

*Diagnóstico de processo erosivo em Neossolo
Quartzarênico em Quirinópolis (GO)*

*Diagnosis of erosive process in Quartzarenic Neosol in
Quirinópolis (GO)*

*Diagnóstico del proceso erosivo en el neo-suelo de arena de
cuarzo en Quirinópolis (GO)*

Alik Timóteo de Sousa
Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Morrinhos
aliktimoteo@gmail.com

Vladiá Correchel
Universidade Federal de Goiás
vladiacorrechel@hotmail.com

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo diagnosticar a gênese, os mecanismos erosivos que comandam a evolução e proposição de alternativas de contenção de uma voçoroca instalada em pastagem na Serra da Confusão do rio Preto em Quirinópolis - GO. Utilizando técnica de rapel, foram descritos cinco perfis para classificação do solo. Foram coletadas 35 amostras deformadas e cinco indeformadas com três repetições nos taludes. Na pastagem foram coletadas cinco amostras indeformadas com três repetições. As amostras de solo coletadas foram analisadas quanto à textura, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade e fertilidade do solo, seguindo os procedimentos descritos em Embrapa (1997). Foram feitos 18 ensaios de infiltração de água no solo usando permeâmetro de Ghelp e a estimativa da resistência do solo à penetração mecânica foi feita usando um penetrômetro de impacto modelo Planalsucar (Stolf, 1981), em transectos de 50 metros de extensão em torno da cabeceira da erosão para verificar a condutividade hidráulica, permeabilidade e o grau de compactação dos solos. Os resultados obtidos permitem afirmar que a área de contribuição da voçoroca é naturalmente suscetível ao processo erosivo e que o uso do solo acelerou sua evolução.

Palavras-chave: Atributos físicos do solo, toposequência, erosão linear.

Abstract

This paper aims at diagnosing the genesis and the erosive mechanisms which control evolution of a gully in a pasture at Serra da Confusão do Rio Preto em Quirinópolis -

GO, and the proposal of alternatives to its repression. Using an abseiling technique, 5 profiles classifying the soil were described. 35 undeformed soil samples and five undeformed ones were collected, with three repetitions on the slopes. In the pastures around the gully, five undeformed soil samples were collected, with three repetitions. The texture, soil density, particles density, total porosity, macro and microporosity and fertility of the soil samples collected were analysed, following the procedures described by Embrapa (1997). 18 water infiltration essays were done in the soil using Ghelp's disc permeameter, and the estimate of the soil's resistance to the mechanical penetration was done using a Planalsucar impact penetrometer (Stolf, 1981), in 50 meters long transects around the source of the erosion, to verify the water conductivity and the soil's permeability and compression degree. The results allow us to assert the gully's contribution site is naturally susceptible to the erosive process and that the use of the soil quickened its development.

Keywords: Soil's physical attributes, toposequence, linear erosion.

Resumen

El presente trabajo tuvo como su objetivo diagnosticar la génesis de los mecanismos erosivos que comandan la evolución y proposición de alternativas de contención de un hoyo formado por un agrietamiento erosivo instalado en el pasto de la Serra da Confusão do rio Preto en Quirinópolis - Goiás. Utilizando la técnica de hacer rápel, se describieron cinco perfiles con el intuito de hacer la clasificación del suelo. Se recolectaron 35 muestras deformadas y cinco no deformadas con tres repeticiones en los taludes. En las áreas de pasto alrededor del hoyo del agrietamiento erosivo, se recolectaron cinco muestras no deformadas con tres repeticiones. Las muestras del suelo recolectadas fueron analizadas observando la textura, densidad del suelo, densidad de partículas, porosidad total, macro y microporosidad y fertilidad, siguiendo los procedimientos descritos por el manual de la Embrapa (1997). Fueron realizados 18 ensayos de infiltración de agua en el suelo usando el permeámetro de Ghelp y la estimativa de la resistencia del suelo a la penetración mecánica se hizo utilizando un penetrómetro de impacto modelo Planalsucar (Stolf, 1981), en transectos de 50 metros de extensión alrededor de la cabecera de la erosión para verificar la conductividad hidráulica, la permeabilidad y el grado de compactación de los suelos. Los resultados obtenidos permiten afirmar que el área de contribución del hoyo del agrietamiento erosivo está naturalmente susceptible al proceso erosivo y que el uso del suelo ha acelerado su evolución.

Palabras-clave: Atributos físicos del suelo, topo secuencia, erosión lineal.

Introdução

Em Quirinópolis, à Sudoeste de Goiás, o relevo suave ondulado ocorre sobre diferentes litologias, constituído por basaltos da Formação Serra Geral, Grupo São Bento, sobre os quais ocorrem Latossolos Vermelhos com elevado teor de argila, ocupados por lavouras de cana-de-açúcar, soja, milho e sorgo, nas partes mais baixas do relevo. Acima da Formação Serra Geral, existem morros residuais entre 550 e 880 m de altitude recobertos com arenitos, siltitos e conglomerados pertencentes ao Grupo Bauru, mantidos por coroas de somitais ricas em sílica, ferro e pontuações de calcário, que resistem ao ataque da erosão recuante nas bordas do modelado com muitas reentrâncias constituídas por escarpas abruptas.

Na parte inferior dos residuais ocorrem rochas da Formação Adamantina e, nas áreas mais elevadas, predominam litologias da Formação Marília, ambas pertencentes ao Grupo Bauru. Esta última formação ocorre no topo dos morros

aplainados, constituída por arenitos grosseiros, mal selecionados e que proporcionam grande suscetibilidade erosiva, sobretudo em coberturas Latossólicas com textura média a arenosa e com Neossolos Quartzarênicos (RQ₀).

No Brasil, pesquisadores têm demonstrado que o surgimento dos processos erosivos está associado a fatores naturais (Bacellar, 2000), mas a ação antrópica em áreas urbanas e rurais tem acelerado esse processo (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). Entretanto, para compreender a dinâmica dos processos erosivos, o fluxo hidráulico superficial e subsuperficial, bem como o mapeamento dos elementos do meio físico em escala de detalhe e semi detalhe, precisam ser mais estudados.

No vale do rio Paraíba, Coelho Neto (2003) constatou que a evolução de voçorocas está associada às características de morfologia, exfiltração do aquífero temporário local e regional, fraturas subverticais da litologia, e às características das chuvas locais e regionais que favorecem a escavação dessas fraturas presentes no saprólito de rochas granitoides.

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, sobretudo quando essas cabeceiras eram desmatadas, portanto caracterizando respostas hidrogeológicas de reajuste ao impacto.

As características do terreno representadas pela declividade e comprimento da encosta influenciam a velocidade do escoamento superficial (IPT, 1986; Salomão, 1999; Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Por isso, terrenos mais inclinados são mais suscetíveis aos processos erosivos do que os planos, pois quanto maior inclinação do terreno, maior velocidade do escoamento superficial (Lepsch, 2002).

As características do solo (textura, estrutura, consistência, conteúdo de matéria orgânica, desenvolvimento do perfil), determinam seu grau de vulnerabilidade à erosão (Mafra, 1999, Bertoni & Lombardi Neto, 2005, Castro et al., 2004; Salomão, 1999). A erodibilidade, que corresponde à capacidade que um solo apresenta de resistir ao potencial erosivo da chuva, indica que solos arenosos e siltosos são mais erodíveis (Bertoni & Lombardi Neto, 2005) do que solos argilosos.

O impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo promove a desagregação dos agregados e seu salpicamento (efeito *splash*), que são transportados sobre a superfície do terreno (Pruski, 2006). O fluxo concentrado da enxurrada provoca entalhamentos profundos na paisagem (Domingues et al., 1998; Salomão, 1999).

Em pesquisas sobre erosão linear é importante entender os fatores naturais e o comportamento das águas pluviais e do lençol freático (Salomão, 1999). O estudo em topossequência dos solos na paisagem com a aplicação da análise estrutural da cobertura pedológica (Boulet, 1988), pode determinar o potencial erosivo dos processos de ravinamento nos diversos segmentos de uma vertente e sua evolução para o estágio de voçoroca. Essa abordagem permite compreender a dinâmica hidráulica dos horizontes pedológicos, as direções dos fluxos superficiais e subsuperficiais na encosta, bem como, sua predisposição a ocorrência de processos erosivos laminares e lineares, dentre eles, a gênese e evolução de voçorocas.

O presente trabalho teve como objetivo diagnosticar a gênese, os mecanismos erosivos que comandam a evolução e proposição de alternativas de contenção de uma voçoroca na Serra da Confusão do rio Preto em Quirinópolis - GO.

Material e métodos

A seleção da área de estudo foi feita a partir de entrevistas aos moradores locais, sobrevoos de ultraleve, levantamentos de campo, registros fotográficos dos elementos físicos, da paisagem, em torno da ocorrência erosiva, bem como, dos mecanismos erosivos durante o período chuvoso e o de estiagem.

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 ravinhas e voçorocas na área selecionada para a pesquisa, entre as quais foi escolhida a maior, denominada de Tingá, em Neossolo Quartzarênico.

A voçoroca selecionada está localizada no Centro-Norte da Serra da Confusão do rio Preto, em 18°18'30"S e 50°37'20"W e 770 m de altitude média local. Essa área está situada na bacia hidrográfica do rio Paraná/bacia Platina, sendo o córrego Tingá afluente do ribeirão Fortaleza, tributário do rio São Francisco que deságua no rio Paranaíba. A jusante da voçoroca se encontra uma área de preservação permanente (APP) e todo entorno da área apresenta pastagens que substituíram a vegetação original (Cerrado denso e ralo) na década de 1970.

Ao longo da voçoroca Tingá foram descritos cinco perfis de solo de acordo com os procedimentos descritos por Santos et al. (2005), para fins de classificação. Devido a inclinação e profundidade dos taludes (>25 metros), foi usada a técnica de rapel para descrição dos horizontes e coleta de amostras de solo. Ao todo foram coletadas 35 amostras deformadas e cinco amostras indeformadas com três repetições nos taludes (Figura 1). No entorno da voçoroca, nas áreas de pastagem, foram coletadas mais cinco amostras indeformadas com três repetições, distribuídas em transecções no entorno da voçoroca.

As amostras de solo foram analisadas quanto à textura, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade e fertilidade, nos laboratórios de solos da Escola de Agronomia da UFG, seguindo os procedimentos descritos em Embrapa (1997).

No local foram realizados 18 ensaios de infiltração de água no solo usando permeâmetro de Ghelp e a estimativa da resistência do solo à penetração mecânica foi feita com um penetrômetro de impacto modelo Planalsucar (Stolf, 1987).

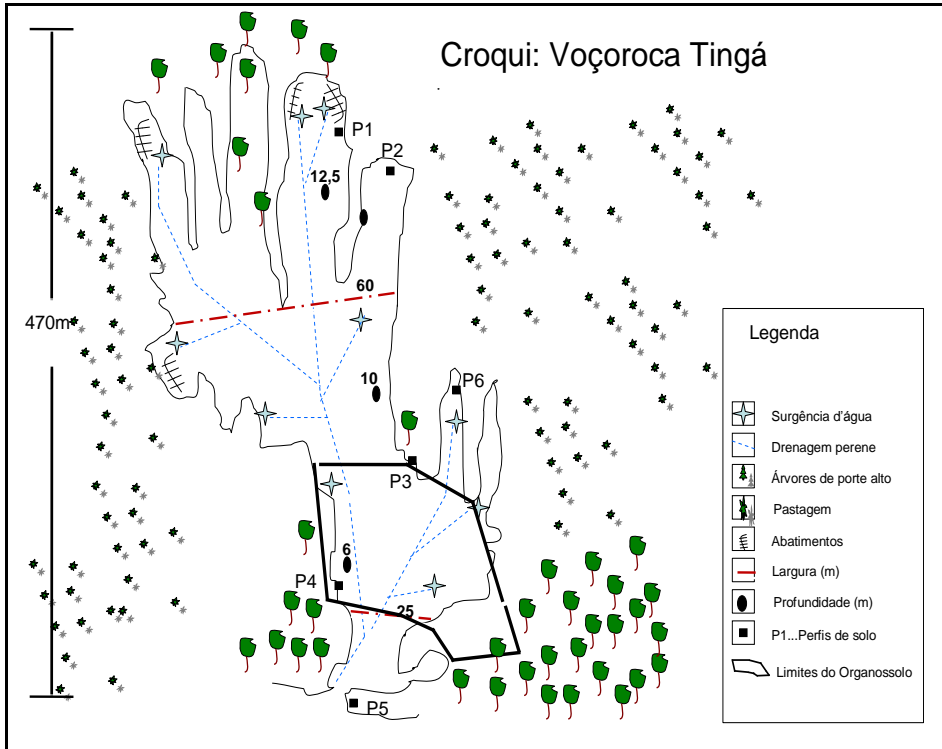


Figura 1. Localização dos perfis descritos nos taludes da voçoroca Tingá.

Resultados e discussão

Em relação ao diagnóstico da geomorfologia local, observou-se que a área apresenta superfície erosiva tabular, em relevo residual de topo aplanado testemunho de superfície aplanada, limitado por escarpas erosivas. Quanto à geologia, apresenta materiais do Grupo Bauru, Formação Marília, constituída por arenitos finos a grosseiros, predominantemente mal selecionados, vermelhos, róseos e esbranquiçados, que propiciaram a formação de Neossolos Quartzarênicos órticos (RQ₀) nas posições mais altas e medianas das encostas e Organossolos Háplicos sápricos (OXs) nas partes mais baixas do relevo.

A vertente onde está instalada a voçoroca Tingá possui topografia suavemente plana, com 3% a 6% de declive (Figura 2), com forma retilínea à suavemente convexa.

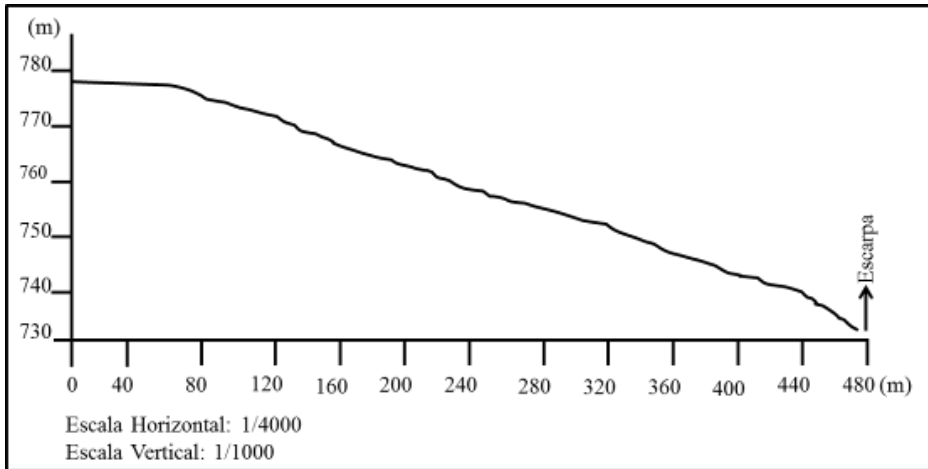


Figura 2. Perfil topográfico da vertente direita da voçoroca Tingá.

Na parte inferior da encosta afetada pela incisão 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. Analisando-se o relevo, o comprimento de rampa local parece ser o elemento topográfico mais importante na evolução da voçoroca do que a declividade, fato descrito por Bertoni & Lombardi Neto (2005).

A vertente é extensa, com 470 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 1.790 m, somando uma extensão total de 2.260 m, o que favorece a concentração dos fluxos subsuperficiais em função das características texturais dos solos arenosos de montante e condicionam a rápida percolação da água e seu movimento em direção à jusante, fato corroborado pela alta taxa de vazão (360 L m^{-1}) na voçoroca, durante o período de estiagem na região (início de outubro de 2008).

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

De acordo com o relato de moradores do local, a erosão surgiu em outubro de 1975, após chuva intensa e prolongada durante a noite, sendo possível ouvir um forte estrondo próximo à nascente, resultante do 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, sendo hoje ocupada por pastagem de *Brachiária decumbens* (Figura 3).

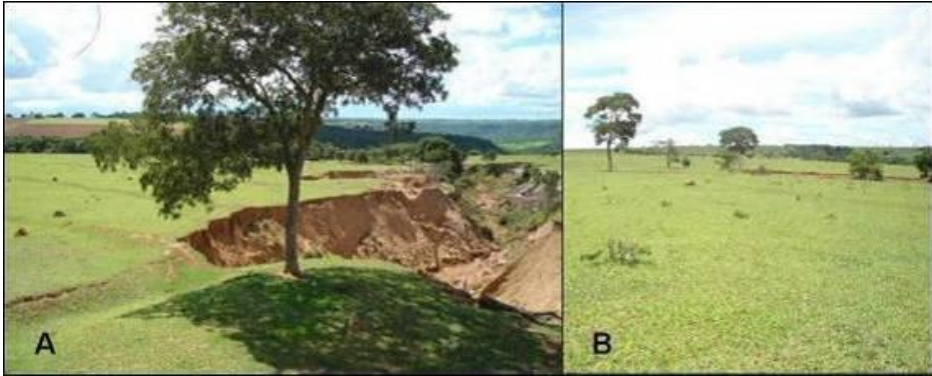


Figura 3. A. Vista parcial da cabeceira da voçoroca Tingá; B. Área de contribuição da voçoroca em área de pastagem cultivada com *Brachiária decumbens*.

A voçoroca incidiu sobre os 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, estando, portanto, na Zona de Erosão Recuante, conforme descreve Latrubesse & Carvalho (2006). 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.

O OXs presente à jusante da área é menos permeável e possui menor condutividade hidráulica do que o RQ₀, conforme os testes de infiltração realizados. A voçoroca se encontra com 470m de comprimento, 60m de largura e 8m de profundidade média, totalizando 225.600m³ de material erodido da paisagem, com formato coalescente e apresentando vários eixos com cabeceira mais larga que a parte de jusante. (Figura 1) O eixo central é o mais instável demonstrando abatimentos sucessivos, alcovas de regressão e *pipings*.

Os taludes possuem maior inclinação nos trechos médio e superior da encosta, onde observam-se pontos de afloramento do lençol freático de modo perene, o que contribui para o solapamento dos taludes (Figura 4).

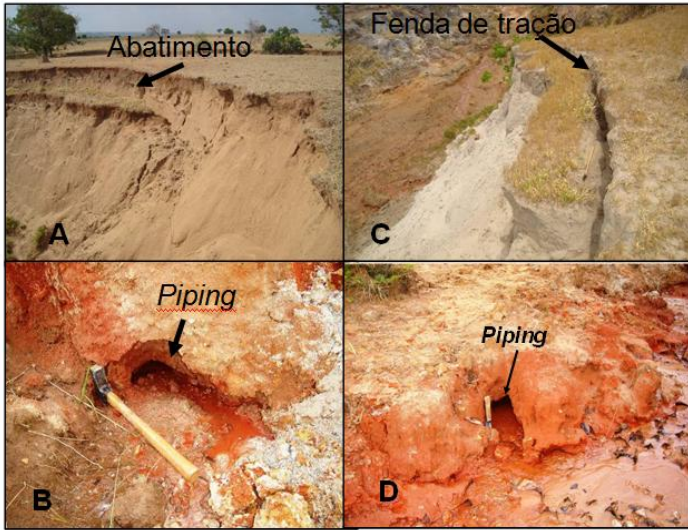


Figura 4. Mecanismos erosivos atuantes. A. Abatimento na cabeceira; B. *Piping* com desabamento recente do teto no horizonte C; C. Fenda de tração no talude direito D. *Piping* com teto relativamente preservado.

O diagnóstico da situação permite inferir que os *pipings* junto aos sopés dos taludes e surgências no interior da voçoroca provocam o surgimento de alcovas de regressão, que associados aos dutos biogênicos (Figura 5) e sulcos nas paredes da erosão têm contribuído para a ocorrência de movimentos de massa localizados do tipo abatimentos sucessivos e/ou desabamentos de taludes.

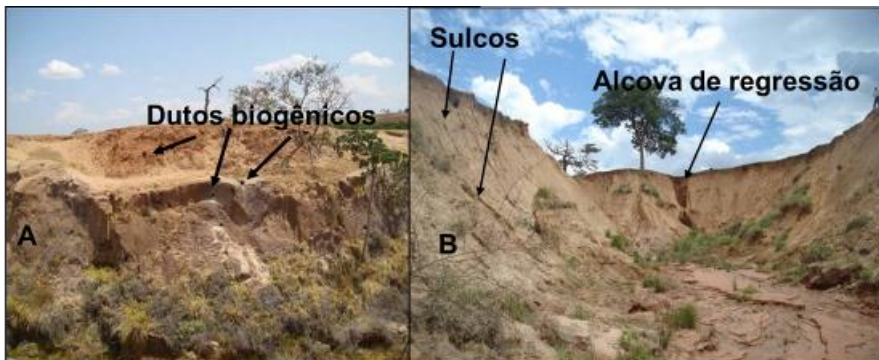


Figura 5. A. Dutos biogênicos no talude da erosão; B. Vista parcial do interior da ramificação mais instável com presença de alcova de regressão no centro e alto da foto e sulcos no talude direito.

Cabe ressaltar que o surgimento dessa erosão já se deu como voçoroca, o que a distingue da maioria das ocorrências erosivas do município que, em geral, ocorrem a partir da evolução de um sulco ou ravina, até interceptar o lençol freático, momento que passa a ser denominada de voçoroca (Castro et al., 2004; Castro, 2005; Camapum de Carvalho et al., 2006; Sousa, 2010; Sousa e Carrechel, 2013).

Na topossequência, o estudo dos perfis de solo dos taludes possibilitou a identificação de nove horizontes pedológicos (Figura 6).

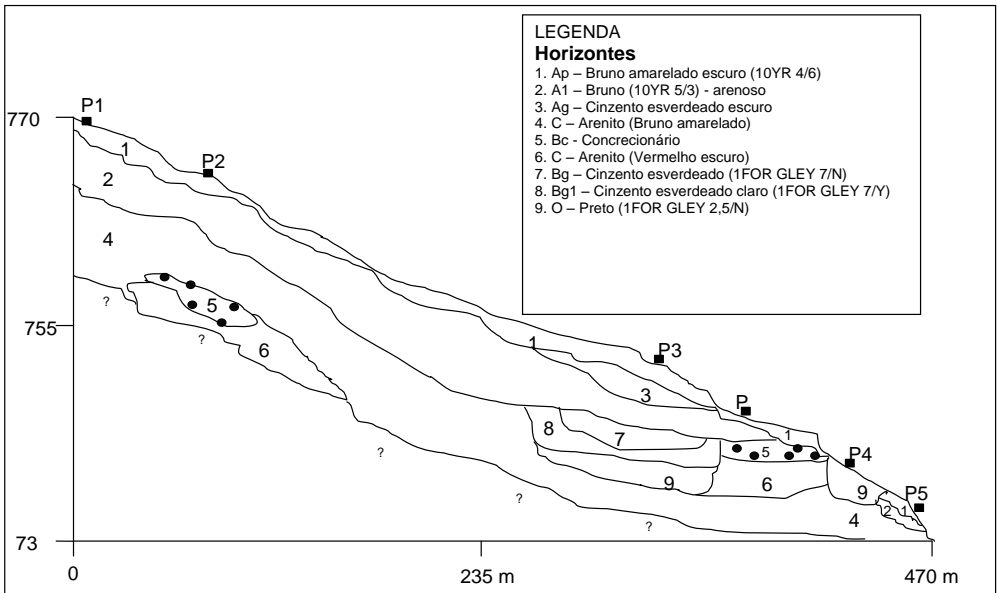


Figura 6. Topossequência da voçoroca Tingá.

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.

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.

6. 395-700 cm - Horizonte C muito alterado, friável, vermelho escuro (7,5R 3/8), franco areno siltoso, subjacente ao horizonte concrecionário 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/columnar 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 sugere evolução paralela à topografia atual devido concordância com a mesma, enquanto em maiores profundidades, na altura dos perfis 2 e 3 e deste ponto para jusante aparecem estruturas lenticulares na maioria discordantes da topografia atual do terreno, provavelmente herdadas da rocha de origem flúvio-lacustre, não parecem associadas à evolução da voçoroca em virtude da profundidade.

Os resultados das análises físico-químicas (Tabelas 1 e 2) mostram que os valores médios dos teores de areia superam os das demais frações minerais do solo. A densidade de partículas (Dp) apresentou valores médios de 2,53 Mg m⁻³ e baixo CV (= 1,36%). No talude a maior Dp (= 2,65 Mg m⁻³) foi encontrada no horizonte C (perfil 1 = P1) e a menor (= 2,40 Mg m⁻³) no horizonte O (P3). O volume total de poros (VTP) e a macroporosidade (Ma) apresentaram valores médios mais elevados na pastagem (=48,40% e 48,02%, respectivamente) (Tabela 1).

Quanto à fertilidade, o valor médio de matéria orgânica do solo variou muito entre os pontos de amostragem, sendo menor no RQ0 quando comparado ao OXs. O valor médio de pH do solo foi de (= 4,23) caracterizando acidez muito elevada (Embrapa, 2000) com pouca variação entre os perfis (CV = 1,49%). O fósforo (P) apresentou valor médio (= 4,19 mg dm⁻³) baixo (Embrapa, 2000) e moderada variabilidade (CV = 52,42%). Em geral, os teores médios de nutrientes foram considerados baixos, indicando a necessidade de se aplicar corretivos e fertilizantes para melhorar a densidade vegetal no entorno da voçoroca.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos da camada 0 a 20 cm de solo sob pastagem no entorno da voçoroca Tingá. (n=15)

Pto.	U (Kg Kg ⁻¹)	RP (MPa)	ARG	SIL (g Kg ⁻¹)	AR	Fe %	MOS (%)	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	CTC	V (%)
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	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	5,7B	29,00B	0,40B	0,13A	7,57B	2,43C	8,20B	7,67B
6	1,74B	2,80A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	15,67A	1,86B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DMS	4,0618	0,82	4,0456	8,0015	10,749	40,011	7,7329	0,17	5,9077	4,4965	0,294	0,155	5,6737	1,8344	5,775	4,4426
Média	3,74	2,25	212,0	117,0	671,0	58,43	7,47	4,23	4,19	31,47	0,64	0,17	11,00	3,89	11,92	12,27
CV	25,23	2,25	7,10	25,38	5,96	25,48	38,54	1,49	52,42	5,32	17,11	33,31	19,18	17,56	18,03	13,48

Teste F. Nível de significância do teste F letras iguais na coluna não diferem entre si: * = significativo a 5%; ns = não significativo; Pto. = Perfil; DMS = Diferença mínima significativa; CV = Coeficiente de variação; U = Umidade gravimétrica; RP = Resistência a penetração; ARG = Argila; SIL = Silte; AR = 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 2. Valores médios dos atributos físicos do solo avaliados em horizontes de perfis de solo (Pi, onde i = 1 a 5) em taludes da voçoroca Tingá.

Horizonte	Prof.,cm	ARG	SIL	AR	Dp	Ds	VTP	Ma	Mi
		g Kg ⁻¹			Mg m ⁻³		(%)		
P1									
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		201,1	71,1	727,8	2,65	1,91	27,93	27,66	0,27
P2									
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		121,1	52,2	826,7	2,53	1,54	39,28	39,02	0,26
P3									
O	0-60	270,0	136,7	593,3	2,40	0,95	60,34	59,70	0,64
Média		270,0	136,7	593,3	2,40	0,95	60,34	59,70	0,64
P4									
O	0-184	213,3	230,0	556,7	-	-	-	-	-
C	185 +	103,3	60,0	836,7	-	-	-	-	-
Média		158,3	145,0	696,7	-	-	-	-	-
P5									
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		136,7	71,7	791,7	2,54	1,88	27,21	25,87	0,33
Média Geral		177,44	95,33	727,22	2,53	1,57	38,69	38,06	0,37

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 de densidade do solo (Ds) foram maiores no talude (= 1,57 Mg m⁻³) em relação à pastagem (= 1,46 Mg m⁻³), apresentando grande variação (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de algumas propriedades físico-hídricas de um RQ₀ sob pastagem no entorno da voçoroca Tingá.

Atributos	Média**	DP	CV (%)
Dp, Mg m ⁻³	2,53	0,034	1,36
Ds, Mg m ⁻³	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 ⁻¹)*	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 representativas da camada 0 a 20 cm de profundidade.

Tanto a resistência mecânica do solo, como o teor de umidade do solo não diferiram entre as profundidades avaliadas (Tabela 4).

Tabela 4. Umidade gravimétrica e resistência do RQ₀ à penetração mecânica na pastagem no entorno da voçoroca Tingá.

Atributos	Camada, cm				DMS	CV (%)
	0-20	20-40	40-60	Média		
U (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; DMS = Diferença mínima significativa; CV = Coeficiente de variação. Letras iguais na linha não diferem valores médios da variável pelo teste Tukey a 1% de probabilidade.

A textura arenosa do RQ₀ dificulta a ocorrência da compactação, mesmo sob pastagem cultivada nos últimos 20 anos, com criação de gado Nelore, o que é confirmado pelos testes de resistência do solo à penetração (RP), com valores médios de 2,25 MPa (Tabela 1), abaixo dos considerados críticos (= 6,0 MPa a 7,0 MPa) para solos arenosos (Casagrande, 2001).

Os baixos valores de RP verificados no entorno da voçoroca indicam que essa erosão tem sua dinâmica comandada pelos fluxos internos, representados pelos *pipings*, alimentados pelas elevadas taxas de infiltração do solo local. Os *pipings* 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 OXs e que possui forte adesão entre as partículas, registraram-se menores taxas de infiltração e de condutividade hidráulica saturada, bem como maior resistência aos processos erosivos. Contudo, esse trecho não foi capaz de suportar a pressão exercida pelo fluxo subsuperficial a montante, o qual pode ter sido incrementado a partir da década de 1970, com o desmatamento e agravado pelo revolvimento do solo para o cultivo.

Baccaro (1999) e Coelho Neto et al. (1997) afirmam que as camadas de baixa permeabilidade funcionam como impedimento à percolação e propiciam a saturação até certa altura das camadas de solo sobrejacentes, o que pode explicar o fato ocorrido na área estudada.

A deflagração dessa incisão erosiva desencadeou diversos impactos, como a perda de solo local com redução de área de pastagem, o assoreamento do córrego Tingá e, em consequência, do ribeirão Fortaleza, rio São Francisco, rio Paranaíba e barragem da UHE de São Simão além de proporcionar riscos de acidentes por quedas de animais e de pessoas dentro da voçoroca.

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 dessa natureza. Entre as diversas práticas de conservação do solo, primeiro devem ser utilizadas com eficiência, as edáficas e vegetativas, utilizando-se práticas mecânicas apenas se as demais, associadas, não foram suficientes para reduzir ou eliminar processos erosivos intensos.

Como práticas edáficas, o uso de calcário para eliminar a acidez dos solos do Cerrado é a primeira a ser utilizada. Se possível, realizar a adubação de plantio, de cobertura, em toda área de contribuição da voçoroca. A adoção da correção da acidez e da fertilidade do solo irá auxiliar a revegetação da área, reduzindo a velocidade do escoamento superficial que atinge a cabeceira e os taludes da erosão.

Criar barreiras ao transporte de fluxo superficial também auxilia o disciplinamento da água em superfície, mas, por se tratar de um Neossolo Quartzarênico, o sistema radicular dessa vegetação de entorno ou contorno deve ser agressiva, de rápido crescimento, sendo o uso de Vetiver (*Vetiveria zizanoides*) nos sopés dos taludes e entorno da erosão, recomendado, pois não é palatável possuindo sistema radicular muito profundo e resistente.

O isolamento da área em um raio igual ou superior a 50 m das bordas da erosão deve ser feito conforme previsto na Legislação Ambiental vigente por se tratar de surgência d'água perenemente, impedindo o trânsito de animais (bovinos e eqüinos) e favorecendo o repovoamento espontâneo em torno da erosão.

Outras técnicas, como o uso de drenos 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 ou de estruturas em tela gabião e “pedra marruada” junto aos sopés e bordas dos taludes para aumentar a resistência do solo e reter os sedimentos de montante, são técnicas que podem ser utilizadas, mas aumentam os custos da recuperação ambiental.

Considerações finais

As investigações do meio físico realizadas indicam que a área de contribuição é naturalmente muito suscetível ao voçorocamento e, que o uso do solo implementado a partir da década de 1970 acelerou sua evolução. Os solos de textura arenosa, no 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.

A erosão possui grandes dimensões, vale aberto em U, presença de vegetação em suas bordas e no interior, apresentando 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 necessária a adoção de medidas de estabilização para minimizar os impactos causados pela evolução dos mecanismos erosivos que condicionam sua instabilidade ininterruptamente.

Referências

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. S. & CASTRO, S. S. de. **Morfologia do relevo e ocorrências erosivas lineares na alta bacia do rio Araguais, 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.

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

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.

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.

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.

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.

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

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>. Acesso em 06 de dez. 2009.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; CAMBRA, M. F. E. S.; MORAES, E. O. Onde Estabiliza o Avanço das Voçorocas do Rio Bananal (SP/RJ)? In: VII SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FISICA APLICADA, 1997, Curitiba. **Anais do VII SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FISICA APLICADA**, 1997. v. 1. p. 479-479.

COELHO NETTO, 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.

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.

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. **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.

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

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.

LATRUBESSE, E.; CARVALHO, T. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: Secretaria de indústria e comércio. 2006. 127 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

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.

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.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte: Editora FAPI, 2006. 150 p.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 240 p.

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.

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.

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.

SOUSA, A. T. **Caracterização de voçorocas em bordas de relevo residual tabular em Quirinópolis-GO.** 2010. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SOUSA, A. T.; CORRECHEL, V. Voçoroca em borda de relevo tabular residual sobre cobertura Latossólica, Quirinópolis (GO). **Boletim Goiano de Geografia** (Online). Goiânia, v. 33, n. 3, p. 509-527, 2013.

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.

Alik Timóteo de Sousa

Professor da Universidade Estadual de Goiás, Campus Morrinhos. Graduado e Mestre em Geografia pelo Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás – IESA/UFG. Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás.
Rua 14, N. 625, Jardim América, Morrinhos (GO). CEP: 75650-000.
aliktimoteo@gmail.com

Vladia Carrechel

Professora da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras, Mestrado em Agronomia Pela Universidade de São Paulo e Doutorado em Ciências – Energia Nuclear na Agricultura, Pela Universidade de São Paulo.
Campus Samambaia, Rodovia Goiânia / Nova Veneza, Km 0, Caixa Postal 131, CEP 74690-900, Goiânia (GO).
dadosvladia@gmail.com

Recebido para publicação em julho de 2014
Aprovado para publicação em setembro de 2014