até interceptar o lençol freático, momento que passa a ser denominada de voçoroca, como salientam Oliveira (1994), Salomão (1999), Castro et al. (2004), Castro (2005), Camapum de Carvalho et al. (2006).



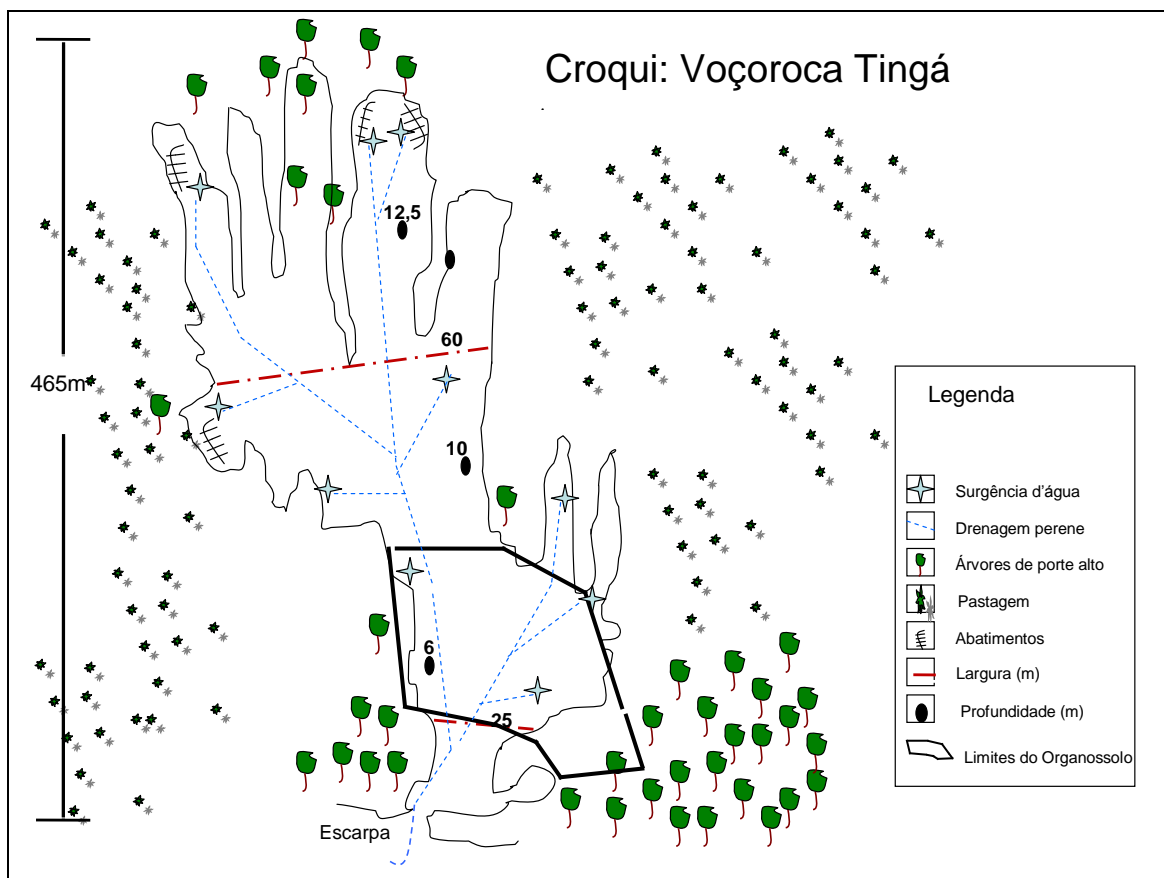
**Figura 27.** A. Vista parcial da cabeceira da voçoroca Tingá; B. Área de contribuição da voçoroca em área de pastagem cultivada com brachiária, (SOUSA, 2008).



**Figura 28.** Trecho médio/inferior da voçoroca Tingá; A. contato entre o Neossolo Quartzarênico (Rq) e o Organossolo (O); B. Detalhe da espessura (140 cm) do horizonte Orgânico no talude da erosão, (SOUSA, 2008).



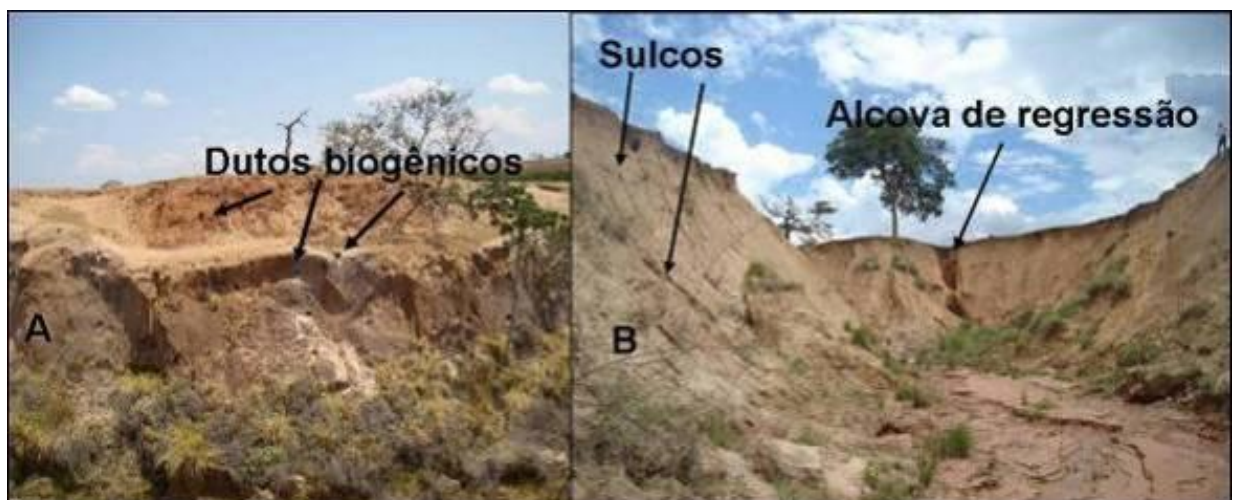
**Figura 29.** Teste de infiltração com Permeâmetro de Guelph; A. Em área de Neossolo Quartzarênico; B. Em uma depressão a 20 m da borda da erosão (Organossolo), (SOUSA, 2008).



**Figura 30.** Croqui da Voçoroca Tingá, (SOUSA, 2008).



**Figura 31.** Mecanismos erosivos atuantes. A. Abatimento na cabeceira; B. *Piping* com desabamento recente do teto no horizonte C; C. Fenda de tração no talude direito D. *Piping* com teto relativamente preservado, (SOUSA, 2008).

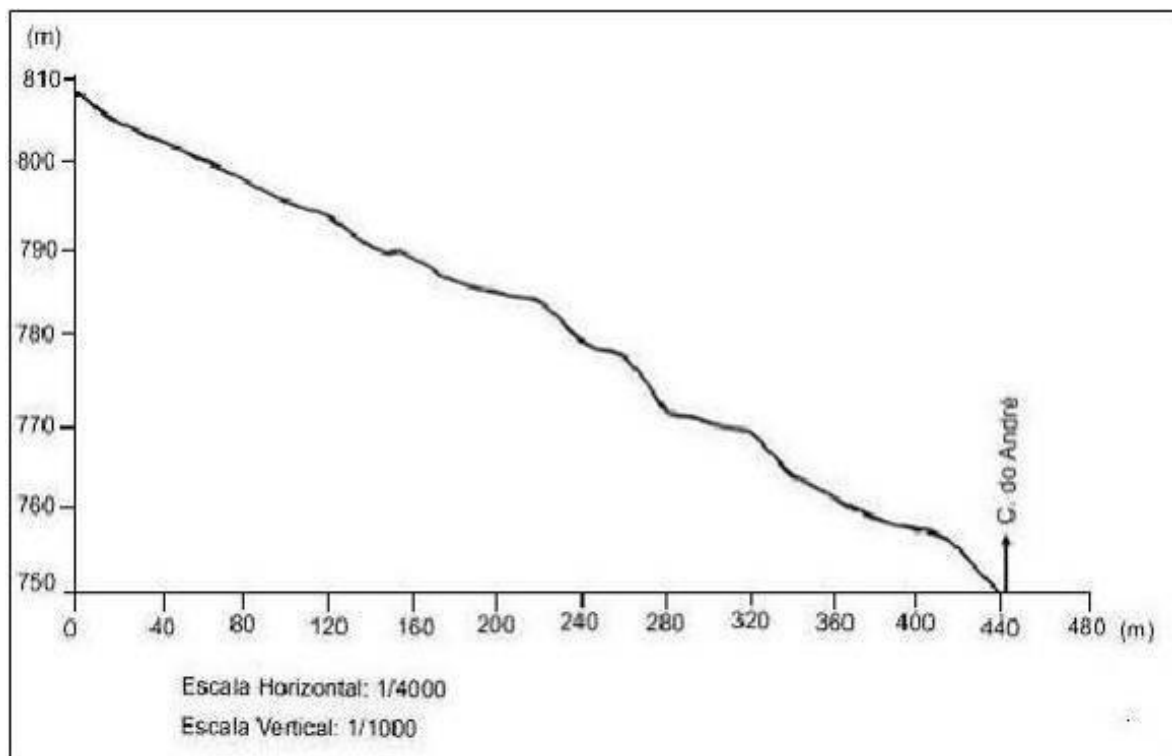


**Figura 32.** A. Dutos biogênicos no talude da erosão; B. Vista parcial do interior da ramificação mais instável com presença de alcova de regressão no centro e alto da foto e sulcos no talude direito (SOUSA, 2008).

## 4.4 TOPOGRAFIA DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO E TOPOSSEQUÊNCIA DAS VOÇOROCAS

### 4.4.1 Topografia da área de contribuição da voçoroca Córrego do André

A vertente da área de contribuição atingida pela voçoroca possui forma retilíneo-convexa com pequenas rupturas de declive no trecho superior e extrema jusante e declividade média entorno de 13% (Figura 33). Essa inclinação favorece a concentração e o rápido escoamento superficial, durante os eventos pluviais (Lepsh, 2002). Nesta condição o solo apresenta pequena resistência ao escoamento das águas, possibilitando maior velocidade de escoamento e facilitando o desprendimento e transporte de partículas, em especial no terço médio/superior dessa voçoroca.



**Figura 33.** Perfil topográfico da vertente direita da voçoroca Córrego do André, (SOUSA, 2009).

Castro et al. (2004), ao elaborarem o Atlas Geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha, detectaram a concentração de focos erosivos de grande porte em áreas com solos arenosos e declividades intermediárias entre 6% e 12%, de modo semelhante ao da voçoroca Córrego do André.

Bertoni & Lombardi Neto (2005) alertam que além da inclinação do terreno e da sua forma, o comprimento de rampa é outro elemento topográfico determinante nas condições de perda de solo e água. De acordo com os autores, quanto mais extensa for uma encosta maior será a velocidade da água e, conseqüentemente, maior energia cinética para desprender/liberar e transportar solo. Assim, a erosão tende a ser mais intensa em vertentes muito compridas mesmo possuindo baixas declividades. No presente caso, além da declividade considerável (13%) a vertente direita é relativamente extensa, ou seja, do topo à foz da voçoroca são aproximadamente 445 m, e, de sua cabeceira (806 m de altitude) até o divisor de águas local (844 m de altitude) são mais 880 m de extensão, somando ao todo 1.325 m.

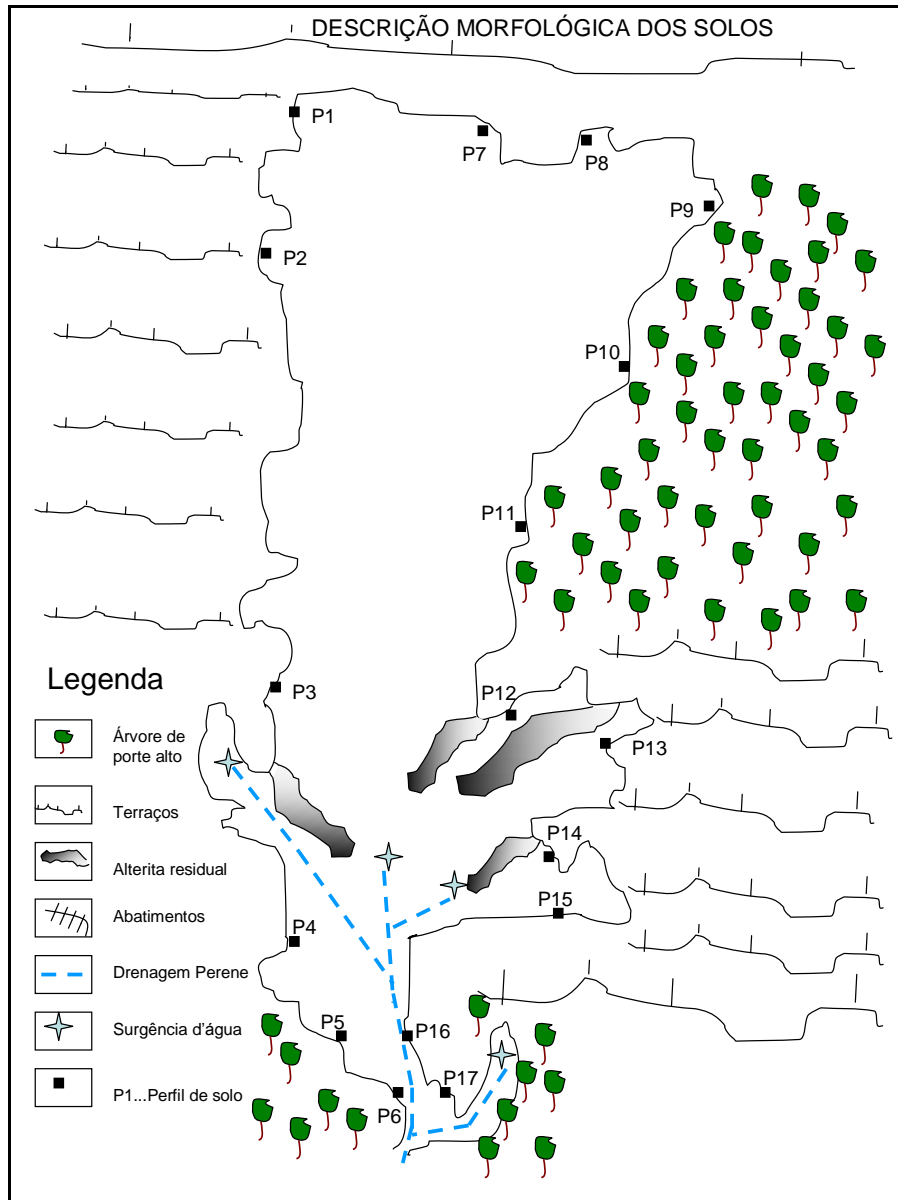
Em 2000, o proprietário da fazenda foi orientado pelo IBAMA a construir terraços, visando reduzir o escoamento superficial que atingia a cabeceira da voçoroca. Essa medida reduziu o comprimento da encosta, porém, não surtiu os efeitos esperados, pois a erosão rapidamente progrediu lateral e remontantemente conforme depoimentos do fazendeiro.

As características da encosta representadas pela declividade média, forma retilíneo-convexa e comprimento de rampa longo, associadas a outros elementos do meio físico, como solos com textura argilosa, profundidade de até 12 m e disposição de horizontes heterogêneos Bw e Bc, por exemplo, somados ao tipo de uso do solo atual pastagem cultivada e, compactação superficial no trecho superior da bacia de contribuição notadamente, nas trilhas de gado e área de cerrado na cabeceira esquerda são fatores relevantes para explicar a gênese e continua progressão da voçoroca. Servem também, para direcionamento da difícil tarefa de proposição adequada de obras de estabilização e/ou contenção do fenômeno.

#### **4.4.2 Topossequência da voçoroca Córrego do André**

Foram selecionados 17 perfis ao longo dos taludes da voçoroca para descrever os horizontes seccionados pela incisão erosiva de sua cabeceira até a sua foz junto ao córrego local (Figura 34), sendo seis perfis de solo coletados na borda direita e 11 na borda esquerda. As descrições foram realizadas com auxílio de equipamento de rapel devido à inclinação e profundidade dos taludes.

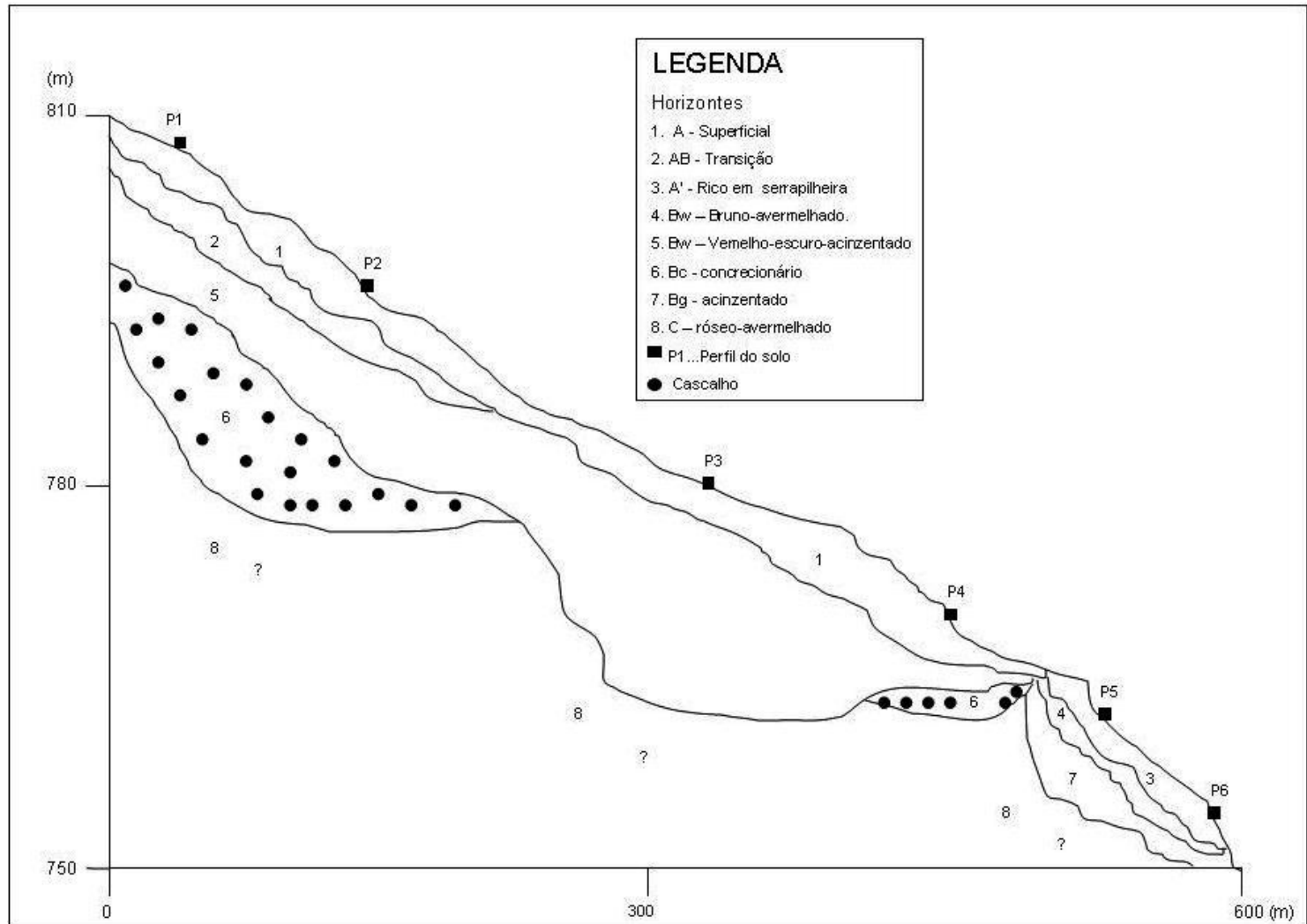
As bordas da erosão apresentam diferenças importantes quanto à quantidade, espessura, profundidade e tipos de horizontes. Foram elaboradas duas representações topossequenciais dos solos locais, uma para cada lado da incisão erosiva.



**Figura 34.** Localização dos perfis descritos nos taludes da voçoroca Córrego do André, (SOUSA, 2008).

A borda direita é relativamente menos complexa do que a esquerda. Possui oito horizontes com predomínio do horizonte Bw avermelhado na maior parte do talude, passando progressivamente para Gleissolo no trecho inferior da encosta (Figura 35). Abaixo deste, aparece um horizonte concrecionário profundo, descontínuo, de espessura irregular, sotopondo o horizonte C róseo avermelhado, sendo mais espesso na cabeceira do que no trecho médio/inferior da voçoroca. Não está presente à jusante da erosão.





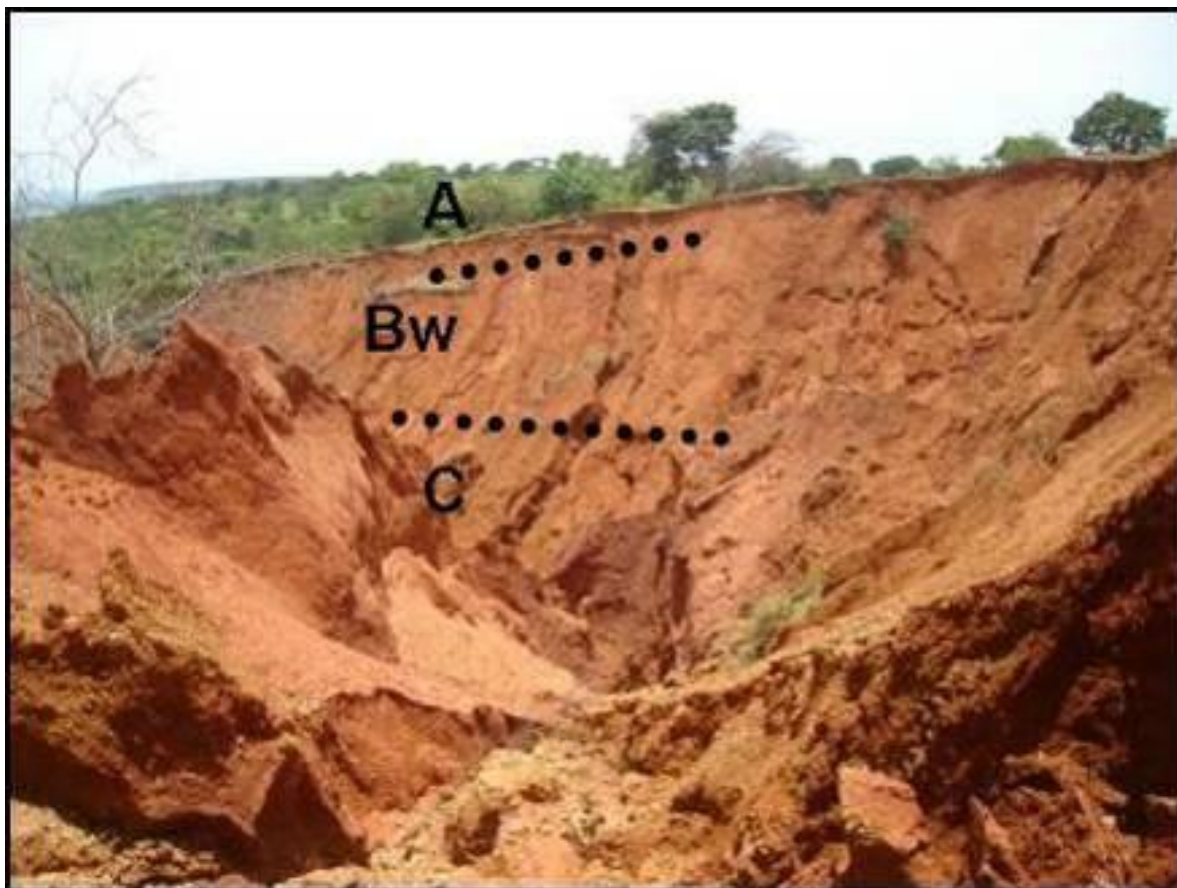
**Figura 35.** Topossequência A – talude direito da voçoroca Córrego do André. Elaboração: SOUSA (2009).

#### 4.4.2.1 Legenda da Topossequência A (lado direito da voçoroca)

Os horizontes apresentados na Figura 35 foram descritos conforme Santos et al. (2005), como apresentados a seguir:

1. 0-30 cm - Horizonte superficial (A), relativamente pobre em matéria orgânica, vermelho-acinzentado (10R 4/4), argilo-arenoso; moderada pequena a média, granular e blocos subangulares; plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual; contínuo na maior parte superior da borda direita da erosão.
2. 30-60 cm - Horizonte subsuperficial de transição entre o A e o Bw subjacente (AB), bruno-avermelhado (2.5 YR), argilo-arenoso; moderada, granular; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada clara. Comum no trecho médio e superior da incisão erosiva.
3. 0-42 cm - Horizonte superficial rico em serrapilheira (A'), bruno-avermelhado (5YR 4/3), franco-argilo-arenoso, cascalhento, moderada pequena, blocos subangulares, não plástica, ligeiramente pegajosa, transição ondulada clara; presença de litorrelíquias amareladas pontuais do arenito da Formação Marília. Ocorre no trecho inferior da voçoroca, a partir de uma ruptura de declive, em área com vegetação de galeria, nas proximidades do córrego do André.
4. 42-109 cm - Horizonte subsuperficial (Bw) de transição entre o O e o Bg, bruno-avermelhado (5YR 4/3), franco-argilo-arenoso; mais úmido e relativamente mais claro que o horizonte O, porém, ainda continua com a mesma cor do horizonte sobrejacente; moderada, pequena, blocos subangulares (predominantes) e granular; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual. Ocorre no trecho inferior (jusante) da voçoroca.
5. 60-330 cm - Horizonte diagnóstico (Bw) com espessura variável entre 3 a 5 m, mas atinge até mais de 14 m de espessura no trecho médio da erosão (Figura 36), vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4); franco-argiloso com ocorrência de cascalhos isolados (pouco cascalhento); estrutura forte muito pequena granular; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.
6. 330-410 cm - Horizonte Concrecionário (Bc) apresentando espessura entre 40 cm e 80 cm, ocorre sobre o horizonte C róseo avermelhado (arenito da Formação Marília) e abaixo do Bw, vermelho (2,5YR 4/6); franco argilo-arenoso, muito cascalhento; transição irregular / descontínua e difusa ao longo da extensão da voçoroca.
7. 109-177 cm - Horizonte Glei (Bg) comum no trecho inferior da erosão com espessura aumentando em direção à jusante (Figura 37). Iniciando junto à ruptura de declive

localizada aproximadamente 80 m da foz da voçoroca junto ao Córrego do André, onde possui mais de 5 m de espessura máxima, apresentando coloração cinzenta (1FOR GLEY 5/N), não cascalhento, textura franco-argilo-arenosa; moderada média, blocos subangulares, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.

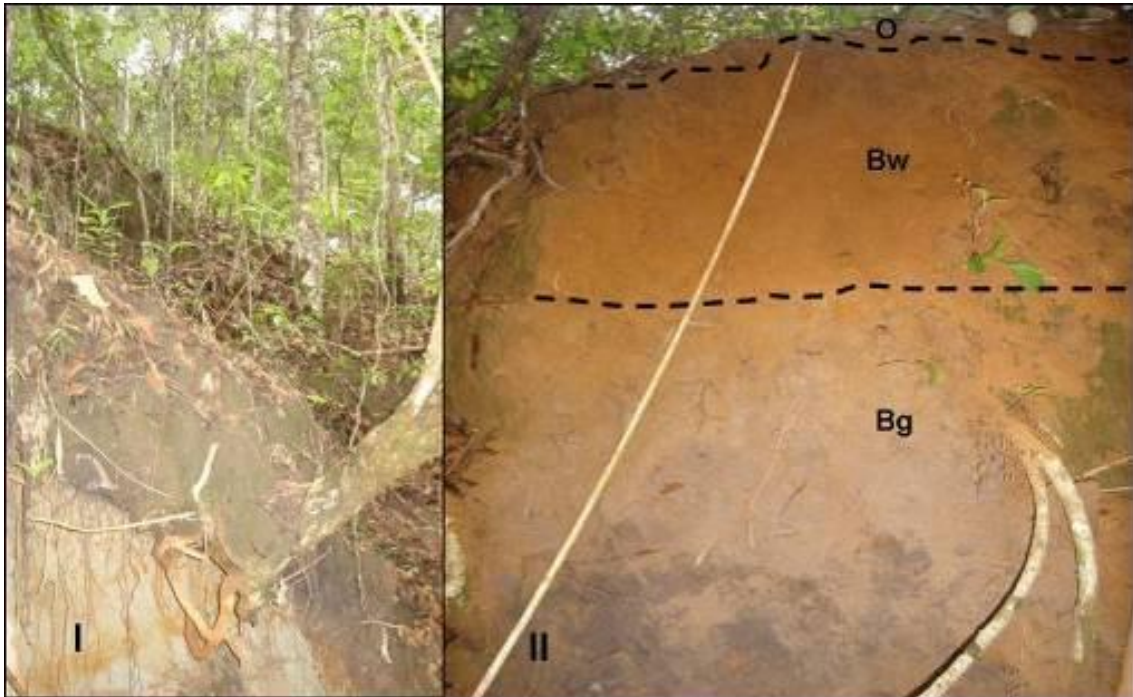


**Figura 36.** Horizonte diagnóstico Bw espesso no talude direito da voçoroca.

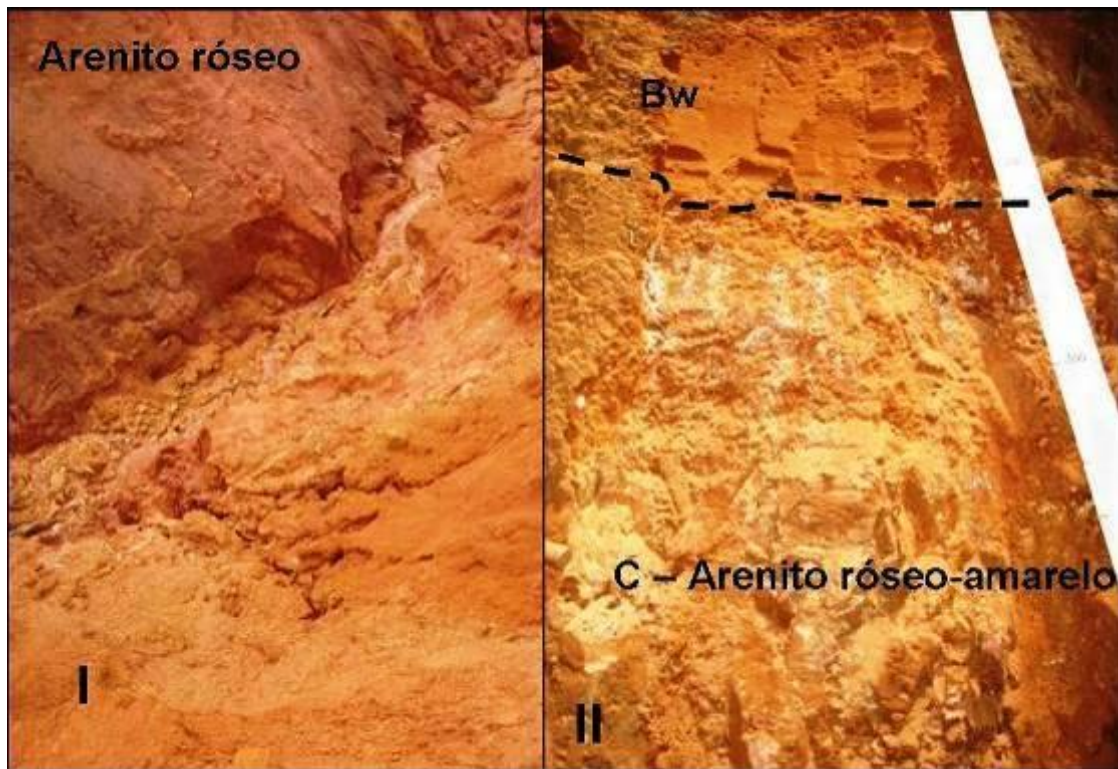
8. 410 – 2500 cm - Arenito róseo-amarelado alterado (saprolítico) com manchas amarelas e esbranquiçadas (Figura 38), seccionado pela voçoroca, apresentando evidências de elevada suscetibilidade erosiva com múltiplos sulcos, ravinas, marmitas e alcovas de regressão provocadas pelo escoamento superficial que atinge os taludes da erosão, bem como, pelo próprio escoamento superficial que ocorre no talvegue da incisão durante os episódios pluviométricos mais intensos.

Os horizontes 1 a 5 são relativamente paralelos à topografia atual do talude e entre si. Porém, os restantes configuram dois conjuntos lenticulares (horizontes 6 e 6 + 7) compondo dois conjuntos, um mais extenso a montante, concrecionário dominante e o outro conjunto mais curto a jusante, iniciando-se por pequena camada concrecionária, seguida por outra hidromórfica, assemelhando-se a estruturas de corte e preenchimento,

resultantes da própria evolução da voçoroca. O horizonte 8 é contínuo e basal, em nítida discordância com a topografia externa do talude e as bases dos horizontes 6 e 7.



**Figura 37.** Vista parcial do trecho inferior da erosão. I – repovoamento espontâneo sobre área de horizonte Glei; II – Horizonte Glei (Bg) espesso subjacente ao Bw, próximo à foz da voçoroca.



**Figura 38.** I – Arenito róseo no trecho superior da voçoroca seccionado pelo escoamento superficial em seu talvegue; II - Arenito róseo-amarelado alterado (saprólítico) com manchas esbranquiçadas na base do talude direito da voçoroca (trecho médio da erosão).

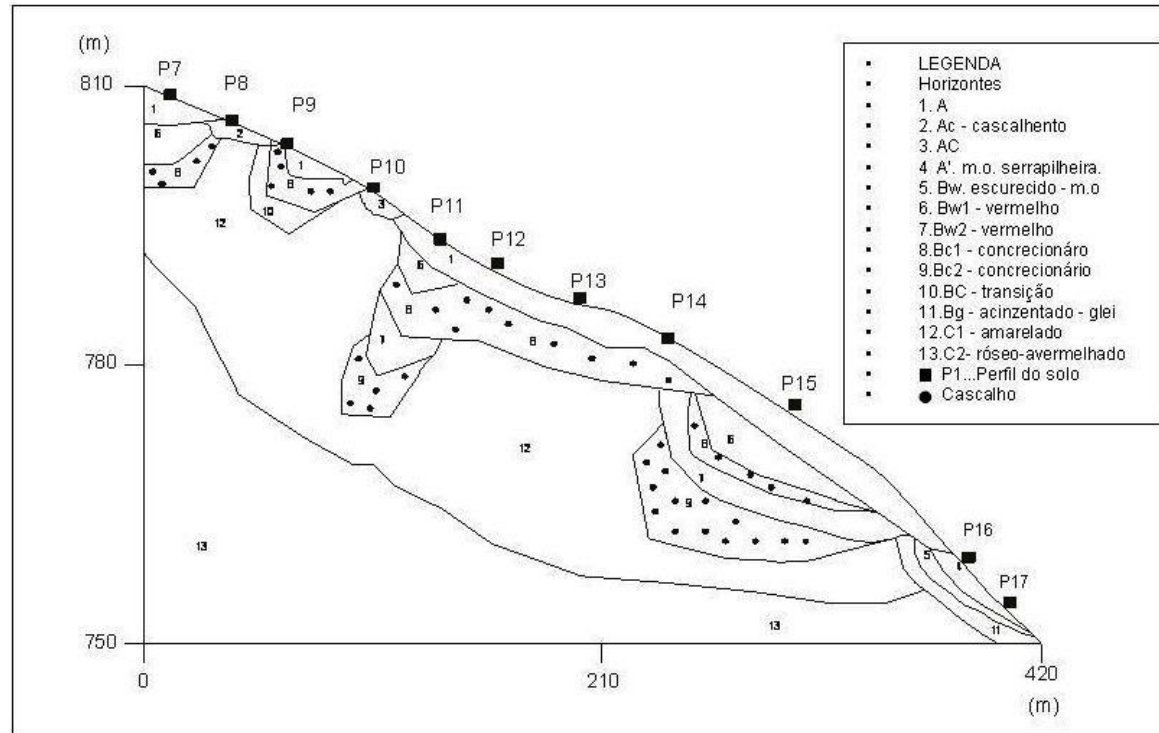
O talude esquerdo da voçoroca apresenta maior número de horizontes e/ou camadas do que o talude direito, com espessuras diferentes e dispostos, também, de maneira diferente, lembrando empilhamento de camadas, como apresentado na Figura 39.

No talude esquerdo se observa que os mecanismos erosivos associados ao escoamento superficial são mais numerosos e atuantes, provocando inúmeros pontos de instabilidade, marcados por trincas de tração, favorecendo a progressão lateral da voçoroca com surgimento de novas ramificações.

#### 4.4.2.2 Legenda da Toposseqüência B (lado esquerdo da voçoroca)

1. 0-20 cm - Horizonte superficial (A), relativamente pobre em matéria orgânica, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3), franco-argilo-arenoso, pouco cascalhento; moderada pequena, blocos subangulares, não plástica e ligeiramente pegajosa, transição ondulada e clara; possui de 20 a 50 cm de espessura, sendo descontínuo no topo da erosão e contínuo no trecho médio, porém, desaparece na jusante da voçoroca.
2. 0-68 cm - Horizonte superficial (Ac), vermelho (10 R 4/6), argilo-arenoso muito cascalhento (concrecionário) entremeado com calhaus; transição irregular gradual.
3. 0-135 cm - Horizonte superficial (AC), bruno-avermelhado (2.5 YR 5/3), rochoso, presença de litorrelíquias bruno amareladas escuras (10 YR 4/6) do arenito local.
4. 0-45 cm - Horizonte superficial rico em serrapilheira (A'), bruno-avermelhado – (5YR 4/3), franco-argilo-arenoso, cascalhento, moderada pequena, blocos subangulares, não plástica, ligeiramente pegajosa, transição ondulada clara, presença de litorrelíquias amareladas do arenito da Formação Marília. Ocorre no trecho inferior da erosão, com presença de vegetação de galeria.
5. 45-115 cm - Horizonte subsuperficial (Bw) localizado entre o A e o Bg, bruno-avermelhado (5YR 4/3), franco-argilo-arenoso, mais úmido e relativamente mais claro que o horizonte A, porém, ainda da mesma cor que o precedente; moderada, pequena, blocos subangulares (predominantes) e granular; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual. Presente no trecho inferior da voçoroca.
6. 20-90 cm - Horizonte subsuperficial com espessura variável entre 0,40 a 2 m, portanto, menos espesso do que no talude direito (Bw), vermelho (10R 4/6), argiloso, estrutura forte muito pequena granular; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada clara.





**Figura 39.** Toposequência B – talude esquerdo da voçoroca Córrego do André. Elaboração: SOUSA (2010).

7. 136-310 cm - Horizonte subsuperficial com espessura variável entre 1,50 m a 1,75 m, (Bw), posicionado entre os horizontes concrecionários, vermelho (2.5 YR 4/6), argiloso, estrutura forte muito pequena granular; não plástica e pegajosa transição ondulada clara.

8. 25-78 cm - Horizonte Concrecionário (Bc) apresentando espessura entre 0,40 m e 1,25 m, na cabeceira e ramificações mais instáveis do que no talude direito, posicionando-se próximo ou mesmo na sua superfície; também encontrado entre dois horizontes latossólicos (Bw) no trecho médio inferior da voçoroca. A cor varia entre vermelho e vermelho escuro (10R 3/6 e 4/6), é franco-argilo-arenoso, muito cascalhento, com cascalhos de 0,3 cm a 2 cm e pequenos calhaus de até 4 cm de diâmetro; constituídos por nódulos ferruginosos/manganesíferos endurecidos arestados e/ou angulosos (Figura 40); não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.



**Figura 40.** A. Seixos extraídos do horizonte concrecionário com aproximadamente 1 cm de diâmetro; B. Calhau (ferro-manganesiano) quebrado com uso de martelo pedológico apresentando vazio em seu interior e diferentes estágios de intemperismo; C. Cabeceira da voçoroca com presença de horizonte concrecionário; D. Detalhe do horizonte concrecionário.

9. 310-498 cm - Horizonte Concrecionário (Bc) apresentando espessura entre 0,80 m e 1,85 m, é encontrado aproximadamente a 20 m acima da ramificação mais instável e na segunda ramificação deste lado. Encontra-se subjacente a um horizonte latossólico (Bw) e sotopõe o C local muito alterado. A cor vermelha predomina (10R 4/8 e 2.5YR 4/6), franco-argilo-arenoso, muito cascalhento, com cascalhos de 0,3 cm a 2 cm e pequenos calhaus de até 3 cm de diâmetro, constituídos por nódulos ferruginosos/manganesíferos endurecidos, bem como, por fragmentos do arenito amarelado subjacente, ambos arestados e/ou angulosos; não plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e clara.

10. 78-116 cm - Horizonte subsuperficial de transição (BC) entre o concrecionário (Bc) e o horizonte C subjacente, possuindo 40 cm de espessura média, vermelho (10R 4/6), possuindo litorrelíquias (do arenito amarelado da Formação Marília) bruno oliváceo claro (2.5Y 5/6), argilo-siltosa; fraca granular; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.

11. 115-195 cm - Horizonte Glei (Bg) comum no trecho inferior da erosão com espessura aumentando em direção à jusante. Iniciando junto à ruptura de declive localizada aproximadamente a 80 m da foz da voçoroca junto ao Córrego do André, atingindo até mais de 5 m de espessura neste setor, apresentando coloração cinzenta (1FOR GLEY 5/N), não cascalhento, textura franco-argilo-arenosa; moderada média, blocos subangulares, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.

12. 68-880 cm - Horizonte C muito alterado (arenito da Formação Marília) e seccionado pelos mecanismos erosivos associados ao escoamento superficial, com predomínio de tons vermelhos amarelos esbranquiçados, sotopondo o arenito róseo avermelhado. Contudo, o vermelho predomina (2.5YR 4/6), seguido por tons variegados bruno oliváceo claro (2.5Y 5/6). Textura franco-siltosa; não plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara.

13. 880-2800 - Horizonte C muito alterado (arenito da Formação Marília) e seccionado pelos mecanismos erosivos associados ao escoamento superficial, como sulcos, ravinas, alcovas de regressão e marmitas provocadas por queda d'água nos sopés dos taludes. Amarelo brunado (10YR 6/6) (Figura 41).

Analisando-se a geometria desses horizontes percebe-se claramente estruturas lenticulares sub-verticais curtas preenchidas de cascalhos, lembrando estruturas de corte e preenchimento, comuns em voçorocas que evoluem em ciclos.

Como os entrevistados afirmaram que essa voçoroca surgiu na segunda metade da década de 1960, o que permite supor que essas estruturas estão associadas à evolução da própria voçoroca. Nas imagens de satélite posteriores ela aparece com pequena dimensão e

posicionada junto ao córrego do André. Assim, exceto os horizontes C, BC e Bw, os demais seriam resultantes de remanejamentos associados à sua evolução.

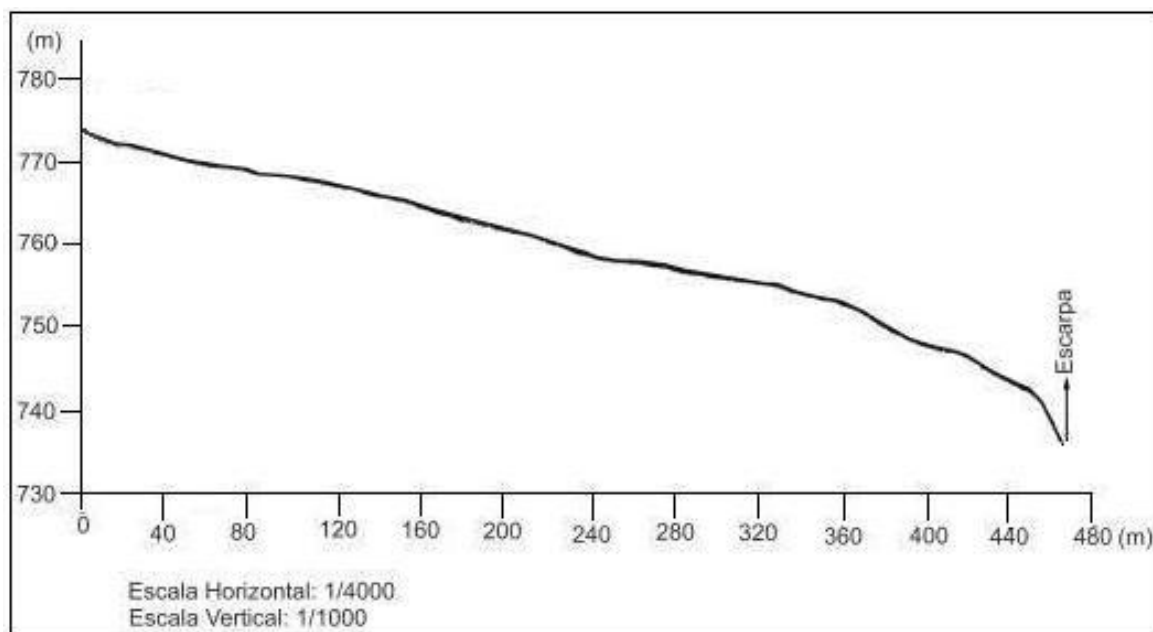


**Figura 41.** Arenito da Formação Marília; A. Alcova de regressão no contato do arenito amarelado (muito alterado) com o róseo avermelhado (amarelo brunado); B. Sulcos no arenito róseo-avermelhado com manchas amareladas.

Nota-se uma equidistância entre esses pacotes de cascalhos, o que poderia sugerir efeito do manejo associado a antigos terraceamentos perpendiculares a atual voçoroca, a julgar até mesmo pela projeção lateral dos mesmos até o talude oposto, não fosse a sua profundidade que chega a cerca de 30 m.

#### 4.4.3 Topografia da área de contribuição da voçoroca Tingá

A vertente onde está instalada a voçoroca Tingá possui topografia relativamente plana, de 3% a 6% (Figura 11), apresentando forma retilínea à suavemente convexa (Figura 42). A declividade média do trecho afetado pela incisão é de 7,3%, porém, na parte inferior da encosta ocorre forte ruptura de declive, junto à borda da escarpa, local em que a erosão está parcialmente estabilizada em meio à mata (APP), atingindo 40% de declividade.



**Figura 42.** Perfil topográfico da vertente direita da voçoroca Tingá.

Contudo, o comprimento de rampa local parece ser o elemento topográfico mais importante na evolução da voçoroca do que a declividade, fato já corroborado por autores como Bertoni & Lombardi Neto (2005) em outras partes do país. A vertente é extensa, com 465 m do topo à foz da voçoroca. De sua cabeceira (773 m de altitude) até o divisor de águas local (835 m de altitude) são mais 1.790 m, somando uma extensão total de 2.255 m.

A grande extensão dessa vertente também favorece a concentração dos fluxos subsuperficiais em função das características texturais dos solos (arenosos) de montante, que condicionam a rápida percolação da água no solo e seu movimento em direção à jusante, fato corroborado pela alta taxa de vazão ( $360 \text{ L/m}^{-1}$ ) da voçoroca, mesmo no período mais crítico de estiagem na região (início de outubro/2008), bem como, em constatações no local em cinco dias chuvosos de dezembro de 2008 de ausência de escoamento superficial.

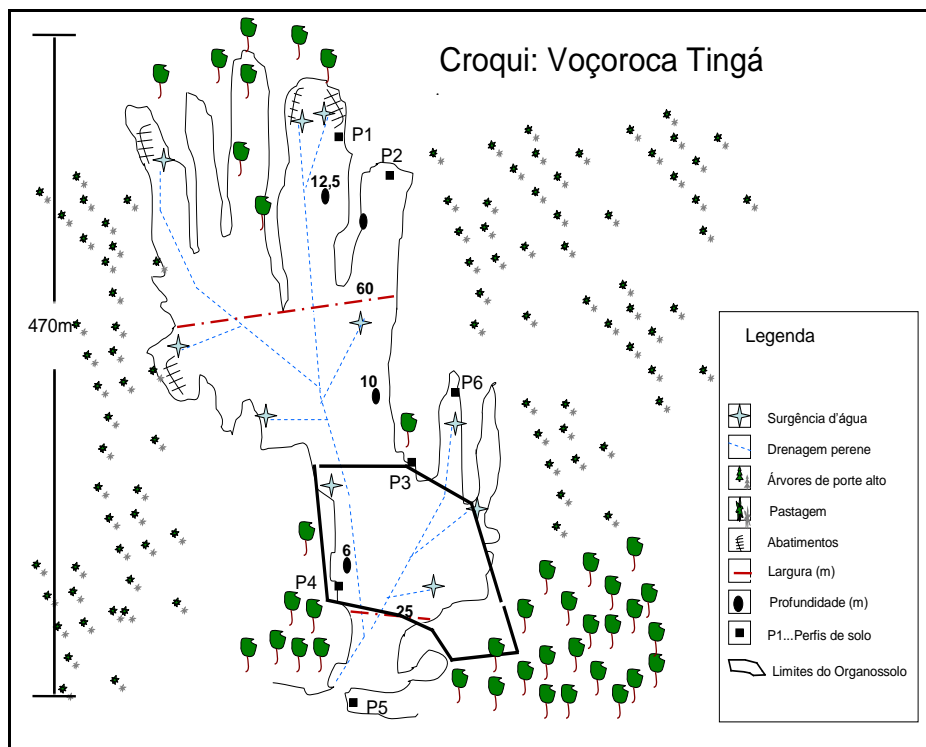
As características topopedológicas favorecem a ocorrência de múltiplos *pipings*, principais responsáveis pela desestabilização dos taludes e consequentes movimentos de massa, até mesmo durante o período de maior déficit hídrico na região.

#### 4.4.4 Toposseqüência da voçoroca Tingá

Na área de contribuição da voçoroca Tingá predomina solo de textura arenosa (Neossolo Quartzarênico) nos trechos médio/superior e topo da encosta, desenvolvido sobre o arenito da Formação Marília, que em alguns pontos da erosão encontra-se

sotoposto por um horizonte concrecionário (concreções ferruginosas centimétricas) com dimensões entre 0,3 cm (cascalho) a 3 cm (calhaus) de comprimento sub-arestados a arestados. No trecho médio inferior da encosta, ocorre solo rico em matéria orgânica (Organossolo), muito escuro e pegajoso, apresentando características texturais muito diferentes do anterior.

Nesta voçoroca foram descritos seis perfis nos taludes do topo à sua jusante (Figura 43) que possibilitou a identificação de nove horizontes pedológicos como apresentados na topossequência (Figura 44).



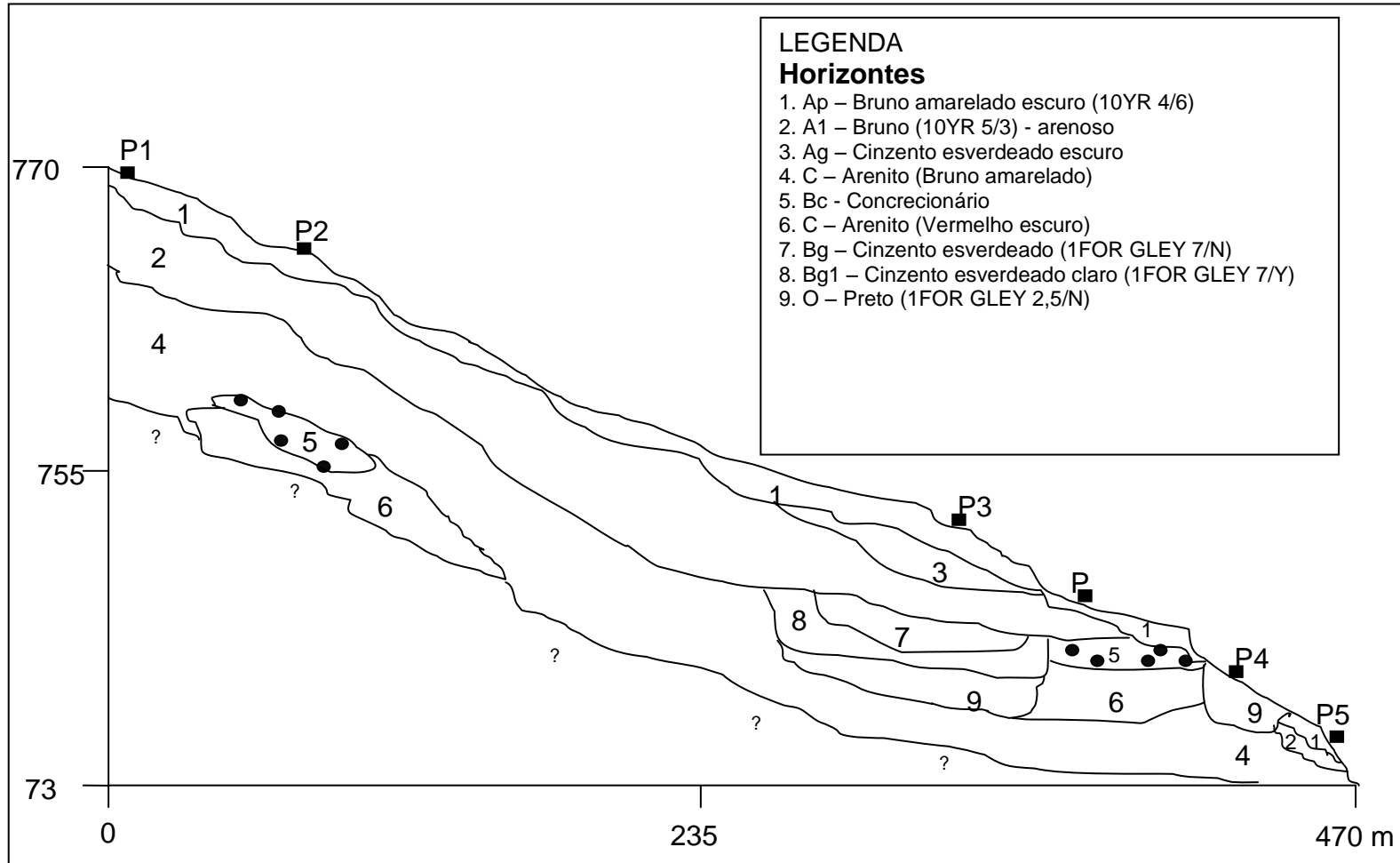
**Figura 43.** Localização dos perfis descritos nos taludes da voçoroca Tingá, (SOUSA, 2009).

#### 4.4.4.1 Legenda da Topossequência

1. 0-40 cm - Horizonte superficial (Ap), pobre em matéria orgânica, bruno amarelado escuro (10YR 4/6), franco-arenoso, não cascalhento; moderada granular; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara; possui 40 cm de espessura média; presente em quase toda a extensão da erosão, exceto, nas proximidades do P4, pois, neste ponto já foi seccionado pelos processos erosivos. Contudo, reaparece mais à jusante em local de relativa estabilidade da voçoroca, sob mata.

2. 40-410 cm - Horizonte subsuperficial (A1), bruno (10YR 5/3), franco-arenoso, não cascalhento; forte granular e grãos simples; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara; possui espessura oscilando entre 1 m a 3,70 m.



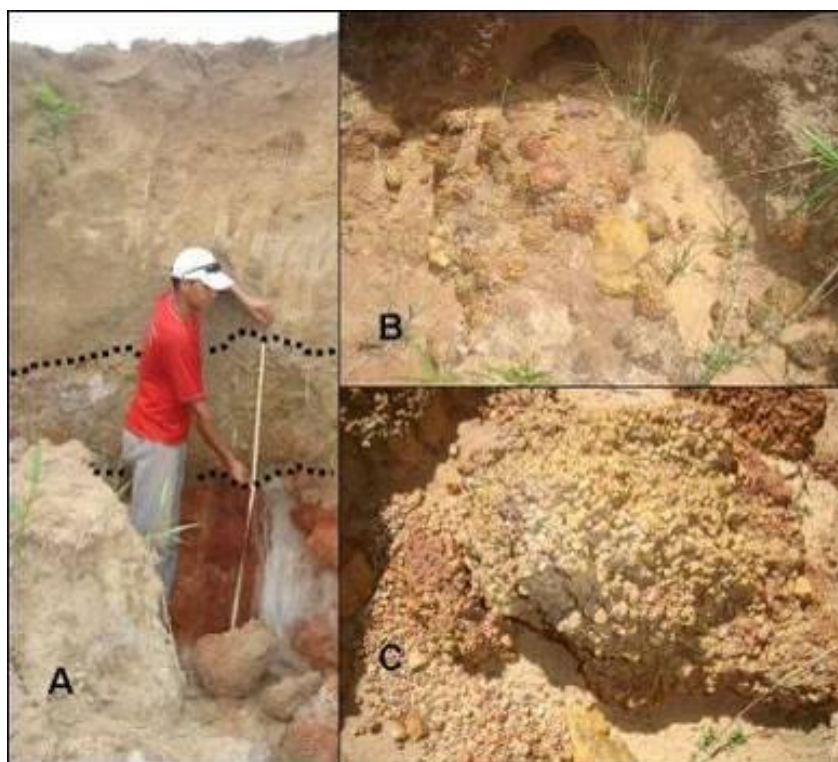


**Figura 44.** Topossequência da voçoroca Tingá.

3. 60-89 cm - Horizonte subsuperficial compactado (Ag), cinzento esverdeado escuro (2FOR GLEY 4/10) areia franca, não cascalhento; forte grãos simples; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual; possui espessura em torno de 30 cm.

4. 410-1350 cm - Horizonte C, arenito da Formação Marília muito alterado, bruno amarelado (10YR 5/6), muito friável, atingindo até mais de 10 m de espessura; franco-arenoso, não cascalhento; material maciço, mas, apresentando torrões em forma de blocos subangulares com dimensões entre 10 mm a 20 mm e coesão macia quando seco e solta no estado úmido; não plástica e não pegajosa; transição plana e clara; aparece em toda a extensão da erosão.

5. 335-395 cm - Horizonte Concrecionário (Bc) cinzento esverdeado claro (1FOR GLEY 8/N); franco arenoso, muito cascalhento, com predomínio de calhaus de 3 cm e secundariamente outros maiores de até 8 cm de diâmetro. No horizonte aparecem aglomerados de calhaus, com dimensões variadas, angulosos, cimentados por sílica e/ou óxido de ferro formando matacões com pouco mais de 20 cm de diâmetro, eventualmente aparecem alguns bem maiores, com mais de um metro de extensão; apresenta espessura entre 0,60 m e 1,0 m é encontrado nas ramificações do trecho médio de ambos os lados da erosão sotoposto ao horizonte C muito alterado (Figura 45).



**Figura 45.** A – detalhe do horizonte concrecionário sotopondo o arenito muito alterado (Formação Marília); B – alguns calhaus e blocos que desprenderam do talude no interior da voçoroca; C – aglomerados de cascalhos e calhaus formando matacões.

6. 395-700 cm - Horizonte C muito alterado, friável, vermelho escuro (7,5R 3/8), franco areno siltoso, subjacente ao horizonte concrecionário (Figura 45A); franco-arenoso, não cascalhento; material maciço, mas, muito friável, apresentando coesão macia quando seco e solta no estado úmido; não plástica e não pegajosa; transição irregular e clara; aparece de forma descontínua no trecho superior e entre o trecho médio e inferior da erosão.

7. 150-213 cm - Horizonte Glei (Bg), cinzento esverdeado (1FOR GLEY 7/N), franco arenoso, não cascalhento; moderada média blocos subangulares; não plástica e não pegajosa; transição graduada e clara; espessura variando entre 60 cm e 70 cm.

8. 213-290 cm - Horizonte Glei (Bg1), cinzento esverdeado claro, (1FOR GLEY 7/Y), areia franca, não cascalhento; forte pequena grãos simples; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara; espessura média de 75 cm.

9. 290-360 cm - Horizonte escuro, rico em matéria orgânica completamente decomposta, material sáprico (O), preto (1FOR GLEY 2,5/N), franco argiloso/orgânico, não cascalhento; forte grande/muito grande prismática/colunar e secundariamente blocos angulares; não plástica e pegajosa; transição irregular e clara; em alguns pontos do talude encontra-se soterrado, logo subjacente a um horizonte arenoso, e normalmente sobrejacente a um horizonte C (arenito), vide horizonte 4 acima; espessura média em torno de 70 cm, porém, em outros pontos aparece superficialmente possuindo até dois metros de espessura.

A geometria dos horizontes 1 a 4 sugere evolução paralela à topografia atual devido concordância com a mesma, enquanto em maiores profundidades, na altura do P2 e do P3 e deste ponto para jusante apareçam estruturas lenticulares na maioria discordantes da topografia atual do terreno, provavelmente herdadas da rocha de origem flúvio-lacustre, como já exposto. Não parecem associadas à evolução da voçoroca em virtude da profundidade.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS DA VOÇOROCA CÓRREGO DO ANDRÉ

Os solos presentes na voçoroca, em geral, apresentam textura franco-argilo-arenosa, com teor médio das frações argila, silte e areia de 383,6 g kg<sup>-1</sup>, 135,0 g kg<sup>-1</sup> e 481,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 6). A fração areia apresentou grande variabilidade entre os solos analisados, mas foi a fração silte que mostrou maior coeficiente de variação (CV=16 %).



**Tabela 6.** Avaliação de atributos físicos e químicos do solo (n=30), a 20 cm de profundidade em área de pastagem no entorno da voçoroca Córrego do André.

Pto.	U	RP	ARG	SIL	ARE	Fe	MOS	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
	(Kg Kg <sup>-1</sup> )	(Mpa)		(g Kg <sup>-1</sup> )		%	(%)	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	Mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			(%)
1	5,00A	3,44BA	446CBD	146BEDC	406DE	28,87B	2,36A	4,73A	0,40A	58,00A	0,50A	0,33A	3,63BC	0,0B	4,61BDC	19,67A
2	3,81BA	2,20C	306E	106EDC	586BC	122,17A	2,13BA	4,66A	0,67A	43,00A	0,63A	0,27A	2,90C	0,0B	3,91DC	26,00A
3	4,61BA	4,00A	373CED	90E	536C	62,03B	1,00EDF	4,36B	0,67A	34,33A	0,53A	0,10A	3,63BC	0,10BA	4,35BDC	16,33A
4	4,20BA	2,90BAC	213F	93ED	693BA	53,03B	1,53BCD	4,16CB	0,40A	41,67A	0,63A	0,27A	4,97BA	0,0B	5,79BA	16,67A
5	4,30BA	2,83BAC	163F	96EDC	740A	62,60B	0,93EDF	4,00C	0,40A	38,00A	0,43A	0,13A	4,47BA	0,20A	5,13BAC	13,00A
6	3,38BA	2,55BC	363ED	116BEDC	520DC	56,70B	0,83EF	4,26B	0,47A	37,00A	0,50A	0,17A	2,43C	0,03BA	3,19D	24,00A
7	3,17BA	2,47BC	453CB	153BDC	393E	41,30B	1,97BAC	4,20CB	1,27A	39,00A	0,63A	0,30A	5,80A	0,10BA	6,83A	15,67A
8	3,25BA	2,37BC	476B	173BA	350E	19,20B	0,47F	4,60A	0,40A	40,33A	0,73A	0,17A	2,53C	0,0B	3,53DC	27,67A
9	2,91B	2,45BC	450CBD	156BAC	393E	55,77B	1,37EDC	4,30B	0,30A	41,33A	0,53A	0,10A	2,77C	0,13BA	3,51DC	21,67A
10	4,60BA	2,75BC	590A	216A	193F	21,00B	0,67F	4,26B	0,30A	37,33A	0,50A	0,10A	2,53C	0,03BA	3,23D	21,67A
<b>DMS</b>	<b>1,8415</b>	<b>1,2105</b>	<b>8,9428</b>	<b>6,2012</b>	<b>12,581</b>	<b>58,667</b>	<b>0,6465</b>	<b>0,2044</b>	<b>1,8087</b>	<b>34,182</b>	<b>0,5199</b>	<b>0,3985</b>	<b>1,4762</b>	<b>0,1829</b>	<b>1,7662</b>	<b>15,199</b>
<b>MG</b>	<b>3,92</b>	<b>2,80</b>	<b>383,60</b>	<b>135,00</b>	<b>481,30</b>	<b>52,26</b>	<b>1,32</b>	<b>4,35</b>	<b>0,52</b>	<b>41,00</b>	<b>0,56</b>	<b>0,19</b>	<b>3,56</b>	<b>0,06</b>	<b>4,43</b>	<b>20,23</b>
<b>CV</b>	<b>16,23</b>	<b>14,96</b>	<b>8,06</b>	<b>15,88</b>	<b>9,03</b>	<b>38,82</b>	<b>16,85</b>	<b>1,62</b>	<b>118,78</b>	<b>28,83</b>	<b>31,92</b>	<b>71,30</b>	<b>14,31</b>	<b>105,4</b>	<b>13,79</b>	<b>25,98</b>

Teste F. Nível de significância do teste F: \* = significativo a 5%; ns = não significativo; Pto. = Ponto; DMS = Diferença mínima significativa; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; U = Umidade gravimétrica; RP = Resistência a penetração; ARG = Argila; SIL = Silte; ARE = Areia; Fe = Ferro; pH = Potencial Hidrogeniônico; MOS = Matéria orgânica do solo; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V = Saturação de base.

Os valores médios de densidade de partículas (Dp) encontrados no talude e na pastagem em torno da erosão são 2,66 e 2,50 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabelas 7 e 9). Na pastagem foram encontrados os menores valores, enquanto que as maiores médias foram registradas nos horizontes latossólicos (Bw) em perfis de solo no talude da voçoroca.

Em geral, os valores médios de densidade do solo no talude (Ds=1,52 g cm<sup>-3</sup>) foram superiores aos encontrados na pastagem (Ds=1,42 g cm<sup>-3</sup>) (Tabelas 7 e 9), sendo o maior valor encontrado no Gleissolo, no terço inferior da voçoroca (Figura 34). A variabilidade da Ds na pastagem foi baixa (CV= 3,28 %).

A análise dos resultados obtidos revela que no trecho médio da erosão, relativo aos pontos de amostragem 4 e 5 (Figura 34), tanto na pastagem como no talude da erosão (Tabelas 6 e 7) há predomínio da fração areia na classe textural dos solos, enquanto que na região do ponto 10, onde há uma ruptura de declive, há predomínio da fração argila.

**Tabela 7.** Valores médios (n=9) dos atributos físicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo em taludes da voçoroca Córrego do André.

Horizonte	Prof., cm	ARG	SIL	AR	Dp	Ds	VTP	Ma	Mi
		g Kg <sup>-1</sup>			Kg m <sup>-3</sup>		(%)		
<b>Ponto 1</b>									
A	0-30	446,7	146,7	406,7	2,66	1,36	51,13	50,80	0,34
AB	31-60	510,0	133,3	356,7	2,66	1,38	43,69	43,39	0,34
Bw	61-330	473,3	133,3	393,3	2,74	1,28	54,59	54,25	0,34
Bc	331-410	466,7	153,3	380,0	-	-	-	-	-
C	411 +	446,7	160,0	393,3	-	-	-	-	-
Méd perfil		468,7	145,3	386,0	2,68	1,34	49,80	49,48	0,34
<b>Ponto 2</b>									
A	0-49	306,7	106,7	586,7	2,68	1,59	40,51	40,20	0,31
AB	50-78	390,0	226,7	383,3	-	-	-	-	-
Bw	79-320	503,3	206,7	290,0	2,68	1,31	51,02	50,7	0,35
Bc	321-500	463,3	166,7	370,0	-	-	-	-	-
C	501 +	326,7	223,3	450,0	-	-	-	-	-
Méd perfil		398,0	186,0	416,0	2,68	1,45	45,77	45,44	0,33
<b>Ponto 3</b>									
A	0-32	373,3	90,0	536,7	2,67	1,47	45,1	44,85	0,25
Bw	33-1510	400,0	130,0	470,0	2,67	1,41	47,01	46,75	0,26
C	1511 +	336,7	103,3	560,0	2,63	1,51	42,53	42,26	0,27
Méd perfil		370,0	107,8	522,2	2,66	1,49	43,81	43,55	0,26
<b>Ponto 4</b>									
A	0-53	213,3	93,3	693,3	-	-	-	-	-
Bw	54-149	270,0	90,0	640,0	-	-	-	-	-
Bc	150-192	333,3	106,7	560,0	-	-	-	-	-
C	193 +	196,7	93,3	710,0	-	-	-	-	-
Méd perfil		253,3	95,8	650,8	-	-	-	-	-

Continua...

**Tabela 7.** Continuação.

Horizonte	Prof., cm	ARG	SIL	AR	Dp	Ds	VTP	Ma	Mi
		g Kg <sup>-1</sup>			Kg m <sup>-3</sup>		(%)		
<b>Ponto 5</b>									
O	0-42	163,3	96,7	740,0	-	-	-	-	-
Bw	43-109	243,3	80,0	676,7	-	-	-	-	-
Bg	110-177	176,7	83,3	740,0	2,64	1,81	31,27	31,00	0,27
C	178 +	160,0	93,3	746,7	-	-	-	-	-
Méd perfil		185,8	88,3	725,8	2,64	1,81	31,27	31,00	0,27
<b>Ponto 6</b>									
O	0-50	363,3	116,7	520,0	-	-	-	-	-
Bw	51-150	306,7	113,3	580,0	-	-	-	-	-
Bg	151 +	483,3	156,7	360,0	-	-	-	-	-
<b>Ponto 7</b>									
A	0-20	453,3	153,3	393,3	-	-	-	-	-
Bw	21-90	513,3	156,7	330,0	-	-	-	-	-
Bc	91-145	383,3	113,3	503,3	-	-	-	-	-
C	146 +	486,7	180,0	333,3	-	-	-	-	-
Méd perfil		459,2	150,8	390,0	-	-	-	-	-
<b>Ponto 8</b>									
Ac	0-68	476,7	173,3	350,0	-	-	-	-	-
C	69 +	510,0	193,3	296,7	-	-	-	-	-
Méd perfil		493,3	183,3	323,3	-	-	-	-	-
<b>Ponto 9</b>									
A	0-25	450,0	156,7	393,3	-	-	-	-	-
Bc	26-78	516,7	133,3	350,0	-	-	-	-	-
BC	79-116	500,0	166,7	333,3	-	-	-	-	-
C	117 +	470,0	153,3	376,7	-	-	-	-	-
Méd perfil		484,2	152,5	363,3	-	-	-	-	-
<b>Ponto 10</b>									
AC	0-135	590,0	216,7	193,3	-	-	-	-	-
C	136 +	566,7	320,0	113,3	-	-	-	-	-
Méd perfil		578,3	268,3	153,3	-	-	-	-	-
<b>Ponto 11</b>									
A	0-50	466,7	210,0	323,3	-	-	-	-	-
Bw1	51-93	516,7	160,0	323,3	-	-	-	-	-
Bc1	94-136	476,7	143,3	380,0	-	-	-	-	-
Bw2	137-310	520,0	156,7	323,3	-	-	-	-	-
Bc2	311-498	600,0	206,7	193,3	-	-	-	-	-
C	499 +	553,3	150,0	296,7	-	-	-	-	-
Méd perfil		522,2	171,1	306,7	-	-	-	-	-
<b>Ponto 12</b>									
A	0-41	526,7	176,7	296,7	-	-	-	-	-
Bc	42-68	586,7	133,3	280,0	-	-	-	-	-
C	69 +	600,0	216,7	183,3	-	-	-	-	-
Méd perfil		571,1	175,6	253,3	-	-	-	-	-
<b>Ponto 13</b>									
A	0-45	416,7	150,0	433,3	-	-	-	-	-
Bc	46-290	463,3	110,0	426,7	-	-	-	-	-
Méd perfil		440,0	130,0	430,0	-	-	-	-	-

Continua...

**Tabela 7.** Continuação.

Horizonte	Prof., cm	ARG	SIL	AR	Dp	Ds	VTP	Ma	Mi
		g Kg <sup>-1</sup>			Kg m <sup>-3</sup>		(%)		
<b>Ponto 14</b>									
A	0-55	383,3	146,7	470,0	-	-	-	-	-
Bw	56-286	390,0	133,3	476,7	-	-	-	-	-
Méd perfil		386,7	140,0	473,3	-	-	-	-	-

Prof = Profundidade; ARG = Argila; SIL = Silte; AR = Areia; Dp = Densidade de partículas; Ds = Densidade do Solo; VTP = Volume total de poros; MA = Macroporosidade; MI = Microporosidade.

Os valores médios do volume total de poros (VTP) do solo no talude (VTP = 42,66 %, Tabela 7) foram ligeiramente inferiores aos da pastagem (VTP = 43,12 %, Tabela 9). A macroporosidade (Ma) e a microporosidade (Mi) também apresentaram valores médios mais elevados na pastagem (Tabela 9). Os valores diferenciados da porosidade encontrados entre os taludes da voçoroca e o pasto evidenciam o efeito dos processos erosivos na redução dos espaços porosos dos solos quando expostos pela incisão erosiva, alterando as características naturais da cobertura pedológica afetada pela erosão.

O valor médio de umidade gravimétrica (=3,92 Kg Kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6) não diferiu entre as profundidades (Tabela 8). A homogeneidade da umidade pode ser explicada pelo fato de que as amostras foram coletadas durante o período chuvoso de 2008.

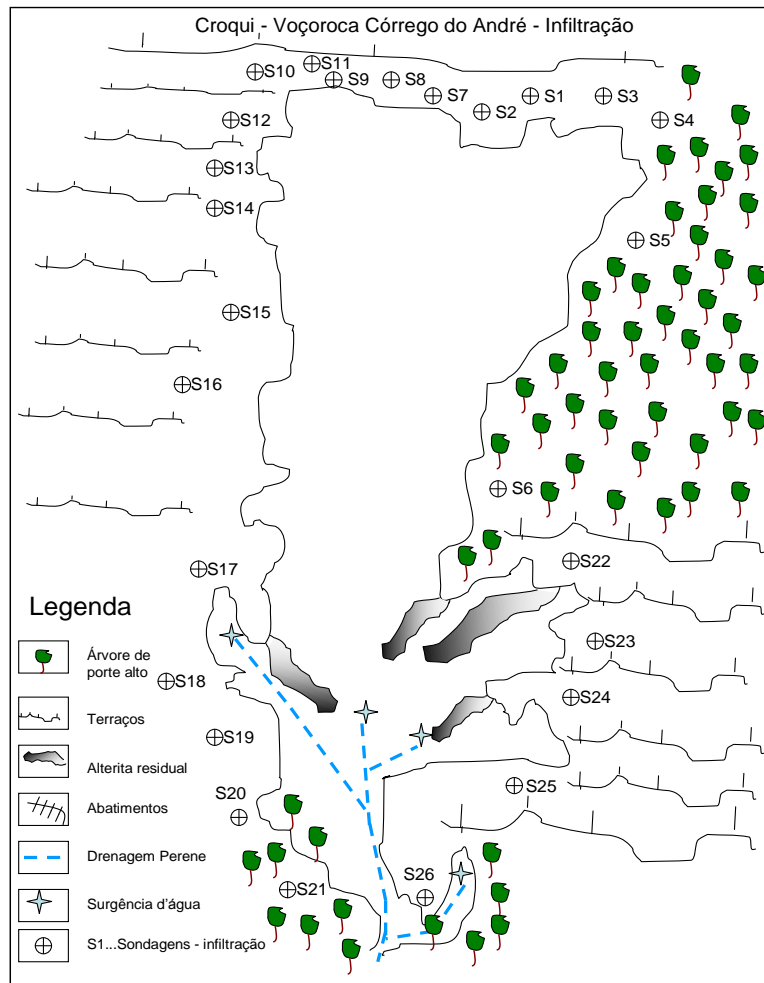
**Tabela 8.** Umidade gravimétrica e resistência à penetração (n=87) de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem no entorno da voçoroca Córrego do André.

Atributos	Profundidade, cm				DMS	CV
	0-20	20-40	40-60	MG		
U (kg kg <sup>-1</sup> )	3,95	3,91	4,01	3,93	1,84	16,24
RP (MPa)	2,80	2,97	2,15	2,80	1,21	14,96

U = Umidade gravimétrica; RP = Resistência à penetração; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação; MG = Média Geral; DMS = Diferença mínima significativa; CV = Coeficiente de variação.

Na Figura 46 estão localizados os pontos nos quais os testes de condutividade hidráulica do solo saturado (Ko), no entorno da voçoroca foram realizados.

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado foram elevados na área de contribuição da voçoroca, com valor médio de 98,67 mm h<sup>-1</sup> (Tabela 9).



**Figura 46.** Localização das sondagens para os testes de infiltração em torno da voçoroca C. do André, (SOUSA, 2009).

**Tabela 9.** Valores médios (n=9) de algumas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagem no entorno da voçoroca Córrego do André.

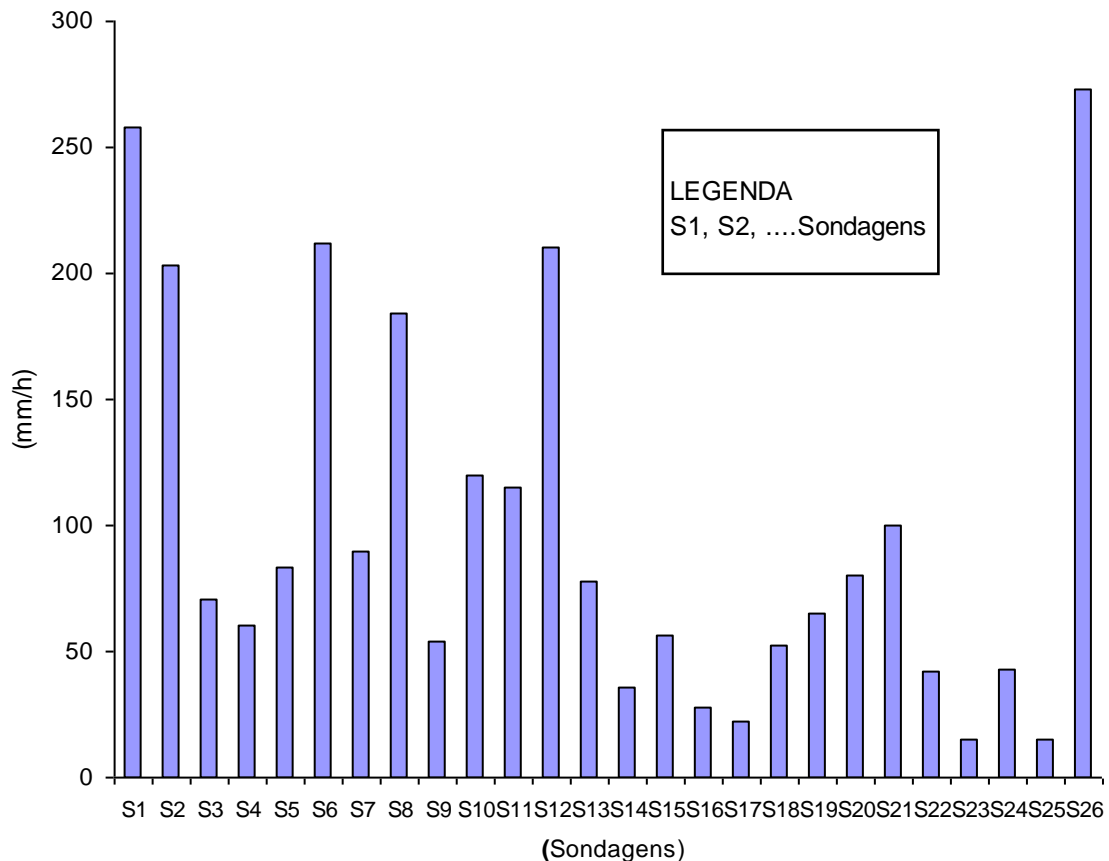
Atributos	Total**	DP	CV (%)
Dp ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,50	0,074	3,01
Ds ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	1,42	0,046	3,28
VTP %	43,12	0,59	1,36
MA %	42,93	0,85	1,98
MI %	0,40	0,02	4,80
Ko ( $\text{mm h}^{-1}$ )*	98,67	76,27	77,30

Dp = Densidade de partículas; Ds = Densidade do solo; VTP = Volume total de poros; MA = Macroporosidade; MI = Microporosidade; Ko = condutividade hidráulica do solo saturado (Ko); DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação; \*Média de 26 pontos em torno da voçoroca; \*\*Amostras coletadas a 20 cm de profundidade.

A Figura 47 mostra a distribuição dos valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado (Ko) em pontos (Figura 46) no entorno da voçoroca.

Souza & Alves (2003) utilizaram o permeâmetro de Guelph para avaliar a condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho distrófico sob área de

Cerrado, em Selvíria, MS, em seis usos do solo (Cerrado natural, plantio direto, plantio convencional, cultivo mínimo, seringueira e pastagem). Encontraram valores superiores ( $=330 \text{ mm h}^{-1}$  no Cerrado natural e  $190 \text{ mm h}^{-1}$  na área de pastagem com mais de 20 anos) aos obtidos neste trabalho (que foi de  $=98,67 \text{ mm h}^{-1}$ ).



**Figura 47.** Distribuição dos valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) em pontos (Figura 46) no entorno da voçoroca.

Costa & Nishiyama (2007), ao utilizarem o permeâmetro de Guelph para verificação de valores de coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) em diferentes tipos de usos do solo: Cerrado, mata ciliar, reflorestamento, cultura anual e pastagem, em Uberlândia, MG, encontraram maiores valores de permeabilidade nas áreas de mata ciliar e Cerrado e as menores em áreas de pastagem, com valores até seis vezes menores do que os encontrados na mata. A baixa permeabilidade encontrada na pastagem pode estar associada à compactação, em especial no horizonte superficial do solo (0-10 cm), exercida pelo intenso pisoteio do gado.

Eguchi et al. (2003) utilizaram o permeâmetro de Guelph e encontraram valores díspares de condutividade hidráulica saturada em um solo hidromófico. Segundo os

autores essa elevada variabilidade pode ser explicada pela heterogeneidade da textura e estrutura do solo, bem como, em função de raízes, atividade microbiana, rachaduras localizadas, dentre outros fatores.

Cerana et al. (2003), ao estudarem o comportamento hídrico de um Vertissolo na Argentina com o uso do permeâmetro de Guelph, encontraram baixos valores de condutividade hidráulica saturada, variando entre  $0,067 \text{ mm h}^{-1}$  a  $0,395 \text{ mm h}^{-1}$ , enquanto que Lilly (1994), na Escócia, em solos com textura franco argilosa a franco arenosa, obteve valores de condutividade hidráulica saturada variando entre  $0,25 \text{ mm h}^{-1}$  até  $20 \text{ mm h}^{-1}$ , semelhantes aos encontrados por Cerana et al. (2003) de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  em solos de textura argilosa,  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  a  $40 \text{ mm h}^{-1}$  em solos bem estruturados e  $> 40 \text{ mm h}^{-1}$  em solos arenosos.

Os elevados valores de infiltração encontrados nos pontos S1 e S2, localizados na cabeceira da voçoroca, e o S6 (Figura 47), no trecho médio podem ser explicados pela ocorrência de horizontes concrecionários nesses perfis de solo, pois esses propiciam a rápida percolação da água abaixo de 20 cm de profundidade, pois acima dessa os resultados da determinação da resistência do solo à penetração mecânica (RP) mostram compactação nessa camada.

A elevada taxa de infiltração deste último ponto representa um risco de desestabilizar ainda mais a borda da voçoroca, pois, está localizado apenas a 10 m de distância deste local. A percolação da água subsuperficial na referida bacia de infiltração tende naturalmente a exfiltrar no talude da incisão, no contato dos horizontes Bw, Bc e C, desestabilizando o talude e provocando movimentos de massa generalizados, como os deslizamentos ocorridos no período chuvoso 2007/2008 observado no local.

As menores taxas de infiltração dos pontos S13 a S16 em relação ao S12 podem estar associadas aos maiores valores de RP encontrados nesses pontos. Neste trecho da voçoroca há presença de trincas de tração, indicando breve incremento em suas dimensões.

Os resultados dos testes de Ko realizados de S17 a S21, mostram valores crescentes das taxas de infiltração em direção à jusante, e podem estar associados à maior concentração de sedimentos arenosos no sentido da base da encosta. Nesse terço da voçoroca, observa-se o repovoamento espontâneo de espécies vegetais de porte médio e alto (até 20 m de altura) no interior e margens da incisão, mas também movimentos de massa e/ou queda de taludes pontuais, mesmo em meio à vegetação higrófila/hidrófila, típica de ambientes ripários (Figura 48).



**Figura 48.** A e B Solapamento do talude no trecho inferior da voçoroca em área parcialmente estável (presença de vegetação – repovoamento espontâneo).

Entre os pontos S22 a S25, na margem esquerda da erosão (Figura 45), foram obtidos valores médios de  $K_o$  menores que  $45 \text{ mm h}^{-1}$ . Nesta parte da voçoroca os taludes apresentam-se instáveis em função do escoamento superficial, condicionando a atuação de mecanismos erosivos representados pelos sulcos, marmitas, alcovas de regressão e trincas de tração superficiais, mas, com grande capacidade de destruição das bordas da incisão.

Os ensaios com o penetrômetro de impacto permitem afirmar que a resistência do solo à penetração é elevada em alguns pontos da área de contribuição da voçoroca. Dentre eles, destacam-se as trilhas de gado nas proximidades da voçoroca, pontos 1 e 3 com respectivos 3,44 MPa e 4,00 MPa (Tabela 6), sendo que 2,5 MPa já são considerados valores críticos para solos com textura argilosa, semelhantes aos encontrados nessa área, como afirma Casagrande (2001), pois, reduzem a infiltração em detrimento do aumento do escoamento superficial (*runoff*).

No Cerrado, encontrado na cabeceira à esquerda da erosão sobre um topo convexo (pontos 6, 7 e 8), foram registrados valores altos de resistência do solo à penetração, variando de 2,37 MPa até 2,55 MPa. Nesta área mesmo durante eventos pluviométricos pouco intensos ocorre escoamento superficial que atinge as bordas da voçoroca, desestabilizando energeticamente os taludes, fato que tem contribuído para a progressão da erosão nesse setor, mesmo o solo sendo relativamente raso (aproximadamente 70 cm de espessura) e com predomínio de horizontes concrecionários superficiais.

Os ensaios realizados entre terraços (pontos 4 e 5) evidenciaram valores de resistência do solo à penetração acima de 2,80 MPa, podendo estar associados à compactação exercida pelo constante pisoteio do gado. Bertol et al. (2001), em trabalho semelhante, também encontraram elevados valores de resistência à penetração em área de pastagem em campo natural.

A resistência à penetração média em profundidade apresentou pequena variabilidade, mas foi mais elevada na profundidade 20-40 cm (=2,97 MPa) e com valores menores de 40-60 cm de profundidade (=2,15 MPa), com coeficiente de variação de 14,96% (Tabela 9).

A compactação do solo favorece o escoamento superficial que contribui para a atuação dos mecanismos erosivos típicos de ravina, como erosão por queda d'água ou efeito cachoeira, sulcos, desmoronamentos de taludes, dentre outros, que atuam na cabeceira e bordas laterais da voçoroca, contribuindo para a sua progressão lateral e remontante, em direção ao topo do modelado local.

A dinâmica erosiva atual é diferente daquela durante a sua deflagração inicial, pois, conforme o depoimento de um dos entrevistados a erosão surgiu próximo ao córrego local, no setor côncavo da encosta, e já com interceptação do lençol freático em seu interior, momento que deve ter ocorrido a instalação de *pipings*, contribuindo para a sua evolução lateral e remontante. Contudo, essa dinâmica foi substituída pelos fluxos superficiais a partir da instalação dos terraços em sua cabeceira e lateralmente, somados ao aumento do pisoteio do gado, nos últimos 10 anos, contribuindo para ativar os mecanismos erosivos típicos de ravinamento, no setor mais instável da incisão.

Portanto, o escoamento superficial tende a ser mais elevado nas áreas mais compactadas, ou em função do tipo de uso do solo, que provoca o seu adensamento ou mesmo ainda pelas condições naturais do terreno. Isso foi observado em campo durante cinco eventos pluviométricos. O deflúvio com maior volume ocorre sobre as áreas mais compactadas, como evidenciadas pelo penetrômetro de impacto, nas trilhas de gado que circundam a erosão, na área de Cerrado com predomínio de solo raso e concrecionário, bem como na área de pastagem degradada entre terraços, mesmo em condições de chuva pouco intensa. O declive e forma da encosta nessa posição de montante da voçoroca favorecem a convergência dos deflúvios para a mesma.

Em síntese, o escoamento superficial tende a ser mais elevado nas áreas mais compactadas, ou em função do tipo de uso do solo, que provoca o seu adensamento ou mesmo ainda pelas condições naturais do terreno. Isso foi observado em campo durante

cinco eventos pluviométricos. O deflúvio com maior volume ocorre sobre as áreas mais compactadas, como evidenciadas pelo penetrômetro de impacto, nas trilhas de gado que circundam a erosão, na área de Cerrado com predomínio de solo raso e concrecionário, bem como na área de pastagem degradada entre terraços, mesmo em condições de chuva pouco intensa. O declive e forma da encosta nessa posição de montante da voçoroca favorecem a convergência dos deflúvios para a mesma.

Essas características associadas a outros elementos do meio físico, como a declividade, a concentração e intensidade das chuvas, somada à posição de borda de platô e o tipo de uso atual do solo (pastagem) favorecem sua progressão.

#### 4.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

As análises químicas dos solos afetados pela voçoroca foram importantes para diagnosticar as suas principais características, visando facilitar a identificação dos tipos de solos afetados pela incisão erosiva.

Os valores médios do teor de ferro (Fe) oscilaram entre 21,00 % e 122,17 %, sendo mais elevados em seu trecho superior (ponto 2) e na jusante em área de Gleissolo (ponto 5, Tabela 10).

**Tabela 10.** Valores médios (n=9) dos atributos químicos de horizontes de perfis de solo coletados em taludes da voçoroca Córrego do André.

Horizonte	Prof.,cm	Fe	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
		%	CaCl <sub>2</sub>	(%)	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%
<b>Ponto 1</b>												
A	0-30	28,87	4,73	2,37	0,40	58,00	0,50	0,33	3,63	0,00	4,62	19,65
AB	31-60	21,50	4,73	0,97	0,50	35,67	0,20	0,17	2,37	0,00	2,82	16,04
Bw	61-330	21,87	4,63	0,67	0,33	36,00	0,33	0,17	2,10	0,00	2,69	21,71
Bc	331-410	21,63	4,80	0,40	0,23	35,33	0,33	0,10	1,77	0,00	2,29	22,64
C	411 +	19,53	4,60	0,27	0,33	35,00	0,33	0,10	1,70	0,00	2,22	22,58
Média no perfil		22,68	4,70	0,93	0,36	40,00	0,34	0,17	2,31	0,00	2,93	20,52
<b>Ponto 2</b>												
A	0-49	122,17	4,67	2,13	0,67	43,00	0,63	0,27	2,90	0,00	3,91	24,53
AB	50-78	23,73	4,67	1,10	0,17	36,33	0,97	0,10	2,17	0,00	3,33	34,37
Bw	79-320	26,60	4,70	0,27	0,57	36,00	0,47	0,17	1,70	0,00	2,43	29,73
Bc	321-500	21,00	4,67	0,57	0,30	37,33	0,27	0,13	1,77	0,00	2,26	21,54
C	501 +	22,57	4,90	0,30	0,40	39,67	0,43	0,10	1,43	0,00	2,07	30,47
Média no perfil		43,21	4,72	0,87	0,42	38,47	0,55	0,15	1,99	0,00	2,80	28,13

Continua...

**Tabela 10.** Continuação.

Horizonte	Prof.,cm	Fe	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
		%	CaCl <sub>2</sub>	(%)	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%
<b>Ponto 3</b>												
A	0-32	62,03	4,37	1,00	0,67	34,33	0,53	0,10	3,63	0,10	4,35	16,60
Bw	33-1510	48,37	4,37	0,53	0,40	33,67	0,73	0,13	2,30	0,00	3,25	29,10
C	1511 +	41,13	4,57	0,70	0,30	33,00	0,50	0,10	1,63	0,00	2,32	29,58
Média no perfil		50,51	4,43	0,74	0,46	33,67	0,59	0,11	2,52	0,03	3,31	25,09
<b>Ponto 4</b>												
A	0-53	53,03	4,17	1,53	0,40	41,67	0,63	0,27	4,97	0,00	5,97	16,76
Bw	54-149	41,17	4,63	0,50	0,40	61,33	0,53	0,10	1,97	0,00	2,76	28,79
Bc	150-192	43,17	4,67	0,70	0,50	35,33	0,60	0,10	1,70	0,00	2,49	31,74
C	193 +	47,90	4,53	0,30	0,30	36,67	0,47	0,10	1,43	0,00	2,09	31,51
Média no perfil		46,32	4,50	0,76	0,40	43,75	0,56	0,14	2,52	0,00	3,33	27,20
<b>Ponto 5</b>												
O	0-42	62,60	4,00	0,93	0,40	38,00	0,43	0,13	4,47	0,20	5,13	12,97
Bw	43-109	87,80	3,90	0,57	0,30	37,00	0,37	0,13	5,73	0,17	6,33	10,22
Bg	110-177	112,63	3,83	0,33	0,30	39,00	0,37	0,60	8,77	0,33	9,83	10,91
C	178 +	78,47	3,73	0,20	0,63	40,67	0,50	1,27	13,27	0,60	15,14	12,32
Média no perfil		85,38	3,87	0,51	0,41	38,67	0,42	0,53	8,06	0,33	9,11	11,61
<b>Ponto 6</b>												
O	0-50	56,70	4,27	0,83	0,47	37,00	0,50	0,17	2,43	0,03	3,19	23,84
Bw	51-150	62,17	4,13	0,70	1,33	39,33	0,43	0,10	3,23	0,10	3,87	16,44
Bg	151 +	40,83	4,00	0,83	0,57	39,00	0,40	0,50	7,97	0,23	8,97	11,23
Média no perfil		53,23	4,13	0,79	0,79	38,44	0,44	0,26	4,54	0,12	5,34	17,17
<b>Ponto 7</b>												
A	0-20	41,30	4,20	1,97	1,27	39,00	0,63	0,30	5,80	0,10	6,83	15,52
Bw	21-90	42,50	4,53	0,60	0,30	38,00	0,43	0,13	2,10	0,00	2,76	24,03
Bc	91-145	45,17	4,73	0,53	0,30	37,33	0,47	0,10	1,83	0,00	2,50	26,44
C	146 +	41,27	4,67	0,40	0,57	37,00	0,40	0,10	1,77	0,00	2,36	25,22
Média no perfil		42,56	4,53	0,88	0,61	37,83	0,48	0,16	2,88	0,03	3,61	22,80
<b>Ponto 8</b>												
Ac	0-68	19,20	4,60	0,47	0,40	40,33	0,73	0,17	2,53	0,00	3,54	27,87
C	69 +	17,80	4,53	0,53	0,27	31,67	0,43	0,10	1,97	0,00	2,58	23,80
Média no perfil		18,50	4,57	0,50	0,33	36,00	0,58	0,13	2,25	0,00	3,06	25,83
<b>Ponto 9</b>												
A	0-25	55,77	4,30	1,37	0,30	41,33	0,53	0,10	2,77	0,13	3,51	21,59
Bc	26-78	35,40	4,30	0,80	0,17	34,67	0,40	0,10	2,37	0,03	2,96	20,00
BC	79-116	31,60	4,37	0,63	0,17	33,33	0,47	0,10	2,23	0,00	2,89	22,64
C	117 +	20,63	4,40	0,40	0,23	33,00	0,40	0,10	1,90	0,00	2,48	23,63
Média no perfil		35,85	4,34	0,80	0,22	35,58	0,45	0,10	2,32	0,04	2,96	21,96
<b>Ponto 10</b>												
AC	0-135	21,00	4,27	0,67	0,30	37,33	0,50	0,10	2,53	0,03	3,23	21,53
C	136 +	11,73	4,67	0,33	0,10	35,00	0,50	0,10	2,10	0,00	2,79	24,80
Média no perfil		16,37	4,47	0,50	0,20	36,17	0,50	0,10	2,32	0,02	3,01	23,17
<b>Ponto 11</b>												
A	0-50	39,53	4,27	1,03	0,30	41,67	0,50	0,10	3,00	0,10	3,71	19,06
Bw1	51-93	13,60	4,20	0,60	0,33	39,67	0,63	0,10	2,23	0,03	3,07	27,13
Bc1	94-136	21,03	4,30	0,60	0,10	38,33	0,77	0,10	2,30	0,03	3,26	29,36

Continua...

**Tabela 10.** Continuação.

Horizonte	Prof.,cm	Fe	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
		%	CaCl <sub>2</sub>	(%)	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%
<b>Ponto 11 (Continuação...)</b>												
Bw2	137-310	13,40	4,40	0,47	0,17	36,33	0,53	0,10	2,23	0,00	2,96	24,53
Bc2	311-498	19,27	4,47	0,33	0,23	43,33	0,57	0,10	2,03	0,00	2,81	27,73
C	499 +	16,63	4,47	0,33	0,33	48,67	0,40	0,10	1,63	0,00	2,26	27,15
Média no perfil		20,58	4,35	0,56	0,24	41,33	0,57	0,10	2,24	0,03	3,01	25,83
<b>Ponto 12</b>												
A	0-41	26,43	4,23	1,47	0,63	42,00	0,43	0,10	4,30	0,10	4,94	12,86
Bc	42-68	35,87	4,20	1,07	0,77	42,67	0,53	0,10	4,03	0,10	4,78	15,54
C	69 +	26,23	4,23	0,60	0,57	39,33	0,53	0,10	2,70	0,03	3,43	21,43
Média no perfil		29,51	4,22	1,04	0,66	41,33	0,50	0,10	3,68	0,08	4,38	16,61
<b>Ponto 13</b>												
A	0-45	36,83	4,13	1,57	0,60	43,67	0,53	0,10	4,07	0,10	4,81	15,96
Bc	46-290	27,33	4,20	0,67	0,50	40,00	0,50	0,10	2,60	0,10	3,30	21,31
Média no perfil		32,08	4,17	1,12	0,55	41,83	0,52	0,10	3,33	0,10	4,06	18,63
<b>Ponto 14</b>												
A	0-55	48,57	4,97	1,2	0,73	36,33	0,90	0,13	3,63	0,00	4,76	23,72
Bw	56-286	44,53	4,70	0,4	0,47	33,33	0,70	0,13	2,23	0,00	3,15	29,15
Média no perfil		46,55	4,83	0,80	0,60	34,83	0,80	0,13	2,93	0,00	3,96	26,43

Teste F. Nível de significância do teste F: \* = significativo a 5%; ns = não significativo; Prof = Profundidade; Fe = Ferro; pH = Potencial Hidrogeniônico; MOS = Matéria orgânica do solo; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V = Saturação de base.

A matéria orgânica do solo (MO) com média geral de 1,32 % apresentou valores relativamente baixos em toda a área de contribuição, principalmente, no trecho inferior da erosão (pontos 5 e 6) sob vegetação ciliar.

O valor médio de pH do solo (= 4,35) apresentou pequena variação entre os pontos de amostragem, com CV = 1,62 %.

O fósforo (P) apresentou valores muito baixos em toda a área, com média de 0,52 mg/dm<sup>-3</sup>. Entre todos os atributos do solo avaliados foi o que apresentou os maiores valores de coeficiente de variação (118,78). O valor médio de potássio (K), de 41,00 mg/dm<sup>-3</sup> (CV= 28,83%), de cálcio (Ca) (= 0,56 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CV =31,92%) e magnésio (Mg) (de 0,19 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> cm CV =71,30%) são considerados baixos.

O hidrogênio + alumínio (H+Al) oscilou entre 5,80 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 2,43 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, com média de 3,56 e coeficiente de variação de 14,31 %. O alumínio (Al) com média de 0,06 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> apresentou coeficiente de variação de 105,4 %.

Os valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) foram de 4,43 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Na cabeceira da voçoroca (ponto 7) em área de Cerrado foi encontrado o maior valor

médio ( $6,83 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e na jusante (ponto 6) foi encontrado o menor valor ( $3,19 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (Tabela 6).

Os valores da saturação por bases (V) acompanharam a tendência dos demais atributos químicos avaliados, ou seja, apresentaram valores baixos. Com média de 20,23%, diferença mínima significativa de 15,2 e coeficiente de variação de 25,98% na pastagem (Tabela 6). No talude a média desse atributo ficou em 22,21%, com o maior valor no perfil dois (28,13 %), talude direito no trecho superior da voçoroca e, a menor média 16,61 % foi encontrada no ponto 12, talude esquerdo da voçoroca no trecho médio/superior (Tabela 10).

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS DA VOÇOROCA TINGÁ

Os solos afetados por essa voçoroca em geral apresentam textura franco arenosa (Tabela 11). Portanto, mais facilmente erodíveis (Cogo, 1988) que associada a outros elementos do meio físico, como declividade, concentração e intensidade das chuvas, borda de platô, associadas ao tipo de uso do solo atual (pastagem) favorecem a sua progressão.

As médias da fração areia são muito superiores às demais frações do solo em todos os pontos amostrados tanto na pastagem como nos taludes, com média geral de  $671 \text{ g kg}^{-1}$  e  $727,24 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabelas 11 e 12). No talude no ponto (perfil) dois (Figura 43), a média ultrapassou os  $820 \text{ g kg}^{-1}$ . Ocorreu grande variabilidade nessa fração entre todos os pontos analisados. Já o coeficiente de variação com maior valor (25,38 %) foi registrado para o silte.

A densidade de partículas ( $D_p$ ) apresentou valores médios de  $2,53 \text{ kg m}^{-3}$  tanto no talude como na pastagem (Tabelas 12 e 13), com baixo coeficiente de variação (1,36%). No talude a maior densidade de partículas ( $2,65 \text{ kg m}^{-3}$ ) foi encontrada no horizonte C (ponto 1) e o menor valor ( $2,40 \text{ kg m}^{-3}$ ) no horizonte O (ponto 3).

Os valores médios de densidade do solo ( $D_s$ ) foram maiores no talude ( $1,57 \text{ kg m}^{-3}$ ) em relação à pastagem ( $1,46 \text{ kg m}^{-3}$ ). Apresentou elevada variabilidade assim como na densidade de partículas, o primeiro ponto (perfil um) apresentou a maior média ( $1,91 \text{ kg m}^{-3}$ ) e o terceiro (perfil três) a menor ( $0,95 \text{ kg m}^{-3}$ ) deste atributo (Tabela 13).



**Tabela 11.** Avaliação de atributos físicos e químicos do solo (n=30), a 20 cm de profundidade em área de pastagem no entorno da voçoroca Tingá.

Pto.	U	RP	ARG	SIL	ARE	Fe	MOS	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
	(Kg Kg <sup>-1</sup> )	(Mpa)		(g Kg <sup>-1</sup> )		%	(%)	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			(%)
1	2,11B	2,07BA	237,0BA	73,0B	690,0BA	59,33B	0,80C	4,50A	0,60B	28,33B	0,57B	0,27A	3,03B	0,50D	3,97B	23,33A
2	2,04B	2,56BA	163,0D	63,0B	773,0A	155,0A	1,87CB	4,07B	1,03B	35,33A	1,47A	0,17A	5,60B	0,80DC	7,33B	23,67A
3	1,58B	2,24BA	270,0A	137,0B	593,0BC	46,73CB	9,10B	4,13B	1,60B	35,67A	0,47B	0,17A	17,60A	9,13A	18,33A	4,33CB
4	1,54B	2,14BA	213,0BC	230,0A	557,0C	16,53C	22,37A	4,07B	12,03A 5,7B	29,00B	0,30B	0,13A	21,23A	6,57B	21,77A	2,33C
5	1,50B	2,08BA	177,0DC	83,0B	740,0A	14,57C	3,2CB	4,4A		29,00B	0,40B	0,13A	7,57B	2,43C	8,20B	7,67B
6	1,74B	2,80A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	15,67A	1,86B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DMS</b>	<b>4,0618</b>	<b>0,82</b>	<b>4,0456</b>	<b>8,0015</b>	<b>10,749</b>	<b>40,011</b>	<b>7,7329</b>	<b>0,17</b>	<b>5,9077</b>	<b>4,4965</b>	<b>0,294</b>	<b>0,155</b>	<b>5,6737</b>	<b>1,8344</b>	<b>5,775</b>	<b>4,4426</b>
<b>MG</b>	<b>3,74</b>	<b>2,25</b>	<b>212,0</b>	<b>117,0</b>	<b>671,0</b>	<b>58,43</b>	<b>7,47</b>	<b>4,23</b>	<b>4,19</b>	<b>31,47</b>	<b>0,64</b>	<b>0,17</b>	<b>11,00</b>	<b>3,89</b>	<b>11,92</b>	<b>12,27</b>
<b>CV</b>	<b>25,23</b>	<b>2,25</b>	<b>7,10</b>	<b>25,38</b>	<b>5,96</b>	<b>25,48</b>	<b>38,54</b>	<b>1,49</b>	<b>52,42</b>	<b>5,32</b>	<b>17,11</b>	<b>33,31</b>	<b>19,18</b>	<b>17,56</b>	<b>18,03</b>	<b>13,48</b>

Teste F. Nível de significância do teste F: \* = significativo a 5%; ns = não significativo; Pto. = Ponto; DMS = Diferença mínima significativa; MG = Média Geral; CV = Coeficiente de variação; U = Umidade gravimétrica; RP = Resistência a penetração; ARG = Argila; SIL = Silte; ARE = Areia; Fe = Ferro; pH = Potencial Hidrogeniônico; MOS = Matéria orgânica do solo; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V = Saturação de base.

**Tabela 12.** Valores médios (n=9) dos atributos físicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo em taludes da voçoroca Tingá.

Horizonte	Prof.,cm	ARG	SIL	AR	Dp	Ds	VTP	Ma	Mi
		g Kg <sup>-1</sup>		Kg m <sup>-3</sup>			(%)		
<b>Ponto 1</b>									
Ap	0-40	236,7	73,3	690,0	-	-	-	-	-
A	41-410	260,0	36,7	703,3	-	-	-	-	-
C	411 +	106,7	103,3	790,0	2,65	1,91	27,93	27,66	0,27
Média perfil		201,1	71,1	727,8	2,65	1,91	27,93	27,66	0,27
<b>Ponto 2</b>									
Ap	0-30	163,3	63,3	773,3	2,53	1,54	39,28	39,02	0,26
A	31-132	100,0	50,0	850,0	-	-	-	-	-
C	133-335	100,0	43,3	856,7	-	-	-	-	-
Média perfil		121,1	52,2	826,7	2,53	1,54	39,28	39,02	0,26
<b>Ponto 3</b>									
O	0-60	270,0	136,7	593,3	2,40	0,95	60,34	59,70	0,64
Média perfil		270,0	136,7	593,3	2,40	0,95	60,34	59,70	0,64
<b>Ponto 4</b>									
O	0-184	213,3	230,0	556,7	-	-	-	-	-
C	185 +	103,3	60,0	836,7	-	-	-	-	-
Média perfil		158,3	145,0	696,7	-	-	-	-	-
<b>Ponto 5</b>									
A	0-26	176,7	83,3	740,0	2,47	1,83	25,78	25,43	0,35
C	60 +	96,7	60,0	843,3	2,62	1,93	28,64	26,32	0,31
Média perfil		136,7	71,7	791,7	2,54	1,88	27,21	25,87	0,33
<b>Média Geral</b>		<b>177,44</b>	<b>95,33</b>	<b>727,22</b>	<b>2,53</b>	<b>1,57</b>	<b>38,69</b>	<b>38,06</b>	<b>0,37</b>

Prof = Profundidade; ARG = Argila; SIL = Silte; AR = Areia; Dp = Densidade de partículas; Ds = Densidade do Solo; VTP = Volume total de poros; MA = Macroporosidade; MI = Microporosidade.

**Tabela 13.** Valores médios (n=9) de algumas propriedades físico-hídricas de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem no entorno da voçoroca Tingá.

Atributos	Total**	DP	CV (%)
Dp (kg cm <sup>-3</sup> )	2,53	0,034	1,36
Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	1,46	0,309	21,17
VTP %	48,40	20,02	41,36
MA %	48,02	19,79	41,22
MI %	0,24	0,03	10,48
Ko (mm h <sup>-1</sup> )*	259,43	261,23	100,69

Dp = Densidade de partículas; Ds = Densidade do solo; VTP = Volume total de poros; MA = Macroporosidade; MI = Microporosidade; Ko = Condutividade hidráulica. \*Média de 18 pontos em torno da voçoroca; \*\*Amostras coletadas a 20 cm de profundidade.

O volume total de poros (VTP) e a macroporosidade apresentaram valores médios mais elevados na pastagem (=48,40% e 48,02%, respectivamente) do que no talude (=38,69% e 38,06%, respectivamente) (Tabela 11). Enquanto que a microporosidade média foi mais elevada no talude (Tabela 10).

O valor médio de umidade gravimétrica ( $=3,74 \text{ Kg Kg}^{-1}$ ) apresentou coeficiente de variação de 151,23% (Tabela 14). Entre os pontos analisados o sétimo em área de Organossolo, apresentou o maior valor (Tabela 11), diferentemente dos demais, sob solo arenoso, que foram relativamente homogêneos quanto à umidade.

**Tabela 14.** Umidade gravimétrica e resistência à penetração de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem no entorno da voçoroca Tingá.

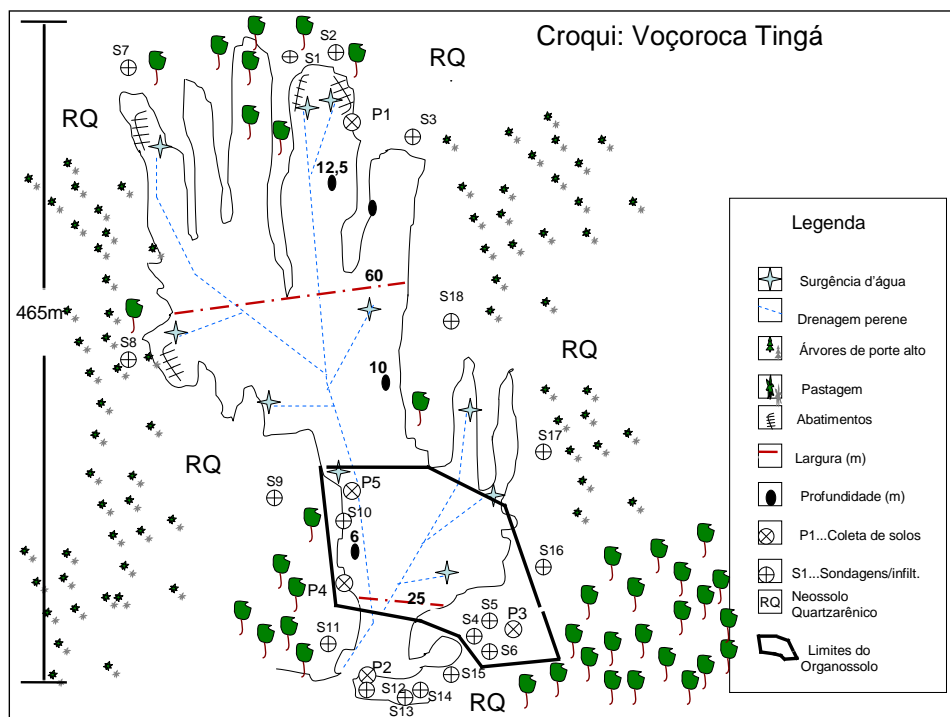
Atributos	Profundidade, cm				DMS	CV (%)
	0-20	20-40	40-60	MG		
U( $\text{kg kg}^{-1}$ )	2,93A	4,38A	3,91A	3,74	4,1947	151,23
RP (MPa)	2,42A	2,23A	2,11A	2,25-	0,4568	27,32

U = Umidade gravimétrica; RP = Resistência à penetração; MG = Média Geral; DMS = Diferença mínima significativa; CV = Coeficiente de variação.

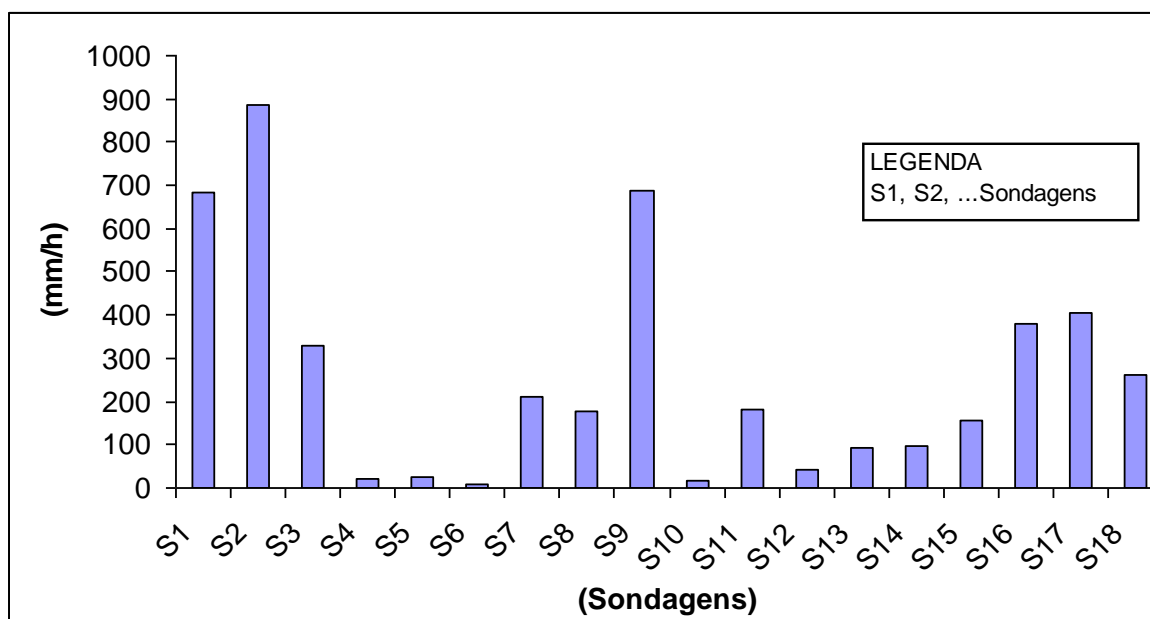
Os dados obtidos nos 18 ensaios realizados na área de contribuição da voçoroca ingá, com Permeâmetro de Guelph (Figura 49), revelaram elevadas taxas de condutividade hidráulica do solo saturado, com valor médio de  $259,43 \text{ mm h}^{-1}$  (Tabela 13) na maioria dos pontos (Figura 50). Essa característica corrobora as observações em campo e as análises granulométricas de que os setores dominados pelo Neossolo Quartzarênico, trechos médio, superior da encosta e extrema jusante, apresentam boa permeabilidade, mas, elevada suscetibilidade erosiva comandada pela atuação dos *pipings*. Estes desestabilizam o sopé dos taludes, provocando movimentos de massa generalizados contribuindo para a progressão lateral e regressiva da voçoroca.

No setor inferior da encosta onde predomina o Organossolo (S4, S5, S6 e S10), possuindo forte adesão entre as partículas, registrou-se as menores taxas de infiltração e de condutividade hidráulica saturada, bem como maior resistência aos processos erosivos. Contudo, este trecho não foi capaz de suportar a pressão exercida pelo fluxo subsuperficial de montante, o qual certamente foi incrementado a partir da década de 1970, com o desmatamento e subsequente redução da evapotranspiração real, disponibilizando maior quantidade de água no sistema pedológico. Fato esse agravado pelo revolvimento do solo para o cultivo convencional de arroz, momento que desencadeou a referida erosão, conforme o relato dos entrevistados.

Baccaro (1999), reportando-se ao trabalho de Coelho Neto et al. (1997), afirma que “as camadas de baixa permeabilidade funcionam como impedimento à percolação e propiciam a saturação até certa altura das camadas de solo subjacentes”. Tudo indica que foi o que ocorreu na área estudada como já reportado.



**Figura 49.** Localização das sondagens para os testes de infiltração em torno da Voçoroca Tingá, (SOUSA, 2009).



**Figura 50.** Distribuição dos valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) em pontos no entorno da voçoroca Tingá (ver localização das sondagens na figura anterior).

As sondagens de 12 a 14, realizadas em área de mata, na jusante a esquerda da erosão, apresentaram baixa condutividade hidráulica, provavelmente relacionada com a maior presença de matéria orgânica. Neste setor, com o predomínio do Neossolo

Quartzarênico, a voçoroca está relativamente estabilizada, não apresentando tendências de evolução lateral mesmo com textura franco-arenosa dominante.

Os solos arenosos do topo da área de contribuição dessa erosão dificultam a ocorrência de elevados valores de compactação, mesmo sob pastagem cultivada nos últimos 20 anos, com criação de gado Nelore, ininterruptamente. Este fato foi corroborado pelos testes de resistência do solo à penetração, com valores médios de 2,25 MPa (Tabela 11), valores relativamente menores do que na voçoroca Córrego do André e, abaixo dos valores considerados críticos que variam entre 6,0 MPa a 7,0 MPa para solos arenosos, como salienta Casagrande (2001).

Em geral, a resistência do solo à penetração na parte superior da área de contribuição da erosão apresenta baixa variabilidade, oscilando entre 2,07 MPa a 2,8 MPa (pontos 1 a 6) (Tabela 11). Na área ocupada por Organossolo no trecho inferior da erosão foram encontrados menores valores de RP com média (=1,86 MPa). Porém, esse solo tende a ser menos permeável e, normalmente apresenta menores taxas de condutividade hidráulica do que o Neossolo Quartzarênico à montante. Contudo, retém água por mais tempo e possui maior resistência aos processos erosivos pluviais.

A resistência à penetração média em profundidade apresentou pequena variabilidade, mas, foi mais elevada na profundidade 0-20 cm (=2,42 MPa), provavelmente em função do uso atual, e com valores menores de 40-60 cm de profundidade (=2,11 MPa), com coeficiente de variação de 27,32% (Tabela 14).

Os baixos valores médios de resistência à penetração verificados em torno da voçoroca Tingá (Tabela 11) corroboram a hipótese de que essa erosão tem sua dinâmica comandada pelos fluxos internos, representados pelos *pipings*, alimentados pelas elevadas taxas de infiltração do solo local (Tabela 13). Portanto, mesmo com o uso intensivo de pastagem cultivada para criação de gado, os animais pouco influenciam na compactação do solo. Por isso, o escoamento superficial é bem reduzido e pouco afeta os taludes da voçoroca.

#### 4.8 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os valores médios do teor de ferro (Fe) foram de (=58,43%), apresentando elevada variabilidade e coeficiente de variação de (=25,48%) (Tabela 11).

A matéria orgânica do solo (MOS) com média geral de 7,47% apresentou elevada variabilidade e coeficiente de variação de (=38,54%). Nas áreas com predomínio de

Neossolo Quartzarênico (pontos 1 e 2) os valores desse atributo foram baixos enquanto que nos locais de domínio de solo escuro (pontos 3 e 4) as percentagens de matéria orgânica foram relativamente elevadas (=9,10% e 22,37%, respectivamente).

O valor médio de pH do solo foi de (= 4,23) caracterizando uma acidez muito elevada (Embrapa, 2000). Apresentou pequena variabilidade entre os pontos de amostragem, com CV =1,49% (Tabela 11).

O fósforo (P) apresentou valores médios (=4,19 mg dm<sup>-3</sup>) considerados muito baixos (Embrapa, 2000), com moderada variabilidade e coeficiente de variação de (=52,42%). No ponto quatro (Figura 43) foi encontrada maior concentração desse atributo na voçoroca com média de =12,03 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 11).

O valor médio de potássio (K) foi de =31,47 mg/dm<sup>3</sup>, considerado baixo (Embrapa, 2000) com baixa variabilidade e coeficiente de variação de (CV= 5,32%) (Tabela 11). O cálcio (Ca) apresentou média geral de (= 0,64 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CV =17,11%), com maior concentração no trecho inferior da erosão em área de mata (ponto 2). Os valores médios de magnésio (Mg) foram de (= 0,17 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> cm CV =33,31%), portanto, considerados baixos (Embrapa, 2000).

A acidez potencial (H + Al) apresentou média de (=11,00 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) com pequena variabilidade e coeficiente de variação (CV = 19,18%) (Tabela 11). Nos pontos 3 e 4 com maior concentração de matéria orgânica a acidez potencial foi mais elevada (H+Al = 17,60 e 21,23, respectivamente) (Tabelas 11 e 15).

O valor médio do alumínio (Al) encontrado foi de (Al = 3,89) apresentou coeficiente de variação de (CV = 17,56%). Também foram registrados maiores concentrações desse elemento nos pontos 3 e 4 (Tabela 10).

A capacidade de troca catiônica (CTC) com valor médio de (CTC = 11,92 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), com pequena variabilidade e coeficiente de variação (CV = 18,03%), forma encontrada maior concentração nos pontos 3 e 4 (Tabelas 6 e 10).

Os valores médios da saturação por bases (V) foram de (V = 12,27%) classificados como muito baixos (Embrapa, 2000) e apresentou coeficiente de variação de 13,48%.

Cabe ressaltar que a voçoroca Córrego do André está se desenvolvendo sobre antiga cicatriz erosiva evidenciada através das investigações em topossequência, que possibilitou a identificação de horizontes e camadas pedológicas distintas entre os taludes direito e esquerdo da erosão, que provavelmente foram depositados através de cortes e preenchimentos sucessivos nos últimos anos.

**Tabela 15.** Valores médios (n=9) dos atributos químicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo em taludes da voçoroca Tingá.

Horizonte	Prof.,cm	Fe	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
		%	CaCl <sub>2</sub>	(%)	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		(%)	
<b>Ponto 1</b>												
Ap	0-40	59,33	4,50	0,80	0,60	28,33	0,57	0,27	3,03	0,50	3,97	22,97
Ap	41-410	30,43	4,40	0,43	0,67	32,33	0,40	0,10	3,03	0,17	3,63	17,03
C	411 +	22,10	4,30	0,10	1,20	26,33	0,37	0,10	1,43	0,20	2,00	27,03
Média P.		37,29	4,40	0,44	0,82	29,00	0,44	0,16	2,50	0,29	3,20	22,34
<b>Ponto 2</b>												
Ap	0-30	155,00	4,07	1,87	1,03	35,33	1,47	0,17	5,60	0,80	7,33	23,83
A	31-132	149,57	4,07	0,50	1,30	31,00	1,10	0,37	2,70	0,60	4,27	36,40
C	133-335	269,80	3,73	0,50	1,40	36,33	0,37	0,33	6,60	1,97	7,40	10,83
Média P.		191,46	3,96	0,96	1,24	34,22	0,98	0,29	4,97	1,12	6,33	23,69
<b>Ponto 3</b>												
O	0-60	46,73	4,13	9,10	1,60	35,67	0,47	0,17	17,60	9,13	18,33	4,00
Média P.		46,73	4,13	9,10	1,60	35,67	0,47	0,17	17,60	9,13	18,33	4,00
<b>Ponto 4</b>												
O	0-184	16,53	4,07	22,37	12,03	29,00	0,30	0,13	21,23	6,57	21,77	2,37
C	185 +	20,20	4,20	0,53	1,13	24,67	0,30	0,10	2,40	1,00	2,90	16,33
Média P.		18,37	4,13	11,45	6,58	26,83	0,30	0,12	11,82	3,78	12,33	9,35
<b>Ponto 5</b>												
A	0-26	14,57	4,40	3,20	5,70	29,00	0,40	0,13	7,57	2,43	8,20	7,467
C	60 +	49,47	4,40	0,20	1,70	45,00	0,83	2,97	2,17	1,40	6,07	64,47
Média P.		32,02	4,40	1,70	3,70	37,00	0,62	1,55	4,87	1,92	7,13	35,97
<b>Média geral</b>		<b>65,17</b>	<b>4,20</b>	<b>4,73</b>	<b>2,79</b>	<b>32,54</b>	<b>0,56</b>	<b>0,46</b>	<b>8,35</b>	<b>3,25</b>	<b>9,47</b>	<b>19,07</b>

Prof = Profundidade; Média P. = Média no perfil; Fe = Ferro; pH = Potencial Hidrogeniônico; MOS = Matéria orgânica do solo; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V = Saturação de base.

Essa voçoroca tem sua evolução comandada pelos fluxos superficiais concentrados em trilhas de gado que circundam a incisão, associados aos fluxos concentrados que transbordam os terraços e atingem as bordas da voçoroca, bem como, através da exfiltração da água subsuperficial no contato dos horizontes Bw ou Bc com o C subjacente nos taludes fortemente inclinados. Os testes de resistência à penetração demonstraram elevada compactação em torno da erosão justificando a tendência de forte escoamento superficial na área de contribuição que atinge a cabeceira da voçoroca.

Quanto à voçoroca Tingá as investigações do meio físico realizadas indicam que a sua área de contribuição é naturalmente muito suscetível ao voçorocamento e, que o uso do solo implementado a partir da década de 70 (século XX) acelerou sua evolução. Os solos de textura arenosa, no seu trecho superior, possuem baixa resistência à penetração (compactação) e elevada condutividade hidráulica saturada, por isso, sua progressão está

associada à atuação contínua dos mecanismos erosivos internos representados pelos *pipings* em função das elevadas taxas de infiltração das águas das chuvas na bacia de contribuição, durante o período chuvoso. O escoamento superficial pouco contribui para a progressão dessa erosão.

As duas erosões mesmo já possuindo grandes dimensões, vale aberto em U, presença de vegetação em suas bordas e no interior, apresentam pontos de instabilidades evidentes (trincas de tração, sulcos nos taludes, movimentos de massa recentes, alcovas de regressão, *pipings*, dentre outros) demonstrando previsão de rápida evolução lateral e remontante. Por isso, faz-se necessário à implementação de medidas de estabilização para minimizar os impactos causados pela evolução de cada fenômeno.

## **5 CONCLUSÃO**

As investigações realizadas permitem concluir que as erosões surgiram em áreas naturalmente susceptíveis ao voçorocamento e que os tipos de uso do solo implantados na região contribuíram para a deflagração e progressão das referidas incisões erosivas.

As características físico-hídricas dos solos afetados pelas voçorocas associadas a outros elementos do meio físico, como características litológicas, declividade, forma e comprimento da encosta, concentração e intensidade das chuvas, tipos de solos, disposição dos horizontes no perfil, somados à posição de borda de platô e o predomínio de pastagem cultivada, favorecem a progressão das duas voçorocas.

Vale ressaltar que as erosões estão situadas em zona de erosão recuante, portanto, o uso do solo atual da área de contribuição de cada uma, deve ser alterado. Para isso, devem ser adotadas medidas como o isolamento da área, plantio de gramíneas e árvores nativas e exóticas visando o repovoamento espontâneo e induzido para a completa estabilização das voçorocas e a conseqüente redução da perda de solos e biodiversidade locais.

Tais medidas devem ser estendidas para outras áreas com focos erosivos semelhantes que bordejam a serra da Confusão do rio Preto e, outros testemunhos residuais, nas proximidades, para minimizar os impactos ambientais decorrentes.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, A. de A. **Voçorocas: medidas de prevenção e contenção em áreas rurais.** (Dossiê Técnico). Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, 2007. 19 p.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. de. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do Norte Paulista. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 321-326, 1994.

ALMEIDA FILHO, G. S. de. **Diagnósticos de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no Município de Bauru, SP.** 2000. 221 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ALMEIDA FILHO, G. S. de.; ALMEIDA, M. C. J. de. O impacto da expansão urbana no desenvolvimento de processos erosivos lineares no Município de Bauru, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa-PB. **Anais eletrônicos.** João Pessoa, 2001. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/brasil/ix-007.pdf> >. Acesso em: 29 maio 2009.

ALMEIDA FILHO, G. S. de.; SANTORO, J.; GOMES, L. A. Estudo da dinâmica evolutiva da boçoroca São Dimas no Município de São Pedro, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. P. 73-86. 1 CD-ROM.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. (Editor), **Conservação de solo e água - práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** Ed.: UFV, Viçosa, 2006. Cap. 4, p. 75-108.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica – SAR** – Dados de precipitação consistido e bruto da estação 01850002 do Município de Quirinópolis. Brasília, 2007. (recebidos por e-mail em: 28.09.2007).

ANDRADE PINTO, L. V. **Relatório Técnico.** Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes (EAFI), MG, Curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental na Agropecuária, 2007. 32 p.

ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R.; GUIMARÃES, M. F. Uso do Césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 223-229, 2003.

ARAÚJO, G. H. de. S.; ALMEIDA, J. R. de.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

ASSAD, E.D. E SANO, E.E. (ed). **Sistema de Informação Geográficas: Aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1998. 434 p.

AUGUSTIN, C. H. R. R. & ARANHA, P. R. A. Piping em área de voçorocamento, noroestes de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 1, p. 09-18, 2006.

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. Cap. 6, p. 195-227.

BACELLAR, L. de. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá**. 2000. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

BARBALHO, M. G. da S.; SILVA, A. A. ; MEDEIROS, C. M.; RAMOS, D. R.; XAVIER, L. S.; PEREZ FILHO, A.; CASTRO, S. S. Caracterização Geoambiental: Uso e Ocupação das Terras da região do Alto curso do Rio Araguaia – (GO/MT). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8., 2001, Recife. **Anais...Recife**, 2001. 1 CD-ROM.

BARBALHO. M. G. S. & CASTRO, S. S. de. **Morfologia do relevo e ocorrências erosivas lineares na alta bacia do rio Araguaia, GO/MT**. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003. Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: UERJ, 2003. Disponível em: <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.4/282/282.htm>. Acesso em: 10 out. 2008.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 58, n.3, p. 555-560, jul/set, 2001.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. Ícone: São Paulo, 2005. 355p.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revista Géograph**. Pyrénées et du Sud-Ouest, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.

BLAKE, G. R. Bulk density. In: BLACK, C. A. **Methods of Soil Analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Cap. 1, p. 374-390.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison, WI: Amerocan Society Agronomy, 1986. Cap. 1, p.377-382.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. 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. Cap. 8, p. 269-300.

BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988. Campinas, São Paulo. **Anais...** Campinas: SBCS, 1988. p. 79-90.

BRASIL. **Manual Técnico de Uso da Terra**. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2. ed., Rio de Janeiro, 2006. 91 p.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; DINIZ, N. C. **Cartilha erosão**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2005. 34p.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; MELO, M. T. da. A erosão à luz da Legislação Ambiental. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 1, p. 1-37.

CAMPOS, A. B., CASTRO, S. S., SANTOS, R. R., SILVA, A. A. Geological and topographic indicators of the gully erosion at the upper araguaia river basin, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GULLY EROSION UNDER GLOBAL CHANGE, ESSC. 1., 2000. Leuven, Bélgica. **Anais...** Leuven, 2000.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. de O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 597-607, 2005.

CAPPI, D. M. **Recuperação ambiental de áreas erodidas como alternativa de destino final de pneus inservíveis**. 2004. 60p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARNEIRO, C. D. R.; SOUZA, J. J. de. Mapeamento geomorfológico em escala de semidetalhe da região de Jundiá-Atibaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 17-30, 2003.

CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Org.). **Qualidade Física do Solo: Métodos de estudo – Sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2001. Cap. 6, p. 150-197.

CASSETI, V. Os “desbarrancados” de Palmelo – GO. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 7/8, n. 1/2, p. 53-70, jan./dez. 1987/1988.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147 p.  
CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M. Pesquisa em erosão do solo. XII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 2000,

Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, 2000. Disponível em:  
[http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIIReunião Brasileira Ilheus/1020.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIIReunião_Brasileira_Ilheus/1020.pdf). Acesso em 11 ago. 2007.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. de. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Org.). **Qualidade física do solo: Métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. Cap. 2, p. 21-46.

CASTRO, S. S. de. Micromorfologia de solos aplicada ao diagnóstico de 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. Cap. 4, p. 127-163.

CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de. S.; BARBALHO, M. G. da. S (Org.). **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares**. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, 2004. 75 p.

CASTRO, S.S.; BARBALHO, M.G.S.; MARINHO, G.V.; CAMPOS, A.B.; SALOMÃO, F.X.T.; VECHIATTO, A. Condicionantes hidrológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e manejo dos solos na circulação hídrica e processos de voçorocamento na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT). In: COUTO, E. G.; BUENO, J. F. (Ed.). **Os (Des) caminhos do uso da água na agricultura brasileira**. Cuiabá: Ed. UFMT/SBCS, 2004. p.408-448.

CASTRO, S. S. de. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 17, p. 38-60, 2005. Disponível em:  
<[http://www.geografia.ffch.usp.br/publicações/RDG/RDG\\_17/selma\\_sim%a4es\\_de\\_castro.pdf](http://www.geografia.ffch.usp.br/publicações/RDG/RDG_17/selma_sim%a4es_de_castro.pdf)>. Acesso em 06 de dez. 2009.

CERANA, J. A.; FONTANINI, P. G.; DUARTE, O.; RIVAROLA, S.; DIAS, E.; BENAVIDEZ, R. Permeabilidad saturada em Vertisoles. Uso Del Permeámetro de Guelph. In: VII ESCUELA LATINOAMERICANA DE FÍSICA DE SUELOS – EVALUCIÓN DE PARÁMETROS Y PROCESOS HIDROLÓGICOS EN EL SUELO, 7., 2003, La Serena, Chile. **Anais...** La Serena, 2003. p. 17-22.

CHIQUITO, E. de A. **Expansão urbana e meio ambiente nas cidades não-metropolitanas – o Caso de Franca-SP**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2006.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Cério (Ce) em ferricretes nodulares desenvolvidos em solos da Formação Adamantina. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 329-336, jun. 2000.

COGO, N. P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; FREITAS, S. S. (Org.). **A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 251-262.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Erosão e formas de controle**. Belo Horizonte: CEMIG, 2001. 31 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Glossário de Geoprocessamento e Cartografia**. Departamento de Pesquisa, Desenvolvimento e Normalização Técnica - ST/DN. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br/glossario/geogloss.html>>. Acesso em: 23 fev. 2008.

COELHO NETO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 69-100, 2003.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “Fallout” do <sup>137</sup>Cs**. 2003. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-CENA, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

COSTA, E. L. da.; SILVA, A. M. da.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. de. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.131-134, 1999.

COSTA, F. P. M.; NISHIYAMA, L. Utilização do Permeâmetro Guelph e Penetrômetro de Impacto em estudos de uso e ocupação dos solos em bacias hidrográficas. **Caminhos de Geografia** (Revista on line), Uberlândia, v. 8, n.24, p. 131-143, dez. 2007.

CROUCH, R. J.; Mc GARITY, J. W.; STORRIER, R. R. Tunnel formation processes in the Riverina area of N. S. W. **Earth Surface Processes and Landforms**, Austrália. v. 11, n. 1, p. 157-168, 1986.

D’AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 131 p.

DAL’ BÓ, P. F. F.; LADEIRA, F. S. B. Ambientes paleoclimáticos da Formação Marília baseado em análise paleopedológica na região de Monte Alto (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 127-134, 2006.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA e INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE/IPT. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas. Diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas**. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, DAEE/IPT, 1989. 92 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Tratamento ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos – especificação de serviço**. Rio de Janeiro: Norma DNIT 074/2006 – ES, 2006. 24 p.

DE PLOEY, J.; GABRIELS, D. Measuring soil loss and experimental studies. In: KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. (Ed.). **Soil Erosion**. Chichester: 1980. p. 63-108.

DIAS, E. J.; GOES, M. H. de. B.; XAVIER-DA-SILVA, J.; GOMES, O. V. de O. Geoprocessamento aplicado na análise ambiental: o caso do Município de Volta Redonda – RJ. In: XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. (Org.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap. 4, p.143-177.

DINIZ, J. A. F. **Geografia da agricultura**. São Paulo: DIFEL, 1984. 278 p.

DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; ABE, K.; KITADA, M. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão Água da Cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 141-149, mar. 1998.

DRUMOND, F. N.; BACELLAR, L. de. A. P. Caracterização hidrossedimentológica e dos processos evolutivos de voçoroca em áreas de rochas gnáissicas do alto Rio das Velhas (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 87-96, 2006.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, maio/jun. 2004.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L da.; OLIVEIRA, M. S de. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas “in situ”. **Ciência agrotécnica**, Lavras, ed. especial, p. 1607-1613, dez. 2003.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Análises Químicas para avaliação da fertilidade do Solo**. Documentos, n.3, Rio de Janeiro: Embrapa, 1998. 40 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais**. Embrapa Agrobiologia, Sistemas de Produção, 3. ISSN 1806-2830, Versão Eletrônica, Dez/2006. Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/implantacao.htm>. Acesso em: 19 maio 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Fertilidade de Solos – Sistema de produção, 1**. FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; COELHO A. M. (Org.). Embrapa Milho e Sorgo, 2000. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/feranalise.htm>>. Acesso em: 23 jan. 2010.

EVERETT, S. E.; TIMS, S. G.; HANCOCK, G.; J. BARTLEY, R.; FIFIELD, L. K. Comparison of Pu and  $^{137}\text{Cs}$  as tracers of soil and sediment transport in a terrestrial environment. **Journal of Environmental Radioactivity XX**. 2007. p.1-11.

FAO. **Protec and produce**. (Ed. revisada). Roma, 1992.

FARIAS, R. C.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; PALMEIRA, E. M. Sistema de barramentos para recuperação de ravinas e voçorocas. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 12, p. 387-425.

FLORENZANDO, T. C. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FREIRE, W. **Direito Ambiental Brasileiro – com Legislação Ambiental atualizada**. Rio de Janeiro: Aide Editora, 1998. 265 p.

FREUND, R.J.; LITTELL, R.C. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary: SAS Institute, 1981. 231 p.

FUJIKAWA, Y.; ZHENG, J.; CAYER, I.; SUGAHARA, M.; TAKIGAMI, H.; KUDO, A. Strong association of fallout plutonium with humic and fulvic acid as compared to uranium and  $^{137}\text{Cs}$  in Nishiyama soils from Nagasaki, Japan. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 240**, 1999. p. 69-74.

FURLANI, G. M. **O Município de Casa Branca**. Casa Branca: Impressos São Sebastião Editora e Gráfica Ltda., 2003. 180 p.

GONZÁLEZ, Y. V.; TORRES, F. A. G.; CARVALHO, CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SANTANA, A. P. Biotecnologia aplicada ao controle de processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 11, p. 373-386.

GOLOSOV, V.; PANIN, A. Métodos de monitoramento do desenvolvimento de voçorocas, no centro da Planície Russa. In: LI, Y.; POESEN, J.; VALENTIN, C. (Ed.). **Gully erosion under global change**. Chengdu, China: Sichuan Science and Technology Press, 2004. Cap. 3, p. 21-28.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. da. Controle de erosão em estradas não pavimentadas. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação de solo e água – Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2006. Cap. 7, p. 171-220.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 19 n. 21, p. 319-328, abr. 1960.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. Cap. 4, p. 177-223.

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. Cap. 1, p. 17-55.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. Cap. 5, p. 181-227.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia – Exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. Cap. 5, p. 139-155.

INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A de. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 9, p. 131-152.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe / Paranapanema**. São Paulo: IPT. 1986. 6 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Investigação, caracterização da fenomenologia e diretrizes para o controle corretivo e preventivo de nove feições erosivas lineares e respectivas bacias de contribuição – Bacia Hidrográfica do Alto Araguaia, GO/MT**. São Paulo: IPT. 1998. 22 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. Bate-papo Programado. GAMA JÚNIOR, G. F. de C. & GRAMANI, M. F. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/>>. Acesso em: 12 dez. 2007.

IWASA, O. Y.; FENDRICH, R. Controle da erosão urbana. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A de. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 16, p. 271-281.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. Cap. 7, p. 113-138.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Method of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p.210 – 221.

LACERDA FILHO, J. V de.; REZEND, A.; SILVA, A da. (Org.). Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. **Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: CPRM, 1999. 200 p.

LAET, S. M. **Desenvolvimento de metodologias para recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração**. Cuiabá: FEMA-MT, 2003. 30 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

LILLY, A. The determination of Field – saturated hydraulic conductivity in some Scottish soils using the Guelph permeameter. **Soil Use and Management**, v. 10, p. 72-78, 1994.

LIMA, V. R. P. de.; SILVA, J. F. C. B. C.; VIANNA, P. C. G. Diagnóstico parcial dos recursos hídricos do assentamento Dona Antônia – Conde – PB. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luis. **Anais eletrônicos...**, São Luis: ABRH, 2004. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/2ACA245B568C5F6183256F71006A1BC2/\\$FileNT000A248E.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/2ACA245B568C5F6183256F71006A1BC2/$FileNT000A248E.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2008.

LOPES, S. L.; GUERRA, A. J. T. Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis – SC. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: SNCE, 2001. Disponível em: <<http://www.topografia.ufsc.br/Arquivos.GPS>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

LOURENÇO, R. W. **Geoprocessamento: conceitos básicos**. Engenharia Ambiental UNESP – Sorocaba, SP, 2001. 38 p. Disponível em: <[http://www.sorocaba.unesp.br/professor/robertow/arquivos/Introducaoao geoprocessamento\\_Aula%2001.pdf](http://www.sorocaba.unesp.br/professor/robertow/arquivos/Introducaoao geoprocessamento_Aula%2001.pdf)>. Acesso em: 23 fev.2008.

MACÊDO, I. L.; SOUZA, N. M. de.; CAMPAGNOLI, F. Utilização de modelos de previsão de erosão/ assoreamento para avaliação do balanço de massas numa bacia hidrográfica. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 7, p. 249-270.

MACHADO, C. C.; GARCIA, A. R.; SILVA, E.; FONTES, A. M. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 295-300, 2003.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. 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. Cap. 9, p. 301-322.

MANFREDINI, S., QUEIROZ NETO, J. P. Comportamento hídrico de sistema de transformação lateral B latossólico, B textural em Marília (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBCS, 1993.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. Indicadores ambientais relevantes para a análise da suscetibilidade à erosão dos solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 01-16, set. 2003.

MARINHO, G. V. **Caracterização físico-hídrica e da suscetibilidade erosiva linear dos solos da sub-bacia do córrego Queixada, na alta bacia do rio Araguaia-GO.** 2003. 170 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)-Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

MARINHO, G. V.; CASTRO, S. S. Estudo de piezometria com ênfase aos processos de voçorocamento na alta bacia do rio Araguaia/GO. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

MARINHO, G.V.; CASTRO, S. S. Caracterização físico-hídrica e de suscetibilidade a voçorocamento dos solos da subbacia do córrego Queixada na alta bacia do rio Araguaia. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGFA, 2003. CD-ROM.

MARINHO, G.V.; CASTRO, S. S.; CAMPOS, A. B. de. Hydrology And Gully Processes In The Upper Araguaia River Basin, Central Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie.** Supplementband, v. 145, p. 119-145, 2006.

MARTINS, M. S. **Substrato geológico e suas relações com os processos erosivos lineares na bacia do Alto Rio Araguaia.** 2000. 120 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Geografia)-Instituto de Estudos Sócio Ambientais, Universidade Federal de Goiás, 2000.

MARTINS, E. O.; SOUZA, N. M. de.; SALES, M. M.; NASCIMENTO, M. A. L. S. do.; OLIVEIRA, M. de F. M. Cadastro de erosões. In: CAMAPUM de CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro.** Brasília: FINATEC, 2006. Cap. 5, p. 193-220.

MENDES, J. C.; PETRI, S. **Geologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1971. 207 p.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaíse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1055-1062, nov./dez. 2004.

MORAIS, F. BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Avaliação da susceptibilidade de solos gnáissicos à erosão subsuperficial. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 233-241, dez. 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

- MONTOLAR-SPAROVEK, R. B.; VIDAL-TORRADO, P.; SPAROVEK, G. Erosão em sulcos, entressulcos e voçorocas em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 859-865, out/dez. 1999.
- MORGAN, R. C. P. **Soil erosion & conservation**. 2. ed. Silsoe College: Cranfield University, Longman, 1996. 195 p.
- NASCIMENTO, M. A. .L. S. Erosões urbanas em Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 14, n. 1, p.77-101, jan./dez. 1994.
- NETTO, M. M.; SOBREIRA, F. G. Os processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do Ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus condicionantes principais: observações preliminares. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 13-21, 2006.
- OLIVEIRA, M. A. T. **Depósitos tectogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/PR**. 1994. 211 f. Tese (Doutorado na Faculdade de Filosofia, Ciências Humanas e Letras), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos – conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap. 2, p. 57-99.
- OLIVEIRA, V. C. V. CASTRO, S. S. Susceptibility and risks to water erosion in the upper Araguaia River Basin (GO/MT), Brazil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. spec., p. 607-708, 2005.
- PAULA E SILVA, F.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 1, p. 77-88, mar. 2005.
- PEDRO, F. G. & LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 01, n. 56, p. 28-33, nov. 2004.
- PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte: Editora FAPI, 2006. 150 p.
- PINTO, R. C. G.; SÍGOLO, J. B. Contatos litológicos como vetor de erosão linear nos municípios de Herculândia, Quintana e Pompéia do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSAO, 7, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001.
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M de. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 216 p.
- PIZARRO, F. **Drenage Agrícola Y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Ed. Agrícola Española, S.A., 1978.

POESEN, J.; VANDEKERCKHOVE, L. Assessment of gully headcut retreat rates in a Semi-Arid environment over different timescales. In: LI, Y.; POESEN, J.; VALENTIN, C. (Ed.). **Gully erosion under Global change**. Chengdu, China: Sichuan Science and Technology, 2004, cap. 4, p. 29-56.

PREFEITURA MUNICIPAL DE QUIRINÓPOLIS-GO. Disponível em: <<http://www.quirinopolis.go.gov.br/prefeitura/index.php>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 240 p.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. da. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação de solo e água – Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2006. cap. 6, p. 133-170.

RABELO, N. A. **Métodos de análise**. Goiânia: Ed. Universidade Católica de Goiás, 2000. 82 p.

RAMOS, D. M. **Chuvvas e suscetibilidade erosiva na alta bacia do rio Araguaia**. 2003. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia)-Instituto de Estudos Sócio Ambiental, Universidade Federal de Goiás, 2003.

RAMOS, D. M. R.; XAVIER, L. C; CAMPOS, A.B. & LUIZ, G. C. Análise Frequencial Pentadial e dos Totais Pluviométricos e sua Influências no Desenvolvimento dos Processos Erosivos Lineares na Alta Bacia do Rio Araguaia. In: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001. Goiânia. **Anais...** Goiânia: SNCE, 2001.

RAMOS, D.M. Análise Preliminar da Intensidade e Duração das Pluviosidades na Alta Bacia do Rio Araguaia nos Estados de Goiás e Mato Grosso. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 5., 2003. **Anais...**, CD-ROM, 2003.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed. Manole Ltda., 1987. 188 p.

RESENDE, A. S. de.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. **Recuperação de voçorocas na bacia do rio Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2005. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/colunistas/colunaDetalhe.aspx?CodColuna=963>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

REZENDE, A. de. **Estudo do processo de voçorocamento na bacia do córrego Capivara, alta bacia do rio Araguaia, em Mineiros (GO)**. 2003. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B., T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1998. cap.3, p. 88-166.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. de. T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto rio da Casca, MT. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.

RIDENTE JÚNIOR, J. L.; GAMA JÚNIOR, G. F. de. C.; GOMES, C. L. R.; IWASA, O. Y. Plano de obras de controle de erosão urbana, nas bacias dos córregos Limoeiro e Cedro (Presidente Prudente e Álvares Machado). In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: VI SINACE, 1998. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, S. C.; SILVA, J. B. da.; VIEIRA, W. C. Análise das características de materiais superficiais em função da aplicação de lodo estabilizado em área de cultivo de citrus, em Araguari (MG). **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 2, n. 4, p. 55-72, jun. 2001.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 3 ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1995. 117 p.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAS – RIMAS. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. cap. 6, p. 291-336.

RUSSEL, E.W. **Soil conditions and plant growth**. 10. ed. Londres: Longman, 1973. 73 p.

SALOMÃO, M. M.; ROCHA, G. A. (Ed.). **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas**. São Paulo: DAEE/IPT, 1989. 62 p.

SALOMÃO, F. X. de. T. **Processos erosivos lineares em Bauru, SP: regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. 1994. 200 f. Tese (Doutorado em Geografia)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1994.

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. cap. 7, p. 229-267.

SANTANA, N. M. P. de.; CASTRO, S. S. Índices de Erosividade das Chuvas para a Alta Bacia do Rio Araguaia (GO/MT). In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., 2006. Goiânia. **Anais...** Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira, 2006. 1 CD-ROM.

SANTANA, N. M. P. de.; CASTRO, S. S.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 103-121, dez. 2007.

SANTOS, R. M. M. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Município de Goiânia**. 1997. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005. 100 p.

SALES, M. M.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; PALMEIRA, E. M. Controle de erosões. In: CAMAPUM de CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. cap. 13, p. 427-464.

SEPIN: Superintendência de estatísticas, pesquisa e informações sócio-econômicas. Secretaria de Gestão e Planejamento do Estado de Goiás. Disponível em: <http://www.seplan.go.gov.br/sepin/index.asp>. Acesso em 5 nov. 2008.

SILVA, T. P.; SALGADO, C. M.; MOURA, J. R. S. Estudo da relação entre a orientação de feições erosivas lineares e características geológicas na bacia do córrego da cachoeira, Município de Paty do Alferes/RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003. Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.4/233/233.htm>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

SIQUEIRA, R. Sistemas de preparo do solo e plantio direto. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Org.). **Qualidade Física do Solo: Métodos de estudo – Sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. cap. 5, p. 88-149.

SMITH, B.; AMONETTE, A. **The environmental transport of radium and plutonium: a review**. Takoma Park, Maryland: Institute for Energy and Environmental Research, 2006. 31 p. Disponível em: <<http://www.ieer.org/reports/envtransport/>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 10, n. 3, p.177-235, 1980.

SOARES NETO, J. P.; SOUZA, N. M de. Medida da erosão do solo por meio da atividade do céσιο-137. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M de.; MELO, M. T. da S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006. cap. 8, p. 271-284.

SOIL MOISTURE CORPORATION. **Model 2800K1 Guelph Permeameter: Operating Instructions**. Santa Bárbara, USA: 1991. 62 p.

SOTO, M. A. A. **Estudo da condutividade hidráulica em solos não saturados**. 1999. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SOUSA, A. T de. **Processo erosivo linear na bacia do córrego Pontinhas em Orizônia-GO**. 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)-Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

SOUSA JÚNIOR, J. J de.; FREIRE, F. de. A.; OLIVEIRA, F. C.; SILVA, R. H da.; BONOW, C de. W.; MOREIRA, H. L. Geologia da Bacia Sedimentar do Paraná. In: **Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de recursos naturais, Folha SE.22 Goiânia**. Rio de Janeiro: 1983. p. 155-348.

SOUTO, A. R.; CRESTANA, S. Identificação das áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n.3, p.429-435, 2000.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. R. **Práticas mecânicas de controle da erosão**. Brasília: SENAR, 2003a. 87 p.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. R. **Prevenção da erosão do solo e seus efeitos**. Brasília: SENAR, 2003b. 67 p.

SOUZA, Z. M de.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SOUZA, Z. M. de; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. de. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com bio sólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 117-123, fev. 2005.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCAR Stolf: recomendação para seu uso. **STAB**, Piracicaba, v.1, n.3, p.18-23, 1983.

STOLF, R. **A Compactação do solo e perspectivas de subsolagem em citrus: Laranja**. Revista Técnica e Científica de Citricultura, Cordeirópolis, v. 2, n. 8, p. 283-308, dez. 1987.

SUGUIO, K.; FÚLFARO, V. J.; AMARAL, G.; GUIDORZI, L. A. Comportamentos estratigráficos e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1., 1977. São Paulo, **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977. p. 231-247.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTATÍSTICA, PESQUISA E INFORMAÇÃO: **SEPIN**. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás, 2008. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/index.asp>>. Acesso em: 20 de maio de 2009.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. John WILEY & SONS Ed. Wichester, England, 1994. 460 p.

TORRES, A. T. G.; LIMA, V. R. P. de.; VIANNA, P. C. G. Erosão: ações de contenção e controle para o desenvolvimento local. In: CONGRESSO IBÉRIDO: Gestão e Planejamento de água, Gestón e Planificaci3n del gua, 5., 2006, Universidade de Algarve, Faro. **Anais eletr3nicos...** Faro: UA, 2006. Dispon3vel em: <[http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/erosao\\_acoes\\_de\\_Contecao\\_e\\_controle\\_completo\\_by\\_Avani\\_torres.doc.](http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/erosao_acoes_de_Contecao_e_controle_completo_by_Avani_torres.doc.)>. Acesso em: 14 jan. 2008.

VADE MECUM – **Acad3mico de Direito**. ANGHER, J. A. (Org.). 4. ed. São Paulo: Editora Rideel, 2007. Legisla3n de Direito Ambiental, 1401-1460p.

VIEIRA, W. C. **Evolu3n de fei3es erosivas na Microbacia do c3rrego Boa Vista - Prata/MG**. 2006. 132 f. Disserta3n (Mestrado em Geografia e Gestão do Territ3rio)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

XAVIER DA SILVA, J. A digital model of the environment: an effective approach to areal analysis. In: LATIN AMERICAN CONFERENCE, 1., 1982. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IGU, 1982. Vol. 1, p. 17-22.

XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplica3es**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363p.

XAVIER, L. S.; CASTRO, S. S.; BARBALHO, M. G. S. Linear erosion in the region of the source area of Araguaia River: conditionings and corrective and preventive control. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. especial, n.1, p. 182-191, maio 2005.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Laborat3rio de Geoprocessamento (LAGEOP) - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. Dispon3vel em: <<http://www.lageop.ufrj.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2008.

WENDLING, B.; JUCKSH, I.; MENDONÇA, E de. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Bras3lia, v. 40, n. 5, p. 487-494, maio 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. In: USDA Agricultural Handbook N 537, Washington, DC., 1978.

WRI – World Resources Institute. **World Resources 1992-93**. In collaboration with the UNEP and UNDP. Nova York: Oxford university Press, 1993.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, n. 1, p.337-351, 1936.