



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## ANÁLISE, MONITORAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA VOÇOROCA RIBEIRÃO DA CACHORRA EM PARAÍSO DO TOCANTINS – TO.

Leonardo Ramos da Silveira<sup>1</sup>; Rose Mary Gondim Mendonça<sup>2</sup>

### RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo monitorar, analisar e caracterizar a voçoroca do Ribeirão Cachorra no município de Paraíso do Tocantins buscando as causas do processo erosivo. Adotou-se a metodologia das malhas de referência para o monitoramento das cabeceiras e bordas. Essas malhas foram construídas com a utilização de trena, marreta e estacas (madeiras) em torno da voçoroca, além do monitoramento, análises físicas e químicas foram realizadas para observar as características granulométricas e a lixiviação dos cátions. Os resultados indicam que certos pontos monitorados apresentam solos altamente erodíveis, com taxas de avanço significativo para o período de monitoramento. As análises granulométricas demonstram que os solos da voçoroca estão enquadrados em classes siltosas e arenosas, demonstrando assim a sua susceptibilidade a erosão. Os resultados das análises químicas demonstram que os solos estão sob um processo acentuado de lixiviação dos cátions, e que os mesmos estão sendo acumulados em horizontes mais profundos. Ações corretivas devem ser tomadas, no sentido de contenção do avanço do referido processo erosivo.

**Palavras-chave:** monitoramento, voçoroca, características físicas e químicas, lixiviação.

### ANALYSIS, MONITORING AND CHARACTERIZATION OF GULLY RIBEIRÃO DA CACHORRA EM PARAÍSO DO TOCANTINS – TO.

#### ABSTRACT

This paper has intended to monitor, to analyze and characterize the gully erosion of Ribeirão Cachorra in the city of Paraíso do Tocantins seeking the causes of the erosive process. Accepted the meshes of reference methodology for the monitoring. These meshes were constructed using tape measure sledgehammer and cuttings (wood) around the gully, besides monitoring, physical and chemical tests were performed to observe the particle size characteristics and cations leaching. The results indicate that some points have tracked soil highly erosive, with rates of significant advance for the monitoring period. The particle size analysis shows that the gully soils are framed in classes silt and sandy demonstrating susceptibility to erosion. The resulted physical and chemical analysis demonstrated the soil are under cations leaching process and they are accumulated at horizon deepest. Corrective actions taken must, in order to contain the advance of this erosive process.

**Key-words:** tracking, gully erosion, physical-chemical characteristics, leaching.

---

Trabalho recebido em 09/05/2009 e aceito para publicação em 05/06/2009.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil/UFG – Coordenação do PPGEMA, Av. Universitária, n.1488, Qd. 86, Lt. Área, Setor Universitário, CEP 74.605-220, Goiânia, GO, telefone (062) 3209- 6257, e-mail: leonardoengambiental@yahoo.com.br;

<sup>2</sup> Laboratório de Geologia e Geomorfologia – Universidade Federal do Tocantins, Professora Doutora do curso de Engenharia Ambiental, e-mail: rosemary@uft.edu.br.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso e a ocupação desordenada do solo em bacias hidrográficas têm provocado alterações ambientais às vezes irreversíveis. Problemas causados por intervenções humanas das mais variadas formas sobre o modelado vêm comprometendo a dinâmica dos subsistemas que a integram, como por exemplo, as habitações em áreas de risco, desmatamento das cabeceiras de drenagem, além de obras de infra-estrutura sem controle técnico (MEIRA; LEÃO; SANTOS, 2004).

As atividades agrícolas abrangem maiores extensões de terras, enquanto que as áreas urbanas concentram edificações e a rede viária, e a infiltração de água no solo é mais reduzida. As condições típicas do uso do solo urbano favorecem o escoamento concentrado da água e o conseqüente aparecimento de voçorocas, que são formas de erosão mais pontuais na paisagem (CAMPI JÚNIOR, 2001).

A erosão do solo é um fenômeno que tem preocupado o homem nas últimas décadas, despertando grande interesse de muitos pesquisadores no que se refere às causas que levam a sua origem, evolução e controle. Este interesse ocorre porque os processos erosivos atingem e inutilizam extensas áreas de terras, levando, até mesmo, a uma descaracterização completa

do meio físico (PEDRO; LORANDI, 2004).

Embora os processos erosivos sejam estudados em vários países, seus mecanismos ativadores, bem como as condições predisponentes, são variáveis e específicos para cada região. Segundo Guerra (1998) estes processos são dependentes de uma gama de fatores naturais, tais como: condições topográficas; características do solo; tipo de vegetação e grau de recobrimento do terreno.

A ocorrência da denominada erosão viária é comum tanto em áreas rurais, como nas cidades, pois ambas as áreas necessitam de vias de circulação. A implantação de estradas, rodovias, ferrovias, ruas e avenidas ocorrem indistintamente em terrenos favoráveis ou não em termos de susceptibilidade à erosão, e a falta de planejamento e de medidas preventivas é generalizada (CAMPI JÚNIOR, 2001).

Segundo Rodriguez (2000), as voçorocas são fenômenos naturais de gênese e evolução complexa, já que tanto os fluxos superficiais quanto os subsuperficiais, bem como os diversos tipos de movimentos de massa podem atuar isolada ou conjuntamente na sua formação e evolução.

O município de Paraíso do Tocantins está localizado na parte central do Estado do Tocantins, e caracteriza-se por ter uma implantação urbana de forma não planejada a partir da construção da BR-153, o que provocou um crescimento urbano desordenado. De acordo com Silveira et al. (2006) esta urbanização provocou um processo de remoção da cobertura vegetal e impermeabilização do solo, que sem o adequado sistema de escoamento superficial e drenagem pluvial, originou em alguns pontos de maior declividade, o surgimento das erosões aceleradas (voçorocas). É neste contexto que o presente trabalho tem por objetivo, monitorar, analisar e caracterizar a voçoroca do Ribeirão Cachorra no município de Paraíso do Tocantins buscando as causas do processo erosivo, fornecendo assim subsídios para a recuperação da área.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento da Pesquisa o trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

1. Localização da área de estudo;
2. Caracterização ambiental da voçoroca
3. Monitoramento da voçoroca;
4. Coleta dos solos;
5. Ensaio de laboratório;
6. Análise dos resultados.

### **2.1 Localização da área de estudo**

Paraíso é uma cidade localizada no centro do Tocantins, fica a 63 km de sua capital – Palmas. Conta com uma área de 1.297 km<sup>2</sup>, e caracterizou-se por ter uma implantação urbana de forma não planejada a partir da construção da BR-153, o que provocou um crescimento urbano desordenado. Esta urbanização gerou um processo de remoção da cobertura vegetal e impermeabilização do solo, que sem o adequado sistema de escoamento superficial e drenagem pluvial, originou em alguns pontos, o surgimento das erosões aceleradas (voçorocas). Um desses processos erosivos é o objeto desse estudo.

### **2.2 Caracterização Ambiental**

A análise cartográfica foi à base do trabalho de gabinete e norteou a delimitação dos compartimentos hidrológicos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos e de erodibilidade presentes na área de estudo. As bases cartográficas utilizadas foram: mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos e de erodibilidade da base de dados da Seplan (2001) na escala 1:250000.

### **2.3 Monitoramento da Voçoroca**

Para o monitoramento da Voçoroca Ribeirão da Cachorra, adotou-se a

metodologia proposta por Guerra (1998), com modificações, para a confecção das malhas de referência. Essas malhas foram construídas com a utilização de trena, marreta e estacas (madeiras) em torno das voçorocas, seguindo uma forma espacial aleatória. Estaqueou-se ao redor da voçoroca, mantendo-se uma distância variada da borda da mesma em função das condições locais para a melhor visualização das estacas no campo. Para tanto, utilizou-se árvores, mourões de cerca e a canaleta de drenagem da rodovia como pontos de referência para o posicionamento das estacas.

Uma vez colocadas às estacas no solo, e confeccionado o esquema da distribuição espacial das mesmas, retornou-se uma vez por mês ao campo, nos períodos chuvosos. As medições no campo ocorreram de Dezembro de 2005 a Maio de 2007.

#### 2.4 Coleta das amostras

Após o monitoramento que aconteceu entre Dezembro de 2005 a Maio de 2007, foi possível montar os perfis de maior avanço para o referido processo estudado. A partir do conhecimento dos mesmos, foram selecionados os quatro principais pontos de avanço do processo erosivo, onde se procedeu à coleta de amostras no campo e que posteriormente

foram analisadas em ensaios físicos e químicos realizados em laboratório.

Durante a coleta utilizou-se a metodologia descrita por Lemos (1996), para a coleta do solo no campo, onde é realizado o registro metodizado das suas características, através do estudo e do exame do solo em seu meio e condições naturais.

Para a coleta nos quatro perfis, procedeu-se a limpeza prévia da parede da voçoroca avançando 1 m para dentro da borda da mesma (para minimizar a interferência da alteração do solo exposto), atingindo sempre que possível o horizonte C ou a base da voçoroca.

Os horizontes foram estabelecidos a partir da mudança textural e de cor ao longo do perfil. Após a descrição dos perfis (P), foram coletadas as amostras de solos nos diferentes horizontes, sendo: P1 (4 amostras); P2 (3 amostras); P3 (4 amostras); P4 (3 amostras). Além dos perfis, foram coletados também sedimentos ao longo do eixo e talvegue do processo erosivo sendo: P1 (cabeceira da voçoroca); P2 (porção mediana do processo); P3 (porção final do processo); P4 (distante cerca de 20 metros da porção final). Coletou-se assim um total de 18 amostras ao longo do processo erosivo.

As amostras foram conduzidas para o laboratório de Geologia e Geomorfologia

da Universidade Federal do Tocantins, onde as mesmas foram secas ao ar. Após secas as mesmas foram pesadas (peso total), peneiradas na peneira # 10 com aberturas (12 mm) para posteriores análises granulométricas, densidade real dos grãos e análises químicas.

## 2.5 Ensaio de Laboratório

Para a caracterização física do material foram realizados os seguintes ensaios: densidade real dos grãos e análise granulométrica. Para a caracterização química do perfil analisou-se o pH, o teor de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e o ataque sulfúrico.

Para a obtenção da densidade real dos grãos (G), foram utilizados os procedimentos descritos na norma DNER ME 093 e EMBRAPA/CNPS (1997). A análise granulométrica foi realizada segundo a norma de análise granulométrica (ABNT - NBR 7181, 1984), que combina as técnicas de peneiramento e sedimentação. Para medição do potencial hidrogeniônico do solo também conhecido como pH do solo, utilizou-se a combinação de eletrodo imerso em suspensão solo:líquido (água, KCl e CaCl<sub>2</sub>), conforme a metodologia descrita pela (EMBRAPA, 1997). Além da determinação do pH em H<sub>2</sub>O, KCl, CaCl<sub>2</sub>, obteve-se também a diferença aritmética

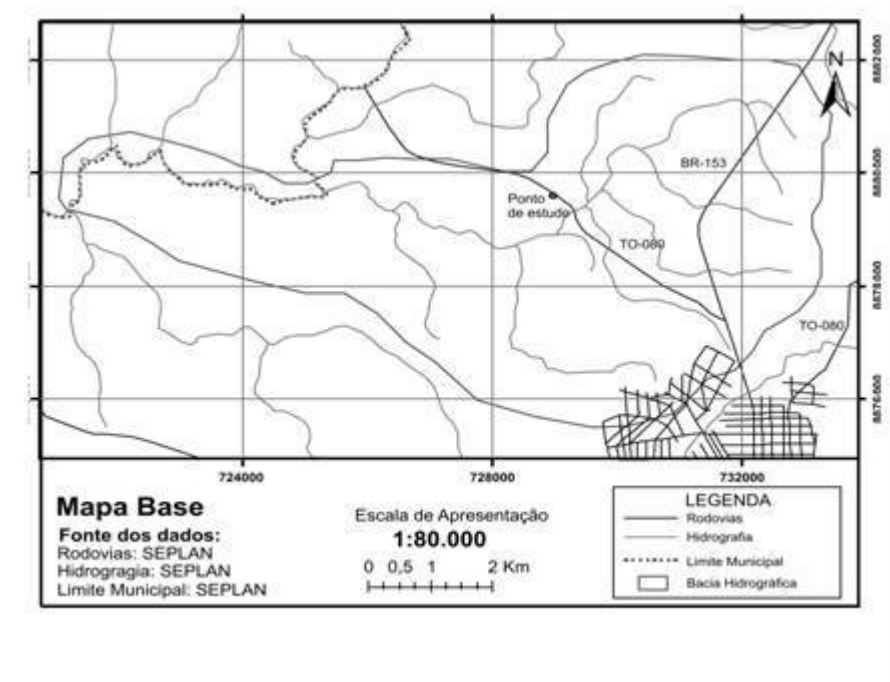
entre os valores de pH em KCl e em H<sub>2</sub>O, que é representado pela equação:  $\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ . As análises do teor de matéria orgânica foram feitas em parceria com o Laboratório ZOOFÉRTIL conforme a metodologia descrita pela (EMBRAPA, 1997). A CTC do solo é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas. Esses cátions adsorvidos são removidos por soluções salinas de amônio, cálcio, bário e soluções de ácidos diluídas e posteriormente determinadas por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica, conforme a metodologia descrita pela (EMBRAPA, 1997). Estas análises foram determinadas em parceria com o Laboratório ZOOFÉRTIL, segundo a metodologia acima descrita. Os ensaios de Ataque Sulfúrico foram realizados em parceria com o Laboratório ZOOFÉRTIL, utilizando a metodologia descrita pela (EMBRAPA, 1997). Sendo que os parâmetros avaliados foram: Sil. - SiO<sub>2</sub>, Alum. - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fer. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tit. Ti O<sub>2</sub>, Kr e Ki. A partir da realização das diversas etapas descritas anteriormente foram realizadas à análise dos resultados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização da área de estudo

A área em estudo localiza-se na Bacia do Ribeirão da Cachorra que situa-se no município de Paraíso do Tocantins. Na Figura 1 pode ser vista a localização da Bacia do Ribeirão da Cachorra dentro do Município de Paraíso do Tocantins.

O clima predominante na região de Paraíso é característico para todo o interior do Planalto Brasileiro, isto é, tropical quente e úmido, tipo Aw de Köppen, com duas estações bem definidas uma seca e outra úmida.



(A)



(B)

**Figura 7.** Mostra a localização do processo erosivo: (a) Bacia hidrográfica; (b) Voçoroca Ribeirão da Cachorra.

A região apresenta, precipitações em torno de 1.799,3mm, com pouca variação entre os anos e temperaturas médias anuais em torno de 25,6°C. Os meses mais quentes coincidem com o rigor da seca, em fins de agosto e setembro. A umidade relativa média anual está entorno de 71% sendo que o período chuvoso os índices de umidade são superiores a 80% e no período seco entorno de 50% (FRASCA, 2001).

A área delimitada para o estudo que engloba a região do Ribeirão da Cachorra contém segundo Radambrasil (1981) unidades geológicas datadas do Pré-Cambriano Inferior (Complexo Goiano) e do Devoniano (Formação Cabeças e Formação Pimenteiras da Bacia Sedimentar do Parnaíba).

No local de estudo da voçoroca observa-se no fundo da mesma rochas gnáissicas com composição granítica, enquanto que nas bordas o perfil de alteração está altamente entrecortado por veios de quartzo com direção da camada concordante, com direção da vertente e inclinação da camada semelhante da vertente favorecendo a criação de planos de descontinuidade hidráulico dentro do perfil de solo. O perfil de alteração indica ainda um material de origem de composição ácida, que associado ao elevado conteúdo de mica ainda em decomposição, indica que se trata de um

solo residual em que a rocha de origem é metamórfica tal como xisto ou gnaisse ou ígneas plutônica ácida.

Utilizando a base de dados do Radambrasil (1981), escala 1/1000000, pode-se observar que a unidade Geomorfológica predominante é a dos Patamares do Interflúvio Araguaia-Tocantins, a mesma corresponde a um conjunto serrano disposto no sentido longitudinal, cujo relevo mais representativo é a Serra do Estrondo, seguida pela Serra do Paraíso. Sua distribuição espacial faz com que o planalto tenha uma extensão aproximada de 270 km, enquanto sua largura média não ultrapassa os 40 km, podendo atingir altimetrias médias de 600 m. Na Bacia do Ribeirão Cachorra pode-se observar as seguintes feições geomorfológicas: relevo dissecado em colinas e ravinas, estes tipos de feições são entalhadas pelos agentes erosivos, havendo dissecação diferencial do relevo, principalmente ao longo da rede hidrográfica. No local de estudo predominam as feições dissecadas por ravinas.

Genericamente, os solos encontrados na região são controlados pelo substrato rochoso e pela topografia, sendo encontrados Latossolos Vermelhos Amarelo, Solos Neossolos, Solos

### Concrecionários e Solos Concrecionários Indiscriminados.

Foram constatadas diferentes classes de declividade na área estudada. A classe predominante é aquela que compreende áreas formadas por solos variando entre bem e fortemente drenados, são solos profundos e ocorrem em relevo suave ondulado (predomínio de declives entre 3 a 8%), os processos de escoamento superficial são difusos e lentos, com eventuais escoamentos concentrados. O trabalho de Serra (1993) mostrou que esta declividade favorece a infiltração da água da chuva sendo indicada para a ocupação urbana e rural.

Nota-se que a voçoroca está inserida na classe de declividade de 3 a 7% associada ao processo de escoamento difuso e lento em solos fortemente drenados em patamares dissecados. Todavia a região restrita a Voçoroca Ribeirão Cachorra se enquadra melhor na classe de declividade de 8 a 20%, também com solos mais drenados e associados ao relevo dissecado em colinas e ravinas, relacionando a um relevo ondulado.

### 3.2. Voçoroca Ribeirão da Cachorra

A área da pesquisa apresenta relevo ondulado e a feição erosiva está localmente instalada na cabeceira de drenagem de um dos afluentes do Ribeirão Cachorra.

A voçoroca está conectada na rede de drenagem do Ribeirão Cachorra dando a origem ao nome da mesma e, vem sendo estudada pela suas complexas características (solos, relevo, e etc.) e a proximidade (dez metros) da rodovia TO – 080. Esta rodovia é uma importante via de conexão entre as cidades de Caseara até a capital Palmas, além de contribuir para o escoamento de produção e fluxo dos habitantes.

A erosão das bordas e cabeceiras está em um estágio bastante avançado devido à grande quantidade de material removido, observando-se cerca de aproximadamente 82 metros de comprimento da voçoroca e 12,5 metros altura no maior paredão.

Para a construção da rodovia foi retirado o horizonte superficial do solo onde hoje está se desenvolvendo a cabeceira da voçoroca. A rodovia também condicionou o fluxo da água superficial para o Ribeirão Cachorra, o que pode ter favorecido à implantação de processos erosivos no local. Aliado a isto a presença de solos siltosos – a siltosos-argilosos no horizonte B de origem ígnea metamorfisados em relevo ondulado são fatores que favoreceram a implantação do processo erosivo, quando o solo é desmatado e decapiado (BACELLAR, 2000). As possíveis causas da evolução desta Voçoroca são:



1) agravamento dos fatores descritos anteriormente pelo decapamento e desmatamento, e condicionamento do fluxo superficial pela implantação da rodovia. A construção da rodovia poderia gerar dois mecanismos distintos de origem da voçoroca.

2) erodibilidade do solo associado à declividade:

a) solapamento na base da drenagem se a mesma datar da construção da rodovia o que ocasionaria uma erosão da base da rede de drenagem para o topo da rodovia.

b) erosão devido à canalização das águas pluviais em função da ausência de drenagem adequado no início da construção da rodovia, o que geraria o entalhamento de erosões em sulcos e ravinas que posteriormente evoluiria para o estágio atual de voçorocamento.

Em função da sua localização, este processo erosivo apresenta uma série de riscos ao manancial, pelo fato dos sedimentos serem em sua totalidade mobilizados para este. O manancial impactado pelo processo é de grande importância para o suprimento das atividades ali instaladas (agricultura familiar, abastecimento, criação de animais). E a evolução da mesma oferece riscos para a rodovia também.

3.2.1. Monitoramento e análise da voçoroca Ribeirão da Cachorra.

As taxas de avanço das cabeceiras e bordas medidas são desiguais demonstrando uma evolução não uniforme. A perda de solo das bordas está sendo superior às da cabeceira. Fato comprovado pelo piquete de número 15 onde se observa um avanço de 97 centímetros para o período de estudo. O fenômeno relacionado ao avanço no piquete 15 está ligado principalmente ao solapamento da base, onde ocorre o desmoronamento. Outro piquete que mostra avanço é o 10 com 95 cm, onde pode se observar os primeiros danos ocasionados pela evolução do referido piquete com a derrubada da cerca, mas a maioria dos piquetes não apresentou aumento significativo, não se constatando avanço. Porém a literatura diz que a dinâmica ocorre em toda a extensão da erosão atribuído principalmente ao afloramento do lençol freático na base do mesmo e uma acentuada declividade do relevo do local.

Com o intuito de gerar mais dados referentes à evolução das cabeceiras e bordas selecionou-se novos pontos em novembro de 2006. Onde em somente três meses de monitoramento (novembro de 2006 a janeiro de 2007), o referido cabeceira da voçoroca avançou cerca de 40 centímetros em direção ao piquete. Isso

pode estar relacionado a uma erosão remontante associada à remoção dos sedimentos na base da voçoroca o que causa o deslocamento e conseqüente solapamento das bordas. O deslocamento ocorre provavelmente devido ao fluxo de água canalizada no fundo da voçoroca principalmente no período chuvoso onde toda água canalizada na cabeceira da voçoroca pode atingir diretamente a base ocorrendo também o fenômeno de solapamento da base.

O fato de na região predominar chuvas intensas em um intervalo curto de tempo, contribui de forma bastante

significativa para a evolução das bordas e cabeceiras, trabalhos realizados por outros grupos de pesquisa em regiões bastante parecidas com a área de estudo constataram que o avanço ocorria apenas no período chuvoso da região, que compreende dos meses de novembro a maio.

### 3.3 Ensaio de Laboratório

#### 3.3.1 Densidade Real dos Grãos

Conforme observado na Tabela 1, a densidade dos grãos entre os perfis pouco variou, quando se compara os diferentes horizontes.

**Tabela 1.** Resultados dos valores de densidade real dos grãos.

Perfil	Densidade Real dos Grãos
P 1 (HA)	2,647
P1 (HB)	2,692
P1(HC)	2,691
P1 (HD)	2,823
P 2 (HA)	2,652
P2 (HB)	2,664
P2 (HC)	2,753
P 3 (HA)	2,590
P3 (HB)	2,612
P3 (HC)	2,655
P3 (HD) INTER	2,777
P 4 (HA)	2,622
P4 (HB)	2,635
P4 (HC)	2,651
Sedimentos P1	2,704
Sedimentos P2	2,664
Sedimentos P3	2,656
Sedimentos P4 a jusante	2,838

Tal como observado por Rodriguez (2000), ao aprofundar o perfil verificou-se uma tendência de aumento do valor da densidade real dos grãos. Os valores de densidade variaram de 2,60 a 2,80 ficando dentro da normalidade esperada para solos com baixo teor de matéria orgânica. Onde as rochas apresentam densidades que variam de 2,7 para as de composição ácida a 3,3 quando básica.

### 3.3.2. Características Granulométricas

Comparando a evolução no perfil observa-se que o Horizonte B é o que apresenta maior quantidade de argila quando comparado com o Horizonte A que deveria, em função dos processos de intemperismo, apresentar partículas mais finas. A pedogênese e a erosão transportaram esta argila para fora do perfil, concentrando no Horizonte A as frações mais grossas, principalmente em solos que estão sofrendo processo de dissecação, que é o caso da área estudada.

O Horizonte C, por estar mais próximo da rocha sofre menos ação dos processos intempéricos e pedogenéticos, sendo observados solos com menor percentual de pedregulhos e areias grossas, sendo compostos preferencialmente por areias médias, areias finas e siltes. Como os solos arenosos e siltosos apresentam menor coesão, estes sofrem mais

acentuadamente aos processos erosivos o que favorece o rápido aprofundamento das incisões erosivas nestes horizontes, e quando atinge o nível de água favorece a erosão em túneis e solapamento. Pelo Horizonte A ser mais grosso em relação aos demais favorece a formação de pináculos e pedestais no interior da voçoroca.

Conforme descrito anteriormente o Horizonte B de todos os perfis tende a apresentar maior percentual de argila, exceção feita para o Perfil 2 Horizonte C que apresenta percentual de argila superior ao do Horizonte B.

Nos demais perfis, o horizonte B suplanta significativamente o percentual de argila do Horizonte C como no perfil 1 (45% de argila) ou apresenta valores semelhantes como no perfil 3 e 4 com aproximadamente 10 % e 43,0 %.

Os perfis analisados não demonstram uma tendência à similaridade, indicando anisotropia, heterogeneidade da rocha fonte (comum em rochas metamorfisadas), bem como a diferenciação do perfil com relação à posição do mesmo na topografia (topo meio, encosta ou base).

Dos perfis o 4 se diferencia mais significativamente dos demais com maior percentual de finos (silte + argila) em todos os horizontes, e diferenciando-se pelo percentual de areia e pedregulho entre os

horizontes. O Horizonte B e C deste perfil apresentam maior porcentual de pedregulho do que o Horizonte A, devido à presença de veios de quartzo que podem até ocupar 22% da curva granulométrica do Horizonte C.

O perfil 2 (P2), pode ser considerado o perfil mais típico de se ocorrer, pois apresenta no Horizonte A o maior porcentual de pedregulho, no Horizonte B uma curva granulométrica mal graduada, enquanto o Horizonte C apresenta uma curva bem graduada na fração silte.

As análises da composição granulométrica dos sedimentos propiciam a visualização das diferentes classes granulométricas dos solos no interior dos processos erosivos, estas análises também nos demonstram como está ocorrendo o carreamento das partículas no eixo e talvegue da erosão.

Espera-se, a princípio, que nas cabeceiras tenham-se uma composição mais próxima possível dos solos por que os agentes conseguiram erodir. Pode-se observar que a fração silte e argila ficou condicionada ao ponto da cabeceira, já era de se esperar estes resultados, pois quanto mais próximo possível do ponto de ação do processo erosivo o solo terá características mais parecidas com o mesmo.

A partir dos pontos mais intermediários, até o ponto final de análise,

a fração areia domina em todos os pontos de amostragem demonstrando assim que ocorre intensa lavagem da fração silte e argila ao longo do processo.

Analisando de forma geral os resultados granulométricos constata-se que a predominância da fração silte e areia são dominantes, sendo este um fator determinante para que o solo apresente características de serem propensos a erosão. De acordo com Bacellar (2000), a erodibilidade tende a ser maior nos solos coesivos constituídos por silte ou areia fina ou nos solos argilosos de comportamento geotécnico dispersível.

Solos com estas características são frequentemente relatados em áreas de rochas ígneas ou metamórficas de composição ácida ou de sedimentos, rochas sedimentares ou metassedimentares de granulação arenosa fina ou siltosa ou até mesmo argilosa.

### 3.4. Caracterização Química

#### 3.4.1. pH

Os valores de pH do solo, obtidos em suspensão sólido:líquido, para os diferentes perfis e horizontes estudados encontram-se listados na Tabela 2. Os valores determinados oscilaram entre 2,65 e 6,55, indicando solos ácidos e moderadamente ácidos.

**Tabela 2.** Medidas de pH, para os diferentes perfis amostrados.

Perfis/Horizontes	pH			$\Delta$ pH
	H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>	
P 1 (HA)	4,20	4,71	4,3	0,51
P1 (HB)	5,03	4,90	4,5	-0,13
P1(HC)	5,80	4,46	4,1	-1,34
P1 (HD)	5,98	4,49	4,1	-1,49
P 2 (HA)	5,8	4,4	4,1	-1,4
P2 (HB)	4,61	4,5	4,4	-0,11
P2 (HC)	5,06	3,87	3,9	-1,19
P 3 (HA)	3,53	4,23	4,3	0,7
P3 (HB)	2,65	4,29	4,2	1,64
P3 (HC)	5,43	4,90	5,2	-0,53
P3 (HD) INTER	5,06	4,4	4,5	-0,66
P 4 (HA)	5,35	4,11	4,0	-1,24
P4 (HB)	5,36	4,12	4,0	-1,24
P4 (HC)	6,04	4,91	4,8	-1,13
Sedimentos P1	3,45	4,15	X	0,7
Sedimentos P2	6,55	5,40	X	-1,15
Sedimentos P3	5,42	4,20	X	-1,22
Sedimentos P4 a jusante	5,90	4,71	X	-1,19

Segundo Raij (1987) apud Lima (2003), geralmente, os valores de pH dos solos encontram-se no intervalo de 4 a 7, sendo que valores menores indicam a presença de ácidos livres e valores acima, indicam a presença de solos salinos ou calcários, que não é o caso do trabalho.

Lima (2003), afirma que os valores de pH sofrem consideráveis variações, tanto sazonais num mesmo local como de um ponto para outro num determinado terreno, este autor diz que os valores de pH

podem apresentar grandes variações em distâncias de alguns centímetros. Isso pode ocorrer devido à utilização de fertilizantes, de interesse agrônômico ou pela própria intemperização dos solos, principalmente próximos às encostas ou taludes, como os das voçorocas.

Guerra (2007), diz que o pH dos solos mostra a sua acidez ou alcalinidade, destacando que solos ácidos são deficientes em cálcio elemento importante, pois contribui na retenção de carbono, através

da formação de agregados, que combinam húmus e cálcio.

Na Tabela 2 também é apresentada a diferença entre o pH em KCl e o pH em H<sub>2</sub>O que é dado por  $\Delta$  pH. Nota-se pela Tabela 4, que os valores positivos de  $\Delta$  pH está basicamente condicionado aos 40 primeiros centímetros de profundidade correspondente aos Horizontes A (P1) e Horizonte B (P2), e negativos nos horizontes mais profundos. Analisando ainda os valores de  $\Delta$  pH observa-se uma predominância dos valores negativos para os horizontes A e B dos demais perfis. Os valores positivos indicam a presença de hidróxido de ferro e alumínio disponibilizando o alumínio trocável, enquanto que as cargas negativas indicam minerais 1:1 e 2:1 pouco lixiviados.

#### 3.4.2. Teor de Matéria Orgânica

Os valores do teor de matéria orgânica variaram de 1,8 a 0,3 %, conforme pode ser observado na Tabela 3, indicando que os solos do local estão com déficit de matéria orgânica para os diversos horizontes nos perfis de 1 a 4, tal como era de se esperar do topo para a base do perfil (no topo mais lixiviado e na base menos). Guerra (2007), afirma que solos com menos de 3,5% de matéria orgânica possuem agregados instáveis, enquanto outros autores defendem a idéia de que

solos com menos de 2,0% de matéria orgânica possuem baixa estabilidade de agregados.

O que se observa para os diferentes perfis analisados é que o teor de matéria orgânica fica acrescido somente nos horizontes mais superficiais (horizonte A), o que era de se esperar devido ao material disponibilizado ao solo como a queda das folhas das árvores e ao abatimento da vegetação rasteira.

A matéria orgânica é de importância fundamental para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Ela influencia em muitas propriedades tais como a absorção e a retenção de água, armazenamento de bases em forma trocáveis, entre outras para as pesquisas agronômicas.

Em solos mal drenados, a decomposição da matéria orgânica é dificultada ou impedida, podendo-se formar solos ricos em matéria orgânica. Se esse teor superar 20 %, os solos são conhecidos como orgânicos. Diferentemente para os latossolos, os quais são caracterizados por serem bem drenados e apresentarem teor de matéria orgânica muito baixo.

De acordo com o seu conteúdo orgânico, os solos podem ser classificados em dois grupos gerais: minerais e orgânicos.

**Tabela 3.** Valores em % de matéria orgânica encontrada para os diferentes perfis.

Perfis/Horizonte	% Matéria Orgânica
P1 (HA)	0,6
P1 (HB)	0,3
P1 (HC)	0,3
P1 (HD)	0,3
P2 (HA)	1,4
P2 (HB)	0,3
P2 (HC)	0,3
P 3 (HA)	1,8
P3 (HB)	0,3
P3 (HC)	0,3
P3 (HD) INTER	0,3
P 4 (HA)	1,3
P4 (HB)	0,3
P4 (HC)	0,3

No caso dos solos estudados define-se como sendo minerais e com valores do teor de matéria orgânica correlacionáveis com latossolos.

#### 3.4.3. Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

De acordo com a Tabela 4 pode-se observar que os valores de CTC variaram de 2,82 a 20,82 mE 100mL<sup>-1</sup>.

Verifica-se que os valores de CTC são baixos, para a maioria dos pontos nas diferentes profundidades. Somente no P2 Horizonte C apresentou valor de CTC em torno de 20,82 mE 100mL<sup>-1</sup>, isso pode ser explicado devido ao fato de neste ponto apresentar uma das maiores concentrações

de Ca e Mg. Estes resultados estão de acordo com os de Lima (2003), pois o mesmo identificou que a profundidade e a quantidade de Ca e Mg faz com que os valores de CTC cresçam consideravelmente. Isso pode ser atribuído á um nível mais micáceo no perfil de solo.

Pelos cátions trocáveis, percebe-se uma diferença na quantidade de íons, (Na) e alumínio (Al), onde se observa nos solos estudados uma diferença significativa. Esta diferença segundo Bigarella (1996) é devida a intensa lixiviação das bases durante a formação dos solos.

#### 3.4.4. Saturação de Bases

**Tabela 4.** Valores de CTC e Saturação de Bases.

Perfis	CTC mE100mL <sup>-1</sup>	Sat. Bases %	Al mE100mL <sup>-1</sup>
P1 (HA)	4,80	35,42	0,2
P1 (HB)	3,33	21,92	0,0
P1 (HC)	2,82	21,99	0,6
P1 (HD)	3,85	24,68	0,7
P2 (HA)	4,1	18,43	0,4
P2 (HB)	3,44	18,60	0,0
P2 (HC)	20,82	6,34	3,5
P 3 (HA)	5,60	25,00	0,2
P3 (HB)	3,57	21,57	0,20
P3 (HC)	4,37	70,25	0,0
P3 (HD) INTER	10,57	79,19	0,3
P 4 (HA)	7,77	21,49	0,6
P4 (HB)	5,07	17,16	0,5
P4 (HC)	4,32	53,70	0,0

Já os valores de saturação de bases (V%), variaram de 6,34 a 79,19%. Isso significa que a percentagem de saturação por bases (V%) da CTC a pH 7,0 é um parâmetro que reflete que a porcentagem dos pontos de troca de cátions potencial do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, estão ocupados por Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> e, às vezes, Na<sup>+</sup>, em comparação com aqueles ocupados por H e Al. É um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis (V% >50) de solos de menor fertilidade (V% <50). No caso dos solos estudados observa-se que a maioria dos pontos amostrados a saturação de bases ficou bem abaixo de 60 %, pois de acordo

com Lima (2003), isto é devido à dominância de argilas silicatadas. Somente os pontos P3 (intermediário), P3 Horizonte C e P4 Horizonte C, os resultados de saturação de bases ficaram acima do que recomenda (V% >50) sendo enquadrados como solos férteis. Como a saturação por bases (V%), fornece uma idéia do estado de ocupação das cargas da CTC, ou seja do total de cargas negativas existentes no solo, dando a proporção ocupada pelos cátions úteis (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup>). Os teores de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, estão estritamente relacionados com o nível de acidez do solo. Dessa forma, pode-se esperar que se os teores de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> estiverem baixos, o solo estará também com excesso de acidez e baixa saturação por bases e, provavelmente, com



acidez por  $Al^{+3}$ , que é o caso dos materiais estudados.

Isso só reafirma os resultados encontrados para os referidos pontos mencionados que obtiveram uma Saturação por bases (V%) de P3 (inter) 79,19%, P3 Hc 70,25% e P4 Hc 53,70%, ficando acima dos valores de fertilidade, sendo considerados eutróficos, isso demonstra que somente os perfis mais superficiais, estão condicionados a lixiviação e a remoção dos demais cátions úteis, os demais solos dístróficos.

#### 3.4.5 - Ataque Sulfúrico

A Tabela 5, apresenta os resultados do ataque sulfúrico ou seja percentual de  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  e as relações Ki/Kr e  $Al_2O_3/Fe_2O_3$ .

Os valores de Ki e Kr representam os índices de intemperismo e são calculados pelas relações moleculares de sílica/alumina (Ki) e sílica/sesquióxidos (Kr). Pode-se verificar na Tabela 5, a

relação molecular sílica-sesquióxidos (Ki) variou de 0,96 a 1,23, para todos os solos dos diferentes perfis, onde valores inferiores a dois, demonstram, assim, a alta intemperização.

Verifica-se, ainda, que tanto Ki quanto Kr apresentam aumento de valor para o ponto P3 Horizonte B, isso só vem a reforçar os resultados das análises anteriores que demonstram que este ponto nos horizontes mais superficiais está sofrendo um intenso processo de lixiviação dos cátions, não afetando os horizontes mais profundos do perfil.

Fonseca (2006), analisando os solos de voçorocas em Bananal – RJ, demonstrou que quanto mais alterados maiores são os teores de óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) e alumínio ( $Al_2O_3$ ), demonstrando assim a elevada alteração dos solos analisados principalmente para o P1 Horizonte B com concentrações de 8,6 e 26,5 % de  $Fe_2O_3$  e percentual de  $Al_2O_3$ , superiores aos demais perfis.

**Tabela 5.** Valores das determinações do Ataque Sulfúrico.

Perfis	$SiO_2$ %	$Fe_2O_3$ %	$Al_2O_3$ %	$TiO_2$ %	Ki	Kr	$Al_2O_3/Fe_2O_3$	Argila %
P1 Hb	15,0	8,6	26,5	1,10	0,96	0,80	4,83	51,2
P2 Hb	14,0	5,5	22,5	1,20	1,06	0,92	6,42	43,2
P3 Hb	13,0	2,8	18,0	1,00	1,23	1,12	10,08	34,8
P4 Hb	9,4	1,4	16,2	0,60	0,99	0,93	18,15	11,4

Somando-se o percentual dos elementos analisados tem-se aproximadamente o percentual argila+silte presente no horizonte deste perfis e o restante do percentual para 100% associa-se ao resíduo e à perda ao fogo de água estrutural presente dos minerais de argila.

Comparando o baixo percentual de argila nos horizontes B e a CTC encontrada, pode-se afirmar que a fração argila deste material é bem ativa, quando comparada com o percentual e a CTC dos perfis 1 e 2.

Os baixos valores percentuais obtidos para o P4 Hb indicam a presença elevada de resíduos na análise que pode ser associado ao quartzo tal como em P3Hb. Nos perfis 3 e 4 os valores de  $Fe_2O_3$  encontrados associam-se a cor mais clara destes perfis .

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo erosivo estudado encontra-se em constante evolução, onde se observa o descalçamento das paredes laterais, com a formação de taludes íngrimes e de perfis em formas de “U” com fundo irregular. Nota-se que no interior da voçoroca já aparece o afloramento do lençol freático o que reforça a sua caracterização como uma erosão do tipo acelerada. Nota-se também que os sedimentos carregados pelos

processos erosivos estão sendo depositados no Ribeirão da Cachorra o que futuramente poderá provocar o barramento do referido ribeirão. A composição granulométrica predominante (silte e argila) dos solos nos Horizontes B e C é um dos principais fatores que fazem o mesmo ser altamente susceptível a erosão pela água. As características químicas demonstram que os solos estão sob um acentuado processo de lixiviação dos cátions, onde a matéria orgânica é insuficiente para a formação de agregados estáveis. A orientação dos demais canais que forma a bacia do Ribeirão Cachorra (nível estrutural), condicionou estruturalmente e a orientação de evolução da voçoroca. O regime hídrico intenso com chuvas concentradas em determinadas épocas do ano favorece o escoamento superficial, condicionando ao solapamento, via atual de evolução do processo. O atual estágio de evolução do processo está condicionado pelo escoamento subsuperficial, onde a maior parte da água é transportada pelo escoamento superficial, quando chuvas pesadas provocam fluxos de água, em subsuperfície, há a remoção de grandes quantidades de solos, retirando as camadas mais profundas, ocorrendo o colapso do material situado acima. A vegetação natural (Cerrado) da área em grande parte foi desmatada para a construção da rodovia e apresenta-se em estágio de degradação

bem evoluído, principalmente na borda que fica na mesma posição da rodovia TO – 080, através de observações pode-se dizer que o desmatamento e o decapeamento do solo no local foi decisivo para o surgimento do processo erosivo. Medidas de controle devem ser adotadas no sentido de diminuir a evolução do processo, para que danos maiores não venham a ocorrer.

### REFERÊNCIAS

- ABNT/NBR 7181. Solo: análise granulométrica. 1984, 13p.
- BACELLAR, L. A. P. **Condicionante geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá Ouro Preto – MG.** 2000. 226p. Tese (Doutorado em Geotecnia - COPPE/UFRJ) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E., 1996, **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Volumes 1 e 2, Ed. UFSC. Florianópolis-SC.
- DNER – DNER//DrDTc (IPR), 1994, **Solos:** determinação da densidade real dos grãos. DNER-ME-093/94.
- EMBRAPA- CNPS **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª ed., Rio de Janeiro, Embrapa Produção de Informação.
- FRASCA, A S.; ARAUJO, V.A. **Projeto Hidrogeologia no Tocantins – Folha Palmas – SC.22-Z-B-To.** Goiania. CPRM, 2001
- FONSECA, A. P. **Análise de mecanismos de escorregamento associados à voçorocamento em cabeceira de drenagem na Bacia do Rio Bananal (SP/RJ).** 2006. 373f. Tese (Doutorado em Geotecnia - COPPE/UFRJ) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos.** Cap. 4 e 5. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1998.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos.** 7 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2007.472p.
- CAMPI JUNIOR, S. **Processos erosivos, recursos hídricos e riscos ambientais na Bacia do Rio Mogi-Guaçu.** 2001. 171p. Tese (Doutorado em Geociências) – UNESP/SP, Rio Claro, São Paulo.
- LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 2ª ed. Campinas, SBCS/SNLCS, 1996, 84 p.
- LIMA, M.C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas.** 2003. 336p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil Universidade de Brasília, Brasília.
- MEIRA, A. S.; LEO, J. L.; SANTOS, J. M. **O uso e a ocupação do solo e a formação de voçorocas no município de Caetitê – BA.** Universidade Estadual da Bahia, BA, 2004. Disponível em: < [http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/E2\\_015.htm](http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/E2_015.htm) >. Acesso em mai de 2006.
- PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos – SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** nº. 56/01, pp. 28 – 33, Nov.2004.

- RADAMBRASIL - Programa de Desenvolvimento Nacional. **Levantamento de Recursos Naturais**. SC. 22- Tocantins. Rio de Janeiro, 1981.
- RODRIGUEZ, T. T. **Caracterização e erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2000. 120p. Tese (Doutorado em Geotecnia – COPPE/UFRJ) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SEPLAN. **Atlas digital do Tocantins**: base de dados geográficos. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente, Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. Palmas SEPLAN, 2001 versão 1.0 disponível em CD.
- SERRA, E. L. **Avaliação da degradação ambiental de três micro bacias hidrográficas no município de Lavras, MG**. 1993. 153p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas)- Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.
- SILVEIRA, L. R. ; MENDONCA, R. M. G. ; BONATTO, F. ; PEREIRA, H. O. Análise monitoramento e caracterização da voçoroca Ribeirão da Cachorra em Paraíso do Tocantins – TO. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia, **Anais...** Goiás: UFG, 2006.