



**VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE
NAZARENO, MG: ORIGEM, USO DA TERRA
E ATRIBUTOS DO SOLO**

VINICIUS MARTINS FERREIRA

2005

VINICIUS MARTINS FERREIRA

**VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE NAZARENO, MG: ORIGEM, USO
DA TERRA E ATRIBUTOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof.. Dr. Marx Leandro Naves Silva

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Ferreira, Vinicius Martins

Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos
do solo / Vinicius Martins Ferreira. -- Lavras : UFLA, 2005.

84 p. : il.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Voçorocas. 2. Uso da terra. 3. Solo e sociedade. 4. Sistema de informação
geográfica. 6. Erosão. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

VINICIUS MARTINS FERREIRA

**VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE NAZARENO, MG: ORIGEM, USO
DA TERRA E ATRIBUTOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 31 de março de 2005.

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira - UFLA

Prof. Dr. José Aldo Alves Pereira - UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva - UFLA
(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

A todos aqueles que lutam por um mundo mais responsável, plural e solidários...

OFEREÇO

A Raphaela Vale Alvarenga pela amizade, companheirismo, sabedoria e momentos eternos que compartilhamos na construção desse trabalho.

In memoriam...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a todos os seres que contribuíram direta e indiretamente para a concretização desse trabalho, especialmente:

Ao Professor Marx pela paciência, tolerância, disponibilidade e crises que contribuíram enormemente para a minha construção profissional.

Aos meus braços direito e esquerdo, Carmen Lúcia e Tiago. O que seria desse trabalho sem vocês?

À comunidade de Nazareno que sempre acolheu e subsidiou a Luta Contra as Voçorocas e foi fundamental na coleta de dados e informações, especialmente, Fabiana Silva, Patrícia, Rodolfo, Bruno, Jean, Érica. E às voçoretas, grandes irmãs, Ana Pimenta, Mayesse, Letícia, Maria, Fernanda e Liana obrigado pela amizade, companheirismo e confiança... Percorremos 77 Km a pé no entorno das voçorocas!

Aos professores José Aldo Alves Pereira e Mozart Martins Ferreira pela composição da banca avaliadora, a qual foi muito construtiva.

Aos professores do Departamento de Solos, especialmente Nilton Curi, João José Granate de Sá Melo Marques, Moacir Souza Júnior, José Maria Lima e Janice Guedes Carvalho, Vicente Gualberto pelos conhecimentos, experiências e acolhimento.

À Professora Elizabeth Ferreira do Departamento de Engenharia da UFLA pelo suporte técnico na utilização do SPRING.

Ao professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais, respectivamente: Luis Marcelo Tavares de Carvalho e Luciano Oliveira pelo suporte em sensoriamento remoto.

Aos amigos e colegas do curso pelos momentos plenos de alegria, companheirismo e união no caminhar solitário dos estudos. Em especial, Walfrido - grande irmão, Antonio Claret, Júnior, Nildo, Sandra, Lucas,

Carolina, Vinicius, Gislaine, Antônio Marcos, Hudson, Daniela, Regilaine, Daniela Zuliani, Alessandra, Bruno, Túlio, Sergio, Fábio, Liziane, Lislane, Regimeire, Alexandre D'andrea, Alexandre Barberi, Adriana, Raphaela, Julio, Manuela, Paulo, Matilde, Aristides, Felipe e tantos outros...

Aos amigos, Lu Preta, Priscila, Francisquinho, Déia, Piu e Zú. Obrigado pela alegria, carinho e paciência...

Aos estagiários da UFLA que contribuíram esporadicamente: Henrique Samsonas, Gabriela, Júnior e Rosana Toneti.

Aos funcionários e pesquisadores do Departamento de Ciência do Solo e da EPAMIG.

À equipe do Projeto Voçorocas e do Projeto Maria de Barro pelo grande apoio, paciência, amizade e convivência sadia e construtiva: Charlyston, Andréa, Alessandra, Flávia, Roberta, Sheila, Leandro, Lúcia.

Às professoras, estudantes de Nazareno pelo grande apoio e interesse.

Ao escritório local da EMATER MG e aos agricultores do município pela receptividade e preocupação.

À Professora Maria Teresa Franco Ribeiro da Universidade Federal da Bahia pela amizade e suporte técnico na dimensão social desse trabalho.

Ao Professor Alain Ruellan da Universidade Agropolis (Montpellier, França) pelo grande apoio e incentivo na incorporação da dimensão social na ciência do solo.

Aos professores da Universidade Estadual de Londrina, Ricardo Ralisch e João Tavares pelas dicas e ampliação da percepção das voçorocas.

À minha família, Sebastião, Elza e Larissa, que sempre acreditaram que eu continuaria meus estudos....quem diria....obrigado pela compreensão, tolerância, apoio, amizade, alegria e carinho....Não esquecendo do Luan.

Ao Rogério Ferreira pela ampliação da visão do solo, amizade, apoios, paciência, firmeza na caminhada e suporte nos momentos difíceis.

À Prefeitura Municipal de Nazareno que sempre acreditou e apoiou “A Luta Contra as Voçorocas”, oferecendo condições logísticas para a realização dos trabalhos de campo.

Ao Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), órgão do Ministério do Meio Ambiente - Governo Federal, pelo suporte financeiro oferecido através das ações implantadas pelo Projeto Controle e Estabilização de Voçorocas de Nazareno.

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) pelo suporte financeiro oferecido através das ações, estruturas e equipamentos do Projeto Maria de Barro.

À CAPES pela concessão bolsa de estudos.

Ao Instituto Voçorocas pelo suporte.

À CEMIG pela disponibilização das ortofocartas aéreas.

Ao Ministério do Exército pela disponibilização de fotografias aéreas.

BIOGRAFIA

Logo que me formei em agronomia pela UFLA em 1999 fui contratado pela Prefeitura Municipal de Nazareno para elaborar e coordenar os trabalhos ambientais do município. Assim, no período de 1999 a 2002 fui um dos idealizadores e coordenador geral do **Projeto Controle e Estabilização de Voçorocas em Nazareno**, executado pela Prefeitura Municipal de Nazareno em parceria com o Instituto Voçorocas, do qual sou presidente, Universidade Federal de Lavras e CEMIG. O Projeto foi fomentado pelo Fundo Nacional do Meio Ambiente e utilizou a degradação ambiental como um meio de potencializar o desenvolvimento local através de 2 linhas básicas: Implantação de um modelo de estabilização demonstrativa de uma voçoroca utilizando técnicas acessíveis e viáveis aos agricultores familiares; Sensibilização ambiental e redefinição da relação solo/sociedade. Este trabalho constituiu a base técnica, social, política, cultural, econômica e ética que possibilitou o desenvolvimento integrado e participativo desse projeto de pesquisa, o qual foi um trabalho coletivo, que ainda continua em construção. Foi elaborado por muitas mãos e pés, que possibilitou um intercâmbio e troca de saberes e experiências entre a comunidade de Nazareno e os universitários estagiários, fortalecendo por um lado a extensão universitária e por outro lado, o trabalho de mobilização, capacitação técnica e educação ambiental da comunidade de Nazareno.

Atualmente, sou o coordenador geral do **Projeto Maria de Barro** (www.projetomariadebarro.org.br) desenvolvido com recursos do BNDES que está possibilitando a continuação e ampliação da “Luta Contra as Voçorocas” através da transferência da tecnologia social desenvolvida em Nazareno para outros 28 municípios da região.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1 Solos e processos erosivos	03
2.2 Processos de formação de voçorocas	06
2.3 Perdas decorrentes de processos erosivos	07
2.4 Erosão e uso do solo	09
2.5 Sistemas de informações geográficas	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Descrição da área de estudo	12
3.1.1 Localização	12
3.1.2 Hidrografia	13
3.1.3 Clima e vegetação	13
3.1.4 Geologia e geomorfologia	13
3.1.5 Caracterização econômica	15
3.1.6 Caracterização social	16
3.1.7 Solos ocorrentes e uso	16
3.2 Materiais e equipamentos utilizados	17
3.3 Trabalhos de escritório	18
3.4 Trabalhos de campo	21
3.5 Trabalhos de laboratório	24
3.5.1 Análises dos atributos químicos e físicos dos solos	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1 Solos com voçorocas	26
4.2 Relações entre materiais de origem e voçorocas	46
4.3 Fatores geométricos relacionados com as voçorocas	49
4.4 Relações entre as bacias de contribuição e voçorocas	55
4.5 Relações dos fatores antrópicos com as voçorocas	61
5 CONCLUSÕES	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	84

RESUMO

FERREIRA, Vinicius Martins. Voçorocas no município de Nazareno, MG: Origem, uso da Terra e atributos do solo. 2005. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras.¹

O município de Nazareno é marcado por intensa e grave presença de voçorocas na paisagem. O processo está iniciando em ambientes agrícolas produtivos indicando que não está havendo uma reprodução e manutenção da fertilidade do solo. Assim, este estudo visa realizar um diagnóstico da situação atual das voçorocas no município, de modo a identificar as prováveis origens, usos da terra e atributos do solo relacionados com os processos erosivos. Foi realizado um levantamento das principais voçorocas ocorrentes no município discriminando todos os seus aspectos físicos e geométricos, assim como das bacias de contribuições em que estão inseridas e suas relações com as prováveis origens, impactos, usos e controle. Os solos predominantes nas voçorocas e os materiais de alteração das rochas foram diagnosticados em termos dos atributos químicos e físicos. Como subsídio foram confeccionados os mapas de localização das voçorocas, composição de estradas, de rede de drenagem e de cobertura vegetal. Foram diagnosticadas 57 voçorocas que comprometem uma área 344,6 ha do município. Os solos ocorrentes foram os Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos-Amarelos e Cambissolos. Os materiais de origem desses solos provêm principalmente da alteração de gnaiss granítico. Todos os solos e materiais de origem apresentam atributos físicos e químicos favoráveis à ampliação dos processos erosivos. Em condições equivalentes os Cambissolos são os solos mais suscetíveis ao voçorocamento, assim como as bacias de contribuição das voçorocas sob domínio desses solos. Os principais usos agrícolas das bacias de contribuição são as pastagens nativas e plantadas em condições de baixo nível conservacionista, o que confere uma grande instabilidade às voçorocas. As prováveis origens e evoluções das voçorocas estão relacionadas principalmente com as estradas rurais antigas, a mineração do ouro do século XVIII e os valos limítrofes de propriedades. Todas as voçorocas recebem impactos antrópicos diretos que ocorrem nas suas bacias de contribuição, bordas e interiores, contribuindo para o processo erosivo, além de dificultar sua recuperação natural. Existe uma preocupação e uma busca de soluções para o problema. As dificuldades para implementação das ações referem-se às limitações tecnológica e financeira dos proprietários e da Prefeitura Municipal.

¹ Comitê de orientação: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (orientador).

ABSTRACT

FERREIRA, Vinicius Martins. **Gullies in the Nazareno's county (MG): origin, land use and soil attributes.** 2005. 84p. Dissertation (Master Degree in Soil Science and Plant Nutrition) - Federal University of Lavras.²

The Nazareno's county is marked by intense and serious gully presence in the landscape. The process is beginning in productive agricultural environments indicating that there is no reproduction and fertility maintenance of the soil. Thus, this study seeks to accomplish a diagnosis of the current situation of the gullies in the county, in way to identify the probable origins, land use and soil attributes related with the erosive process. A survey of the main gullies occurring in the county was done, discriminating all their physical and geometric aspects, as well as the contributions basins in which the gullies are inserted and their relationship with the probable origins, impact, uses and control. The predominant soils in the gullies and the altered materials from the rocks were diagnosed in terms of chemical and physical attributes. As subsidy, maps of the gullies locations, of the roads composition, of the drainage network and of the vegetable covering were made. They were diagnosed 57 gullies that commit an area of 344,6 ha of the county. The soils that the gullies occur are Red Latosol, Red-Yellow Latosol and Cambisol. The parent material of those soils come mainly from the granitic gneiss alteration. All soils and parent materials present physical and chemical attributes favorable to the amplification of the erosive processes. In equivalent conditions, Cambisols are the most susceptible to gully erosion, as well as gullies contribution basins under those soils domain. The principal agricultural uses of the contribution basins are native and planted pasture in low conservations level, what confer a great instability to the gullies. The probable origins and evolution of the gullies are mainly related with the old rural roads, the gold mining of the XVII century and the properties bordering ditches. All the gullies receive direct anthropics impacts that occur in their contribution basins, borders and interiors, contributing to the erosive process, besides hindering their natural recovery. There is a concern and a solution search for the problem. The difficulties for implemation of the actions refer to technological and financial limitations of the land owner and of the municipal city hall.

² Guidance committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (major professor).

I INTRODUÇÃO

A degradação do recurso natural solo, tido como um recurso finito, é um dos problemas mais críticos que a população mundial está enfrentando atualmente. As respostas para estes problemas vem sendo demonstradas por indicadores de recuperação, mas os efeitos da degradação do solo, muitas vezes, persistem ou se estabelecem novamente. Assim, depara-se com situações de riscos com o desenvolvimento de processos erosivos em Nazareno, MG, que não foram enfrentadas no passado.

O município foi emancipado em 1954 e sua população é de 7.240 habitantes. A história de Nazareno é contada a partir do ano de 1.725, quando foi construída a Capela de Nossa Senhora de Nazaré por pessoas que se dedicavam ao garimpo do ouro, agricultura e pecuária, no contexto histórico regional da comarca de São João Del Rei, no ciclo do ouro dos séculos XVIII e XIX. O seu território é marcado por intensa e grave presença de voçorocas na paisagem, cujas prováveis origens estão associadas, principalmente, ao desmatamento e à mineração do ouro no século XVIII, potencializadas pela presença de solos com alta erodibilidade, baixa fertilidade natural, uso agrícola fora das classes de capacidade do uso da terra, manejo incorreto do solo e ausência de práticas conservacionistas. Além disso, o processo está tendo início em ambientes agrícolas produtivos, indicando que não está havendo uma reprodução e manutenção da fertilidade do solo. Historicamente, quando uma sociedade não pode assegurar a sua reprodução, ela entra em decadência e perde a sua independência.

Assim, este estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico da situação atual das voçorocas no município de Nazareno, MG, de modo a

identificar as prováveis origens, usos da terra e atributos do solo relacionados com os processos erosivos. Os objetivos específicos foram:

- cadastrar as principais voçorocas ocorrentes no município;
- relacionar a ocorrência de voçorocas com solos e materiais de origem;
- relacionar o nível de estabilização das voçorocas com seus parâmetros geométricos;
- caracterizar as bacias de contribuição de ocorrência de voçorocas;
- caracterizar origem, impactos, usos e controle de voçorocas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Solos e processos erosivos

No contexto sócio-ambiental, o solo desempenha funções fundamentais para a vida, particularmente em relação à saúde e às demais necessidades das sociedades humanas. Ele produz e contém todos os elementos necessários à vida, incluindo o ar e a água; filtra, transforma e purifica as águas que o atravessam; regula o sistema dos cursos de água e o abastecimento dos lençóis freáticos; armazena os gases que provocam o efeito estufa; constitui uma vasta reserva genética, abrigando grande parte da biodiversidade terrestre; fornece os materiais para a construção, para o consumo industrial e atividades artesanais, além de conter recursos minerais. O solo dá suporte aos habitantes e a infraestrutura necessária às várias atividades e ao lazer das sociedades humanas e ainda conserva os testemunhos da história da humanidade (Lahmar, 2004). Segundo Tótola & Chaer (2000), a capacidade do solo de desenvolver todas essas funções está diretamente ou indiretamente ligada, e em grau de importância diferenciada, à qualidade de todos os seus atributos.

A derrubada indiscriminada das florestas e o uso e o manejo inadequado dos recursos naturais têm provocado, dentre outros efeitos, a degradação dos solos. Esta degradação significa a diminuição da fertilidade e dos teores de carbono orgânico, assim como a alteração de sua estrutura (Curi et al., 1993). Os processos relacionados com a degradação dos atributos do solo são: erosão hídrica, compactação, acidificação, exaustão de nutrientes presentes no solo, e diminuição do carbono orgânico e da biodiversidade (Ranieri et al., 1998).

Erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado de partículas do solo causado, entre outros fatores, pela ação da água (hídrica) e do vento (eólica). No caso específico da erosão hídrica, que é causada pelo impacto das

gotas de chuva e pelo escoamento superficial, há o transporte das partículas de solo em suspensão e dos elementos nutritivos essenciais ao desenvolvimento das culturas e vegetação nativa.

O processo da erosão hídrica inicia-se com o impacto da chuva, cuja parte do volume precipitado é interceptada pela vegetação e parte atinge a superfície do solo, provocando o umedecimento dos agregados do solo e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação da chuva pode ocorrer a desintegração dos agregados, com conseqüente desprendimento de partículas menores. A quantidade de solo desestruturado aumenta com a intensidade da precipitação, a velocidade e o tamanho das gotas. Além de ocasionar a liberação de partículas que obstruem os poros do solo, o impacto das gotas também tende a compactá-lo, ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de infiltração da água (Troeh et al., 1980).

O empoçamento da água nas depressões da superfície do solo começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração ou quando a capacidade de acumulação de água no solo for excedida. Esgotada a capacidade de retenção superficial, a água começa a escoar. Juntamente com as partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, provocam a poluição dos recursos hídricos. Assim, as perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção, em vista da necessidade de aumento do uso de corretivos e fertilizantes e da redução no rendimento operacional das máquinas agrícolas. A intensidade dessas perdas depende de inúmeros fatores erosivos, que devem ser considerados (Pereira, 2000).

A água da chuva exercerá maior ou menor ação erosiva sobre o solo, dependendo de uma série de fatores, como condições topográficas ou de relevo,

características do solo e tipo de cobertura vegetal, além de ser função da sua intensidade. A erosão hídrica pode se caracterizar pelas seguintes formas, entre outras: laminar, sulcos e voçorocas. A erosão laminar é uma forma de erosão dificilmente perceptível, mas cuja ação pode ser denunciada pela coloração mais clara do solo, pela exposição de raízes e pela queda da produtividade agrícola. Consiste na remoção da camada superior do terreno, constatada em áreas mesmo com pequeno grau de declividade. Caso medidas de controle da enxurrada e mudanças no manejo agrícola não sejam adotadas, pode-se provocar o esgotamento ou degradação do terreno (Bahia et al., 1992).

A erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno, potencializando a enxurrada por meio do aumento da concentração em alguns pontos do terreno, atingindo, assim, volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos. Na sua fase inicial, os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo, mas, em um estágio mais adiantado, eles atingem tal profundidade que interrompem o trabalho de máquinas agrícolas (Hudson, 1995).

Entre os efeitos negativos da erosão hídrica, destacam-se: remoção da camada superficial, reduzindo a camada arável, redução dos teores de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, atividade e diversidade microbiana, taxa de infiltração, armazenamento e movimento de água e ar no solo, degradação da estrutura, aumento da sedimentação, etc. Esses atributos estão relacionados com todas as funções do solo, principalmente no que diz respeito à sua capacidade reguladora da qualidade ambiental e de fornecer condições adequadas à produtividade das culturas de modo sustentado (Bertoni & Lombardi Neto, 1999). Isso influencia negativamente a qualidade dos atributos do solo responsáveis pela manutenção das suas funções, tornando a erosão hídrica a principal causa da degradação acelerada das terras cultivadas no mundo.

No geral, a qualidade do solo tem sido definida como a capacidade de determinada classe de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou aumentar a qualidade da água e ar e de promover a saúde e habitação humana (Doran & Parkin, 1994). Segundo estes autores, este conceito torna-se dinâmico em função das características e finalidades de uso do ambiente e vem sendo utilizado para avaliar a degradação e o potencial de sustentabilidade dos solos agrícolas sob diferentes sistemas de manejo. Entender e conhecer a qualidade do solo possibilitam manejá-lo de maneira sustentável.

Dentre os processos de degradação do solo, o mais importante e de maior ocorrência em Nazareno é a erosão hídrica, cujos estágios finais denominam voçorocas.

2.2 Processos de formação de voçorocas

O termo voçoroca vem do tupi-guarani e significa terra rasgada. São vales de erosão onde a remoção de material é tão rápida que não permite o desenvolvimento da vegetação (Fiori & Soares, 1976). As voçorocas começam por qualquer pequena depressão do terreno, para onde afluem as águas da enxurrada que, em função de seu volume e velocidade, possuem grande força erosiva.

A distinção entre voçorocas e ravinas é feita pelo tamanho e, de uma forma empírica, considera-se que a voçoroca é um sulco de tal tamanho que impede o cultivo e ou o uso do solo para qualquer finalidade e não pode ser eliminado por meio de práticas normais de manejo. A voçoroca é a expressão mais flagrante da erosão, gerando grandes prejuízos devido à perda tanto de solos quanto de investimentos públicos em obras de infra-estrutura (SES/DAEE, 1990).

De modo geral, é difícil estabelecer, com certo rigor, o início do fenômeno. Desde o impacto inicial, causado pelo desmatamento, há uma ruptura no equilíbrio natural do solo. A erosão natural, própria da evolução da paisagem, dá lugar à erosão acelerada, resposta incontinenti de um meio em busca de nova condição de estabilidade, originando assim as voçorocas (Stein, 1995). As voçorocas têm sempre início em zonas desprotegidas de vegetação, onde a própria falta de cobertura vegetal produz encrostamento da camada superficial do solo e depois um trincamento superficial (Bjornberg, 1978). A susceptibilidade do solo ao voçorocamento está intimamente ligada à diminuição de espessura do "solum" no terço inferior da encosta onde a erosão é mais intensa e o horizonte C, menos coeso e com maior erodibilidade, é rapidamente atingido (Parzanese, 1991). Em seguida, as paredes, que expõem o horizonte C, recuam encosta acima por solapamento e se ramificam devido à concentração digitalizada da drenagem superficial. A intensidade com que a erosão progride depende da resistência do material que constitui o solo e da força da água, portanto, da sua vazão e das condições topográficas e do nível de base local. O aprofundamento é acelerado pela ação de canais subsuperficiais verticais que levam a galerias horizontais e que podem aprofundar a voçoroca em vários metros a cada estação chuvosa. Bigarella et al. (1985) observaram que, no caso de haver surgência de água no interior da voçoroca, origina-se, nas proximidades do sopé do talude, uma região onde o material encharcado é incoerente e facilmente removido, provocando o desabamento da encosta e ocasionando a evolução acelerada da voçoroca.

2.3 Perdas decorrentes de processos erosivos

No município de Lavras, MG, Silva, A.M. et al. (2001) determinaram as perdas de solo e água por erosão em Cambissolo e Latossolo Vermelho distroférico mantidos descobertos sob chuva natural e ainda demonstraram que,

para uma precipitação média anual de 1.384 mm, as perdas de solo e água foram de 162 Mg ha⁻¹ano⁻¹ e 148,2 mm ano⁻¹ e 2,6 Mg ha⁻¹ano⁻¹ e 94,2 mm ano⁻¹, para o Cambissolo e Latossolo Vermelho, respectivamente. Os resultados mostraram a maior resistência do Latossolo Vermelho e a maior susceptibilidade do Cambissolo à erosão hídrica, estando em consonância com o relevo de ocorrência, os atributos e a capacidade de uso desses solos. Estimativas de perdas de solo por erosão na região indicam índices na ordem de 31 a 593 Mg ha⁻¹ano⁻¹, dependendo da classe de solo e considerando ausência de cobertura vegetal e manejo inadequado do solo (Giarola et al., 1997).

Medições em condições de campo indicam que as perdas de solo em pastagens nativas sobre Cambissolos são da ordem de 20 Mg ha⁻¹ano⁻¹ (Santos et al., 1998). Esse valor é maior do que o considerado como o máximo tolerado para essa classe de solo, que é de 3,0 Mg ha⁻¹ano⁻¹ (Giarola et al., 1997). Isso é devido, principalmente, ao relevo acentuado e à baixa permeabilidade do solo à água (30 mm h⁻¹) da maioria dos solos da região (Motta et al., 2001).

Estudos de avaliação da qualidade do solo em sistemas de manejo, na Sub-Bacia do Alto Rio Grande, no município de São João Del Rei, MG, apontaram reduções significativas da permeabilidade do solo à água em sistema convencional de cultivo de batata (140,7 mm h⁻¹) em relação ao cerrado nativo (288,4 mm h⁻¹) (Silva, 2001).

Segundo Santos (1998), a taxa de assoreamento na represa da Usina Hidrelétrica do Funil é de 0,1 m ano⁻¹, sendo mantidas as taxas atuais de erosão e transporte de sedimentos. As vazões dos rios da Sub-Bacia do Alto Rio Grande medidas nos anos de 1997 e 1998 são 20% inferiores às médias históricas devido a uma diminuição na abundância dos recursos hídricos.

Os problemas com erosão hídrica e redução da recarga natural de água estão causando prejuízos diretos em 84% das propriedades rurais da região, sendo que em 78% há ocorrências de voçorocas com nascentes (Carniel et al.,

1994). A maior parte do uso atual das terras encontra-se em conflito com sua aptidão agrícola (Giarola, 1994) e classes de capacidade de uso da terra. Os prejuízos estão associados à população como um todo dos 64 municípios que compõem a Sub-Bacia, num total aproximado de 15.000 km² e 750.000 habitantes (Marques et al., 2002). Isso se deve ao assoreamento de cursos hídricos, que compromete o abastecimento de água, os potenciais energéticos dos reservatórios de Itutinga/Camargos/Funil, os quais têm significativa participação no suprimento energético do sudeste brasileiro, e a qualidade da água para consumo humano nos mais diversos usos.

Além dos aspectos discutidos anteriormente, a erosão hídrica provoca enchentes, mortalidade de espécies da fauna e flora aquáticas, perda da biodiversidade terrestre, redução dos teores de matéria orgânica, redução das funções alimentares biológicas e dos filtros das coberturas pedológicas, diminuindo anualmente, sem esperança de retorno, dezenas de hectares de terra. As voçorocas ameaçam ainda obras viárias e construções adjacentes, colocando em risco a vida dos animais e expondo ao perigo vidas humanas. A decadência está associada ao empobrecimento dos agricultores o que está provocando um aumento da migração intra-regional e rural-urbana, promovendo um desequilíbrio na relação solo/sociedade. (Carniel et al., 1994; Lahmar & Ribaut, 2001; Ferreira et al., 2002).

2.4 Erosão e uso do solo

Segundo Carniel et al. (1994), as seguintes características da colonização agro-pastoril estão contribuindo para a degradação da região: falta de assistência técnica (70% das propriedades rurais), utilização sucessiva de fogo no manejo das pastagens nativas (85%), não utilização de práticas de correção da acidez do solo (82%) e de análise de solo para manejo de sua fertilidade (86%), pouca utilização de práticas conservacionistas, como terraços (32%) e plantio em nível

(14%), pouca utilização de rotação de culturas (16%), baixa cobertura vegetal com florestas nativas (7%), pouca prática de reflorestamento (28%) e baixa capacitação dos agricultores.

Entre as causas e conseqüências dos processos erosivos, citam-se: a complexidade dos processos de degradação da floresta, do solo e da água, fruto de sua exploração histórica como área de mineração e agropecuária extensiva; o conhecimento e o entendimento de conceitos básicos de conservação dos recursos naturais, como floresta, solo e água, pelas comunidades locais que, muitas vezes, são decodificados de modo diferente da realidade, criando um obstáculo na conscientização da magnitude do problema real que o cerca; solos com grande erodibilidade e má distribuição de chuvas com a presença de cinco meses de seca dificultam a manutenção da vegetação deixando o solo pouco protegido; a percepção do solo apenas como substrato, como fonte de matéria-prima de origem infinita; importação e uso de tecnologias prontas que não são adequadas para o ambiente do município; Êxodo rural e ocupação desordenada do território (Ferreira et al., 2002).

Estudos de diagnóstico e cadastramento dos processos de erosão hídrica de uma determinada região ou município que levam a discriminar os terrenos mais susceptíveis aos processos erosivos devem fornecer um registro completo do contexto em que se inserem esses processos, assim como fatores e agentes determinantes da erosão e da evolução, fornecendo propostas de controle, estabilização e recuperação (Stein, 1995).

2.5 Sistemas de informações geográficas

A aplicação de modelos qualitativos de erosão do solo foi intensamente facilitada com o desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite a integração entre as informações coletadas com o necessário suporte geográfico (Cerri, 1999). Os bancos de dados geográficos utilizados para

armazenar informações geográficas, como mapas, podem estar associados às informações alfanuméricas, como nos estudos realizados por Curado (2003).

O SIG constitui uma das ferramentas mais modernas e promissoras de armazenamento e manipulações temáticas, podendo até substituir os mapas impressos em papel (Formaggio et al., 1992), além de possibilitar uma melhor visualização das questões a serem abordadas, facilitando as tomadas de decisões. O geoprocessamento consiste na ação de manipular informações associadas a uma posição no espaço (Almeida, 1999). A informação geográfica é compreendida como sendo um dado ou um conjunto de dados representativos de fenômenos físicos ou sociais, o qual possui uma relação direta de localização com um ponto ou porção da superfície terrestre e que está inserido em um contexto particular (Alves et al., 2000).

Segundo Sartori Neto et al. (1998), o planejamento ambiental trabalha com grande número de variáveis (solo, vegetação, clima, etc.) que atua interativamente. A complexidade, em termos estruturais e da qualidade de variáveis, requer o desenvolvimento de técnicas como suporte aos processos de tomada de decisões. Nesse sentido, os SIGs são ferramentas no estudo e manejo dos recursos naturais, tornando o planejamento uma atividade mais dinâmica e eficiente, possibilitando que o conhecimento seja construído localmente com um custo relativamente baixo (Câmara & Medeiros, 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

3.1.1 Localização

O município de Nazareno localiza-se na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais (Figura 1), mesorregião Campo das Vertentes. Integra a unidade geomorfológica da superfície cristalina do Alto Rio Grande, com altitude média de 935 m e área de 324 km².

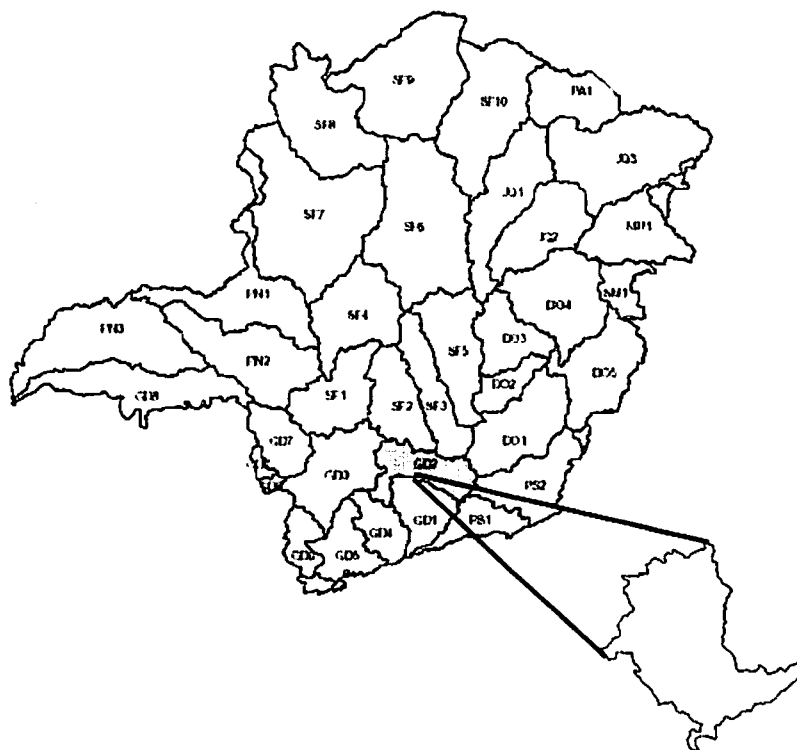


FIGURA 1 Localização do município de Nazareno em Minas Gerais (IGAM, 2004).

3.1.2 Hidrografia

O município pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Os Rios das Mortes e Grande banham o município e compõem, juntamente com o Rio Capivari, a sub-bacia do Alto Rio Grande, que abastece os reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Camargos, Itutinga e Funil.

O Rio Grande percorre, desde as suas nascentes na Serra da Mantiqueira, 240 km de extensão e apresenta 75 m de largura com vazão média de $312 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na região. (Marques et al., 2002).

3.1.3 Clima e vegetação

O clima é tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, Cwa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 18°C a 19°C . (Antunes et al., 1982). O município apresenta clima quente monçonal, isto é, chuvas concentradas em poucos meses do ano. A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm por ano.

O tipo de vegetação dominante é a transição entre a Mata Atlântica e o cerrado tropical subcaducifólio. Há também campo de surgente no terço inferior das encostas, campo cerrado tropical nos locais de domínio de solos mais rasos, campo rupestre nos níveis superiores das serras em altitudes superiores a 1.000 m e o campo hidrófilo de várzeas nas baixadas (Giarola et al, 1997; Motta et al., 2001; Marques et al., 2002).

3.1.4 Geologia e geomorfologia

Com base nas informações geradas pelo Projeto Radambrasil (Radambrasil, 1983), a região em estudo faz parte do “Domínio dos Remanescentes de Cadeias Dobradas”, dentro da “Região dos Planaltos do Alto Rio Grande”, na unidade geomorfológica denominada “Planalto de Andrelândia”.

O domínio em questão abrange conjuntos de modelados provenientes do afloramento de estruturas dobradas através de vários ciclos geotectônicos, nos quais diferentes formas estruturais embasam peculiaridades do relevo das áreas abrangidas. É caracterizado pela presença de vestígios daquelas estruturas, com exposições eventuais de seus embasamentos. As dobras, elaboradas em rochas proterozóicas e truncadas por antigas superfícies de aplainamento, mostram-se de forma total ou parcialmente realçadas pelos processos erosivos, explorando os traços impressos pela tectônica e as diversidades litológicas (Marques et al, 2002).

Dentro da Região dos Planaltos do Alto Rio Grande, o Planalto de Andrelândia recebeu a dominação da principal formação geológica sobre cujas rochas acha-se esculpida. A unidade é constituída pelos relevos elaborados nas rochas metassedimentares do Complexo Amparo e dos Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia, bem como quartzitos e alguns trechos isolados de rochas cristalinas do Gnaiss-Piedade.

Sobre essas rochas, desenvolveram-se solos recobertos por vegetação do tipo cerrado, com ou sem floresta de galeria e manchas de floresta estacional semidecidual, na maior parte reduzidas à pastagem. O relevo tem, de maneira geral, um padrão de dissecação homogêneo, com tendências mais pronunciadas para as densidades de drenagem média a grosseira. Essa dissecação está representada por colinas com topos convexos a tabulares e encostas também convexas, intercaladas por cristas alongadas, geralmente assimétricas. São freqüentes as voçorocas com dezenas de metros de extensão e largura considerável, por causa da conjugação dos fatores de alteração da rocha, elevada quantidade de mica dessa alteração e ausência de cobertura vegetal, o que facilita o deslizamento dos pacotes alterados. A drenagem da unidade é do tipo dendrítica, tendo como principais coletores o Rio Grande e o Rio das Mortes (Giarola et al, 1997; Marques et al, 2002). O material de origem dos solos

corresponde ao produto de alteração de micaxistos do Grupo Andrelândia e Proterozóico Superior.

O Grupo Andrelândia é atribuído à idade Proterozóica (Pré-Cambriano). Essa unidade foi definida como uma seqüência sedimentar pelítica, metamorfizada desde xistos verde até anfibólitos, sendo considerados os correspondentes mais metamórficos dos xistos da formação Carandaí do Grupo São João Del Rei. Admite-se, ainda, que os elementos do Grupo Andrelândia têm a mesma alternância de micaxistos e quartzitos, porém, com granada, estauroлита, silimanita e com a ocorrência de gnaisses. Nas proximidades da cidade de Andrelândia (local onde o grupo foi descrito), ocorrem pedreiras e afloramentos de cianita - granada - biotita - gnaisses e também cianita - granada - muscovita - biotita - quartzo - xistos e nesses xistos estão contidas intercalações de muscovita - quartzitos e corpos de anfibólitos, contendo granada ou não (Marques et al, 2002).

3.1.5 Caracterização econômica

Nas atividades rurais, predominam pequenos estabelecimentos, voltados quase exclusivamente para a produção leiteira, principal atividade econômica da região. Entretanto, são observadas pequenas lavouras de subsistência de milho, arroz e cana-de-açúcar. Nos últimos anos, têm sido implantadas lavouras de café e maracujá em áreas significativas. A maior parte das terras do município está ocupada por pastagens, implantadas após as derrubadas da vegetação nativa. O trato cultural mais utilizado corresponde à eliminação anual da regeneração natural, sendo a queimada uma prática comum na região. Algumas áreas de pastagens surgiram após o abandono de lavoura de café e mostram hoje sinais acentuados de degradação por erosão hídrica (Motta et al., 2001). Nas atividades extrativas, predomina a mineração de cassiterita e óxido de manganês. O município apresenta vocação turística com a represa de Camargos, que viabiliza

a utilização de esportes náuticos, facilitando o lazer e o turismo. Segundo o IBGE (2000), o município apresenta baixo Índice de Desenvolvimento Humano - Renda, sendo inferior à média nacional e regional.

3.1.6 Caracterização social

No município de Nazareno, 79% da população residem na área urbana (IBGE, 2000), havendo uma migração masculina muito elevada intra-regional e rural-urbana. Nos casos em que os homens chefes da família migram, as mulheres ocupam a chefia da família temporariamente. Na área rural, as populações tradicionais ainda se dedicam à lavoura de subsistência, associada à extração vegetal. Esse contingente está sendo deslocado para atividades em lavouras de caráter comercial ou por serviços na construção civil, serviços domésticos e artesanato ligado ao movimento turístico da região.

O produtor rural típico do município tem idade acima de 40 anos e reside há mais de 20 anos em sua propriedade, a qual tem tamanho médio de 100 ha. Metade dos produtores rurais nunca recebeu assistência técnica e apenas 30% recebem com frequência. Quase todos os produtores financiam sua produção com capital próprio e apenas 4% dos produtores recebem financiamento bancário. A falta de oportunidade e perspectiva faz com que a parcela mais jovem e dinâmica da população emigre para os pólos urbanos regionais ou nacionais (Carniel et al., 1994).

3.1.7 Solos ocorrentes e uso

Os principais solos da sub-bacia Rio Grande são os Cambissolos, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Neossolos Litólicos e Gleissolos. Os solos dominantes são derivados de rochas pelíticas pobres, apresentando uma série de atributos de solos favoráveis ao processo erosivo (Giarola et al., 1997; Motta et al., 2001).

Quanto à aptidão agrícola, os levantamentos realizados por Giarola (1994) e Motta et al. (2001) em partes do município de Nazareno revelam que, de modo geral, há uma subutilização das terras, limitada pelas condições sociais e econômicas.

3.2 Materiais e equipamentos utilizados

Foram utilizadas como base do estudo quatro cartas planialtimétricas digitais georreferenciadas pelas coordenadas UTM (Cartas do Brasil) escala 1:50.000, editadas no ano de 1969, com equidistância vertical entre curvas de nível de 20 m e datum horizontal Córrego Alegre, sendo: São João Del Rei Folha SF-23-X-C-II-1 (21°00'S e 21°15'S e 44°15'W e 44°30'W); Nazareno Folha SF -23-X-C-I-2 (21°00'S e 21°15'S e 44°30'W e 44°45'W); Madre de Deus de Minas Folha SF 23-X-C-II-3 (21°15'S e 21°30'S e 44°15'W e 44°30'W); Itutinga Folha SF 23-X-C-I-4 (21°15'S e 21°30'S e 44°30'W e 44°45'W).

Foram utilizadas também ortofotocartas escala 1:10.000 do município de Nazareno, provenientes de voo fotogramétrico para a CEMIG realizado em 1985; imagem digital do satélite Landsat 7 - ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) bandas 3, 4, 5, com passagem datada em 12/06/2000 com resolução espacial 30 x 30 m, cobrindo o município e região de influência vizinha; as coordenadas foram obtidas por meio de equipamento de georeferenciamento (GPS - Global Positioning System, modelo - Garmin GPS map 60 CS. Foram utilizados o programas computacionais: ENVI 3.5; SPRING, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) versão 4.0 e GPS Track Maker GTM Professional versão 3.2.2.

3.3 Trabalhos de escritório

A primeira etapa do levantamento fisiográfico do município consistiu na catalogação de todo o material cartográfico existente tais como cartas planialtimétricas, mapas temáticos, fotografias aéreas e imagens de satélite.

A seguir foi feito o uso da técnica de fotointerpretação das ortofotocartas do ano de 1986, escala 1:10.000, diagnosticando a ocorrência e localização das voçorocas do município.

Após os trabalhos de campo e de laboratório, realizou-se a ordenação dos dados, com a classificação dos solos das áreas de ocorrência de voçorocas, segundo Embrapa (2000). Quando as voçorocas, que se encontravam geograficamente próximas entre si, ocorriam na mesma classe de solo predominante e apresentavam uniformidade de características e propriedades, a amostragem do material de solo para análises de laboratório, o cadastro e o diagnóstico de ocorrência de voçorocas foram realizados naquelas mais representativas de cada região de ocorrência.

A caracterização fisiográfica da área de estudo, para avaliação da ocorrência de voçorocas, foi realizada por meio da confecção de mapas básicos, temáticos e cadastrais utilizando o software SPRING 4.0 (Câmara et al., 1996).

Utilizou-se para a composição do projeto as cartas do IBGE escala 1:50.000. Por meio do “mosaico” destas cartas, confeccionaram-se os mapas de drenagem, estradas, localização das áreas urbanas, limites e curvas de nível, sendo feitas as atualizações e complementação de dados de acordo com as visitas de campo com o auxílio do GPS. As categorias criadas foram: curvas de nível (modelo MNT), drenagem, estradas, limites e cobertura vegetal (modelo temático) e voçorocas (modelo cadastral).

O mapa de localização de voçorocas foi obtido por meio de visitas a campo com o auxílio do GPS, georreferenciando-as. Tais dados foram processados no software Trackmaker e, posteriormente, importados no SPRING

para compor o mapa cadastral de voçorocas, o qual associa uma parte dos dados e informações coletados em campo para cada voçoroca amostrada com a sua localização.

O mapa de cobertura vegetal foi gerado a partir da imagem de satélite Landsat 7 ETM, formato digital, ano 2000 e trabalho de campo com o apoio das cartas topográficas. Para individualização das principais classes de cobertura do solo no município foram utilizados os diferentes elementos de interpretação visual e também fichas de campo e fotografias digitais da paisagem de parte da área de estudo. O uso do GPS manual contribuiu para coleta de pontos de controle amostrais das classes de cobertura vegetal do solo, as quais foram definidas da seguinte forma: (1) áreas sem vegetação (áreas urbanas, solo exposto, pastagens degradadas e áreas de mineração), (2) vegetação rasteira (campo natural, pastagens nativas e plantadas e culturas agrícolas de pequeno porte), (3) vegetação arbustiva (cerrado *stricto sensu*, plantações de café), (4) vegetação arbórea (cerradão, floresta estacional semidecidual e plantios de eucalipto) e (5) lâmina d'água (represas e rios).

A seguir foi feita uma classificação supervisionada para a determinação das assinaturas espectrais das cinco classes estabelecidas das imagens a partir das amostras dos pontos de controle coletados, observações visuais em campo e análise de fotografias digitais, visando uma maior validação dessa classificação. Os pontos de controle coletados em campo foram identificados nas imagens e então amostrados, totalizando cerca de 100 amostras para cada classe. O algoritmo de classificação utilizado foi o da máxima verossimilhança.

Para avaliar a imagem classificada foram utilizados os índices de exatidão global e o de Kappa, bem como os erros de omissão e comissão. Segundo Martins (1999), a exatidão global é dada pelo valor de "pixels" classificados corretamente divididos pelo total de "pixels" usados na avaliação. Os erros de omissão podem ser descritos como a omissão no mapa de uma

determinada feição constatada em campo e os erros de comissão são descritos como a atribuição no mapa de determinada feição a uma classe à qual a mesma não pertence, segundo levantamento de campo.

Os valores geométricos encontrados para cada voçoroca foram obtidos em campo por meio do encaminhamento ao redor do traçado da voçoroca com o GPS no Sistema de Coordenada UTM dátum Córrego Alegre e no escritório por meio do processamento dos dados no software GPS Track Maker. As variáveis analisadas foram: área comprometida, área interna efetiva, perímetro, comprimento do eixo maior, comprimento do eixo menor, grau de arredondamento, alongamento, diâmetro de feret e compacidade. Essas variáveis fornecem informações sobre tamanho, forma e rugosidade das voçorocas, servindo de base para compor um modelo de análise morfológica da dinâmica espacial de crescimento e evolução das voçorocas e seus níveis de atividade erosiva. A seguir definem-se as variáveis analisadas (Olszewski et al., 2004).

- **Área comprometida (AC):** corresponde à soma da área da borda da voçoroca numa faixa de 10,0 metros ao redor da mesma com a sua área interna efetiva (A);
- **Área efetiva (A):** corresponde à área interna efetiva da voçoroca delimitada a partir de sua borda;
- **Perímetro (P):** comprimento da projeção horizontal do limite exterior da voçoroca sem a borda da faixa de 10,0 metros;
- **Comprimento do eixo maior (CMA):** comprimento de uma linha traçada na maior distância na voçoroca;
- **Comprimento do eixo menor (CME):** comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao maior eixo da voçoroca;
- **Alongamento (AL):** relação entre o comprimento do menor eixo e o comprimento do maior eixo. O resultado será um valor entre 0 e 1. Quanto

maior o valor, menor será a diferença entre os comprimentos dos eixos perpendiculares e menor será o alongamento;

- Arredondamento (AR): medida dependente da rugosidade da superfície externa da voçoroca (perímetro). Fornecerá o resultado entre 0 e 1 e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento. É calculado a partir da fórmula:

$$AR = (4\pi A) / P^2;$$

- Diâmetro de feret (DF): trata-se do diâmetro de um círculo com a mesma área do objeto. É calculado a partir da fórmula:

$$DF = (4 A / \pi)^{1/2};$$


- Compacidade (CO): fornece uma medida da circularidade do objeto, sendo dependente da medida do comprimento do maior eixo. Varia de 0 a 1 e, se for igual a 1, a voçoroca é perfeitamente circular. É calculado a partir da fórmula:

$$CO = DF/CMA.$$

Os valores encontrados foram submetidos às análises de correlações simples disponíveis no Microsoft Office Excel, que medem a relação entre dois conjuntos de dados que são dimensionados para serem independentes da unidade de medida.

3.4 Trabalhos de campo

Com a orientação das ortofotocartas, cartas topográficas, imagens de satélite e apoio de um GPS (Sistema de Posicionamento Global) e de uma câmara fotográfica digital, foram percorridos cerca de 3.000 km em cinco regiões de ocorrência das voçorocas identificadas por fotointerpretação para coleta de dados e informações. Essas regiões encontram-se no município de Nazareno e nas áreas limítrofes deste com o município de Conceição da Barra de Minas, nas proximidades do povoado do Palmital. No período de outubro de



2003 a agosto de 2004 foram georreferenciadas, mapeadas e diagnosticadas 57 voçorocas, sendo que foram amostradas e cadastradas 25 voçorocas para compor o objeto desse estudo, de acordo com a representatividade do grupamento de voçorocas e impacto nas regiões de ocorrência em que estão inseridas.

Em cada uma das voçorocas selecionadas, os solos dominantes foram identificados e descritos morfológicamente de acordo com Lemos & Santos (1984). Foram descritos 26 perfis completos, tendo, em uma voçoroca, sido descritos dois perfis (números 6 e 7) por apresentarem dois tipos de solos dominantes, perfazendo um total de 54 amostras dos diferentes horizontes e sub-horizontes, coletadas para as análises físicas e químicas em laboratório. Cabe ressaltar que, em alguns casos, os solos são variáveis nas toposequências em que as voçorocas estão inseridas, de modo que apenas o solo dominante foi descrito.

Para as voçorocas amostradas foi realizado um levantamento que está organizado em um cadastro discriminando todos os seus aspectos físicos e geométricos, assim como das bacias de contribuições para essas voçorocas. Realizou-se assim um registro completo do contexto em que se inserem esses processos, assim como os fatores e agentes determinantes da erosão e de evolução. Nesta etapa realizou-se um diagnóstico participativo envolvendo a população local objetivando coleta de dados históricos e a percepção sobre a ocorrência das voçorocas.

Para caracterizar as bacias de contribuição das voçorocas foram levantadas informações morfológicas e de paisagem, ordenadas segundo classes propostas por Lepsch (1983) e Lemos & Santos (1984), com adaptações, a saber: **posição da voçoroca na encosta** (terços superior, médio e inferior); **relevo** (plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpa); **classe de drenagem do solo** (excessivamente drenado, fortemente drenado, acentuadamente drenado, bem drenado, moderadamente drenado, imperfeitamente drenado, mal drenado e muito mal drenado); **classe de**

pedregosidade (ausente, ligeira, moderada, pedregosa, muito pedregosa e extrema); **classe de erosão laminar** (não aparente, ligeira, moderada, forte, muito forte, extremamente forte); **classe de erosão em sulcos** foram classificadas quanto a profundidade (superficiais, rasos e profundos) e frequência (ocasionais, freqüente e muito freqüente). Outras classes foram definidas de acordo com as observações de campo: **uso agrícola atual**; **nível tecnológico dos agricultores**; **nível de estabilização natural** (muito alto ou estabilizado: sem presença de solo exposto; alto ou parcialmente estabilizado: presença de poucas áreas de solo exposto, >50% vegetação; médio: solo exposto, mas sem presença de locais ativos; baixo ou parcialmente ativo: presença de 1 a 3 locais ativos; muito baixo ou ativo: presença de mais de 3 locais ativos).

Entre os atributos identificados no cadastro para as voçorocas (SES/DAEE, 1990; Silva, A.C.A. et al., 2001) destacaram-se a provável origem, os riscos e os usos da borda numa faixa de 10 metros no entorno das voçorocas, a presença de surgência de água no leito da voçoroca, os impactos originários de ações antrópicas sobre a voçoroca, as práticas de controle de erosão implantadas e os usos do interior das voçorocas pelos proprietários. Também foram determinadas, para cada voçoroca, as profundidades médias dos horizontes A e B (variável com a posição do perfil na mesma), a espessura do horizonte C, a coloração dos solos e a altitude. No campo, as voçorocas foram também registradas por meio de fotografias digitais para subsidiar o diagnóstico da situação atual do processo erosivo, facilitando a compreensão e o acompanhamento da evolução no tempo.

Alguns atributos geométricos foram levantados com objetivo de subsidiar os estudos. Nesse sentido, a declividade média foi medida com o auxílio do clinômetro; o comprimento de rampa médio foi dimensionado com

uma trena, medindo a distância do topo da parte superior da voçoroca na encosta até a possível origem do escoamento superficial.

Avaliou-se também o índice de cobertura vegetal pelo método descrito por Stocking (1988), realizada no período de setembro a outubro de 2004, caracterizado como o período de maior déficit hídrico na região.

3.5 Trabalhos de laboratório

As amostragens de solo foram realizadas em setembro de 2004, nos perfis de solos abertos nas voçorocas selecionadas nos horizontes A, B e C.

3.5.1 Análises dos atributos químicos e físicos dos solos

Os componentes do complexo sortivo, pH em água e teor de carbono orgânico foram avaliados segundo Embrapa (1997).

A análise granulométrica foi realizada após dispersão da amostra com NaOH mol L⁻¹ e agitação rápida (6000 rpm) por 15 minutos, tendo a argila sido determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997).

A estabilidade de agregados foi determinada pelo peneiramento em água sem pré-umedecimento (Kemper & Rosenau, 1986). A fração de agregados que passa na peneira de 7,93 mm e fica retida na peneira de 4,76 mm foi separada em classes de tamanho de agregados utilizando jogo de peneiras de malhas: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,105 mm. O diâmetro médio geométrico (DMG) e a porcentagem de agregados menores que 0,5 mm e 0,25 mm foram calculados, respectivamente, com o uso das seguintes expressões:

$$\text{DMG} = \exp \left[\frac{\sum (W_i * \ln X_m)}{\sum W_i} \right],$$

$$< 0,5 \text{ mm} = 100 * \left[\frac{(W_{<0,5})}{\sum W_i} \right],$$

$$< 0,25 \text{ mm} = 100 * \left[\frac{(W_{<0,25})}{\sum W_i} \right],$$

em que DMG: diâmetro médio geométrico (mm); W_i: massa de agregados de cada classe de tamanho (g); Ln X_m: logaritmo natural do diâmetro médio de

cada classe de tamanho; ΣW_i : massa total da amostra (g); $<0,5$ mm: percentagem de agregados menores que 0,5 mm (%); $W_{<0,5}$: massa de agregados com diâmetro menor que 0,5 mm (g) ; $<0,25$ mm: percentagem de agregados menores que 0,25 mm (%); $W_{<0,25}$: massa de agregados com diâmetro menor que 0,25 mm (g).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos levantamentos de campo, as 57 voçorocas cadastradas foram plotadas em um mapa de localização de voçorocas (Figura 2). As voçorocas estão distribuídas e concentradas em cinco regiões de ocorrência: área urbana; estrada antiga que liga Ibituruna a São João Del Rei, passando pelo povoado do Palmital; região do Palmital de Baixo; região do Rio das Mortes e região da Cochoeirinha, próxima ao Rio Grande. A Figura 3 mostra a localização das 25 voçorocas amostradas que foram selecionadas para levantamentos detalhados. Cabe ressaltar que as representações numéricas voçorocas 6 e 7 constituem a voçoroca urbana do Córrego do Cravo. Nesta, foram realizados os levantamentos de dois perfis de solos.

4.1 Solos com voçorocas

Os solos ocorrentes nas principais voçorocas da região de estudo foram Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos-Amarelos e Cambissolos (Tabela 1). A espessura do solum decresce no sentido inferior das encostas em que estão inseridas as voçorocas, sendo que o horizonte C permanece profundo e mais susceptível ao processo erosivo. Nesse sentido, encontram-se casos em que o solo varia de Latossolo Vermelho na parte superior da voçoroca para Latossolo Vermelho-Amarelo ou mesmo Cambissolo na parte inferior da encosta, de acordo com a profundidade do horizonte B e a coloração. No presente estudo, foram analisados, em uma mesma voçoroca, dois perfis (Voçorocas 6 e 7) de solos que representam essa variação de coloração e de horizontes diagnóstico. Os solos estudados em cada voçoroca correspondem aos predominantes na toposequência da encosta.

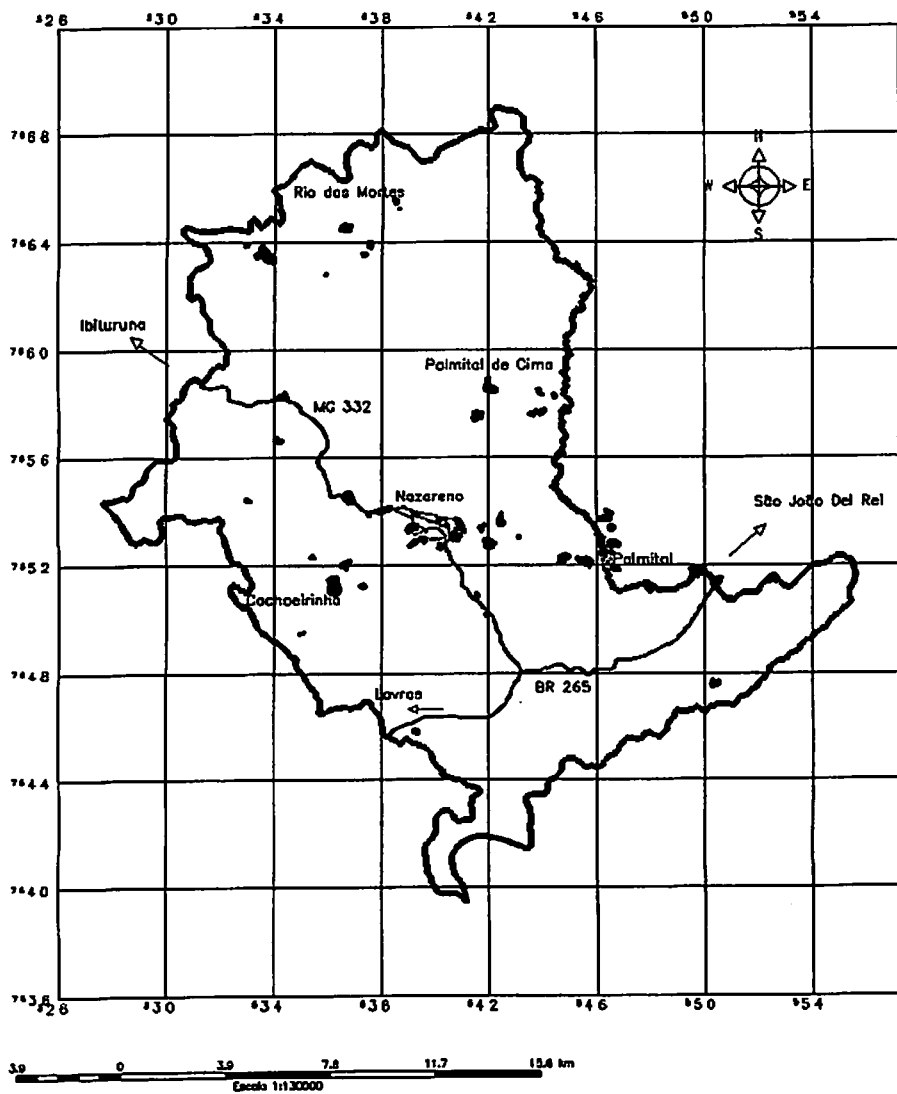


FIGURA 2 – Mapa de localização das Voçorocas cadastradas em Nazareno-MG

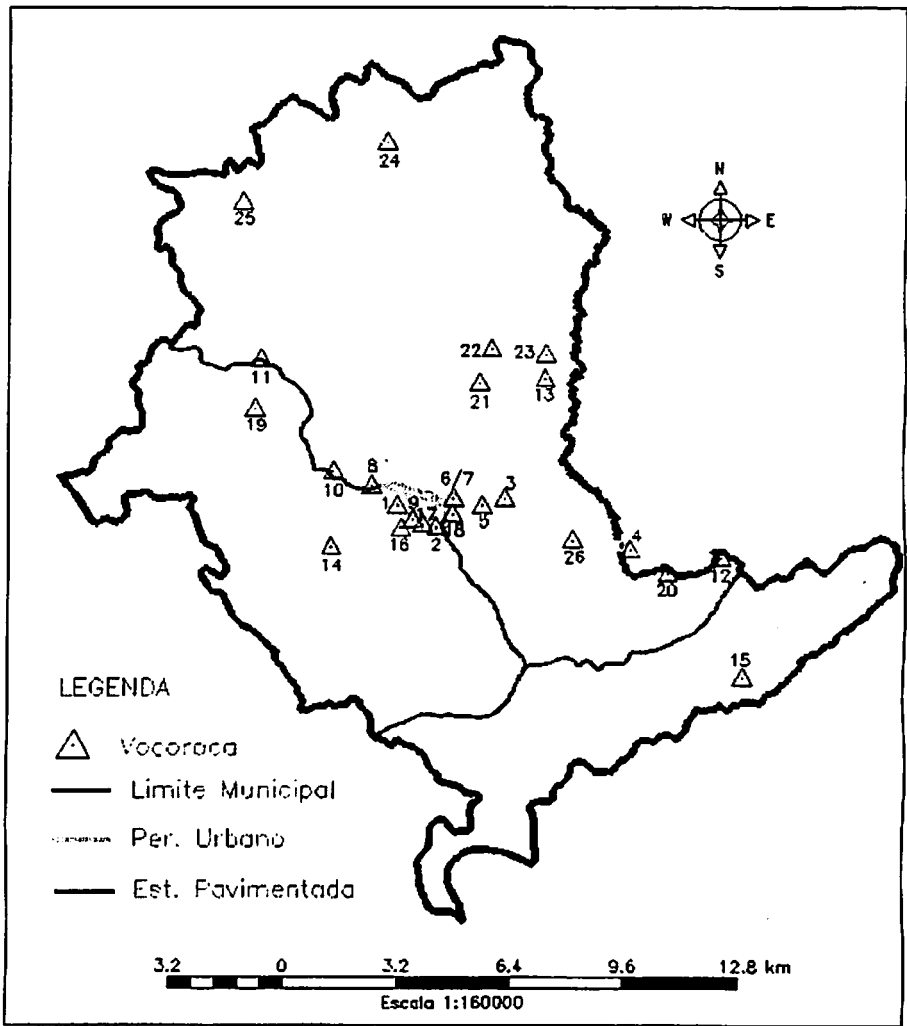


FIGURA 3 Mapa de localização das 25 voçorocas selecionadas.

TABELA 1 Solos, simbologia, coloração, profundidade dos horizontes A e B, coordenadas geográficas, local e altitude das principais voçorocas ocorrentes no município de Nazareno, MG.

Solo	Símbolo	Cor	Profundidade Hor A+B -----m-----	Coordenadas 23K - UTM	Local	Altitude ----m----	Voçoroca
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LV1	10R 3/6	1,60	539170 7653293	Urbana, Copasa.	925	1
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa relevo ondulado	LV2	10R 3/6	1,20	540161 7652561	Urbana, Sr Alvaci	932	2
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa relevo ondulado	LV3	10R 3/6	0,90	541708 7653325	Estrada Palmital	991	3
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LV4	10R 3/4	0,80	546761 7651785	Urbana, Palmital	990	4
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa relevo ondulado	LV5	10R 3/6	1,30	5411706 7653327	Estrada Palmital	924	5

...continua...

TABELA 1, Cont.

Solo	Símbolo	Cor	Profundidade	Coordenadas	Local	Altitude	Voçoroca
			Hor A+B	23K - UTM			
			-----m-----		----m----		
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa relevo ondulado	LV6	10R 3/6	1,00	541086 7653317	Urbana, Córrego do Cravo	962	6
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LVA7	5YR 5/6	0,90	541086 7653317	Urbana, Córrego do Cravo	966	7
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LVA8	5YR 4/6	1,10	538360 7654168	Urbana, Lar Idoso	871	8
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LVA9	10YR 4/8	0,80	539514 7653009	Urbana, Torneio Leiteiro	922	9
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo suave ondulado	LVA10	2,5YR 3/6	1,00	536571 7654531	Povoado da Várzea	952	10

...continua...

TABELA 1, Cont.

Solo	Símbolo	Cor	Profundidade	Coordenadas	Local	Altitude	Vçoçroca
			Hor A+B	23K - UTM		-----m-----	
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LVA11	2,5YR 5/8	0,80	534318 7658240	Estrada Ibituruna	972	11
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LVA12	5YR 5/8	0,60	549817 7651679	Estrada Palmital- SãoJ. Del Rei	1045	12
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo suave ondulado	LVA13	5YR 5/8	0,80	543525 7657561	Estrada Palmital de Baixo	967	13
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	LVA14	2,5YR 5/8	0,80	536544 7651954	Estrada Cachoeiri nha	919	14

...continua...

TABELA 1, Cont.

Solo	Símbolo	Cor	Profundidade	Coordenadas	Local	Altitude	Voçoroca
			Hor A+B				
			-----m-----				
LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa relevo ondulado	LVA15	7,5YR 5/6	1,00	550301 7647693	Estrada Jaguara	1017	15
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura média relevo ondulado	C16	5YR 5/6	0,50	539052 7652684	Urbana, Sr. Ozar	917	16
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura média relevo ondulado	C17	2,5YR 5/8	0,70	539642 7652958	Urbana, Torneio Leiteiro	925	17
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo forte ondulado	C18	2,5YR 5/8	0,60	540635 7652890	Urbana, Estrada São João Del Rei	946	18
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo suave ondulado	C19	5YR 5/6	0,50	534483 7656594	Fazenda Barroso	924	19
CAMBISSOLO ÁLICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	C20	7,5YR 5/6	0,50	547980 7651000	Estrada Vicinal Palmital	1031	20

...continua...

TABELA 1, Cont.

Solo	Símbolo	Cor	Profundidade Hor A+B	Coordenadas 23K - UTM	Local	Altitude	Voçoroca
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	C21	7,5YR 4/6	0,50	541482 7657552	Estrada Palmital de Baixo	983	21
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo ondulado	C22	7,5YR 5/6	0,40	541986 7658737	Estrada de Palmital de Baixo	991	22
CAMBISSOLO ÁLICO A moderado textura média relevo ondulado	C23	7,5YR 6/6	0,35	544327 7658340	Palmital de baixo	918	23
CAMBISSOLO ÁLICO A moderado textura média relevo forte ondulado	C24	2,5YR 3/6	0,50	538545 7665470	Estrada Coqueiro	967	24
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo forte ondulado	C25	2,5YR 5/8	0,50	533833 7663505	Fazenda Sobrado	933	25
CAMBISSOLO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo suave ondulado	C26	7,5YR 5/6	0,60	544658 7652140	Estrada Palmital	1015	26

Os Latossolos Vermelhos encontrados (LV1 e LV6) ocorrem distribuídos nas áreas urbanas de Nazareno e no povoado do Palmital (LV4), assim como na estrada que liga as duas áreas (LV3 e LV5) (Figura 3). Estes solos estão relacionados a áreas de domínio do bioma cerrado em altitudes que variam de 925 a 991 m. Apresentam horizonte B latossólico (Bw) de cor avermelhada no matiz 10R, sendo o valor 3 e o croma 4 e 6. São normalmente profundos, com espessura média dos horizontes A e B maiores que 1 m (Tabela 1).

O Latossolo Vermelho-Amarelo é o solo de maior expressão geográfica na região e encontra-se distribuído por grande parte da área estudada: zona urbana de Nazareno (LVA7, LVA8, LVA9), estrada Ibituruna-São João Del Rei (LVA10, LVA11, LVA12), região do Palmital de Baixo (LVA13), região da Cachoeirinha (LVA14) e estrada para o povoado da Jaguará (LVA15). A altitude destes solos varia entre as cotas 871 e 1.045 m e apresentam horizonte B latossólico (Bw) de matiz menos vermelho, variando de 2,5 YR até 10YR (Tabela 1). Apresentam profundidade média dos horizontes A e B em torno de 0,87 m.

Os Latossolos Vermelhos-Amarelos também são distróficos e possuem horizonte A moderado (Tabela 1), acidez média, soma de bases (S) baixa, capacidade de troca de cátions em pH 7,0 (T) baixa, saturação de bases (V) baixa e média saturação por alumínio (m), o que limita ainda mais o estabelecimento natural da vegetação nas áreas erodidas em relação aos Latossolos Vermelhos (Tabela 2). O teor de carbono orgânico total (COT) do horizonte A é predominantemente médio.

Os Latossolos Vermelhos são distróficos, possuem horizonte A moderado (Tabela 1), acidez média, soma de bases (S) baixa, capacidade de troca de cátions em pH 7,0 (T) baixa, saturação de bases (V) baixa e muito baixa saturação por alumínio (m). Esses dados indicam uma limitação química ao

desenvolvimento natural da vegetação nas áreas erodidas (Tabela 2). O teor de carbono orgânico total (COT) do horizonte A é predominantemente médio.

Nos Cambissolos encontram-se 11 voçorocas distribuídas em toda a região de estudo: zona urbana de Nazareno (C16, C17 e C18), estrada para Palmital (C20 e C26), Fazenda Barroso na drenagem para o Rio Grande (C19), região do Palmital de Baixo (C21, C22 e C23) e região próxima do Rio das Mortes (C24 e C25). Estes solos estão relacionados a altitudes que variam de 917 a 1.031 m e vegetação de Cerrado. Apresentam horizonte B incipiente (Bi) pouco espesso, situado a uma profundidade média de 0,51 m com coloração alaranjada de 2,5YR a 7,5 YR (Tabela 1).

Os Cambissolos ocorrem com bastante frequência na região abrangendo solos álicos e distróficos (Tabela 1). Possuem acidez média, soma de bases (S) baixa, capacidade de troca de cátions em pH 7,0 (T) baixa, saturação de bases (V) baixa e alta saturação por alumínio (m), o que o torna o solo mais limitante ao estabelecimento natural da vegetação nas áreas erodidas em termos de fertilidade natural (Tabela 2). Apresentam horizonte A moderado (Tabela 1) com teor de carbono orgânico variando de baixo a médio, o que poderia melhorar a drenagem naqueles solos de teores mais altos. Porém, a extrema susceptibilidade ao encrostamento devido aos elevados teores de silte + areia fina (Tabela 3) (Lemos & Lutz, 1957; Resende, 1982) reduz muito a infiltração de água, elevando significativamente o deflúvio superficial e diminuindo a sua resistência à erosão hídrica (Resende et al., 1990; Silva et al., 1993).

TABELA 2 Atributos químicos dos solos ocorrentes nas voçorocas de Nazareno, MG.

Voc. (a)	Hor (b)	Prof ^(c) ---cm---	pH	COT --g kg ⁻¹ --	P -----mg dm ⁻³ -----	K	Ca	Mg	H + Al -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	S	T	V -----%-----	m
01	A	0-20	5,1	12,2	0,4	9	0,4	0,2	1,7	0,0	0,6	2,3	26,7	0
	B	120-160	5,6	3,5	0,4	3	0,7	0,2	1,1	0,0	0,9	2,0	45,3	0
02	A	0-20	5,2	5,8	0,4	16	0,5	0,2	2,9	0,2	0,7	3,6	20,3	21
	B	90-120	5,8	4,6	0,4	12	0,5	0,2	1,2	0,0	0,7	1,9	37,8	0
03	A	0-20	5,4	23,2	0,4	58	1,2	0,8	4,0	0,2	2,2	6,2	35,0	9
	B	60-90	5,3	19,1	0,4	11	0,5	0,2	3,2	0,2	0,7	3,9	18,6	22
04	A	0-20	5,3	16,8	0,4	25	0,8	0,2	2,3	0,0	1,1	3,4	31,5	0
	B	50-80	5,0	5,8	0,4	2	0,4	0,1	1,1	0,0	0,5	1,6	31,7	0
05	A	0-20	4,8	14,5	0,4	19	0,4	0,1	2,9	0,2	0,6	3,5	15,9	27
	B	100-130	4,8	7,5	0,4	6	0,7	0,2	1,7	0,0	0,9	2,6	35,1	0
06	A	0-20	5,0	12,2	0,4	5	0,4	0,1	2,9	0,3	0,5	3,4	15,0	37
	B	70-100	5,4	7,5	0,4	11	0,4	0,1	1,7	0,0	0,5	2,2	23,8	0
Latossolo Vermelho-Amarelo														
07	A	0-20	5,2	6,4	0,4	33	0,5	0,2	2,9	0,4	0,8	3,7	21,2	34
	B	50-90	6,0	7,5	0,4	8	0,3	0,2	1,5	0,0	0,5	2,0	25,7	0

...continua...

TABELA 2, Cont.

Voc. (a)	Hor. (b)	Prof. ^(c) ---cm---	pH	COT --g kg ⁻¹ --	P -----mg dm ⁻³ -----	K	Ca	Mg	H + Al		S	T	V	m
									-----cmol _c dm ⁻³ -----					
08	A	0-20	5,4	24,9	0,6	34	0,7	0,2	3,6	0,5	1,0	4,6	21,6	34
	B	70-110	5,6	12,2	0,4	9	0,5	0,2	2,6	0,3	0,7	3,3	21,7	29
09	A	0-30	5,3	11,6	0,4	25	0,7	0,2	2,9	0,4	1,0	3,9	24,9	29
	B	60-80	5,8	4,6	0,4	5	0,4	0,2	1,3	0,0	0,6	1,9	31,9	0
10	A	0-20	5,4	12,2	0,4	8	0,5	0,2	2,3	0,3	0,7	3,0	23,8	29
	B	40-100	5,1	5,8	0,4	2	0,3	0,1	1,5	0,0	0,4	1,9	21,5	0
11	A	0-20	5,7	7,5	0,1	19	0,4	0,1	1,5	0,0	0,6	2,0	26,8	0
	B	40-80	5,9	6,4	0,4	6	0,6	0,2	1,3	0,0	0,8	2,1	38,7	0
12	A	0-20	5,0	9,3	0,4	16	0,5	0,2	2,9	0,3	0,7	3,6	20,3	29
	B	40-60	5,5	6,9	0,1	3	0,5	0,2	1,5	0,0	0,7	2,2	32,1	0
13	A	0-20	5,1	11,6	0,4	23	0,4	0,2	2,9	0,3	0,7	3,6	18,5	31
	B	40-80	5,8	4,6	0,4	5	0,3	0,1	1,5	0,0	0,4	1,9	21,5	0
14	A	0-20	5,4	12,8	0,6	30	0,7	0,2	2,9	0,5	1,0	3,9	25,3	34
	B	50-80	5,9	8,1	0,4	9	0,4	0,1	1,5	0,0	0,5	2,0	25,7	0
15	A	0-20	5,1	18,0	0,6	28	0,4	0,2	4,0	0,5	0,7	4,7	14,3	43
	B	70-100	5,5	15,0	0,4	14	0,5	0,2	2,6	0,2	0,7	3,3	22,2	21

...continua...

TABELA 2, Cont.

Voc. (a)	Hor. (b)	Prof. (c) ---cm---	pH	COT --g kg ⁻¹ --	P -----mg dm ⁻³ -----	K	Ca	Mg -----cmol _c dm ⁻³ -----	H + Al	Al	S	T	V -----%-----	m
Cambissolo														
16	A	0-20	5,3	7,5	0,9	25	0,8	0,2	2,6	0,6	1,1	3,7	29,0	36
	B	20-50	5,4	6,4	0,6	9	0,7	0,2	2,1	0,7	0,9	3,0	30,5	43
17	A	0-20	5,4	7,5	0,4	20	0,4	0,2	2,3	0,5	0,7	3,0	22,0	43
	B	40-70	5,6	4,6	0,4	9	0,4	0,2	1,2	0,0	0,6	1,8	34,1	0
18	A	0-20	5,2	9,3	0,4	12	0,5	0,2	2,1	0,3	0,7	2,8	25,8	0
	B	30-60	5,0	4,6	0,1	9	0,5	0,2	1,3	0,0	0,7	2,0	35,6	0
19	A	0-20	4,8	13,9	0,4	22	0,4	0,1	3,2	0,5	0,6	3,8	14,9	47
	B	20-50	5,5	11,0	0,4	11	0,4	0,1	2,3	0,2	0,5	2,8	18,7	27
20	A	0-20	5,1	11,0	0,4	17	0,4	0,1	2,9	0,6	0,5	3,4	15,7	53
	B	30-50	5,4	11,0	0,4	11	0,4	0,1	2,3	0,3	0,5	2,8	18,7	36
21	A	0-20	5,2	12,2	0,4	27	0,6	0,2	3,2	0,5	0,9	4,1	21,4	36
	B	20-50	5,4	7,5	0,1	8	0,4	0,1	2,1	0,3	0,5	2,6	19,8	37
22	A	0-20	5,1	16,8	61,8	14	0,4	0,1	3,6	0,5	0,5	4,1	13,0	48
	B	20-40	5,6	9,3	0,1	5	0,4	0,2	1,7	0,0	0,6	2,3	26,4	0

...continua...

TABELA 2, Cont.

Voc. (a)	Hor. (b)	Prof. (c) ---cm---	pH	COT --g kg ⁻¹ --	P -----mg dm ⁻³ -----	K	Ca	Mg	H + Al -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	S	T	V -----%-----	m
23	A	0-15	5,2	11,0	0,4	14	0,3	0,1	2,6	0,8	0,4	3,0	14,5	65
	B	15-35	5,6	7,5	0,4	12	0,3	0,1	2,1	0,7	0,4	2,5	17,0	62
24	A	0-20	5,2	16,8	0,9	19	0,8	0,2	4,0	1,2	1,1	5,1	20,8	53
	B	20-50	5,6	9,3	0,4	6	0,5	0,2	2,6	0,7	0,7	3,3	21,7	49
25	A	0-20	5,3	12,2	0,4	33	0,8	0,2	2,6	0,6	1,1	3,7	29,3	36
	B	20-50	5,9	7,5	0,4	9	0,7	0,2	1,5	0,2	0,9	2,4	38,0	18
26	A	0-20	5,0	11,0	0,4	16	0,4	0,2	2,9	0,5	0,6	3,5	18,1	44
	B	40-60	5,5	8,7	0,4	9	0,4	0,2	2,1	0,3	0,6	2,7	22,8	33

Voc. (a): voçoroca. Hor. (b): horizonte. Prof. (c): profundidade.

De maneira geral, em vista destes resultados, os solos são considerados de baixa fertilidade natural, concordando com estudos na região realizados por Silva (1990), Teixeira (1993), Bono (1994), Curi et al. (1994), Oliveira (1993), Giarola et al. (1997), Santos et al. (1998), Motta et al. (2001).

Os Cambissolos apresentam textura siltosa, média e argilosa e os maiores valores de relação silte/argila, o que favorece o encrostamento e a diminuição da infiltração da água provocando o arraste das partículas pela ação erosiva das chuvas (Tabela 3). Apresentam agregados no horizonte A variando de 2,05 mm a 4,07 mm, sendo a média de agregados menores que 0,25 mm de 4,8% e de menores que 0,50 mm 7,7%. Os agregados no horizonte B variam de 1,48 mm a 4,07 mm, sendo a média de agregados menores que 0,25 mm é 7,0% e dos menores que 0,50 mm é 11,8% (Tabela 3).

O teor médio de carbono orgânico total do horizonte A dos Latossolos Vermelhos contribui para aumentar o tamanho dos agregados nos quais o diâmetro médio geométrico (DMG) varia de 2,93 mm a 4,70 mm, sendo que, em média, 5,2% dos agregados são menores que 0,25 mm e 6,7% menores que 0,50 mm. O horizonte B apresenta um DMG médio de 3,01 mm, com 9,7% dos agregados menores que 0,50 mm (Tabela 3). Estes solos apresentam textura argilosa ou muito argilosa, porém, com teores significativos de silte e areia fina e uma relação silte/argila média no horizonte B.

TABELA 3 Atributos físicos dos solos das voçorocas de Nazareno, MG.

Voc. ^(a)	Hor. ^(b)	Agregados		DMG ^(c)	Silte	Argila	Areia		Silte + areia fina	Relaçãosilte/ argila
		<0,25	<0,50				Fina	Grossa		
		-----%-----		-----mm-----	----- g kg ⁻¹ -----					
Latossolo VermelhoLV										
01	A	6,8	8,7	3,27	220	550	110	120	330	0,40
	B	14,9	22,0	1,55	170	650	120	60	390	0,26
02	A	3,7	4,1	4,70	260	570	70	100	330	0,45
	B	5,8	7,3	3,57	220	610	80	90	300	0,36
03	A	4,3	5,1	3,85	160	680	60	100	220	0,23
	B	6,9	10,2	2,87	120	730	60	90	180	0,16
04	A	6,8	10,4	2,93	260	560	70	110	330	0,46
	B	5,1	6,0	3,75	250	560	80	110	330	0,45
05	A	5,4	7,2	3,09	180	700	60	060	240	0,25
	B	5,2	7,9	2,03	150	720	70	060	220	0,21

...continua...

TABELA 3, Cont.

Voc. ^(a)	Hor. ^(b)	Agregados		DMG ^(c)	Silte	Argila	Areia		Silte + areia fina	Relaçãosilte/ argila
		<0,25	<0,50				Fina	Grossa		
		-----%-----		-----mm-----	-----g kg ⁻¹ -----					
06	A	3,9	4,9	3,87	200	550	90	160	290	0,36
	B	1,6	5,0	4,27	180	610	100	110	280	0,29
Latossolo Vermelho-AmareloLVA										
07	A	3,3	4,1	4,00	180	520	180	120	360	0,35
	B	6,9	8,1	3,42	170	570	140	120	310	0,29
08	A	4,0	5,6	3,61	130	510	160	200	290	0,25
	B	7,9	15,8	1,90	80	530	140	250	220	0,15
09	A	2,9	3,6	4,18	160	450	280	110	440	0,35
	B	4,4	5,6	3,79	130	530	240	100	370	0,24
10	A	4,8	7,1	3,12	160	480	150	210	310	0,33
	B	10,7	19,1	1,62	150	560	140	150	290	0,27

...continua...

TABELA 3, Cont.

Voc. ^(a)	Hor. ^(b)	Agregados		DMG ^(c)	Silte	Argila	Areia		Silte + areia fina	Relaçãosilte/ argila
		<0,25	<0,50				Fina	Grossa		
		%		mm	g kg ⁻¹					
11	A	3,2	4,2	4,00	120	560	190	130	310	0,21
	B	5,2	7,3	3,46	110	550	220	120	330	0,20
12	A	3,9	5,3	3,72	180	500	130	190	310	0,36
	B	4,5	6,0	3,70	140	530	150	180	290	0,26
13	A	4,3	6,5	3,49	190	470	120	220	310	0,40
	B	11,1	21,2	2,00	120	530	150	200	270	0,22
14	A	5,5	7,7	3,46	190	400	230	180	420	0,47
	B	10,2	17,2	2,20	130	490	230	150	360	0,26
15	A	5,7	7,9	3,30	200	660	70	70	270	0,30
	B	5,3	7,6	3,23	160	650	90	100	250	0,25

...continua...

TABELA 3, Cont.

Voc. ^(a)	Hor. ^(b)	Agregados		DMG ^(c)	Silte	Argila	Areia		Silte + areia fina	Relaçãosilte/ argila
		<0,25	<0,50				Fina	Grossa		
		-----%-----		-----mm-----	-----g kg ⁻¹ -----					
Cambissolo C										
16	A	3,4	4,2	4,15	110	180	620	090	730	0,61
	B	3,5	4,5	4,07	160	200	550	090	810	0,80
17	A	5,3	7,6	3,46	190	260	430	120	620	0,73
	B	3,7	5,3	3,96	150	260	510	80	660	0,58
18	A	3,7	4,8	3,98	170	530	170	130	340	0,32
	B	5,1	6,3	3,67	180	550	180	90	360	0,33
19	A	6,8	12,7	2,35	140	470	190	200	330	0,30
	B	9,8	18,8	1,69	120	460	210	210	330	0,26
20	A	4,0	6,4	3,53	160	490	150	200	310	0,33
	B	4,5	7,4	3,21	120	540	140	20	260	0,22

...continua...

TABELA 3, Cont.

Voc. ^(a)	Hor. ^(b)	Agregados		DMG ^(c)	Silte	Argila	Areia		Silte + areia fina	Relaçãosilte/ argila
		<0,25	<0,50				Fina	Grossa		
		-----%		-----mm-----	-----g kg ⁻¹ -----					
21	A	5,4	9,6	2,94	190	390	190	230	380	0,49
	B	10,8	21,5	1,48	120	440	170	270	290	0,27
22	A	5,1	6,7	3,50	180	500	190	130	370	0,36
	B	5,7	8,2	3,28	180	510	180	130	360	0,35
23	A	5,2	7,7	3,51	160	280	260	300	420	0,57
	B	14,2	20,4	1,97	150	310	240	300	390	0,48
24	A	3,0	3,7	4,07	400	350	150	100	550	1,14
	B	7,5	12,3	2,52	500	300	120	80	620	1,66
25	A	4,0	6,0	3,62	290	450	100	160	390	0,64
	B	7,0	13,0	2,48	190	490	160	160	350	0,39
26	A	7,3	15,4	2,05	110	360	170	360	280	0,31
	B	5,2	11,9	2,44	110	400	140	350	250	0,27

Voc. ^(a): voçoroca. Hor. ^(b): horizonte. DMG ^(c): diâmetro médio geométrico.

Em relação aos Latossolos Vermelhos-Amarelos, o teor de carbono orgânico do horizonte A, predominantemente médio, contribui para aumentar o tamanho dos agregados (Tabela 3). Na média, 4,2% dos agregados são menores que 0,25 mm e 5,8% menores que 0,50 mm. O horizonte B apresenta um DMG médio de 2,81 mm com 12,0% dos agregados menores que 0,50 mm (Tabela 3). Estes solos apresentam textura argilosa ou muito argilosa, porém com maiores teores de silte e areia fina que os Latossolos Vermelhos e uma relação silte/argila média no horizonte B. Resultados semelhantes para a relação silte/argila foram encontrados nos estudos de Silva (1990), Teixeira (1993), Bono (1994), Oliveira (1993), Giarola et al. (1997), Santos et al. (1998) e Motta et al. (2001). Em relação aos resultados encontrados para DMG e % de agregados menores que 0,25 mm e 0,50 mm, os valores são semelhantes aos encontrados por Silva (1990) e Oliveira (1993).

As voçorocas nos Cambissolos representam uma distribuição de 42% do número total de voçorocas amostradas, seguidas pelos LVA que ocupam 35% e o LV que ocupam 23%.(Tabela 1).

4.2 Relações entre materiais de origem e voçorocas

O horizonte C dos solos da área estudada provém, principalmente, de dois grupos de material de origem, cujos atributos físicos e morfológicos estão apresentados na Tabela 4 e os atributos químicos na Tabela 5. Cabe ressaltar que há pouca homogeneidade desse material em face dos diferentes graus da alteração do mesmo.

O material originado da alteração do gnaiss granítico (dominante na área de estudo) constitui-se no principal precursor dos Latossolos e Cambissolos da região, caracterizando-se por atingir geralmente profundidades bastante elevadas, chegando a mais de 18 m e espessura superior a 14 m (Tabela 4) e por possuir matizes mais avermelhados (2,5 YR).

O horizonte C originado desse material, independente do solo sobrejacente, é altamente susceptível à erosão, pois apresenta acentuado teor de silte e areia fina (550 g kg^{-1}), elevados teores de agregados menores que 0,5 e 0,25 mm (50,4% e 74,7%, respectivamente) e, conseqüentemente, pequeno diâmetro médio geométrico dos mesmos, (0,27 mm) (Tabela 4), além de aspecto maciço, responsável pela baixa drenagem verificada em campo, confirmando estudos desenvolvidos por Lima (1987) e Silva et al. (1993). A coerência entre partículas é praticamente ausente, o que, associado ao teor muito baixo de carbono orgânico total (Tabela 4), possibilita, juntamente com um elevado deflúvio superficial, um intenso arraste de partículas e pequenos agregados do material exposto, além de dificultar o estabelecimento natural da vegetação nas áreas erodidas devido às grandes limitações dos atributos químicos (Tabela 5). Esses valores são semelhantes aos encontrados por Silva (1990) e Silva et al. (1993).

TABELA 4 Espessura, cor e atributos físicos dos horizontes C dos solos ocorrentes nas voçorocas de Nazareno, MG.

Material de origem ⁽¹⁾	Espessura	Cor	Agregados		DMG	Silte	Argila	Areia		Silte + areia fina	Relação silte/argila
			<0,25	<0,50				Fina	Grossa		
	-----m-----		-----%-----		--mm--	----- g kg ⁻¹ -----					
XF	09	7,5 YR 5/6	7,8	13,8	1,90	120	580	100	200	220	0,21
GG	14	2,5 YR 5/6	50,4	74,7	0,27	330	320	220	130	550	1,03

⁽¹⁾ XF: produto de alteração do xisto ferruginoso; GG: produto de alteração do gnaiss granítico.

48

TABELA 5 Atributos químicos dos horizontes C dos solos ocorrentes nas voçorocas de Nazareno, MG.

Material de Origem ⁽¹⁾	pH	COT	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	S	T	V	m
XF	5,2	1,2	0,6	22	0,8	0,2	1,0	0,0	1,1	2,1	51,5	0
GG	5,7	2,9	0,4	2	0,4	0,1	1,5	0,2	0,5	2,0	25,4	28

⁽¹⁾ XF: produto de alteração do xisto ferruginoso; GG: produto de alteração do gnaiss granítico.

O material originado da alteração do xisto ferruginoso constitui-se no precursor de um Latossolo Vermelho (LV5), caracterizando-se por atingir uma profundidade bastante elevada, chegando a mais de 14 m e espessura superior a 9 m (Tabela 4) e por possuir matizes mais amarelada (7,5 YR).

O horizonte C originado desse material, independente do solo sobrejacente, é menos susceptível à erosão, pois apresenta um menor teor de silte + areia fina, menor relação silte/argila, menores teores de agregados menores que 0,5 e 0,25 mm e, conseqüentemente, um maior diâmetro médio geométrico dos mesmos em relação ao originário de gnaiss-granítico (Tabela 4). Nessas condições, a fertilidade natural, quando comparado com o outro, é superior (Tabela 5), o que facilita o estabelecimento da vegetação natural quando exposto.

Devido à baixa agregação de ambos os materiais de origem, há uma grande evolução do processo erosivo quando o horizonte C é atingido, pois uma vez exposto, é facilmente erodido, induzindo grandes voçorocamentos, de acordo com observações de campo que confirmam estudos de Parzanese (1991) e Silva et al. (1993).

4.3 Fatores geométricos relacionados com as voçorocas

No município de Nazareno e nas áreas limítrofes deste com o município de Conceição da Barra de Minas, foram realizados diagnósticos e levantamentos de campo de 57 voçorocas que ocupam uma área comprometida total de 344,6 há, correspondendo a 1,06% da área do município (324 km²) (Figura 2, Tabela 6 e Tabela 1A). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (1993) na região de Lavras, MG. A área efetiva total encontrada é de 244,7 ha e o perímetro total de 75.100 m. Os valores médios encontrados são: área comprometida: 6,05 ha, área efetiva: 4,64 ha, perímetro: 1.320 m, comprimento:

424 m, largura: 224m, alongamento: 0,539, arredondamento: 0,296, diâmetro de feret: 251 m e compacidade: 0,607.

A maior voçoroca encontrada apresenta uma área comprometida de 28,5 ha, área efetiva de 20,4 ha, perímetro de 3.075 m, comprimento de 989 m, largura de 450 m, alongamento de 0,455, grau de arredondamento de 0,266 e compacidade de 0,511 (voçoroca 25), sendo uma junção de três outras voçorocas menores interligadas. O seu diâmetro de feret foi o maior encontrado, com 505 m, e o seu nível de estabilização encontra-se muito baixo (Figura 21B). A menor voçoroca estudada possui área de 1,21 ha (voçoroca 17).

Foram encontradas dezesseis voçorocas com áreas superiores a 5,0 ha, que são consideradas grandes, doze estão com nível de estabilização muito baixo, duas parcialmente ativas com nível baixo de estabilização, uma com nível médio e uma com nível alto de estabilização (Tabelas 6 e 7). A voçoroca 18 possui o maior perímetro e encontra-se com alto nível de estabilização. Apresenta também o maior alongamento e o segundo menor valor de arredondamento, o que significa que está muito pouco arredondada, com muitas reentrâncias e braços sem atividade (Figura 6B). A voçoroca 5 apresenta um muito baixo nível de estabilização e o menor valor encontrado para grau de arredondamento. Apresenta uma área pequena, o menor valor de diâmetro de feret e a menor compacidade (Figura 5B). A voçoroca 24 apresenta um baixo nível de estabilização, o maior valor de arredondamento e o segundo maior valor de compacidade, significando que apresenta o formato mais próximo de um círculo entre as voçorocas estudadas com um diâmetro aproximado de 142 m (Figura 20B).

TABELA 6 Atributos geométricos das voçorocas de Nazareno, MG.

Voçoroca	Área		Perímetro	CMA ^(a)	CME ^(b)	AL ^(c)	AR ^(d)	DF ^(e)	CO ^(f)
	Comprometida	Efetiva							
1	8,81	7,22	1.627	490	252	0,514	0,343	303	0,619
2	3,53	2,73	842	219	182	0,831	0,483	186	0,851
3	6,19	4,45	1.931	474	222	0,468	0,150	238	0,502
4	5,00	3,84	1.260	313	187	0,597	0,304	221	0,706
5	2,32	1,34	1.022	348	102	0,293	0,016	41	0,119
6	9,78	8,17	1.733	580	205	0,353	0,342	323	0,556
8	9,39	7,86	1.504	651	155	0,238	0,436	316	0,486
9	1,93	1,26	655	271	64	0,236	0,370	127	0,468
10	12,17	10,52	1.709	509	260	0,511	0,452	366	0,718
11	6,89	5,34	1.710	474	310	0,654	0,229	261	0,550
12	7,98	5,49	1766	370	247	0,667	0,221	264	0,714
13	8,77	6,81	2.281	614	198	0,322	0,164	294	0,479
14	5,95	4,29	1809	426	251	0,589	0,165	234	0,549
15	2,32	1,73	1.631	219	100	0,456	0,082	148	0,678
16	3,83	2,94	896	334	134	0,401	0,459	193	0,579
17	1,21	0,77	414	164	75	0,457	0,562	98	0,602
18	11,24	8,29	3.919	470	412	0,876	0,067	324	0,691
19	4,68	3,71	985	303	200	0,660	0,480	217	0,717
20	7,30	5,63	2.106	356	267	0,750	0,159	267	0,751

...continua...

TABELA 6, Cont.

Voçoroca	Área		Perímetro	CMA ^(a)	CME ^(b)	AL ^(c)	AR ^(d)	DF ^(e)	CO ^(f)
	Comprometida	Efetiva							
	----- ha -----		----- m -----			-----m-----			
21	11,67	10,05	1.716	502	347	0,691	0,429	358	0,713
22	13,88	11,78	2.290	558	451	0,808	0,282	387	0,694
23	2,72	1,78	1.101	289	135	0,467	0,183	150	0,520
24	2,21	1,58	610	183	116	0,634	0,532	142	0,774
25	28,50	20,4	3.075	989	450	0,455	0,266	505	0,511
26	8,78	7,77	2.087	501	267	0,532	0,224	315	0,627
Total	187,05	145,75	41.380	10.607	5.589	13,470	7,406	6.282	15,177
Média	7,48	5,77	1.655	424	224	0,539	0,296	251	0,607
Média Geral	6,05	4,64	1.320						

CMA^(a): comprimento do eixo maior. CME^(b): comprimento do eixo menor. AL^(c): alongamento. AR^(d): arredondamento. DF^(e): diâmetro de feret. CO^(f): compacidade.

TABELA 7 Caracterização das bacias de contribuição das voçorocas de Nazareno, MG.

Voc. (a)	Pos ⁽¹⁾	Rel. ⁽²⁾	Dec. ^(b)	Dre. ⁽³⁾	Ped. ⁽⁴⁾	Rampa	Uso atual ⁽⁵⁾	Nível tecnol. ⁽⁶⁾	Cob. vegetal (c)	Est. ⁽⁷⁾	Erosão ⁽⁸⁾
			---%---				---m---				
Latossolo Vermelho											
01	T	o	13,4	fd	Au	27	pn	M	62	mb	fo
02	mi	o	10,0	fd	Au	200	pn, ca	B	73	mb	na
03	T	o	10,8	bd	Au	112	pp, cf	M	72	mb	li
04	mi	o	15,1	fd	Au	173	pn	M	24	mb	cf
05	i	o	14,9	fd	Au	240	pp	M	55	mb	mf
06	mi	o	12,6	fd	Au	86	Pn, pp, cf	A	69	mb	mo
Latossolo Vermelho - Amarelo											
08	mi	o	10,8	bd	Au	77	pn, pp, sa	M	52	mb	li
09	mi	o	9,3	bd	Au	306	as, ca	M	32	M	li
10	t	so	8,7	bd	Au	77	ca, sa, eu	M	59	B	na
11	t	o	9,0	bd	Au	87	ca	M	75	B	mf
12	mi	o	11,4	bd	Au	87	pn	M	41	mb	li
13	m	so	7,3	ad	Au	217	pp	M	58	mb	mo
14	t	o	11,4	bd	Au	87	pn, pp, ca, cf	M	37	mb	fo
15	mi	o	13,2	fd	Au	229	Pn, ca, sa	A	76	B	na
Cambissolo											
16	mi	o	11,0	md	Au	58	pp	B	55	mb	li
17	mi	o	17,6	bd	Au	279	pn	M	66	B	li
18	t	fo	19,4	bd	Pe	134	pn	A	63	A	mf
19	t	so	7,0	bd	Au	111	pn	M	70	B	na
20	t	o	13,2	md	Au	36	pn	M	29	mb	fo

...continua...

TABELA 7, Cont.

Voc. ^(a)	Pos. ⁽¹⁾	Rel. ⁽²⁾	Dec. ^(b)	Dre. ⁽³⁾	Ped. ⁽⁴⁾	Rampa	Uso atual ⁽⁵⁾	Nível tecnol. ⁽⁶⁾	Cob. vegetal ^(c)	Est. ⁽⁷⁾	Erosão ⁽⁸⁾
			---%---			---m---			----%----		
21	t	o	15,0	md	pe	5	pp	M	47	mb	mo
22	m	o	13,7	md	au	47	pp	M	48	mb	mf
23	mi	o	18,1	bd	mp	16	pn, as	M	55	mb	mf
24	t	fo	19,4	bd	mp	20	pn, eu	M	62	b	na
25	t	fo	19,4	md	au	12	pn, ca	M	65	mb	mf
26	mi	so	7,3	ad	au	19	pn, eu	M	42	m	na

Voc. ^(a): voçoroca. Dec ^(b): declividade. Cob. vegetal ^(c): cobertura vegetal.

⁽¹⁾ Posição na encosta - t: toda a encosta; sm: terços superior e médio; m: terço médio; mi: terços médio e inferior; i: terço inferior.

⁽²⁾ Relevo - p: plano; so: suave ondulado; o: ondulado; fo: forte ondulado; m: montanhoso; e: escarpa.

⁽³⁾ Drenagem - ed: excessivamente drenado; fd: fortemente drenado; ad: acentuadamente drenado; bd: bem drenado; md: moderadamente drenado; id: imperfeitamente drenado; ma: mal drenado; mm: muito mal drenado.

⁽⁴⁾ Pedregosidade - au: ausente; li: ligeira; mo: moderada; pe: pedregosa; mp: muito pedregosa; ex: extrema.

⁽⁵⁾ Uso agrícola atual - pn: pastagem nativa; ca: campo cerrado; pp: pastagem plantada; cf: café; sa: solo arado; eu: eucalipto.

⁽⁶⁾ Nível tecnológico da(s) propriedade(s) - b: baixo; m: médio; a: alto.

⁽⁷⁾ Nível de estabilização - mb: muito baixa; b: baixa; m: média; a: alto; ma: muito alta.

⁽⁸⁾ Classes de erosão - na: não aparente; li: ligeira; mo: moderada; fo: forte; mf: muito forte; cf: extremamente forte.

Esses dados exemplificam a baixa relação encontrada entre os níveis de estabilização das voçorocas e os seus parâmetros geométricos, os quais foram testados estatisticamente pela análise de correlação simples. Dessa forma não foi possível relacionar significativamente o nível de estabilização de uma voçoroca diagnosticado em campo com os valores encontrados para área, comprimento do eixo maior, comprimento do eixo menor, alongamento, arredondamento, diâmetro de feret e compacidade, de modo a fazer uma previsão da dinâmica espacial de seu crescimento a partir da análise morfológica fornecida pelos seus valores geométricos. Os fatores envolvidos no desenvolvimento das voçorocas são múltiplos, não possibilitando estabelecer correlações entre os parâmetros geométricos. No anexo B pode-se observar o formato das voçorocas amostradas.

Os Cambissolos (C) apresentam 96,02 ha de área comprometida de voçorocas e 74,70 ha de área efetiva, correspondendo a uma distribuição de 51,3% da área total amostrada; na seqüência, os LVA com 55,40 ha de área comprometida e 43,30 ha de área efetiva, ocupando 29,6% da área total. O LV apresentou 35,63 ha de área comprometida e 27,75 ha de área efetiva, ocupando 19,1% da área total (Tabela 6). Estes resultados reforçam as observações de maior impacto das voçorocas nos C e menor no LV, estando estes valores relacionados aos atributos físicos, morfológicos e químicos dos solos estudados (Tabelas 1, 2 e 3). Em condições equivalentes, os Cambissolos são os solos mais suscetíveis ao voçorocamento, observações semelhantes foram feitas por Silva et al. (1993).

4.4 Relações entre as bacias de contribuição e voçorocas

As bacias de contribuição em que estão inseridas as voçorocas em Cambissolos constituem sistemas pedológicos mais instáveis pelo fato de estarem situadas em relevo movimentado com declives mais acentuados e apresentarem atributos físicos desfavoráveis, tais como: drenagem mais lenta,

presença freqüente de pedregosidade na superfície e ao longo do perfil (Tabela 7), pequena espessura dos horizontes A e B (Tabela 1) e elevados teores de silte+areia fina (Tabela 3), além de apresentarem limitações relativas à baixa fertilidade natural, condicionando assim pouca cobertura vegetal. Corroborando com os resultados obtidos por Silva et al. (1993), Oliveira (1993), Bono et al. (1994), Giarola et al. (1997), Santos et al. (1998) e Motta et al. (2001). Assim, o escoamento superficial a partir da concentração de água em algum ponto do terreno é suficiente para dar início ao processo erosivo, que pode evoluir facilmente para uma voçoroca. Nesse contexto, seis voçorocas ocupam toda a encosta e quatro os terços médio e inferior, o que caracteriza a instabilidade das suas bacias de contribuição.

Os Latossolos ocorrem principalmente em relevo suave ondulado (LV e LVA) e ondulado (LV), com declividades variando de 7,3% a 15,1% e apresentam os maiores comprimentos de rampa médios (Tabela 7), o que eleva a força erosiva da enxurrada e minimiza os efeitos de resistência natural ocasionada pela boa drenagem e pela boa capacidade de retenção de água, que diminuem o deflúvio superficial quando cobertos por vegetação. Assim, as voçorocas iniciam-se nos terços médio e inferior das encostas (Tabela 7), onde a concentração de água é mais volumosa e veloz. Apenas cinco voçorocas ocupam toda a encosta e oito ocupam os terços médio e inferior. As encostas onde estão inseridas apresentam as menores declividades, as maiores médias de índices de cobertura vegetal o que confere às bacias de contribuição dessas voçorocas uma maior resistência aos processos erosivos, corroborando com os resultados obtidos por Silva et al. (1993), Giarola et al. (1997) e Motta et al. (2001). Os Latossolos Vermelhos-Amarelos apresentam classes de drenagem inferior aos Latossolos Vermelhos (Tabela 7), corroborando com estudos de Lima (1987), o que torna suas bacias de contribuição mais susceptíveis aos processos erosivos do que as bacias associadas aos Latossolos Vermelhos.

Cabe observar que os valores encontrados em campo para o comprimento de rampa médio das bacias de contribuição (Tabela 7), somados ao comprimento do eixo maior das voçorocas (Tabela 6), foram comparados aos estipulados a partir de base cartográfica por Giarola et al. (1997). Assim, verifica-se que os valores obtidos para os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos são inferiores aos encontrados por Giarola et al. (1997). Em relação aos Cambissolos os valores são semelhantes.

Os valores encontrados para os índices de cobertura vegetal foram obtidos em campo na época de maior déficit hídrico na região em setembro-outubro de 2004, sendo inferiores aos encontrados por Albernaz (2005) que estudou pastagens plantadas no município de Lavras, MG.

Os usos atuais nas bacias de contribuição das voçorocas em Latossolos correspondem às áreas mais produtivas utilizadas para plantios de café e pastagem plantada principalmente com *Brachiaria* sp. Há também pastagens nativas, campo cerrado e terrenos arados a serem cultivados, corroborando com estudos de Giarola et al. (1997) e Motta et al. (2001). Para os Cambissolos, o uso atual nas bacias de contribuição está associado às pastagens nativas e pastagens de *Brachiaria* sp. Encontram-se relacionados também aos plantios de eucalipto e campo cerrado (Tabela 8), corroborando com estudos realizados por Oliveira (1993), Santos et al. (1998) e Giarola et al. (1997). Em 64% das bacias de contribuição há presença de pastagem nativa e em 32% ocorrem pastagens plantadas, e em apenas três bacias não há ocorrência dessas duas formas de uso (Figura 4C e Tabela 7). Esses dados confirmam a presença de 75,0% de ocorrência de vegetação rasteira ou áreas sem vegetações encontradas no mapa de cobertura vegetal (Figura 5). Resultados semelhantes foram obtidos por Carniel et al. (1994) e Silva & Curi (2001).

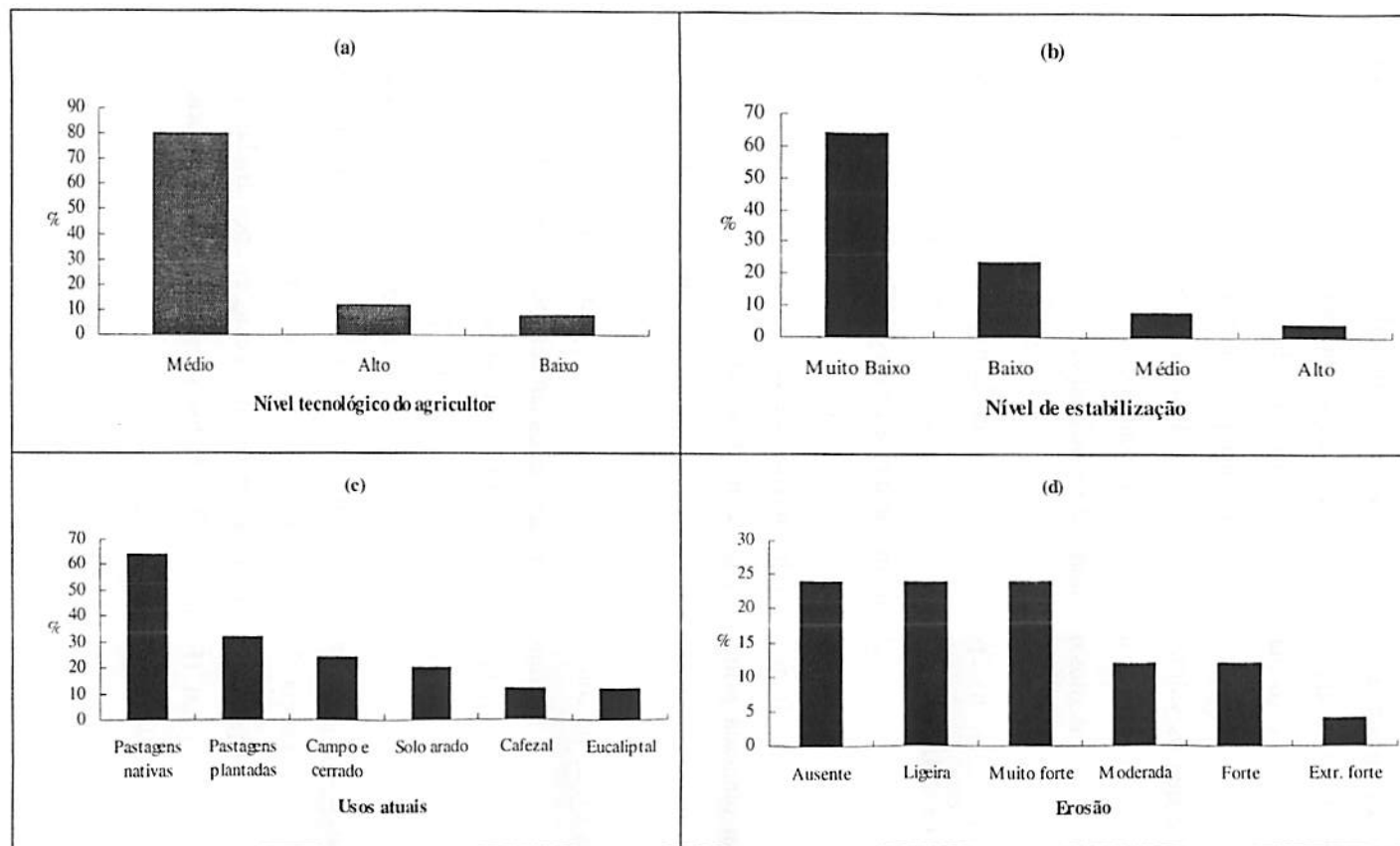


FIGURA 4 Características das bacias de contribuição das voçorocas selecionadas de Nazareno, MG.

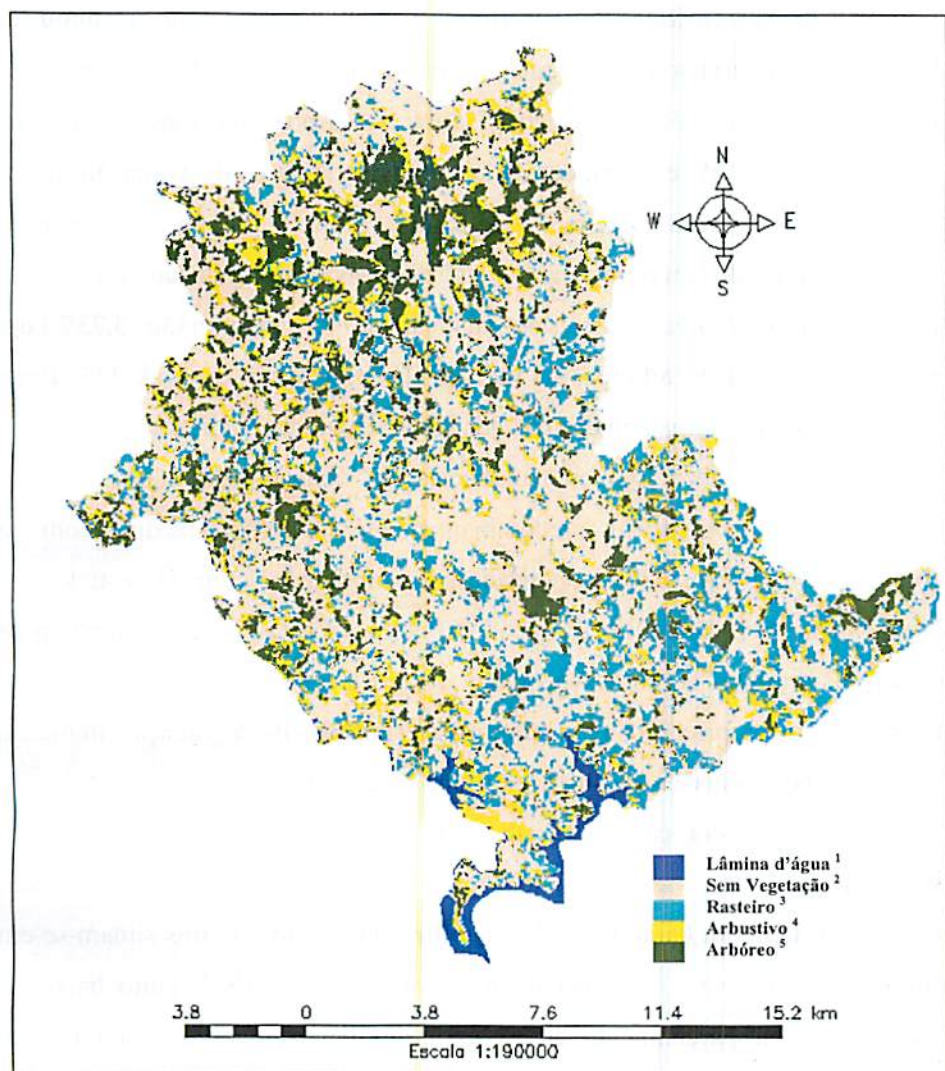


FIGURA 5 Mapa de cobertura vegetal do município de Nazareno, MG.

(1) Lâmina d'água (represas e rios).

(2) Áreas sem vegetação (áreas urbanas, solo exposto, pastagens degradadas e áreas de mineração).

(3) Vegetação rasteira (campo natural, pastagens nativas e plantadas e culturas agrícolas de pequeno porte).

(4) Vegetação arbustiva (cerrado *stricto sensu*, plantações de café).

(5) Vegetação arbórea (cerradão, floresta estacional semidecidual e eucalipto).

O mapa temático de cobertura vegetal do município resultou da classificação supervisionada da imagem de satélite do ano de 2000 em uma época de elevado déficit hídrico (Figura 5). Apresenta cinco categorias informacionais, sendo encontrados os seguintes parâmetros de avaliação: índice de exatidão global com 99%, Índice de Kappa com 0,99. Os erros de comissão (4,07%) encontrados referem-se a “pixels” de áreas sem vegetação classificadas como vegetação arbórea, o que está relacionado ao erro de omissão (3,73%) dos “pixels” da vegetação arbórea. As demais classes tiveram erros de 0%. Esses dados indicam que a imagem classificada foi de excelente qualidade.

Os níveis tecnológicos nas bacias de contribuição adotados pelos proprietários correspondem predominantemente à classe média, com as propriedades parcialmente mecanizadas, corroborando com os estudos de Carniel et al. (1994) e Oliveira (1993) (Figura 4A). Esses fatos ampliam os impactos antrópicos sobre as voçorocas devido à média/baixa disponibilidade econômica dos proprietários para enfrentar as situações de degradação ambiental e os investimentos necessários para a produção agrícola.

Das 25 voçorocas amostradas, 16 estão com muito baixo nível de estabilização, dentre as quais seis correspondem aos Cambissolos. Seis voçorocas estão com baixo nível de estabilização, sendo que três situam-se em Cambissolos (Tabela 7). As voçorocas ativas com um nível muito baixo de estabilização ou parcialmente ativas com um baixo nível de estabilização correspondem a 88% das voçorocas estudadas (Figura 4B). Em 24% bacias de contribuições não foram encontradas outros tipos de erosões aparentes e em outras 24% das bacias foram localizadas erosões laminares ligeiras. Isso não significa que as voçorocas estejam com níveis médio ou alto de estabilização (Figura 4D e Tabela 7). Apenas duas voçorocas (9 e 26) estão com médio nível de estabilização e apresentam, respectivamente, erosão laminar ligeira e ausência de erosão em suas bacias de contribuição (Tabela 7).

4.5 Relações dos fatores antrópicos com as voçorocas

Em todas as voçorocas amostradas, os fatores antrópicos potencializam o crescimento das mesmas e podem estar relacionados com as suas prováveis origens (Tabela 8).

As estradas rurais construídas nas décadas de 1950 e 1960 recebiam tráfego de veículos com tração animal que compactavam bastante o solo devido à pequena espessura das rodas de madeira. Isto causava o aprofundamento do leito das estradas, formando assim as cavas que chegavam a atingir mais de dez metros de profundidade. Essas cavas eram construídas sem nenhum planejamento conservacionista e seus traçados eram no sentido perpendicular das encostas. Por isso 64% das voçorocas amostradas tiveram suas origens relacionadas com as estradas antigas (Tabela 8 e Figura 6C). Com a formação das voçorocas, as estradas eram realocadas para áreas adjacentes, iniciando novamente o processo de formação de cavas e provocando um alargamento das voçorocas.

TABELA 8 Caracterização das voçorocas de Nazareno, MG.

Voc. (a)	Origem ⁽¹⁾	Impactos ⁽²⁾	Usos		Controle ⁽⁵⁾
			Borda ⁽³⁾	Interior ⁽⁴⁾	
01	mo	Ga, li, rm, ic, qu	pg, cc, tr	pa	is, pl
02	mo	ga, ae, ic	tr, pg	de	au
03	mo	ag, ga, ex, ic, qu	pg, cc, cf	ra, ba, pa, tr	ca
04	mo, ea, va	tr, es, a, va, qu, ic	es, pg, cc, tr	pa, cf, ra, tr	pl
05	va, de	ga, ag, ex	Pg	pa, ra	au
06	mo, ea	ag, li, rm, ex, qu, ga, ic	cf, pg, es	ed	ca, pl, pa, is
08	va, ea	ic, ag, ga, ex	pg, cc	ra, ba, ed	pl, re, ca, pa, is
09	mo, ea	ga, ic, qu, rm, li	pg, tr, cc	pa, tr	is, pl
10	ea	ga, ag, ic, li, rm, ex, qu	cc, pg	ra, pa	pl, ca
11	ea	ex, ga, li, rm	pg, es	de	au
12	ea, va, mo	ga, li, ex	pg, es	de	au
13	ea, va	ex, ga, ag	pg, es	de	au
14	ea, mo, va	ex, ga, ag	pg, tr	pa	au
15	ea	ex, li, rm	Es	de	au
16	ea, mo	ga, ic	pg, pa	pa	ca, is
17	mo	ga, ic, li, rm, ag, qu	pg, tr, cc, es	pa, tr	au

...continua...

TABELA 8, Cont.

Voc. ^(a)	Origem ⁽¹⁾	Impactos ⁽²⁾	Usos		Controle ⁽⁵⁾
			Borda ⁽³⁾	Interior ⁽⁴⁾	
18	va, mo, mc	ag, ga, qu, ex, ic	pg, cc	de	au
19	va, de	ga, ag, ex	Pg	de	ca, pl
20	mo	ag, ga, ex, qu	Pg	de	ca
21	ea	es, ex, ga, qu	Pg	pa, ba	re, pl, ca, pa
22	va, ea	ec, ga, ex, ag	pg, es	ba	au
23	ea, mq	ec, ex, ag	Pa	de	au
24	ea, mm, va	ex, ga, qu, ag	Pg	de	au
25	ea	ex, ga, qu	pg, es	pa	ca
26	va, mo	ga, li, ea, ex, ag	Pg	de	au

Voc. ^(a): voçorocas.

⁽¹⁾ Prováveis origens - mo: mineração ouro; ea: estrada antiga; va: valo; de: desmatamento e mau manejo do solo ; mc: mineração do caulim; mq mineração de quartzo; mm: mineração de manganês.

⁽²⁾ Impactos sobre as voçorocas - ga: gado; l: lixo; rm: resíduos de matadouro; qu: queimadas; ag: agricultura; ex: enxurrada, ic: infra-estrutura civil; tr: trilha; es: estrada; va: valo; ec: extração de cascalho; ea: embalagem de agrotóxico.

⁽³⁾ Usos das bordas - pg: pastagem com gado; cc: construção civil; tr: trilha; cf: cafezal; es: estrada; pa: plantios agrícolas.

⁽⁴⁾ Interiores - pa: pastagem; de: desconhecida; ra: retirada de água; ba: barragem e represa, tr: trilhas e caminhos; cf: campo de futebol; ed: educativo e científico.

⁽⁵⁾ Práticas de controle - is: isolamento; pl: plantio; ca: controle da água; pa: paliçada; re: retaludamento.

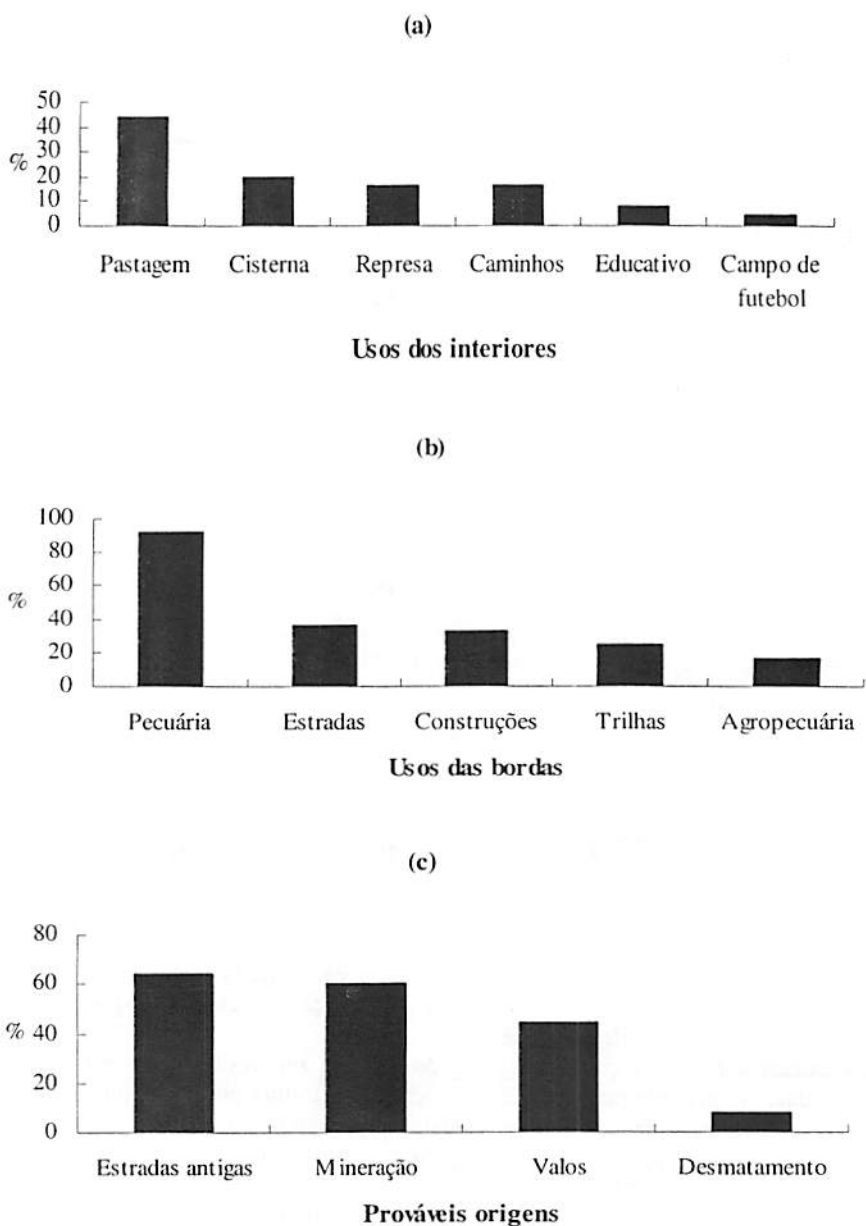
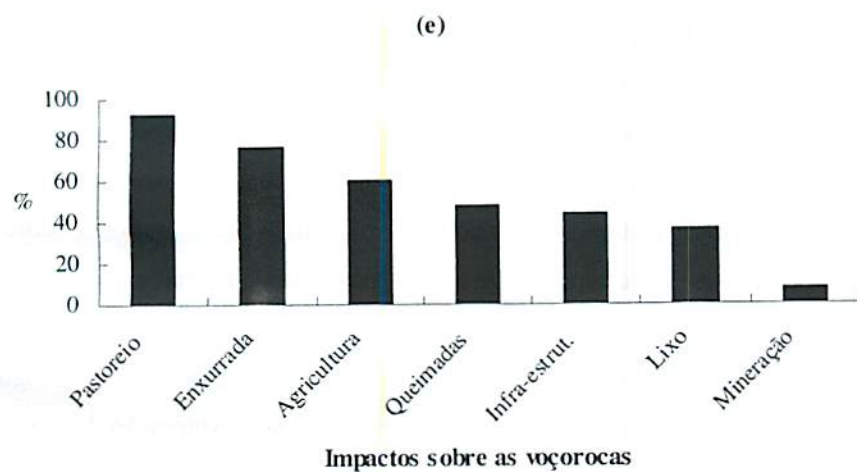
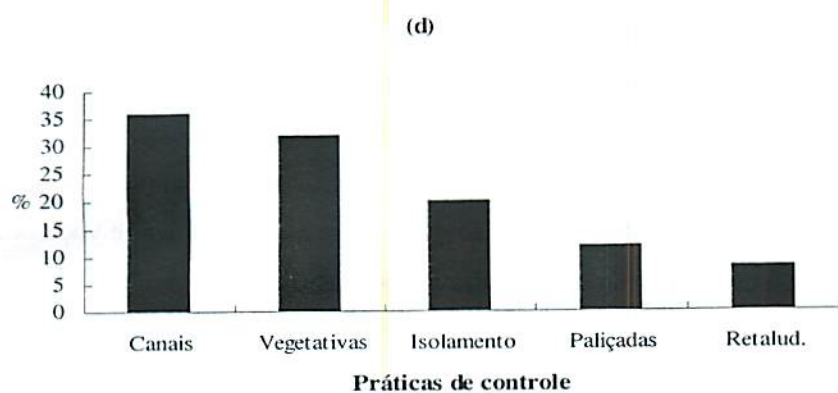
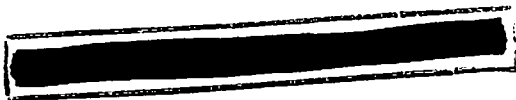


FIGURA 6 Usos, origens, controle e impactos das 25 voçorocas selecionadas de Nazareno, MG. (...continua...)

FIGURA 6, Cont.





Atualmente, essas cavas compõem as estradas rurais não pavimentadas, que também estão potencializando os processos erosivos devido à ausência de práticas conservacionistas e direcionamento das águas de enxurradas para os interiores das voçorocas. No levantamento realizado, foram detectadas quatorze voçorocas com áreas superiores a cinco hectares (Tabela 6). Dessas, dez estão relacionadas com as estradas antigas (Tabela 8) e oito estão em plena atividade (Tabela 7), comprovando a intrínseca relação entre estradas antigas e voçorocas. Pelo mapa de composição das estradas municipais (Figura 7), pode-se perceber visualmente a relação de proximidade das voçorocas com as estradas não pavimentadas. As cavas contribuíram para o surgimento de duas voçorocas em Latossolo Vermelho, de todas as nove voçorocas em Latossolo Vermelho Amarelo e de cinco voçorocas em Cambissolo. Foi também observado por Silva (1990) a relação entre as estradas/cavas e voçorocas.

Essa relação ainda é agravada pelo fato dos caminhos de escoamento do ouro e transporte de alimentos estarem associados às áreas de mineração do ouro no século XVIII. Em 60% das voçorocas, há relatos de moradores sobre a prática de mineração, estando doze (48%) associadas à exploração de ouro (Tabela 8 e Figura 6C), uma à extração de caulim e ouro, uma ao quartzo e uma ao manganês. Destas voçorocas, oito estão localizadas em áreas urbanas (Figura 3), o que relaciona o crescimento urbano com as áreas de exploração do ouro no século XVIII, corroborando com estudos realizados por Silva et al. (1993). As minerações contribuíram para o surgimento de cinco voçorocas em Latossolo Vermelho, duas voçorocas em Latossolo Vermelho Amarelo e seis voçorocas em Cambissolo. Silva (1990) relacionou a origem de 35% das voçorocas da região de Lavras, MG, com as atividades mineradoras.



FIGURA 7 Mapa viário das estradas do município de Nazareno, MG.

Apenas uma vozoroca urbana (vozoroca 8) não está associada à mineração. Sua origem está ligada à existência de um valo limítrofe e ao encaminhamento da estrada antiga que ligava o município de Nazareno ao município de Ibituruna, MG. As vozorocas urbanas são nove (Tabela 1), de

forma que a falta de planejamento urbano sem considerar riscos para a população traz impactos sobre as voçorocas (Bousquet & Holveck, 1999; Lahmar & Ribaut, 2001, Ferreira et al., 2002). Nessas áreas encontram-se quatro voçorocas em Latossolo Vermelho, duas em Latossolo Vermelho Amarelo e três em Cambissolo. Cabe ressaltar que a voçoroca urbana de representação numérica 6 é a mesma que a de número 7 e foi considerada sob domínio de Latossolo Vermelho.

A presença de valos limítrofes de propriedades localizados em desnível no terreno está relacionada com a origem de 44% das voçorocas (Tabela 8 e Figura 6C), sendo que em duas o desmatamento e o manejo agrícola inadequado foram os prováveis desencadeadores do processo, juntamente com os valos. Duas dessas voçorocas estão situadas em Latossolo Vermelho, quatro em Latossolo Vermelho Amarelo e cinco em Cambissolo.

Os valos, as cavas e as áreas de mineração abandonadas atualmente promovem a exposição de horizontes subsuperficiais (Tabelas 4 e 5) mais susceptíveis aos processos erosivos, tornando os ambientes instáveis e propensos à formação e ampliação das voçorocas. Esta observação corrobora com o diagnóstico realizado por Silva (1990) e com a percepção da origem das voçorocas pelos agricultores, diagnosticada por Carniel et al. (1994).

Todas as voçorocas recebem impactos antrópicos diretos que ocorrem nas suas bacias de contribuição, bordas e interiores (Tabela 8 e Figura 6), contribuindo para o processo erosivo, além de dificultar sua recuperação natural. Os impactos encontrados são: pastagem com elevados índices de degradação com pastoreio acima da capacidade suporte, manejo incorreto do solo proveniente de plantios agrícolas sem preocupação conservacionista, enxurrada concentrada direcionada para os interiores das voçorocas provenientes de estradas, valos e tentativas sem sucesso de controle das águas, queimadas, lançamento de resíduos sólidos urbanos, incluindo resíduos de matadouros e

embalagens de agrotóxicos nos interiores das voçorocas, extração de cascalho e infra-estrutura de construções civis que ocorrem nas áreas de influência das voçorocas (Figura 6C e Tabela 8), corroborando com o diagnóstico realizado por Carniel et al. (1994) na região. Em relação às queimadas, Neiva (1990), Andrade (1992), Santos et al. (1992), Evangelista et al. (1993) e Carniel et al. (1994) realizaram estudos na região que identificaram os impactos decorrentes dessa forma de manejo sobre o solo e a vegetação.

Os interiores das voçorocas também apresentam finalidades diversas para seus proprietários e para o poder público, sendo 8% delas utilizadas para fins de educação ambiental e pesquisas científicas (Ferreira et al., 2001; Ferreira et al., 2002; Ferreira et al., 2003 e Goulart, 2005). 44% dos interiores são utilizados como pastagem para pastoreio, 16% para o represamento de água por meio da construção de barragens e 20% para a retirada de água por meio de cisternas para consumo humano. Em quatro voçorocas (16%) foram encontrados caminhos e trilhas para pedestres e em uma delas (4%) foi implantado um campo de futebol sem sucesso (Figura 6A).

Para minimizar os impactos, proprietários e poder público implantaram algumas práticas de controle, nem sempre eficientes, em doze voçorocas (48%): o controle das águas superficiais em 36% das voçorocas; plantio de mudas de espécies florestais, gramíneas e leguminosas em uma parte de 32% voçorocas; isolamento das áreas no entorno das voçorocas em 20%; construção de paliçadas em 12% e retaludamento das paredes das voçorocas em 8% (Figura 6D e Tabela 8). Diagnóstico semelhante foi encontrado por Carniel et al. (1994). Esses dados indicam uma preocupação e uma busca de soluções para o grave problema. Mas, na prática, não está havendo um controle efetivo do processo erosivo em curto prazo, pois 88% das voçorocas estão ativas ou parcialmente ativas. (Figura 4). As dificuldades para implementação das ações referem-se à limitação tecnológica e financeira dos proprietários das áreas degradadas e à baixa

capacidade operacional e disponibilidade financeira do município de Nazareno, ficando assim dependente de projetos de captação de recursos externos (governos federal e estadual), pois grande parte dos produtores rurais (88%) apresenta nível tecnológico médio e baixo (Figura 4A).

Os impactos diretos das voçorocas ocorrem devido à deposição de sedimentos provenientes da ação erosiva e ao seu crescimento lateral e longitudinal da voçoroca por meio do desabamento de encosta. Em todas as voçorocas há impactos diretos sobre cursos d'água (nascentes, córregos, rios, represas e várzeas), pois todas apresentam surgências de lençol freático que correm pelas suas baixadas e deságuam em seguida nos cursos d'água adjacentes, conforme observações de campo. Na Figura 8 encontra-se o mapa de drenagem do município e a relação de proximidade das voçorocas com os cursos d'água. Os impactos devido ao crescimento colocam sob risco os usos que ocorrem nas bordas das voçorocas numa faixa de 10 m em seu entorno: pastagem com presença de gado, estradas, construções civis, trilhas de gado e pedestres e plantios agrícolas (Figura 6C). Caracteriza-se assim, que não está ocorrendo um manejo conservacionista nos planejamentos das atividades rural e urbana, não está havendo uma preocupação com os impactos, prejuízos e riscos provenientes das voçorocas. Suas bordas e interiores devem ser transformados em áreas de reserva florestal, de modo a favorecer os processos de recuperação natural e constituir em uma zona de amortecimento dos impactos provocados sobre elas.

Cabe ressaltar que o Código Florestal Brasileiro (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2005) prevê que as áreas localizadas em um raio de 50 m ao redor das nascentes e uma faixa de pelo menos 30 m acompanhando as margens dos cursos d'água sejam áreas de preservação permanente, incluindo, nesse caso, as voçorocas com surgência de água.



FIGURA 8 Mapa de drenagem do município de Nazareno, MG.

5 CONCLUSÕES

Foram diagnosticadas 57 voçorocas, sendo 25 cadastradas, que comprometem uma área 344,6 ha (1,06%) do município e estão concentradas em cinco regiões características.

Os solos ocorrentes nas principais voçorocas da região de estudo foram os Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos-Amarelos e Cambissolos, todos considerados de baixa fertilidade natural e com presença de atributos físicos e morfológicos favoráveis à ampliação dos processos erosivos.

As voçorocas nos Cambissolos ocupam 51,3% da área total, seguido pelos Latossolos Vermelhos-Amarelos, com 29,6% e os Latossolos Vermelhos, que ocupam 19,1%. Em condições equivalentes, os Cambissolos são os solos mais suscetíveis ao voçorocamento.

Os materiais de origem dos solos das voçorocas provêm principalmente da alteração de gnaiss granítico, sendo os seus horizontes C altamente susceptíveis à erosão hídrica, independente dos solos subjacentes.

As voçorocas ativas com um nível muito baixo de estabilização ou parcialmente ativas com um baixo nível de estabilização correspondem a 88% das erosões estudadas.

Os fatores envolvidos no desenvolvimento das voçorocas são múltiplos. Dessa forma não foi possível relacionar significativamente o nível de estabilização de uma voçoroca com os valores encontrados para área, comprimento do eixo maior, comprimento do eixo menor, alongamento, arredondamento, diâmetro de feret e compacidade, de modo a fazer uma previsão da dinâmica espacial de seu crescimento a partir da análise morfológica fornecida pelos seus valores geométricos.

As bacias de contribuição das voçorocas sob domínio de Cambissolos são mais susceptíveis aos processos erosivos do que as que se encontram sob domínio dos Latossolos. Isso ocorre pelo fato de estarem localizadas em relevo movimentado com maiores declividades, apresentarem drenagem mais lenta, presença freqüente de pedregosidade e menores índices de cobertura vegetal. Nesse caso, as voçorocas ocupam grande parte das encostas em que estão inseridas.

Os usos atuais nas bacias de contribuição das voçorocas localizadas em áreas de domínio de Latossolos correspondem às áreas mais produtivas e utilizadas com maior intensidade. Os principais usos agrícolas das bacias de contribuição são as pastagens nativas e plantadas em condições de baixo nível conservacionista, o que confere uma grande instabilidade às voçorocas.

As prováveis origens e evoluções das voçorocas estão relacionadas, principalmente, com as estradas rurais antigas (64%), a mineração do ouro no século XVIII (48%) e os valos limítrofes de propriedades (44%).

Todas as voçorocas recebem impactos antrópicos diretos que estão relacionados aos usos nas suas bacias de contribuição, bordas e interiores e que contribuem para os processos erosivos, além de dificultar as recuperações naturais. Foram diagnosticadas nove voçorocas em áreas urbanas, de forma que a falta de planejamento urbano sem considerar os riscos para a população potencializa os impactos sobre as voçorocas.

Os impactos provocados pelas voçorocas estão associados ao assoreamento dos cursos d'água, à diminuição de áreas agrícolas, à imposição de riscos e prejuízos às populações que vivem e utilizam as suas bordas e interiores. Todos esses fatores estão relacionados à ausência de um manejo conservacionista e à falta de planejamento das atividades rurais e urbanas.

Práticas de controle de voçorocas, nem sempre eficientes, estão sendo implantadas em 48% das voçorocas, indicando preocupação e uma incipiente

busca de soluções para o problema. As principais dificuldades referem-se às limitações tecnológicas, financeiras e operacionais dos proprietários e dos poderes públicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contou com a participação da comunidade e serviu de suporte para os projetos sócio-ambientais que estão sendo desenvolvidos. Ainda fornece subsídios para o início da elaboração de um plano de monitoramento de risco à erosão de Nazareno, MG, disponibilizando bases técnicas para entidades envolvidas com o planejamento sócio-ambiental do município e região.

A partir do trabalho realizado e sua relação com a comunidade de Nazareno, MG, pôde-se identificar as seguintes demandas de investigações futuras para a continuidade do diagnóstico iniciado:

- elaboração de um mapa global de erosão para o município;
- realização de um diagnóstico da relação do manejo agrícola das propriedades rurais com as voçorocas;
- realização de um diagnóstico da relação do planejamento urbano com as voçorocas;
- realização de estudos para verificar as relações existentes entre as feições geomorfológicas com as áreas de ocorrência das voçorocas;

Dessa forma, trata-se do início de um trabalho a longo prazo para uma melhor compreensão dos processos relacionados à degradação do recurso solo no município de Nazareno, os quais podem ser extrapolados para a região do Alto Rio Grande.

CURI, N. LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89 p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STAWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, **Soil Science of America**, 1994. p. 3-21 (Special Publication, 35).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. n. p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2000. 412 p.

EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M. de; CURI, N. Uso do fogo em pastagens. In SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p. 62-99.

FERREIRA, V. M.; SILVA, M. L. N.; RIBEIRO, M. T. F.; FERREIRA, R. R. M.; FENELON, The erosive process in Nazareno, Minas Gerais State, Brazil: a New Approach to Understand Soil Degradation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND MEETING OF THE IUSS SUBCOMMISSION C. SOIL AND WATER CONSERVATION, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA & SBCS, 2001. 1CD-ROM.

FERREIRA, V. M.; FERREIRA, R. R. M.; RIBEIRO, M. T. F.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, L. R. M.; SILVA, F. Programa Nazareno Verde : Contribuição para Recuperação de Solos Degradados numa Visão Social e Ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2002. p. 529-531.

FERREIRA, V. M.; FERREIRA, R. R. M.; SILVA, M. L. N. Avaliação da Estabilização de uma Voçoroca por práticas vegetativas no município de Nazareno (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1CD-ROM.

FIORI, L.; SOARES, A. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 40-48, dez. 1976.

FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 249-256, maio/ago. 1992.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento Pedológico, Perdas de Solo e Aptidão Agrícola das Terras na Região sob Influência do Reservatório de Itutinga / Camargos (MG)**. 1994. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG

GIAROLA, N. F. B.; CURI, N.; SIQUIERA, J. O.; CHAGAS, C. S.; FERREIRA, M. M.; **Solos na região sob Influência do reservatório da Hidrelétrica de Itutinga / Camargos (MG): Perspectiva Ambiental**. Lavras: CEMIG, 1997. 101 p.

GOULART, R. M. **Comportamento de espécies florestais e atributos de solo visando à estabilização de voçorocas**. 2005. 81 p. Dissertação – (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. 3.ed. Ithaca: Iowa State University Press, 1995. 391p.

IBGE - MINISTÉRIO do PLANEJAMENTO e ORÇAMENTO. **Contagem da População. Resultados Relativos a Sexo da População e Situação da Unidade Domiciliar**. V.I., Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Mapa de unidades de planejamento e Gestão de recursos hídricos**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/unidades.php>>. Acesso em: 15 dez. 2004.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis, Part 1**. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Soil Science Society of America, 1986. p 425-441. (SSSA. Agronomy Monograph, 9).

LAHMAR, R.; RIBAUT, J. P, **Sols et Societes - Regards pluricultures**. Paris: Charles Leopold Mayer, 2001. 97 p.

LAHMAR, R. (Org). **Salvar nossos solos para proteger nossas sociedades**. São Paulo: Instituto Polis, 2004. 120 p. (Cadernos de Proposições para o século XXI, 10).

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2. ed. Campinas: SBCS/SNLCS, 1984. 46 p.

LEMOS, P. O. C.; LUTZ, J. F. Soil crusting and some factors affecting it. Soil Science society of America Proceedings, Madison, v. 21, n. 4, p. 485-91, Oct. 1957.

LEPSCH, I. F. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4a. aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p.

LIMA, J. M. Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solo da região de Lavras, (MG). 1987. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

NEIVA, J. N. M. Crescimento e valor nutritivo de pastagens nativas submetidas ou não ao tratamento de queima. 1990. 97 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; LIMA, J. M. Recursos Ambientais da Bacia do Alto do Rio Grande, Minas Gerais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 33 p.

MARTINS, A. K. E.; Utilização de Imagens TM/Landsat-5 para Qualificar e Quantificar Áreas Degradadas na Ilha do Formoso, Estado do Tocantins. 1999. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MAZOYER, M.; ROULDART, L. Historie des Agricultures du Monde: du Néolithique à la crise contemporaine. Paris: Éditions du Seuil, 1997.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; PRADO, N. J. S.; FONSECA, E. M. B. Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório de Ituinga / Camargos- MG. Belo Horizonte: CEMIG, 2001. 51 p.

OLIVEIRA, G. C. de. **Cambissolo da microrregião Campo das Mantiqueira (MG). Caracterização físico-hídrica e interpretação para manejo.** 1993. 62 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 901-909, set./out. 2004.

PARZANEZE, G. A. C. **Gênese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitóides na região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais.** 1991. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PEREIRA, S. B. **Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial.** 2000. 81 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, **Lei Nº 4771, de 15 de setembro de 1965.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 14 jan. 2005.

RADAMBRASIL (Projeto Radambrasil). **Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983. v. 32, 780 p.

RANIERI, S. B. L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. Aplicação de Índice Comparativo na Avaliação do Risco de Degradação das Terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 751-760, out./dez. 1998.

RESENDE, M. **Pedologia.** Viçosa: UFV, 1982. 100 p.

RESENDE, M.; REZENDE, S. B.; CARMO, D. N. **Roteiro pedológico I.** Viçosa: UFV, 1990. 84 p. (mimeografado).

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe agroecário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 62-68, 1992.

SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CRUZ, A. B.; TELXEIRA, W. G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 183-189, fev. 1998.

SANTOS, E. H. M. **Descarga de Sedimentos Transportados em Suspensão por Três Rios da Bacia Hidrográfica do Alto do Rio Grande**. 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SECRETARIA DE ENERGIA E SANEAMENTO. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - SES/DAEE. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas**. 2. ed. São Paulo, DAEE/IPT, 1989. 1990. 92 p.

SILVA, A. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

SILVA, A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 459-464, set./dez. 1993.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; BARRETO, V. C. M.; SILVA, T. F. Perdas por erosão e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo Roxo no Sul de Minas Gerais – Resultados Preliminares. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7**, Goiânia, 2001. **Anais dos Trabalhos Completos...** Goiânia: Associação Brasileira Geologia de Engenharia Ambiental, 2001. p. 1-8.

SILVA, A. C. A.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, S.; CURI, N. Database software for gully surveying and controlling. First approximation. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND MEETING OF THE IUSS SUBCOMMISSION C. SOIL AND WATER CONSERVATION, 3.**, 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA & SBCE, 2001. 1CD-ROM.

SILVA, M. L. N. Conservação e Planejamento de uso do solo. In: MARQUES, J. J. G. S. M.; FERNANDES, L. A.; SILVA, M. L. N.; DIAS JR., M. S. ; CURI, N.; FAQUIN, V. **Solo no contexto ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. p. 111-115.

SILVA, M. L. N.; CURI, N. Uso e conservação do solo e da água e a crise energética: reflexões e exemplos em Minas Gerais. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 7-9, 2001.

SILVA, R. R. **Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campo das Vertentes, Bacia do Alto do Rio Grande–MG**. 2001. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

STEIN, D. P. Diagnóstico de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: ABGE/UNESP, 1995. p. 55-57.

STOCKING, M. A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 163-185.

TEIXEIRA, W. G. **Métodos de manejo em Cambissolo distrófico (epiálico) para implantação de gramíneas forrageiras em pastagens nativas da micro região Campos da Mantiqueira (MG)**. Lavras: ESAL, 1993. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 2.

TROEH, F.R; HOBBS, J.A.; DANAHUE, R.L. **Soil and Water Conservation: for productivity and environmental protection**. Englewood Cliffs (N.J.), 1980. 718p.

WISCHMEYER; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v. 33, n. 1, p. 131-137, Jan./Feb. 1969.

ANEXO A

TABELA 1A: Valores de área comprometida, área efetiva e perímetro para 32 voçorocas cadastradas de Nazareno, MG.

Voçorocas	Área		Perímetro
	Comprometida	Efetiva	
	----- ha -----		-----m-----
27	2,83	2,15	690
28	1,26	0,77	520
29	9,44	8,56	1590
30	1,57	0,91	2070
31	0,69	0,19	510
32	2,05	1,28	2470
33	3,53	2,66	2160
34	24,18	21,48	2790
35	0,29	0,09	180
36	8,82	7,38	1440
37	1,95	1,42	510
38	1,47	0,98	470
39	4,23	3,48	720
40	0,48	0,20	250
41	2,13	1,61	490
42	0,68	0,38	260
43	2,83	2,14	660
44	6,24	3,65	1590
45	0,62	0,34	250
46	12,10	10,36	1880
47	1,65	0,87	730
48	1,05	0,64	380
49	4,27	3,53	720
50	10,86	8,70	2180
51	6,70	4,11	1120
52	7,57	5,07	1200
53	1,61	1,11	480
54	5,32	4,10	1270
55	1,47	0,94	510
56	0,51	0,26	230
57	1,28	0,81	450
58	28,50	20,25	2930
Total	157,57	120,51	33690