

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E  
BIOLÓGICOS DO SOLO EM AMBIENTES DE  
VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE LAVRAS –  
MG**

**PLÍNIO HENRIQUE OLIVEIRA GOMIDE**

**2009**

**PLÍNIO HENRIQUE OLIVEIRA GOMIDE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO  
EM AMBIENTES DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE  
LAVRAS – MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009

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

Gomide, Plínio Henrique Oliveira.

Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes  
de voçorocas no município de Lavras - MG / Plínio Henrique  
Oliveira Gomide. – Lavras : UFLA, 2009.

89 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. Qualidade ambiental. 2. Degradação do solo. 3. Erosão  
hídrica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.41

**PLÍNIO HENRIQUE OLIVEIRA GOMIDE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO  
EM AMBIENTES DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE  
LAVRAS – MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de Julho de 2009

Prof. Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares UFLA

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira UFLA

Profª. Dra. Gislene Carvalho de Castro UFSJ

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

As minhas queridas mães, **Maria Aparecida Oliveira Gomide e Mônica Oliveira Gomide**, por todo apoio, ensinamentos, conselhos, incentivos, compreensão e fé a mim dedicados.

## **OFEREÇO.**

**A Deus,**

por seu amor incondicional, por iluminar meus caminhos e por ter concedido a sabedoria para gozar dos momentos alegres e superar os momentos de dificuldade, abençoando minha vida.

A minha esposa, Danieli Lazarini de Barros.  
A minha irmã, Ana Lúcia.  
Aos meus tios, Nilo Sérgio e Rosana.  
Aos meus primos, Gabriel e Isabela.  
Ao João Batista da Silva e,  
em especial,  
a João Batista Gomide (*in memoriam*),

## **DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem sempre recorreremos nos momentos difíceis e devemos agradecer infinitamente na vitória.

A minha família, meu alicerce.

As minhas mães queridas, Mônica e Maria Aparecida, pelos valiosos ensinamentos, exemplo de vida, dedicação, superação e, sobretudo, pelas inúmeras orações que guardam a família.

A minha irmã querida, Ana Lúcia, pelo apoio, conversas, amizade, confiança e por sempre acreditar em mim.

A João Batista da Silva, pela amizade, confiança e por todo apoio dado.

A meu tio Nilo Sérgio e minha tia Rosana, pelos quais tenho enorme carinho e respeito.

Aos meus primos Gabriel e Isabela, pelo carinho e por toda a alegria que me proporcionam.

A minha esposa, Danieli Lazarini de Barros, pelo apoio incondicional durante esta jornada, compreensão nos momentos difíceis e pelo amor, carinho e respeito. Também a sua mãe, irmãos e sobrinha.

Especial agradecimento ao professor Marx Leandro Naves Silva, pela oportunidade concedida, ensinamentos, idéias, orientação e, acima de tudo, pela amizade.

Especial agradecimento ao professor Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, pela amizade, conversas e conhecimentos transmitidos.

Aos professores Mozart Martins Ferreira e Gislene Carvalho de Castro, pela participação na banca e pelas sugestões que muito contribuíram para a melhoria do trabalho.

Agradecimento especial também aos grandes amigos José Geraldo e Valéria Cecília.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pelo auxílio, apoio, disponibilidade e ajudas prestadas.

Aos funcionários Marlene Aparecida de Souza e, especialmente, ao Manuel Aparecido da Silva, pela valiosa contribuição na execução das análises.

Ao fiel colaborador Diego Alves Siqueira, pela dedicação, entusiasmo e profissionalismo dedicados a este trabalho.

A Jessé Valentim, pelas valiosas conversas e auxílio nas análises.

Aos amigos do Laboratório de Microbiologia do Solo e Conservação do Solo e da Água que, de alguma forma, sempre tiveram dispostos a discutir dúvidas e pontos de vista, além das grandes ajudas e auxílios nos momentos difíceis: Amanda, Bruno, Bruna, Candido, Cleide, Diego França, Gláucia, Krisle, Ligiane, Márcia, Mauricio, Jerusa, Jessé, Maíra, Michele Aparecida, Michele Rocha, Rogério, Leandro, Pedro, Paulo e Silvia.

A todos os meus vizinhos e amigos de Uberlândia.

Aos demais professores, técnicos e colegas do DCS-UFLA.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do mestrado e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pela concessão da bolsa e financiamento deste estudo.

Aos amigos que, porventura, não tenha mencionado.

**MUITO OBRIGADO !!!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Impactos da erosão hídrica.....	4
2.2 Qualidade do solo.....	7
2.3 Atributos físicos.....	9
2.4 Atributos químicos.....	10
2.5 Atributos biológicos.....	12
2.5.1 Biomassa microbiana do solo.....	13
2.5.2 Respiração do solo.....	15
2.5.3 Quociente metabólico.....	16
2.5.4 Enzimas do solo.....	18
2.5.5 Fungos micorrízicos arbusculares.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Atributos físicos.....	34
4.1.1 Caracterização granulométrica dos solos.....	34
4.1.2 Densidade do solo.....	34
4.1.3 Volume total de poros e distribuição de poros por tamanho.....	38
4.1.4 Condutividade hidráulica do solo saturado.....	40
4.1.5 Estabilidade de agregados.....	42
4.1.6 Resistência do solo à penetração.....	43
4.2 Atributos químicos.....	47
4.3 Atributos biológicos.....	51
4.3.1 Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico ( $qCO_2$ ).....	51
4.3.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).....	57
4.3.3 Atividade da fosfatase.....	61
4.3.4 Análise de componentes principais (ACP).....	63
5 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	86



## RESUMO

GOMIDE, Plínio Henrique Oliveira. **Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG.** 2009. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

A região sul de Minas Gerais apresenta um quadro preocupante, com grandes áreas comprometidas por voçorocas. Neste contexto, a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, em ambientes degradados pela erosão hídrica, por meio de seu monitoramento, é de extrema importância, pela sua sensibilidade às alterações na qualidade do solo, uma vez que pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas racionais de manejo e contribuir para a manutenção de ecossistemas sustentáveis. Este estudo foi realizado com os objetivos de avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos ocorrentes no interior das voçorocas e estudar as relações entre atributos físico-químicos do solo, cobertura vegetal e aspectos biológicos destes ambientes. O estudo foi realizado em três voçorocas, uma sob Cambissolo Háplico e as outras duas sob Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA1 e LVA2, localizadas em Lavras, MG. Diferentes ambientes das voçorocas estudadas foram avaliados compreendendo o leito, terço médio sem vegetação (TMSV) e terço médio com vegetação (TMCV) que foram comuns às três voçorocas, além de outros dois ambientes encontrados na voçoroca sob LVA2, tais como o terço médio com eucalipto (TMEucalipto) e terço médio com candeia (TMCandeia), além de uma vegetação nativa (VN) mais próxima às voçorocas como referência. As amostras de solos foram coletadas na camada de 0-20 cm, com cinco repetições, totalizando 70 amostras para a realização de análises físicas, químicas e biológicas. Os resultados indicam que os ambientes de voçoroca localizados no sul de Minas Gerais encontram-se em estágio avançado de degradação. Dentre os atributos físicos, os mais afetados foram volume total de poros (VTP), macro e microporosidade, Densidade do solo (Ds), além da redução da condutividade hidráulica e aumento da resistência do solo à penetração, contribuindo ainda mais com o processo erosivo nesse ambiente. A erosão hídrica provocou decréscimo acentuado na fertilidade do solo, expresso pela redução de Ca, Mg, K, P e teores de matéria orgânica, além do acréscimo dos teores de Al, H+Al e saturação por alumínio (m), nesses ambientes.

---

\*Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Orientador), Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares - UFLA.

Entre os atributos biológicos analisados, o carbono da biomassa microbiana apresentou reduções superiores a 80% nos ambientes TMSV nas voçorocas sob Cambissolo e LVA1 e leito na voçoroca sob LVA2, em relação à VN nas três voçorocas analisadas. O  $qCO_2$  mostrou-se um índice sensível às alterações do ambiente e os maiores valores encontrados foram no leito, ocasionados pelo excesso de umidade e no ambiente TMSV, devido ao baixo teor de matéria orgânica e à ausência de vegetação. Embora tenham sido encontradas espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em ambientes de voçoroca, o número de esporos apresentou decréscimos superiores a 75% nos ambientes mais degradados. Os resultados evidenciam que os atributos edáficos analisados foram sensíveis às alterações nos ambientes de voçorocas e podem servir como indicadores para o monitoramento da dinâmica de ambientes degradados pela erosão hídrica.

**Palavras-chave:** qualidade ambiental, degradação do solo, erosão hídrica.

## ABSTRACT

GOMIDE, Plínio Henrique Oliveira. **Physical, chemical and biological attributes in environments in the soil of gully erosion in the city of Lavras - MG.** 2009. 89p. Dissertation (Masters in Soil Science) - Federal University of Lavras - Lavras, MG. \*

The south of Minas Gerais presents a worrying situation, with large areas affected by gully erosion. In this context, the assessment of physical chemical and biological soil attributes, in degraded environments by water erosion, is extremely important for their sensitivity to changes in soil quality, since it may provide support for the establishment of rational system management and contribute to the maintenance of sustainable ecosystems. The objective of this study was to evaluate the physical, chemical, and biological soil attributes characteristics from the gully erosion; study the relationship between physical and chemical attributes of soil, vegetation and biological aspects of these environments. The study was conducted in three gully erosion, one under haplic cambissol and two in yellow red oxisol LVA1 and LVA2 located at Lavras, MG. Different environments of gully erosion were evaluated including the ground, middle third without vegetation (TMSV) and middle third with vegetation (TMCV) that were common to the three gully erosion, and other two environments found in gully erosion under LVA2, such as the middle third with eucalyptus (TMEucalipto) and middle third with Candeia (TMCandeia), a native vegetation (VN) close to gully erosion as a reference. Samples of soil were collected in the layer of 0-20 cm, with five replicates, generating 70 samples for analysis physical, chemical and biological. The results indicate that in environments of gully erosion located in south of Minas Gerais are in advanced stage of degradation. Considering the physical attributes, the most affected were the total porosity (VTP), macroporosity, microporosity, soil bulk density (Ds), and the reduction of soil hydraulic conductivity and increased resistance to penetration, contributing more to the erosion processes in this environment. Water erosion has caused sharp decline in soil fertility, expressed by the reduction in the Ca, Mg, K, P and levels of organic matter, and an increase in the levels of Al, H+Al and aluminum saturation (m) in this environments.

---

\*Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva - UFLA (Adviser),  
Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares – UFLA.

Among the biological attributes examined, the microbiological biomass carbon showed reductions of more than 80% in environments TMSV in gully erosion under haplic cambissol and LVA1 and ground under LVA2 in relation to VN in the three gully erosion analyzed. The  $qCO_2$  proved to be an index sensitive to changes in the environment and the highest values were found in ground, caused by excess of water, and the environment TMSV, due to low organic matter and absence of vegetation. Although the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species found in environments of gully erosion, the number of spores had decrease a more than 75%, in the most degraded environments. The results show that the edaphic attributes analyzed were sensitive to changes in the environment of gully erosion and may serve as indicators for monitoring the dynamics of degraded environments by water erosion.

**Key Words:** environmental quality, soil degradation, water erosion.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade ambiental tem merecido destacada atenção. A região Sul de Minas Gerais apresenta um quadro preocupante, com grandes áreas comprometidas por voçorocas. Os solos desta região, além do histórico de uso e manejo inadequados, possuem, geralmente, horizontes A e B rasos e o horizonte C espesso, condições estas que favorecem a ocorrência de grande quantidade de voçorocas na região, diminuindo a capacidade produtiva dos solos (Ferreira, 2005; Oliveira et al., 2006).

O solo, quando utilizado de maneira incorreta e submetido a práticas inadequadas, tais como desmatamento, cultivo intensivo, estradas e mineração, tem seus atributos alterados, caracterizando um estado de degradação.

Segundo Siqueira et al. (2007), a degradação do solo resulta de qualquer interferência no ecossistema que causa perda de qualidade de suas propriedades, caracterizando-se pela redução da capacidade do solo em sustentar a vida dos organismos produtores e consumidores, assim como dos serviços ecológicos, ocasionando declínios sobre a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas. As interferências podem ocorrer tanto nos ecossistemas naturais como nos agrossistemas, sendo resultantes, em muitos casos, de processos naturais. Essas interferências incluem remoção ou substituição da vegetação; perdas da matéria orgânica do solo, da biodiversidade, da atividade de biota e da fertilidade, assim como do estado de agregação do solo, da capacidade de infiltração e armazenagem de água, da ocorrência de fatores tóxicos, como contaminação com metais pesados e da erosão do solo.

Dentre os processos causadores da degradação do solo, destaca-se a erosão hídrica, a qual ocasiona redução da cobertura vegetal, acidificação dos solos, exaustão de nutrientes e diminuição do carbono orgânico e da

biodiversidade, tornando-o inviável para a exploração sócio-econômica e ambiental.

Neste contexto, a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, em ambientes degradados pela erosão hídrica, por meio de seu monitoramento, é de extrema importância pela sua sensibilidade às alterações na qualidade do solo, uma vez que pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas racionais de manejo e contribuir para a manutenção de ecossistemas sustentáveis.

Segundo Doran & Parkin, (1994) citados em Carneiro et al., (2009) a qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo. No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos na qualidade ambiental e produtividade das culturas (Brookes, 1995). Diante disso, a variação desses atributos, determinada pelo manejo e uso do solo, e sua avaliação são importantes para o melhor manejo visando à sustentabilidade do ecossistema.

No entanto, informações a respeito desses indicadores em ambientes de voçorocas são pouco conhecidas, ou inexistentes, sendo necessário de estudos para uma futura relação dos atributos físico-químicos com os indicadores biológicos do solo em ambientes de voçorocas, auxiliando no monitoramento dos ambientes degradados pela erosão hídrica.

Assim sendo, o presente estudo teve como objetivos avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos de diferentes ambientes de voçoroca e estudar as relações entre os atributos analisados com a cobertura vegetal e aspectos biológicos destes ambientes, a fim de gerar informações úteis para um

diagnóstico mais embasado sobre a dinâmica e estágio de desenvolvimento das voçorocas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Impactos da erosão hídrica

Os solos de ambientes degradados pela erosão hídrica, como as voçorocas, constituem um ambiente pouco produtivo, em decorrência da remoção de espessas camadas do solo original, suportando uma vegetação rarefeita e desordenada. Em geral, essa degradação progride, alterando suas características físicas, químicas e biológicas (Melo, 1994).

O uso e o manejo inadequado dos recursos naturais têm provocado, dentre outros efeitos, a degradação dos solos. Esta é definida, segundo Siqueira et al. (1994), como “o declínio da qualidade e da capacidade produtiva do solo causada pelo mau uso do mesmo pelo homem”. A degradação do solo ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, a camada fértil do solo é perdida, removida ou enterrada e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico são alterados, causando profundas mudanças no ecossistema, tornando-se inviável à exploração sócio-econômica, sem comprometer a qualidade ambiental da área (Siqueira et al., 2007).

Segundo Siqueira et al. (2008), os principais processos causadores da degradação do solo são: perdas da matéria orgânica, lixiviação de nutrientes, mudanças na estrutura, porosidade, permeabilidade e densidade do solo, sendo resultantes da erosão hídrica. Todos esses processos degradadores estão associados à deterioração das características e atributos físicos, químicos e biológicos que garantem a boa qualidade do solo.

A erosão é um processo natural de formação da paisagem e rejuvenescimento dos solos. Porém, quando este processo é acelerado em níveis danosos ao ambiente, constitui um grande problema (Pires & Souza, 2003). A erosão acelerada processa-se muito mais rápido que a erosão natural ou geológica, pois é resultado da influência das atividades do homem ou, em alguns



casos, de animais (Curi et al., 1993). Estima-se que, no Brasil, sejam perdidos, anualmente, cerca de 2,5 bilhões de toneladas de solo por processos de erosão hídrica (Corrêa, 2005).

A erosão hídrica do solo é classificada conforme o grau de intensidade e o tipo de erosão: erosão laminar, erosão em sulcos e voçorocas (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). A erosão do tipo laminar é a remoção, ano após ano, de uma fina camada superficial do solo, sendo percebida apenas quando as raízes das plantas ficam expostas. A forma de erosão denominada sulcos ocorre quando a enxurrada se concentra em alguns pontos, abrindo pequenos canais de alguns centímetros de profundidade na superfície do terreno que, finalmente, evoluem para a forma de erosão chamada de voçoroca, que é aquela na qual os sulcos se tornam muito profundos, podendo afetar muitos hectares, deixando a área inviável para o uso, do ponto de vista econômico (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

No Brasil, a erosão hídrica é de maior interesse, por ser de ocorrência mais frequente, processar-se com maior rapidez e causar grandes prejuízos não só ao setor agrícola como também a diversas outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente (Pereira et al., 2003; Pires & Souza, 2003; Corrêa, 2005). Além disso, a maior parte do uso atual dessas terras encontra-se em conflito com sua aptidão agrícola e classes de capacidade de uso da terra (Giarola, 1994; Motta et al., 2001). Dessa forma, o manejo inadequado do solo, sem a adoção de práticas conservacionistas e o aumento intensivo do desmatamento e das queimadas podem aumentar o número de voçorocas, com perdas expressivas de áreas agrícolas anteriormente produtoras de alimentos ou de pastagens (Corrêa, 2005).

A susceptibilidade do solo ao voçorocamento está intimamente ligada à diminuição de espessura do "solum" (Horizonte A e B) no terço inferior da encosta. Nesta região, a erosão é mais intensa e o horizonte C, menos coeso e

com maior erodibilidade, é rapidamente atingido (Resende, 1985; Silva et al., 1993; Ferreira, 2005).

Com o objetivo de identificar atributos indicadores da qualidade do solo em voçorocas no município de Nazareno, MG, Oliveira et al. (2006) observaram que os Cambissolos são os solos mais susceptíveis ao voçorocamento, quando comparados ao Latossolo Vermelho e ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Neste solo, o horizonte C dos solos das voçorocas provém, principalmente, dos materiais de alteração de gnaisse granítico e xisto ferruginoso, sendo altamente susceptível à erosão hídrica, independente dos solos subjacentes. Este resultado também foi observado por Ferreira (2005), em estudo sobre origem, uso da terra e atributos do solo em voçorocas no município de Nazareno, MG.

Em estudo realizado na região de Lavras, MG, Silva (1990) estabeleceu relações de incidência das voçorocas e os diferentes solos ocorrentes na região, buscando avaliar as causas da resistência diferencial dos solos ao voçorocamento. Nesta região, observou-se que os solos provenientes de produto de micaxistos e quartizitos são naturalmente mais susceptíveis ao voçorocamento do que aqueles originados do produto de alteração do gnaisse granítico.

Entre os efeitos negativos recorrentes da erosão hídrica, destacam-se: remoção da camada superficial, reduzindo a camada arável; perda de matéria orgânica; redução da disponibilidade de nutrientes; atividade e diversidade microbiana; menor taxa de infiltração, armazenamento e movimento de água e ar no solo; degradação da estrutura; aumento da sedimentação, etc. Estes efeitos estão diretamente relacionados às funções desempenhadas pelo solo, principalmente no que diz respeito à sua capacidade reguladora da qualidade ambiental e fornecedora de condições adequadas à produtividade do ecossistema de modo sustentado (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Sendo assim, dentre os processos de degradação do solo, o mais importante e de maior ocorrência em Lavras, MG é a erosão hídrica, cujos estágios finais denominam-se voçorocas.

## **2.2 Qualidade do solo**

A qualidade do solo, nos últimos anos, tem merecido atenção, uma vez que sua avaliação pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas racionais de manejo e contribuir para a manutenção de uma produção biológica sustentável.

O solo é um dos mais importantes recursos naturais e deve ser utilizado de forma sustentada e equilibrada que não venha a prejudicar a sua utilização em gerações futuras. A capacidade produtiva do solo e, por sua vez, a sua qualidade, são dependentes das interações dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, revelando-se como promissores parâmetros para o monitoramento da qualidade do solo.

Qualidade do solo é definida, por Doran & Parkin (1994) citado por Cardoso (2008), como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para o desenvolvimento de plantas e de animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e de promover a saúde humana. Segundo estes autores, este conceito torna-se dinâmico em função das características e das 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 possibilita manejá-lo de maneira sustentável.

A qualidade do solo é um atributo inerente ao solo que pode ser avaliada por meio de atributos específicos, os quais servirão como indicadores do grau de alteração e ou reabilitação dos solos sob interferência antrópica drástica ou, até mesmo, natural, como o processo de voçorocamento, sobre o ambiente.

Portanto, buscam-se características indicadoras da funcionalidade plena do solo, as quais seriam empregadas como indicadores da reabilitação de áreas degradadas. Porém, a grande dificuldade no uso desses indicadores é o estabelecimento de critérios de referência para a interpretação dos resultados. Diante disso, dois procedimentos podem ser considerados como os mais apropriados. O primeiro aborda comparações com condições originais (em equilíbrio) e o segundo opera em condições que maximizam a diversidade ou a produtividade primária do solo (Granatstein & Bezdicek, 1992).

Para Islam & Weil (2000), três grupos de atributos para avaliação da qualidade do solo são considerados: o primeiro grupo está relacionado aos atributos denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto espaço de tempo, como temperatura, pH, conteúdo de água, respiração do solo e teores de nutrientes; o segundo abrange atributos denominados intermediários, os quais são alterados com o manejo após alguns anos, como o conteúdo de matéria orgânica, a resistência à penetração e a permeabilidade do solo à água; por último, os atributos permanentes, que não sofrem alterações em curto prazo de tempo, como os componentes mineralógicos, a textura, a profundidade do solo, as camadas de impedimentos e o pedoclima.

Desde a formulação dos conceitos de qualidade do solo, inúmeras linhas de avaliação têm sido propostas, como:

a) a determinação de atributos físicos, uma vez que estes estão relacionados com o desenvolvimento do sistema radicular e com o movimento de água no perfil do solo (Neves et al., 2007);

b) a avaliação da matéria orgânica do solo, que constitui fonte primária de nutrientes às plantas, além de exercer influência em diversos processos que ocorrem no solo (Conceição et al., 2005);

c) a quantificação de microrganismos e processos microbiológicos no solo, por interferirem ativamente nos teores de matéria orgânica, na ciclagem de

nutrientes, no fluxo de energia, na estrutura de agregados e, conseqüentemente, serem sensíveis às mudanças no ambiente solo (Moreira & Siqueira, 2006);

Baseado nisso, a avaliação da qualidade do solo pode ser feita utilizando-se seus atributos físicos, químicos e biológicos, uma vez que o declínio de algum deles, ao longo do tempo, indicará algum erro no sistema de manejo ou no próprio ecossistema, como baixa fertilidade, baixa produção de resíduos orgânicos ou minerais, excesso de revolvimento, erosão acelerada, dentre outros. De modo que a persistência no erro, inevitavelmente, conduzirá a exploração agrícola a uma situação insustentável, do ponto de vista econômico ou ambiental (Mielniczuk, 2008).

### **2.3 Atributos físicos**

Os solos, quando são utilizados de maneira incorreta, com aplicação intensiva de práticas inadequadas, sofrem alterações nos seus atributos físicos originais, acarretando perdas à sua capacidade produtiva (Silva, 2001).

Vários atributos físicos do solo têm sido utilizados para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo ou, até mesmo, como indicadores de qualidade do solo em relação à erosão hídrica. Dentre eles destacam-se: densidade do solo, porosidade total do solo, resistência do solo à penetração e permeabilidade do solo à água (Karlen & Scott, 1994).

Os indicadores físicos da qualidade do solo devem estar relacionados ao arranjo estrutural das partículas sólidas e à porosidade e refletir, limitações no desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, movimento de água no perfil e, conseqüentemente, a potencialidade produtiva. Associados a esses fatores devem revelar alterações estruturais provocadas pela adoção de determinado sistema de manejo, assim como problemas relacionados à compactação, ao encrostamento superficial e à susceptibilidade à erosão.

A densidade do solo é utilizada para avaliar a qualidade da estrutura do solo, estando relacionada ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (Doran & Parkin, 1994) citado por Cardoso (2008), sendo afetada por vários fatores, como sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos à superfície e teor de matéria orgânica do solo (Tormena et al., 2002; Cruz et al., 2003; Spera et al., 2004).

Valores críticos de densidade do solo são relacionados, na literatura, a condições restritivas ao crescimento radicular e à infiltração de água. O limite de  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$  é aceito, de modo geral, para solos argilosos, cujo valor crítico aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo, atingindo valores de até  $1,70 \text{ kg dm}^{-3}$  para solos arenosos (Arshad et al., 1996).

A porosidade do solo depende da composição granulométrica e da estruturação, cujos limites são muitos amplos, porém, valores de macroporos inferiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  podem ser restritivos às trocas gasosas e ao crescimento das raízes da maioria das culturas (Taylor & Ashcroft, 1972).

A permeabilidade do solo à água depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade e do tamanho de poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água (Beutler et al., 2001; Silva et al., 2005).

A resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo e com a redução da umidade, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores, que variam de 1,5 a 3,0 MPa, conforme Grant & Lanfond (1993) e de 2,0 a 4,0 MPa, segundo Arshad et al. (1996).

#### **2.4 Atributos químicos**

A erosão hídrica constitui a principal causa do depauperamento acelerado dos solos. As enxurradas provenientes das águas de chuva que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não se infiltraram, transportam partículas

de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

O P é um nutriente que é perdido principalmente com as partículas coloidais nos quais é adsorvido, enquanto o N, nas formas solúveis de nitritos e nitratos, é perdido em solução pela enxurrada, sem que ocorra qualquer remoção física do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Áreas degradadas apresentam baixos teores de matéria orgânica e elevada deficiência de N; o pH pode ser muito baixo, o que afetará a disponibilidade de vários nutrientes no solo, sendo limitante para o desenvolvimento e o crescimento de espécies vegetais (Siqueira et al., 2008). Em relação aos parâmetros da fertilidade do solo, a redução do pH do solo é acompanhada por um decréscimo da CTC e, geralmente, da porcentagem de saturação por bases (Blosser & Jenny, 1971). Tal fato é mais evidenciado em ambiente de voçoroca, uma vez que as camadas superficial e subsuperficial do solo são removidas, contribuindo para o declínio da fertilidade do solo.

Ferreira (2005), avaliando os atributos químicos do solo em ambiente de voçoroca no município de Nazareno, MG, verificou que os Latossolos Vermelhos-Amarelos se caracterizaram como: distróficos, 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). Enquanto isso, nesta região há predomínio dos Cambissolos que se apresentaram como solos álicos e distróficos, de acidez média, soma de bases (SB) baixa, capacidade de troca de cátions em pH 7,0 baixa, saturação de bases (V) baixa e alta saturação por alumínio (m), o que os torna mais limitantes ao estabelecimento natural da vegetação nas áreas erodidas, em termos de fertilidade natural.

Nesses ambientes degradados pela erosão hídrica, onde a fertilidade do solo é praticamente perdida, a matéria orgânica do solo assume papel importante

e práticas que favoreçam ou incrementem o seu teor no solo devem ser estimuladas.

## **2.5 Atributos biológicos**

O interesse crescente em aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas e os estudos sobre o impacto da erosão hídrica na biomassa e atividade microbiana dos solos são ainda recentes.

A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, sendo a biomassa microbiana e sua atividade apontadas como os atributos mais sensíveis às alterações na qualidade do solo (Jenkinson & Ladd, 1981).

Siqueira et al. (2008) citam que os atributos biológicos são os primeiros a serem afetados por interferências degradadoras, mas o processo de degradação abrange alterações de natureza física e química. Estes autores ressaltam que a degradação não é um processo irreversível e que a recuperação dos atributos biológicos é muito lenta e difícil de ser conseguida. Neste caso, no processo de recuperação, a sequência temporal é inversa, ou seja, primeiro se corrigem os atributos físicos e químicos para, em seguida, recuperar os atributos biológicos funcionais e o tempo para a recuperação sustentada desses atributos pode variar de poucos anos a várias décadas, dependendo do grau de degradação e do esforço nas ações recuperadoras.

As propriedades biológicas e bioquímicas dos solos, tais como a taxa de respiração, carbono prontamente mineralizável, carbono da biomassa microbiana e sua atividade, bem como seu quociente metabólico, relação C microbiano/C orgânico total, além da estimativa do número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, são indicadores que podem ser utilizados para orientar o



planejamento e a avaliação das práticas de manejo do uso do solo (Turco et al., 1994; Santana & Bahia Filho, 1998).

Dessa forma, é extremamente importante a busca de métodos de avaliação da diversidade de microrganismos no solo e também de formas de utilização desses dados como indicadores do estado da qualidade do solo (Zilli et al., 2003).

### **2.5.1 Biomassa microbiana do solo**

A biomassa microbiana é considerada a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, constituída por fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários, algas e microfauna inferior a  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ , excluindo-se raízes e animais (De-Polli & Guerra, 1999; Tótola & Chaer, 2002 citado por Cardoso, 2008).

No Brasil, vários autores têm utilizado a biomassa microbiana como indicativo de qualidade do solo. Mendes et al. (2003), trabalhando em solos do cerrado brasileiro, observaram que o estabelecimento de sistemas de cultivo gerou quebra de macroagregados do solo e diminuição da biomassa microbiana, quando comparado aos valores da vegetação nativa.

Estudos desenvolvidos na região do cerrado, por Matsuoka et al. (2003), demonstraram que a biomassa microbiana, juntamente com outros indicadores biológicos, foi sensível para indicar alterações devido ao uso agrícola com diferentes sistemas de uso.

A fertilidade natural do solo depende significativamente da ciclagem de matéria orgânica que é mediada pela biomassa microbiana do solo. Esta, além de atuar como agente da transformação bioquímica dos compostos orgânicos, é também um reservatório de N, P e S (Wardle, 1992).

O significado ecológico de biomassa tem como destaques, além de armazenador de nutrientes, o de servir como indicador rápido de mudanças no

solo após interferências antrópicas e também sobre a quantidade e a qualidade de material orgânico a ele incorporado (Grisi, 1995 citado por Silveira et al., 2004).

A avaliação do C da biomassa é útil para a compreensão sobre a ciclagem da matéria orgânica e um bom indicador da qualidade do solo, podendo atuar como fonte e dreno de nutrientes por meio da mineralização e imobilização. Além disso, este atributo é influenciado pelo tipo de uso da terra, sendo importantes indicadores da alteração imposta pelo cultivo do solo (De-Polli & Guerra, 1996).

A quantidade de biomassa encontrada no solo é relacionada à quantidade de carbono que este recebe. Ela é favorecida em solos com vegetação, naqueles com teores mais elevados de argila e sob cultivo mínimo e geralmente baixo nos solos cultivados, nos arenosos, degradados pela erosão hídrica, por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas e metais pesados (Roscoe et al., 2006; Moreira & Siqueira, 2006).

Estudos realizados por Carneiro (2000), em Poços de Caldas, MG, demonstraram que, em área recém-minerada, houve redução acentuada do C da biomassa microbiana de  $60 \text{ mg C kg}^{-1}$ , enquanto na vegetação nativa de serra este valor foi de  $1.600 \text{ mg C kg}^{-1}$ .

A vegetação influencia diferentemente a biomassa microbiana e, por isso, a eliminação desta ocasiona uma drástica queda do carbono da biomassa, como revelam estudos envolvendo desmatamentos (Cerri et al., 1985; Pfenning et al., 1992). Em São Paulo, foram registradas reduções de 44%, 61% e 75% e de 64%, 93% e 76%, no carbono e no nitrogênio da biomassa microbiana, respectivamente, em solos sob pastagem, cana-de-açúcar e eucalipto, quando comparados com solo sob vegetação nativa adjacente (Campos, 1998). As reduções da biomassa encontradas nessas áreas estão relacionadas às modificações causadas na estrutura do solo, bem como na quantidade e na qualidade da matéria orgânica do solo, que sofre nítida modificação com a

substituição da vegetação nativa por outras culturas. Como a avaliação da biomassa microbiana é relativamente rápida, quando comparada à avaliação direta da produtividade vegetal, ela pode ter enorme aplicação na avaliação de ambientes degradados pela erosão hídrica.

Geralmente, observa-se maior sensibilidade da biomassa microbiana a mudanças iniciais do conteúdo de carbono, sendo a relação  $C_{\text{microbiano}}/C_{\text{orgânico}}$  um índice indicativo das alterações em ecossistemas com interferência antrópica (Insan & Domsch, 1988). Portanto, as medidas baseadas na biomassa microbiana do solo apresentam potencial de utilização como indicadores ecológicos do impacto das práticas de manejo agrícola (De-Polli & Guerra, 1996; Melloni et al., 2004; Melloni, 2007; Carneiro et al., 2008; Carneiro et al., 2009).

Apesar de existir pouca informação sobre a composição ou a diversidade da biomassa microbiana, áreas com erosão hídrica do tipo voçorocas podem ser recuperadas e avaliadas comparando-se algumas características, como a biomassa microbiana e a respiração do solo, entre outros ambientes também degradados, como no caso de áreas mineradas e áreas controle ou referência, com a finalidade de monitorar o processo erosivo (Sawada, 1996 citado por Carneiro et al., 2008). No entanto, pouco se conhece a respeito da biomassa microbiana e sua atividade em áreas degradadas por erosão hídrica do tipo voçorocas no Brasil.

### **2.5.2 Respiração do solo**

A atividade heterotrófica da biomassa, representada pela respiração do solo, é um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono do solo e de distúrbios no ecossistema (Paul et al., 1999). A respiração reflete a atividade biológica do solo, definida pela produção de  $\text{CO}_2$  ou consumo de  $\text{O}_2$  como resultado de processos metabólicos dos organismos do

solo, representando um sensível indicador microbiológico das alterações ocorridas no solo como a adição de resíduos de plantas e animais, manejo e poluição do solo (Parkin et al., 1996 citado por Silveira et al., 2004; Gama-Rodrigues et al., 2005).

A respiração representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo que, portanto, utilizam  $O_2$  como aceptor final de elétrons, até  $CO_2$  (Moreira & Siqueira, 2006). Este é um dos parâmetros mais antigos e ainda mais frequentemente utilizado para quantificar a atividade microbiana do solo (Kieft & Rosacker, 1991). Entretanto, a interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser realizada com cautela, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, ou seja, alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (Parkin et al., 1996 citado por Silveira et al., 2004). Portanto, conforme Islam & Weil (2000), taxas de respiração mais elevadas podem indicar tanto um distúrbio como um alto nível de produtividade do ecossistema, devendo ser analisada em cada contexto. Sua relação com outros parâmetros microbiológicos, como o C-orgânico e o C-microbiano, é mais adequada para a interpretação de fenômenos que estejam ocorrendo na comunidade microbiana (Pettermann et al., 2006).

### **2.5.3 Quociente metabólico**

A determinação do quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que expressa a relação entre quantidade de  $CO_2$  produzido por unidade de carbono da biomassa microbiana por unidade de tempo, permite a identificação dos solos que contêm biomassa mais eficiente na utilização de carbono/energia (menor  $qCO_2$ ), os quais refletem ambientes com menor grau de distúrbio ou estresse (Anderson & Domsch, 1993).

Este parâmetro tem se mostrado como um indicador mais sensível que os valores de respiração e biomassa isoladamente. As mudanças no quociente metabólico refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do carbono do solo e a estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo (Sparling, 1992). À medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada no tecido microbiano.

Maiores valores são encontrados em condições adversas à população microbiana, ou seja, nos locais em que se gasta mais C oxidável para a sua manutenção. Em estudo realizado por Dias-Júnior et al. (1998), em solo contaminado com metais pesados, houve grande redução na biomassa microbiana, densidade de fungos e bactérias e na atividade enzimática e elevação do  $qCO_2$  em relação ao solo adjacente sem contaminação. Neste caso, os valores de  $qCO_2$  relacionaram-se positivamente com os teores de metais pesados no solo, confirmando a situação de estresse imposta pelo excesso de metais pesados aos microrganismos do solo que, embora em menor quantidade, consomem mais energia para a sua manutenção, tornando-se um bom indicador para avaliar a contaminação do solo.

Outra relação também importante é a razão entre C microbiano e C orgânico total ( $C_{mic}/C_{org}$ ), que reflete quanto do C orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (Anderson & Domsch, 1993). De acordo com Sparling (1992), pode-se monitorar a dinâmica da matéria orgânica do solo utilizando-se desta razão ( $C_{mic}/C_{org}$ ). Segundo Brookes (1995), a relação C da biomassa e C orgânico total pode ser utilizada como um indicador preliminar das alterações do solo.

#### **2.5.4 Enzimas do solo**

As enzimas do solo são de extrema importância para a funcionalidade do ecossistema, pois catalisam inúmeras reações necessárias para a manutenção da atividade microbiana, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo (Nannipieri et al., 1990; Dick et al., 1996).

Segundo Moreira & Siqueira (2006), devido à elevada sensibilidade das enzimas às alterações impostas no solo, estas despertam grande interesse no diagnóstico do impacto de ações antrópicas e no monitoramento de recuperação de áreas degradadas, sendo consideradas boas indicadoras da qualidade do solo, indicando o grau de reabilitação de áreas impactadas.

Dick (1994) cita, ainda, que, em função de sua participação nos processos biológicos e bioquímicos fundamentais para a manutenção da sustentabilidade e funcionalidade do ecossistema, atualmente as enzimas do solo têm sido sugeridas como potenciais indicadores biológicos da qualidade de solo.

A atividade enzimática pode indicar alterações sobre processos metabólicos específicos e, juntamente com outros atributos do solo, pode contribuir para uma melhor compreensão do efeito de práticas de cultivo, de fatores ambientais sobre atividade microbiana do solo (Nannipieri, 1994), como estratificador de ambientes, no monitoramento das alterações devido a fatores antropogênicos, como poluição provocada por metais pesados (Chander & Brookes, 1991), solos que sofreram mineração e foram reabilitados (Kiss et al., 1993). Informações quanto à atividade enzimática em solos degradados pela erosão hídrica são de extrema importância.

A fosfatase participa do ciclo do fósforo, promovendo a liberação do P na forma iônica ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), que é utilizado pelas plantas e microrganismos. Esta catalisa a hidrólise dos ésteres de fosfato e é uma enzima relativamente de larga especificidade, capaz de agir com um grande número de diferentes substratos,

mas com taxas (velocidades) diferentes (Eivazi & Tabatabai, 1977). A atividade desta enzima é mais expressiva em ambientes de baixos teores de P no solo ou naqueles ambientes em que a presença de fósforo inorgânico é mais acentuada que a do fósforo orgânico (Moreira & Siqueira, 2006).

Garcia & Hernandez (1997) verificaram, em área degradada pela erosão na Espanha, que a fosfatase, a urease e a  $\beta$ -glicosidase foram as enzimas mais afetadas. Atividade da fosfatase foi de 33,13  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$  na área erodida, enquanto os valores na área não perturbada e reflorestada foram de 127 e 425  $\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , respectivamente.

Em solos de mineração de manganês, Kiss et al. (1993) verificaram que a atividade enzimática da fosfatase foi reduzida em 28% em relação a uma área adjacente não minerada.

Atualmente, a maioria dos trabalhos envolvendo informações quanto à atividade enzimática refere-se a diferentes sistemas de manejo e adição de material orgânico no solo (Mendes et al., 2003; Matsuoka et al., 2003; Santos et al., 2009). Para situação de voçorocamento, poucos são encontrados.

### **2.5.5 Fungos micorrízicos arbusculares**

Um grupo de microrganismos que pode estar diretamente envolvido na reabilitação de solos degradados é aquele formado por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (Stürmer & Siqueira, 2008). Estes fungos pertencem ao Filo Glomeromycota e são identificadas, atualmente, cerca de 160 espécies, conforme International Culture Collection of Vesicular and Arbuscular Mycorrhizal Fungi, INVAM (2000).

As associações simbióticas mutualísticas formadas entre esses fungos do solo e as raízes da maioria das espécies vegetais vasculares são conhecidas como micorrizas arbusculares (MAs). Estas associações exercem efeitos fisiológicos e nutricionais marcantes sobre a planta hospedeira. O fungo é responsável pelo

aumento da capacidade de absorção e transferência de nutrientes minerais do solo à planta, aumentando a capacidade delas de sobreviver em condições adversas ou subótimas de fertilidade do solo e competição entre plantas no processo de sucessão. Os FMAs apresentam grande potencialidade de utilização como indicadores da qualidade do solo (Visser & Parkinson, 1992; Turco et al., 1994) e, devido à participação nos ciclos biogeoquímicos, otimização da utilização de nutrientes pelas plantas, contribuição ao processo de agregação e sustentabilidade do solo, apresentam grande potencial de serem também utilizados na avaliação da reabilitação de solos degradados (Siqueira et al., 2007).

Segundo Doran & Zeiss (2000), esses microrganismos podem ser considerados indicadores eficientes da reabilitação desses solos devido à sensibilidade a perturbações antropogênicas e à boa relação com as funções benéficas do solo, constituindo excelentes ferramentas de compreensão dos processos que ocorrerem nesses ecossistemas degradados.

Os FMAs são de ocorrência generalizada, fato que sugere o importante papel desempenhado no desenvolvimento e na manutenção das comunidades vegetais (Colozzi Filho & Balota, 1994). De acordo com Siqueira et al. (2007), os efeitos nutricionais são os mais evidentes e consistentes e determinam o caráter biofertilizante dos FMAs que resulta, principalmente, da ação direta do fungo na absorção e na utilização de nutrientes e indireta na fixação biológica de nitrogênio, na mineralização e ou na solubilização de nutrientes da rizosfera e nutrição balanceada.

Os benefícios dos FMAs podem também resultar de efeitos adicionais à melhoria nutricional, considerados secundários, ou da melhoria nutricional, como a ação biorreguladora, a qual se relaciona com a produção de substâncias estimulantes de crescimento, melhoria na relação água-planta e alterações bioquímicas e fisiológicas (Moreira & Siqueira, 2006).



Os FMAs têm também papel biocontrolador quando reduzem a severidade ou amenizam os danos causados por patógenos, atenuam os danos causados por estresses abióticos e promovem a melhoria na agregação do solo. Todos esses benefícios são importantes para a recuperação de áreas degradadas, sendo sua magnitude determinada por uma série de fatores do sistema ambiente-planta-microrganismos (Siqueira et al., 2007).

Segundo Moreira & Siqueira (2006), o sistema de uso da terra exerce grande influência nos FMAs e várias mudanças impostas no ecossistema pelo homem reduzem o desenvolvimento das micorrizas arbusculares (MAs) em até 80%, o que leva a consequências sérias para a sustentabilidade dos ecossistemas. Nessas situações, há uma redução considerável no número de propágulos viáveis, na germinação dos esporos e no crescimento de hifas, afetando sua persistência, sobrevivência e diversidade desses em áreas degradadas (Brundrett, 1991).

A ausência de vegetação e a erosão acentuada do solo, como evidenciado em ambiente de voçorocas, podem reduzir ou eliminar as MAs, uma vez que esses organismos são biotróficos obrigatórios e, por isso, dependem do fornecimento de fotoassimilados das raízes para completar seu ciclo de vida e produzir novos propágulos (Moreira & Siqueira, 2006).

Segundo Miller & Jastrow (1992) citado por Siqueira et al. (2007), várias espécies de FMAs têm sido encontradas nas mais diversas situações de áreas degradadas, o que evidencia a alta capacidade de adaptação desses micossimbiontes às condições adversas. Esta evidência é de extrema importância, principalmente no processo de estabilização de solos degradados pela erosão hídrica (Miller & Jastrow, 2000 citado por Siqueira et al., 2007).

Segundo Allen (1989) citado por Siqueira et al. (2007), os FMAs, geralmente, são encontrados em solos e plantas de áreas degradadas. Porém, o número de propágulos viáveis é normalmente muito baixo, havendo a

necessidade de introduzir plantas hospedeiras capazes de multiplicar os FMAs existentes ou introduzir também propágulos infectivos de isolados selecionados para garantir a recuperação dessa comunidade na área, tendo em vista tratar-se de um componente essencial para a biorrecuperação de ambientes degradados. Esse processo tem, então, forte relação com a sucessão vegetal e a estabilização biológica, facilitando a recuperação do solo e a reabilitação do ecossistema.

Em estudo realizado por Caldas et al. (2004), comparando áreas degradadas e não degradadas, no sul de Minas Gerais, verificou-se que o atributo número de esporos de fungos FMAs foi considerado bom indicador da qualidade do solo, apesar de o número nas áreas degradadas ser quase 2,5 vezes superior àquele obtido nas não degradadas. Isso demonstra que muitos estresses ambientais podem estimular a esporulação de diferentes espécies de FMAs.

A avaliação da ocorrência dos FMAs em ambientes degradados pela erosão hídrica representa uma ferramenta para avaliação do grau de perturbação do solo. Sua identificação nesses ambientes pode ser útil para futuros estudos sobre os efeitos em plantas hospedeiras, devido à adaptabilidade desses fungos indígenas em locais que sofreram algum tipo de perturbação.

De acordo com Melloni (2007), todos os métodos biológicos apresentam vantagens e deficiências, recomendando-se que sejam utilizados em conjunto com outros atributos físicos e químicos, já que a funcionalidade e a sustentabilidade dos diversos sistemas são governadas pela interação desses atributos.

Como visto, informações a respeito das atividades desses indicadores microbiológicos do solo em ambientes de voçorocas são pouco conhecidas, ou inexistentes, sendo necessários estudos para uma futura correlação dos atributos físico-químicos com os indicadores biológicos do solo em ambientes de voçorocas, o que poderá auxiliar no controle, na estabilização e na recuperação desses processos erosivos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em três voçorocas localizadas no município de Lavras, MG. O clima da região é do tipo Cwa de Köppen (Brasil, 1992), com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1.530 mm. No período da coleta dos solos, realizada no mês de agosto de 2008, a variação de temperatura foi de 10 a 33,8 °C com temperatura média no período de 28 °C e precipitação média de 14 mm.

Os dados foram coletados em diferentes ambientes das voçorocas, sendo uma sob Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXBd) A moderado, de textura arenosa e duas sob Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd) A moderado, de textura argilosa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, 2006).

As voçorocas foram escolhidas em função da representatividade desses solos na região citada e pela localização delas na paisagem, quanto à proximidade de ambientes naturais, como no caso da voçoroca sob Cambissolo, localizada na encosta de uma serra e também por influência da área urbana e rural, como no caso das voçorocas sob Latossolo Vermelho-Amarelo1 (LVA1) e Latossolo Vermelho-Amarelo2 (LVA2), respectivamente.

Na voçoroca sob Cambissolo Háplico, a vegetação nativa foi classificada como Cerrado *sensu lato* com predomínio de vegetação típica gramíneo-arbustiva, enquanto nas voçorocas sob LVA1 e LVA2, a vegetação predominante é a de Floresta Estacional Semidecidual e alguns trechos sob influência de Cerrado.

O estudo consistiu na avaliação do solo de diferentes ambientes das voçorocas (leito, terço médio sem vegetação (TMSV), terço médio com vegetação (TMCV) que foram comuns às três voçorocas, além de uma vegetação nativa (VN) localizada mais próximo às voçorocas como referência. Na voçoroca LVA2 realizou-se amostragem de solo em locais em que foram

implantados vegetação exótica com eucalipto e candeia com intuito de minimizar o processo erosivo desta voçoroca, sendo estes ambientes denominados como terço médio com Eucalipto (TMEucalipto) e terço médio com Candeia (TMCandeia). A descrição e a caracterização dos ambientes de coleta nas três voçorocas são apresentadas na TABELA 1 e TABELA 1A.

TABELA 1 Descrição e caracterização dos ambientes de estudo localizados nas voçorocas no município de Lavras, MG

Ambiente <sup>1</sup>	Descrição
<b>Cambissolo Háplico</b>	
VN	A vegetação nativa é classificada como Cerrado ( <i>sensu lato</i> ), com predomínio de vegetação típica gramíneo-arbustiva e ocorrência de sinais de queimada com porções de solo exposto. (21°23'18" S e 45°4'36" WGr).
TMCV	Predomínio de espécies típicas dos estágios iniciais da sucessão, como <i>Gleichenia</i> sp. e <i>Melinis minutiflora</i> , dentre outras espécies da família Poaceae, recobrando aproximadamente 90% da área total. O restante da área possui espécies típicas do Cerrado do entorno e espécies de ocupação generalista. As espécies predominantes são <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Eremanthus glomerulatus</i> , <i>Miconia</i> spp., <i>Tibouchina</i> sp., ocorrendo também, em menor proporção, as espécies <i>Vochysia thyrsoidea</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lychnophora ericoides</i> , <i>Baccharis trimera</i> , <i>Myrsine umbellata</i> , <i>Rudgea viburnoides</i> , <i>Palicourea rigida</i> , <i>Schefflera macrocarpa</i> , <i>Acosmium dasycarpum</i> , <i>Machaerium</i> sp., <i>Erythroxylum</i> sp. e <i>Zeyheria montana</i> . Esta porção da voçoroca pode ser considerada também como terço úmido (21°23'55" S e 45°4'18" WGr).
TMSV	Sem vegetação no talude, muito seco, bastante siltoso (21°24'6" S e 45°4'22" WGr).
Leito	Ambiente pedregoso e seco. Predomínio de vegetação herbácea com espécies da família Poaceae, como <i>Melinis minutiflora</i> (aproximadamente 90% da área), sendo o restante da área ocupado, principalmente, pelas espécies de Cerrado e outras de ocupação generalista. As espécies dominantes são <i>Gleichenia</i> sp., <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Myrsine umbellata</i> , <i>Vochysia thyrsoidea</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Tibouchina</i> sp., <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lithraea molleoides</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Tapirira guianensis</i> , <i>Miconia albicans</i> , <i>Acosmium dasycarpum</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Annona coriácea</i> e <i>Eremanthus glomerulatus</i> (21°24'9" S e 45°4'48" WGr).

Continua...

TABELA 1, Cont.

<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 1</b>	
VN	A vegetação nativa é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (fitofisionomia do Domínio de Mata Atlântica), com alguns elementos de Cerrado, com ocorrência de apenas dois estratos florestais: estrato arbustivo (predominante) e estrato arbóreo superior, com poucas espécies emergentes, denotando perturbação de origem antrópica recente (21°23'20'' S e 45°6'54'' WGr).
TMCV	Predomínio de vegetação herbáceo-arbustivo, com ocorrência de espécies de Floresta Estacional Semidecidual, com alguns elementos de Cerrado. Ocorrência predominante das espécies da família Melastomeaceae (gêneros <i>Miconia</i> e <i>Tibouchina</i> ), <i>Tapirira guianensis</i> , <i>Protium spruceanum</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Rudgea viburnoides</i> , <i>Ocotea pulchella</i> , <i>Piper</i> sp., <i>Lamanonia ternata</i> <i>Lithraea molleoides</i> e <i>Stryphnodendron adstringens</i> . Ocorrência da espécie <i>Gleichenia</i> sp. em alguns trechos. Região úmida (21°23'48'' S e 45°6'28'' WGr).
TMSV	Presença de poucos arbustos, distribuídos aleatoriamente na área, com pouca vegetação herbácea. Solo com baixa umidade (21°24'4'' S e 45°6'26'' WGr).
Leito	Predomínio de vegetação herbácea, representada, em sua maior parte (aproximadamente 95% da área), pela espécie <i>Andropogon</i> sp. A área está representada por espécies representativas de Floresta Estacional Semidecidual, com elementos de Cerrado, como é notado pela presença da espécie <i>Stryphnodendron adstringens</i> . O estrato inferior é constituído por espécies em regeneração e de arbustos (restante da área), representado, principalmente, pelas espécies <i>Tibouchina</i> sp., <i>Gleichenia</i> sp., espécies da família Bromeliaceae e Asteraceae, <i>Baccharis trimera</i> e <i>Lithraea molleoides</i> . Neste local existem pequenas áreas com solo exposto e área com afloramento de lençol freático (brejo) com predomínio das espécies <i>Andropogon</i> , <i>Tibouchina</i> sp. (em regeneração) e espécies da família Araceae. (21°23'59'' S e 45°6'53'' WGr).

Continua...

TABELA 1, Cont.

<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 2</b>	
VN	A vegetação nativa é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (fitofisionomia do Domínio de Mata Atlântica), com alguns elementos de Cerrado, como <i>Zeyheria tuberculosa</i> e <i>Caryocar brasiliense</i> , em estágio inicial de sucessão. A borda da cota superior da voçoroca possui estrato herbáceo e arbustivo incipiente, com indivíduos arbóreos exóticos, como <i>Eucalyptus</i> sp. Na borda da cota inferior da voçoroca predomina a formação de Floresta Estacional Semidecidual em estágio mais avançado de sucessão, com predomínio de espécies arbóreas típicas desta formação. (21°20'43" S e 45°12'43" WGr).
TMCV	Predomínio da espécie <i>Brachiaria decumbens</i> e espécies representantes da Floresta Estacional Semidecidual (fitofisionomia do Domínio de Vegetação nativa Atlântica), com alguns elementos de Cerrado. As espécies predominantes são <i>Anadenanthera colubrina</i> , <i>Dipteryx alata</i> , <i>Bambusa</i> sp., <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Casuarina</i> sp., <i>Miconia albicans</i> , <i>Tibouchina</i> sp., <i>Gleichenia</i> sp., <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Lithraea molleoides</i> , <i>Stripnodendron adstringens</i> , <i>Rudgea viburnoides</i> , <i>Myrcia splendens</i> e <i>Myrciaria</i> sp. Nitidamente pode ser observado um gradiente sucessional ao longo desta porção da voçoroca, com porções de solo exposto, porção com ocupação por espécies arbóreas exóticas ( <i>Eucalyptus</i> sp. e <i>Casuarina</i> sp.) e herbácea exótica ( <i>Brachiaria decumbens</i> ) (21°31'9" S e 45°2'41" WGr).
TMSV	Solo praticamente desnudo, bastante erodido, vegetação muito esparsa (21°24'00" S e 45°12'37" WGr).
TMEucalipto	Presença predominante de <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Gleichenia</i> sp. e <i>Miconia</i> sp., com alguns indivíduos de <i>Eremanthus incanus</i> e <i>Lithraea molleoides</i> com vegetação herbácea incipiente. Área muito declivosa (21°21'31" S e 45°12'34" WGr).
TMCandeia	Presença dominante da espécie <i>Eremanthus incanus</i> , com vegetação herbácea incipiente. Área declivosa (21°21'28" S e 45°13'5" WGr).
Leito	Predomínio de vegetação herbácea com ocorrência de <i>Gleichenia</i> sp. em sua maior parte (aproximadamente 95% da área) e ocorrência de <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Casearia arborea</i> , <i>Eremanthus incanus</i> , <i>Miconia albicans</i> e <i>Bambusa</i> sp. Ocorrência de vestígios de gado e fogo, porém, com poucas áreas de solo exposto. Área com elevada umidade (21°22'19" S e 45°12'58" WGr).

<sup>1</sup> VN: vegetação nativa; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia e leito da voçoroca.

Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas, na profundidade de 0-20 cm, distanciadas em 10 m uma da outra, de modo a representar todo o ambiente de voçoroca. Em cada ponto, foram retiradas seis amostras simples, para formar uma amostra composta. A coleta foi realizada em quatorze ambientes das três voçorocas, sendo quatro nas voçorocas sob Cambissolo e na de Latossolo Vermelho-Amarelo 1 e seis ambientes na voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 2, com cinco repetições, totalizando setenta amostras.

As amostras deformadas foram coletadas com trado holandês, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de diâmetro; as amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o uso do amostrador de Uhland, sendo os cilindros de alumínio de dimensões médias de 8,25 cm de altura e 6,96 cm de diâmetro interno.

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965) citado por Cardoso (2008), com emprego de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação rápida (12.000 rpm), durante 10 minutos.

A densidade do solo foi determinada conforme Blake & Hartge (1986a) e a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, segundo Blake & Hartge (1986b).

O volume total de poros foi determinado segundo expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986) citado por Cardoso (2008) e a distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se unidade de sucção, com 60 cm de altura de coluna de água, para separação de macro e microporos. O volume de água retido nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (Grohmann, 1960; Oliveira, 1968 citado por Cardoso, 2008).

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima et al. (1990), com o uso de amostras indeformadas saturadas previamente por capilaridade. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor estabilizado após três leituras iguais.

A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando-se o penetrômetro de impacto (mod. IAA/Planalsucar - Stoff), segundo metodologia preconizada por Stolf et al. (1983) e Stolf (1991). Os valores obtidos em  $\text{kgf cm}^2$  foram multiplicados pelo fator 0,098, para expressar os resultados em MPa.

A umidade gravimétrica inicial do solo no momento do teste de resistência à penetração foi determinada pelo método da estufa.

Agregados com diâmetro de 4,76 a 7,93 mm foram obtidos por peneiramento do solo, sendo a análise de estabilidade determinada por meio de peneiramento em água após pré-umedecimento lento por capilaridade (Kemper & Rosenau, 1986 citado por Silva, 2000).

Foram utilizadas peneiras de malhas correspondentes a 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,105 mm, para separação das classes de tamanho dos agregados. O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado utilizando-se a expressão:

$$\text{DMG} = \exp [\Sigma(w_i * \text{Ln } x_m) / \Sigma w_i],$$

em que

DMG: diâmetro médio geométrico (mm);

$w_i$ : massa dos agregados de cada classe de tamanho (g);

$\text{Ln}x_m$ : logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho;

$\Sigma w_i$ : massa total da amostra (g).



Na caracterização química, as amostras foram analisadas conforme metodologia descrita a seguir: pH em água na relação 1:2,5; Ca, Mg e Al trocável, extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e analisados por titulometria (EMBRAPA, 1997); P e K extraídos pelo método Mehlich 1 e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Vettori, 1969) e S por turbidimetria (Blanchar et al., 1965).

A partir desses resultados, foram calculados a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), o índice de saturação por base (V) e o índice de saturação por alumínio trocável (m).

Na determinação das análises biológicas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e calor excessivo até a chegada ao laboratório. Lá foram peneiradas (2 mm) e acondicionadas em sacos plásticos com suspiros e mantidas sob refrigeração (4°C), até a realização das análises.

Avaliou-se o carbono da biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987) cujo princípio básico é a extração do carbono microbiano e lise celular pelo ataque do clorofórmio e liberação dos constituintes celulares. Para isso, amostras de 20 g de solo (peso fresco) foram fumigadas com 25 mL de clorofórmio livre de etanol sob vácuo de aproximadamente 600 mm de Hg, por 2 minutos, após o início da ebulição em “dessecador úmido”, permanecendo 24 horas em contato com o vapor deste fumigante, em local escuro e à temperatura de 27±2°C.

Amostras não fumigadas, também contendo 20 g de solo, foram deixadas em condições semelhantes às aquelas fumigadas, por 24 horas.

O carbono foi extraído desse solo utilizando-se 100 mL de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 mol L<sup>-1</sup>) após agitação de 45 minutos e filtragem em papel filtro Whatman n° 42. Após esse período, os frascos foram abertos na capela de exaustão, esperando-se ±40 minutos para a evaporação do clorofórmio. A partir do extrato,

foi feita digestão transferindo-se alíquota de 8 mL, adicionando-se 2 mL de  $K_2Cr_2O_7$  ( $66,7 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e 15 mL da mistura de duas partes de ácido sulfúrico P.A. ( $H_2SO_4$ ) e uma parte de ácido fosfórico P.A. ( $H_3PO_4$ ). Essa mistura foi aquecida em bloco digestor, a  $200^\circ\text{C}$ , durante três minutos ou até o surgimento das primeiras bolhas de fervura. Foi transferido um volume dos tubos para erlenmeyer de 125 mL, lavando-os com duas porções de 5 mL de água destilada.

O excesso de  $K_2Cr_2O_7$  foi determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal ( $33,3 \text{ mmol L}^{-1}$ ) em  $H_2SO_4$  ( $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ ), utilizando-se difenilamina como indicador até a mudança de cor azul para a cor verde. Foram realizadas amostras controles, em que o extrato é somente  $K_2SO_4$ , evitando-se, assim, interferências dos reagentes.

O cálculo de carbono no solo foi feito utilizando-se a seguinte fórmula:

Concentração de carbono no extrator ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ):

$$= ((H-S) \times (M \times D/A) \times E \times 1000)$$

em que

H = volume (mL) branco;

S = volume (mL) solução sulfato ferroso amoniacal consumido pela amostra;

M = molaridade do dicromato consumido;

D = volume (mL) do dicromato adicionado à mistura;

A = volume (mL) da alíquota do extrato;

E = conversão de  $Cr^{+6}$  para  $Cr^{+3}$ ;

Concentração de C no solo ( $\mu\text{g g solo}^{-1}$ )

$$= C (\mu\text{g / mL}) \times (K / (DW+W))$$

em que

K = volume de extração;

DW = peso seco do solo;

W = % de água;

Biomassa de carbono no solo ( $\mu\text{g g solo}^{-1}$ )

$$\text{BM-C} = (\text{CF} - \text{CNF}) / \text{Kec}$$

em que

CF = carbono extraído da amostra fumigada;

CNF = carbono extraído da amostra não fumigada;

Kec = fator de correção 0,30, proposto por Feigl et al. (1995), específico para solos tropicais.

A respiração basal foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) liberado pelo processo de respiração microbiana durante três dias de incubação. Para isso, pesaram-se 25 g de solo, que foram colocados em um pote de plástico com capacidade para 1,5 L, juntamente com um frasco de vidro com 25 mL de NaOH 1 mol  $\text{L}^{-1}$  para capturar o  $\text{CO}_2$  liberado.

Após o período de incubação de três dias, adicionou-se solução aquosa de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$  0,5M) à solução, para que ocorresse precipitação do carbonato e titulou-se, com HCl, 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ , utilizando fenolftaleína (1%) como indicador, conforme metodologia descrita por Isermeyer (1952) citado por Alef & Nannipieri (1995). O cálculo da respiração pelo método de titulação com captura de  $\text{CO}_2$  por NaOH é o seguinte:

$$\text{CO}_2 (\text{mg.kg}^{-1} \text{de solo seco}) = \frac{(\text{Vb}-\text{Va}) \times 1.1 \times 1000}{\text{PSS}}$$

**PSS**

Vb = volume do HCl (mL) gasto na titulação do NaOH do controle;

Va = volume do HCl (mL) gasto na titulação do NaOH da amostra;

1,1 = fator de conversão (1 mL de NaOH 0,05M=1mg de  $\text{CO}_2$ )

PSS = peso seco de 1 g do solo

A determinação do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi obtida pela relação calculada entre atividade microbiana (respiração) e C da biomassa microbiana e expressa em quantidade de  $CO_2$  por carbono a biomassa por tempo (Anderson & Domsch, 1993), expresso em  $\mu g CO_2 g Cmic^{-1} h^{-1}$ .

A avaliação da atividade da fosfatase ácida foi baseada na leitura em espectrofotômetro do  $\rho$ -nitrofenol resultante da atividade enzimática da fosfatase ácida, conforme descrito em Dick et al. (1996). A 1 g de solo foram adicionadas as seguintes soluções: 0,2 mL de tolueno, 4 mL de tampão (pH 6,5) e 1 mL de  $\rho$ -nitrofenol-fosfato (PNF:  $0,05 mol L^{-1}$ ). A mistura foi colocada em banho-maria ( $37^\circ C$ ) por um período de uma hora e, após este período, a reação foi interrompida para a adição de 1 mL de  $CaCl_2$  ( $0,5 mol L^{-1}$ ) e 4 mL de NaOH ( $0,5 mol L^{-1}$ ), agitando-se a solução por alguns segundos e filtrando em papel de filtro Whatman nº 42. A solução adquiriu coloração amarelada e a leitura foi feita em espectrofotômetro, a 410 nm. As amostras controle seguiram o mesmo procedimento, exceto para a adição de PNF, que só foi colocado após a adição do  $CaCl_2$  e do NaOH. A concentração foi obtida por meio da leitura em soluções de concentração 0; 10; 20; 30; 40 e  $50 \mu g L^{-1}$  de  $\rho$ -nitrofenol e o resultado foi expresso em  $\mu g$  de  $\rho$ -nitrofenol por grama de solo seco por hora.

A ocorrência de FMAs foi avaliada em amostras de  $50 cm^3$  de solo, por contagem de esporos, por meio de peneiramento úmido e centrifugação em solução de sacarose (Gerdemann & Nicolson, 1963), realizando-se a contagem em microscópio estereoscópico com aumento em até 40 vezes. As fontes de variação foram os ambientes de cada voçoroca, tendo cada classe de solo sido analisada separadamente.

Dentre os atributos analisados, com exceção da contagem de esporos de FMAs e atividade da fosfatase, todas as análises biológicas foram analisadas em triplicatas. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Scott-Knott, 5%), pelo programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000).

Posteriormente, os atributos analisados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), com o auxílio do programa CANOCO versão 4.0 (Ter Braak & Smilauer, 1998).

Apesar de a ACP apresentar limitação na ordenação dos atributos analisados, por requerer variáveis de distribuição normal, ela sintetiza, consistentemente, as variáveis a componentes principais, produzindo a ordenação dos atributos. A matriz analisada pela ACP conteve as variáveis envolvendo atributos químicos, físicos e biológicos dos solos, tais como pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB (soma de bases trocáveis), t (capacidade de troca catiônica efetiva), T (capacidade de troca catiônica a pH 7,0), V (índice de saturação de bases), MO (matéria orgânica), P-Rem (fósforo remanescente), Ds (densidade do solo), Ks (condutividade hidráulica do solo), VTP (volume total de poros), Ma (macroporosidade), DMG (diâmetro médio geométrico) e CBM (carbono da biomassa microbiana), RB (respiração basal),  $qCO_2$  (quociente metabólico), FMAs (fungos micorrízicos arbusculares) e atividade da fosfatase, respectivamente. As variáveis V, MO e m foram transformadas pela expressão arco-seno (raiz (x)), já que se trata de dados proporcionais (McCune & Mefford, 1997). Para diminuir a discrepância entre os dados, os valores quantitativos foram logaritimizadas ( $\log_{10}(x+1)$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos

#### 4.1.1 Caracterização granulométrica dos solos

A composição granulométrica dos solos dos diferentes ambientes das voçorocas é apresentada na TABELA 2. Na voçoroca sob Cambissolo Háplico, em função da remoção da camada superficial do solo, horizonte A e B incipiente pelo processo erosivo, materiais de granulométrica menores que a fração areia foram removidos, predominando a classe textural arenosa nos ambientes TMCV, TMSV e leito da voçoroca, exceto no ambiente de vegetação nativa, onde foi encontrada classe textural média.

A classe textural predominante na maioria dos ambientes das voçorocas sob Latossolo Vermelho-Amarelo 1 foi a argilosa, exceto no ambiente leito e vegetação nativa da voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 2, que apresentaram classe textural arenosa e muito argilosa, respectivamente.

#### 4.1.2 Densidade do solo

Os valores de densidade do solo obtidos na voçoroca sob Cambissolo Háplico não apresentaram diferença significativa entre os ambientes, apresentando valores variando de 1,35 a 1,48 Mg m<sup>-3</sup> (TABELA 2). O maior valor da densidade do solo foi encontrado no ambiente vegetação nativa (1,48 Mg m<sup>-3</sup>), em função da alta pedregosidade encontrada naquele ambiente.

Segundo Reichardt (1985), a densidade para solos com textura arenosa oscila de 1,40 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup>. Analisando-se os dados da voçoroca sob Cambissolo, cuja classe textural foi arenosa para maioria dos ambientes estudados, os valores ficaram próximos ao limite inferior indicado por Reichardt (1985).

Nas voçorocas sob Latossolo Vermelho-Amarelo 1, a densidade do solo foi significativamente influenciada pelos ambientes. Nesta voçoroca, os menores

valores observados foram nos ambientes de vegetação nativa e TMSV, atingindo 1,06 a 1,09 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. O menor valor encontrado no ambiente de vegetação nativa pode ser atribuído à maior estruturação do solo pela ação dos microrganismos e da matéria orgânica, além da ação dos sistemas radiculares ao longo dos anos. No TMSV, este menor resultado deve-se ao fato de este ambiente localizar-se onde o revolvimento do solo foi muito intenso e à proximidade de material não consolidado. Por sua vez, os maiores valores encontrados foram no ambiente leito e TMCV, variando de 1,27 a 1,28 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

TABELA 2 Atributos físicos de diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG

Ambientes <sup>1</sup>	Areia	Silte	Argila	Classe textural	Ds	VTP	Ma	Mi	Ks	DMG	Umidade
	.....g kg <sup>-1</sup> .....				Mg m <sup>-3</sup>	.....m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> .....			mm h <sup>-1</sup>	mm	%
<b>Cambissolo Háplico</b>											
VN	39	38	23	Média	1,48 a	0,39 b	0,02 a	0,37 b	79 b	4,89 a	11
TMCV	23	65	12	Arenosa	1,35 a	0,43 a	0,04 a	0,39 a	78 b	4,51 c	16
TMSV	60	36	4	Arenosa	1,38 a	0,47 a	0,04 a	0,43 a	54 b	2,26 d	10
Leito	35	59	6	Arenosa	1,45 a	0,39 b	0,04 a	0,35 b	215 a	4,63 b	7
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo1</b>											
VN	27	27	46	Argilosa	1,06 b	0,55 a	0,13 b	0,42 a	488 a	4,78 a	27
TMCV	32	15	53	Argilosa	1,28 a	0,49 b	0,09 c	0,40 b	210 b	4,54 b	24
TMSV	27	13	60	Argilosa	1,09 b	0,56 a	0,17 a	0,39 b	204 b	4,03 c	20
Leito	22	23	55	Argilosa	1,27 a	0,47 b	0,06 c	0,41 a	174 b	4,52 b	52
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo2</b>											
VN	22	17	61	Muito Argilosa	1,17 b	0,53 a	0,11 a	0,42 b	276 c	4,80 a	37
TMCV	30	13	57	Argilosa	1,16 b	0,49 b	0,08 a	0,41 b	400 b	3,32 c	23
TMSV	37	23	40	Argilosa	1,17 b	0,52 a	0,12 a	0,40 b	392 b	1,77 e	21
TMCandeia	32	9	59	Argilosa	1,25 a	0,49 b	0,07 a	0,42 b	159 c	3,07 d	17
TMEucalipto	31	12	57	Argilosa	1,24 a	0,49 b	0,06 a	0,43 b	217 c	4,00 b	22
Leito	20	68	12	Arenosa	1,15 b	0,53 a	0,06 a	0,47 a	604 a	3,97 b	41

<sup>1</sup>VN: vegetação nativa; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto. Atributos físicos: Ds: densidade do solo; VTP: volume total de poros; Ma e Mi: macro e microporosidade, Ks: condutividade hidráulica do solo, DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados. Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.



Os maiores valores de densidade do solo encontrados nos ambientes leito e TMCV devem-se ao fato do pouco tempo de estabelecimento da vegetação nestes ambientes, o que não propiciou melhoria neste atributo nestes locais.

Os valores de densidade do solo encontrados no Latossolo Vermelho-Amarelo2 variaram de 1,15 a 1,25 Mg m<sup>-3</sup> (TABELA 2); os ambientes TMEucalipto e TMCandeia não diferiram entre si, apresentando valores superiores aos demais ambientes. A baixa quantidade de matéria orgânica, sub-bosque incipiente, pouca presença de serrapilheira observada nos ambientes TMEucalipto e TMCandeia contribuíam para os maiores valores de densidade do solo encontrados nestes ambientes. Ao contrário, o leito foi onde se verificou menor densidade do solo.

Segundo Bertol et al. (2000), em ambientes de campo natural e vegetação nativa, a expressiva contribuição de material orgânico adicionado ao solo pela vegetação, especialmente pelas raízes no campo natural e pelas folhas e galhos na vegetação nativa, é que contribui para menores valores de densidade do solo.

Segundo Arshad et al. (1996), o valor mínimo de densidade para solos arenosos, acima do qual haveria restrição ao desenvolvimento de raízes, é de 1,70 Mg m<sup>-3</sup>. Portanto, os valores encontrados neste estudo podem ser considerados não restritivos ao desenvolvimento de plantas. Mas, apesar disso, outros fatores comumente verificados nas voçorocas, como baixa fertilidade do solo e baixo aporte de matéria orgânica ocasionado pela ausência de vegetação no ambiente TMSV, dificultam o estabelecimento de plantas nesses ambientes, conforme será apresentado posteriormente.

Conforme resultados apresentados na TABELA 2, observa-se que a presença de vegetação em alguns ambientes das voçorocas não proporcionou melhoria nos atributos físicos do solo, o que podendo estar relacionado com o

tempo de estabelecimento desta vegetação, que ainda não a beneficiou, em termos de recuperação destes atributos.

#### **4.1.3 Volume total de poros e distribuição de poros por tamanho**

O volume total de poros (VTP) e a distribuição de poros por tamanho foram significativamente alterados pelos diferentes ambientes das voçorocas (TABELA 2).

Na voçoroca sob Cambissolo Háplico, os ambientes que apresentaram maiores valores de VTP foram TMSV e TMCV, apresentando valores de 0,47 e 0,43  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ . Na voçoroca sob LVA1, os ambientes com vegetação nativa e TMSV foram os que apresentaram maiores valores de VTP, 0,55 e 0,56  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , sendo estes superiores aos ambientes TMCV e leito da voçoroca, que apresentaram valores inferiores de 0,49 e 0,47  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , respectivamente. Já na voçoroca sob LVA2, TMEucalipto, TMCandeia e TMCV foram os ambientes que apresentaram menores valores para este atributo, 0,49  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para os três ambientes, sendo 7,5 vezes menor que os apresentados nos demais ambientes desta voçoroca.

Nas voçorocas sob LVA, o ambiente com vegetação nativa apresentou os maiores valores para o VTP. Tal resultado pode ser analisado em função do maior aporte de matéria orgânica nesses ambientes, contribuindo para uma melhor estruturação daqueles solos, aumentando o VTP nestes locais.

O ambiente TMSV apresentou maiores valores de VTP nas três voçorocas estudadas, o que se deve ao fato de este ambiente encontrar-se sob material não consolidado, favorecendo, assim, os maiores valores nele encontrados.

Nas três voçorocas estudadas, observou-se redução acentuada da macroporosidade e da microporosidade, em função da grande remoção de solo nesses ambientes degradados pela erosão hídrica, o que fez com houvesse

obstrução dos poros do solo com as partículas de menor granulometria. Este resultado tem relação com a mineralogia do solo da região de Lavras (solos caulínicos) que, além de sua estrutura laminar aliada ao alto teor de silte presente neste tipo de solo, faz com que haja um maior encrostamento deste solo, obstruindo seus poros. Conseqüentemente, fará com que haja menor infiltração de água no perfil do solo, aumentando o escoamento superficial de água, agravando cada vez mais para a remoção de solo destes ambientes.

De acordo com Souza & Alves (2003), que analisaram a macroporosidade, que é reflexo da porosidade total e microporosidade, alguns valores estão abaixo do valor crítico, que é da ordem de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Segundo estes autores, valores inferiores ao citado tornam-se críticos para o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas. Entretanto, resultados desta natureza farão com que determinados ambientes das voçorocas, principalmente os sem vegetação, não consigam estabelecer grande quantidade de vegetação, deixando o solo desprotegido, vulnerável ao impacto das gotas das chuvas, aumentando cada vez mais o processo erosivo nesta área.

Silva (2001) realizou estudo na região dos Campos das Vertentes, em Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico com diferentes sistemas de manejo e encontrou valores menores de macroporos na profundidade intermediária (10-20 cm), em todos os sistemas estudados, corroborando os resultados deste estudo.

Em todos os ambientes analisados das três voçorocas, notou-se que a redução observada na macroporosidade foi mais expressiva que na porosidade total, evidenciando que esse atributo foi mais sensível às alterações impostas ao solo, decorrentes da erosão hídrica.

Segundo Baver et al. (1972), o volume de macroporos é expressivamente diminuído quando aumenta o adensamento causado por pressões exercidas no solo e até mesmo pelo tipo de solo. É o caso do ambiente de vegetação nativa da voçoroca sob Cambissolo, que apresentou o menor valor

para este atributo, que reflete num aumento menos acentuado do volume total de poros. Desse modo, os macroporos são os primeiros, e mais intensamente, afetados pela erosão exercida sobre o solo e também pela mineralogia do solo (Bertol et al., 2000).

Os valores encontrados de microporos nos diferentes ambientes das voçorocas têm forte relação com a textura do solo e foram muito afetados pela erosão hídrica, apresentando valores significativamente menores de microporosidade (Giarola et al., 2007).

Segundo Bertol et al. (2004), a distribuição dos poros por tamanho pode fornecer subsídios tanto sobre a capacidade de drenagem e armazenamento de água quanto sobre a taxa de difusão de gases e calor do solo.

#### **4.1.4 Condutividade hidráulica do solo saturado**

A permeabilidade do solo da camada superficial dos diferentes ambientes das voçorocas foi avaliada por meio da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) e os valores são apresentados na TABELA 2.

A condutividade hidráulica do solo foi significativamente afetada pelos ambientes das voçorocas. Para os ambientes da voçoroca sob Cambissolo, o leito foi o que apresentou maior  $K_s$  de  $215 \text{ mm h}^{-1}$ , sendo superior aos demais, que não diferiram entre si, apresentando valores de  $54$ ,  $78$  e  $79 \text{ mm h}^{-1}$  para os ambientes TMSV, TMCV e vegetação nativa, respectivamente.

Portanto, a redução do fluxo de água no solo encontrado nos ambientes TMSV e TMCV deve-se ao fato de eles se localizarem sob horizonte C, próximo a materiais consolidados (Saprólitos), além de apresentarem grande quantidade de silte, o que faz com que haja o selamento superficial desse ambiente. Já para o ambiente de vegetação nativa, isto se deve ao fato de ele se localizar sob um solo raso, de baixa umidade e proximidade de material consolidado, acarretando na redução da  $K_s$  desses ambientes.

Segundo as diferentes classes de permeabilidade adaptadas do Soil Survey Staff (1993), os ambientes acima citados com menor  $K_s$  apresentam permeabilidade de lenta a moderada, sendo considerada rápida aquela permeabilidade superior a  $254 \text{ mm h}^{-1}$ .

O ambiente de vegetação 1 40 da voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 1 apresentou valor de  $K_s$  de  $488 \text{ mm h}^{-1}$ , o qual é superior aos dos demais ambientes desta voçoroca, que não diferiram entre si, de modo que os ambientes leito, TMSV e TMCV apresentaram valores de  $K_s$  variando de 174 a  $210 \text{ mm h}^{-1}$ .

De acordo com Assis & Lanças (2005), a redução nos valores de  $K_s$  em solos alterados, em comparação com os de uma vegetação nativa, refletiu a redução dos poros de maior diâmetro, os quais são responsáveis pela aeração e pela drenagem da água no perfil do solo (Kiehl, 1979).

Na voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 2, o ambiente leito foi o que apresentou maior valor de  $K_s$ ,  $604 \text{ mm h}^{-1}$ , superior aos ambientes TMSV e TMCV, cujos valores foram de 392 e  $400 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente, sendo estes superiores aos ambientes TMCandeia, TMEucalipto e vegetação nativa.

A condutividade hidráulica do solo é influenciada pelo seu arranjo poroso que, por sua vez, está relacionado com a sua densidade. Sendo assim, o maior valor observado para o ambiente leito na voçoroca sob LVA2, em relação aos demais ambientes estudados, está em consonância com o comportamento dos demais atributos físicos estudados, pois, na mesma camada (0-20 cm), o leito apresentou maior valor de VTP, microporosidade, devido à sua classe textural arenosa e à sua baixa densidade do solo, de  $1,15 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Carneiro et al. (2009), avaliando os atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo, no Parque Nacional das Emas, verificaram que, dentre os atributos físicos analisados, a densidade do solo, o volume total de poros, os macroporos e a resistência do

solo à penetração no Neossolo e no Latossolo foram influenciados pelo sistema de uso e manejo, excetuando-se o volume total de poros, o qual não apresentou diferença significativa para este atributo.

#### **4.1.5 Estabilidade de agregados**

Os resultados referentes ao diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), nos diferentes ambientes estudados, são apresentados na TABELA 2. Nota-se diferença significativa entre os ambientes nas três voçorocas estudadas. Para a voçoroca sob Cambissolo, a vegetação nativa apresentou, em média, o maior DMG, correspondendo a 4,89 mm, seguido de ambiente TMCV, leito e TMSV, que apresentaram DMG de 4,51; 4,63 e 2,26 mm, respectivamente.

Os maiores valores encontrados na vegetação nativa, TMCV e leito são atribuídos ao maior aporte de matéria orgânica, aliado às contribuições da atividade microbiana e a presença de resíduos, que são fatores benéficos para a agregação do solo, mesmo tendo, na camada superficial, textura arenosa e a cobertura superficial do solo não sendo tão efetiva assim em alguns ambientes. Este comportamento foi contrário ao que ocorreu no TMSV, o qual apresentou o menor valor de DMG, o que foi atribuído a fatores como ausência de cobertura vegetal, baixo teor de matéria orgânica no solo e presença de grande quantidade de silte, conferindo baixa estabilidade do solo à agregação, tornando esse ambiente mais susceptível ao processo erosivo.

Ferreira (2005), avaliando a estabilidade de agregados em voçorocas no município de Nazareno, MG, verificou que os valores de DMG no horizonte A variaram de 2,05 a 4,15 mm e de 3,12 a 4,18 mm, nas voçorocas sob Cambissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente, corroborando os valores encontrados neste estudo para os mesmos solos.

Nos ambientes referentes à voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 1, os valores de DMG variaram de 4,78 mm, na vegetação nativa; 4,54 mm, no

TMCV; 4,52 mm, no leito e 4,03 mm, no TMSV. Esses resultados demonstram elevada estabilidade dos agregados neste tipo de solo, uma vez que ela está relacionada ao fato de se tratar de um solo com Bw, caracterizado pelo seu alto poder de coesão, o que contribui para maior agregação. Aliado a isso, atribui-se este comportamento ao maior aporte de matéria orgânica e presença de textura argilosa na camada superficial nos ambientes vegetação nativa, TMCV e leito. Já o TMSV, mesmo apresentando DMG acima de 4 mm, foi o que apresentou menor valor de DMG, em comparação aos outros ambientes, resultante da ausência de vegetação e do baixo teor de matéria orgânica.

Na voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 2, os maiores valores de DMG foram encontrados para vegetação nativa, TMEucalipto e leito, seguidos pelos ambientes TMCV, TMCandeia e TMSV.

Os valores encontrados de DMG para a vegetação nativa, nas voçorocas sob Latossolo Vermelho-Amarelo, na camada superficial (0-20 cm), concordam com trabalhos de Beutler et al. (2001), D'Andréa et al. (2002) e Neves (2002), todos realizados em Latossolo Vermelho distrófico.

#### **4.1.6 Resistência do solo à penetração**

Os resultados da resistência do solo à penetração, nos diferentes ambientes das voçorocas estudadas, são apresentados na FIGURA 1.

Verifica-se que, na voçoroca sob Cambissolo háplico (CXBd), na área ocupada pela vegetação nativa, houve tendência praticamente constante à resistência em todas as faixas de profundidade. Entre todos os ambientes, esta foi a que apresentou os maiores valores na RP (6,8 a 8,0 MPa, na profundidade de 0-15 cm). Esse resultado pode ser explicado pela baixa umidade desse ambiente, com valores médios de 11%, alta densidade do solo, presença de alta pedregosidade e acúmulo de raízes na superfície do solo.

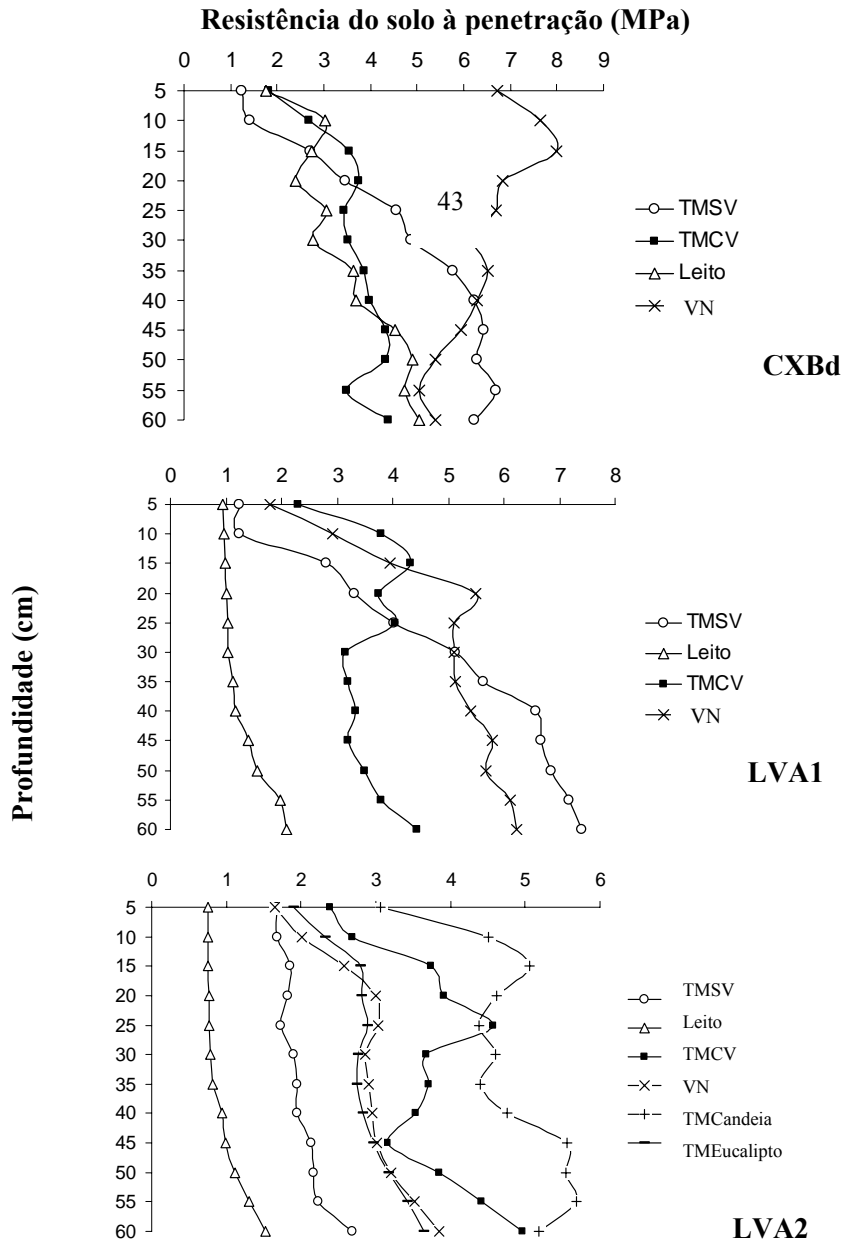


FIGURA 1 Resistência do solo à penetração em diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG. VN: vegetação nativa; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto.



Apesar de os valores serem altos, eles ocorreram em camadas mais profundas, na maioria dos ambientes, reduzindo, assim, o efeito de restrição do crescimento radicular, como foi observado nos ambientes leito, TMSV e TMCV, uma vez que constatou-se a presença de vegetação rasteira e arbustiva. Já no ambiente de vegetação nativa, os valores permaneceram críticos por todo perfil do solo, o que pode restringir o desenvolvimento das raízes. Analisando do ponto de vista da erosão hídrica, a alta RP no ambiente de vegetação nativa da voçoroca sob CXBd pode ser considerada como alta estabilidade desse ambiente, reduzindo o impacto da erosão hídrica no local. Isso fará com este ambiente sirva como uma barreira para a progressão da erosão hídrica proveniente dos ambientes da voçoroca, no sentido da área referência (vegetação nativa).

Os valores de RP para o ambiente leito e TMCV mostraram-se praticamente constantes em todo perfil do solo, apresentando valores de RP na camada superficial (0-10 cm) entre 1,8 a 3,0 MPa (FIGURA 1).

Nas profundidades acima de 45 cm, verificou-se tendência de aproximação dos valores da RP para todos os ambientes avaliados, uma vez que, nas maiores profundidades, o horizonte C apresenta maior resistência à penetração, por encontrar-se mais próximo de materiais consolidados (saprólito), além da baixa umidade presente nesses ambientes.

Os resultados obtidos para a voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 1 apresentaram variação na resistência à penetração nos diferentes ambientes estudados. O ambiente leito, em comparação com os demais ambientes, foi o que apresentou menor RP, mantendo-a constante em todo o perfil do solo, devido à sua alta umidade, à ausência de estrutura e à baixa coesão entre materiais não consolidados.

O ambiente de vegetação nativa, utilizado como referência, apresentou menor RP que o ambiente terço médio com vegetação até a profundidade de 15

cm, devido à baixa densidade do solo e à umidade do ambiente. Após essa profundidade, o ambiente de vegetação nativa apresentou maior RP, em função da grande quantidade de raízes existentes acima desta profundidade.

O ambiente TMSV apresentou menor RP que os ambientes de vegetação nativa e TMCV, até a camada de 20 cm, sendo seus valores acrescidos até camadas mais profundas, o que pode estar relacionado à proximidade de materiais consolidados.

Na voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 2, os resultados obtidos para o ambiente leito apresentaram uniformidade na RP até 35 cm, com valores de aproximadamente 0,8 MPa, chegando a 1,4 MPa, com 60 cm de profundidade (FIGURA 1). Isto se deve à sua alta umidade e à baixa densidade do solo.

O ambiente TMSV apresentou pouca variação nos valores da RP no decorrer do perfil do solo, porém, mais altos que os do leito, conforme observado na FIGURA 2.

Os ambientes de vegetação nativa e TMEucalipto apresentaram o mesmo comportamento em relação à RP, variando de 2,0 MPa, na camada superficial, até 3,5 MPa, nas camadas mais profundas.

No ambiente TMCV, a partir dos 10 cm de profundidade, houve um aumento significativo na RP, em função da grande quantidade de raízes presentes na superfície. Houve redução da RP acima de 25 cm, o que pode estar relacionado com a melhoria das condições físicas do ambiente.

O ambiente TMCandeia foi o que apresentou maior RP, devido à baixa umidade e à alta pedregosidade.

Os maiores valores de resistência à penetração do solo, constatados ao longo de todo o perfil nos ambientes de voçoroca, evidencia que a compactação foi proveniente da remoção das camadas superficiais e subsuperficiais e da proximidade de materiais consolidados em função da ação destruidora da erosão hídrica.

Segundo Araújo et al. (2004), a compactação pode também ser decorrente do ajuste de partículas, consequência do entupimento dos poros pelas partículas mais finas, bem como dos ciclos de umedecimento e secagem do solo. Caracteriza-se pela redução de volume de solo, quando uma pressão externa é aplicada.

Este rearranjo resulta no decréscimo do espaço poroso e no aumento da densidade, alterando uma série de fatores que afetam o crescimento radicular, como aeração, retenção de água e resistência à penetração de raízes, podendo aumentar a susceptibilidade do solo à erosão. Isso porque, ao reduzir a porosidade, diminui a infiltração de água, aumentando o escoamento superficial (Sá & Santos Junior, 2005), acarretando na forma mais drástica da erosão hídrica, o voçorocamento.

A alta resistência do solo à penetração, nesses ambientes de voçoroca, constitui um problema de restrição e aprofundamento das raízes, o que se torna bastante relevante, uma vez que a estabilização deste processo erosivo por espécies vegetais é a mais importante forma de conter tal degradação.

#### **4.2 Atributos químicos**

Na TABELA 3, encontram-se os resultados da análise química do solo dos diferentes ambientes estudados das três voçorocas na camada superficial do solo (0–20 cm).

O processo erosivo promoveu alterações nos atributos químicos do solo nos diferentes ambientes das voçorocas, expressas pela redução da fertilidade do solo. Analisando-se os ambientes referentes às três voçorocas, em relação à acidez ativa, observa-se que os valores de pH variaram de 5,2 a 5,6, de 5,3 a 5,7 e de 4,6 a 5,6, nas voçorocas sob Cambissolo Háplico (CXBd), Latossolo Vermelho-Amarelo 1 (LVA1) e Latossolo Vermelho-Amarelo 2 (LVA2), respectivamente. As voçorocas sob CXBd e LVA1 foram classificadas como de

acidez média e, a sob LVA2, como de acidez elevada a média (Alvarez et al., 1999).

Em função da remoção da camada superficial e subsuperficial do solo em ambiente de voçoroca e, conseqüentemente, da vegetação, os teores de P, K, Ca, Mg, MO e os valores de soma de bases (SB), CTC a pH 7,0 (T) e CTC efetiva (t), nas três voçorocas, foram significativamente reduzidos pelo processo erosivo, o que o torna o solo mais limitante ao estabelecimento natural da vegetação nas áreas erodidas, em termos de fertilidade natural. Em contrapartida, os valores de acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al) e saturação por alumínio (m) foram elevados, trazendo grandes prejuízos à reabilitação desses ambientes.

Esses resultados podem ser atribuídos à baixa densidade da vegetação encontrada nesse ambiente degradado pela erosão hídrica. Isso porque a reposição de material orgânico proveniente dessa vegetação é muito baixa e o processo de decomposição e mineralização, provavelmente, é a principal fonte de nutrientes para as plantas em ambientes não fertilizados, como no caso de voçorocas.

Os resultados do presente estudo corroboram os obtidos por Ferreira (2005), que, estudando origem, uso da terra e atributos do solo em voçorocas no município de Nazareno, MG verificou que os solos são considerados de baixa fertilidade. O mesmo foi relatado em estudos realizados na região por Silva (1990), Teixeira (1993), Oliveira (1993), Bono (1994), Giarola et al. (1997), Santos (1998) e Motta et al. (2001).

Em estudo realizado por Carneiro et al. (2009), avaliando atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado, sob diferentes sistemas de uso e manejo, observou-se que os atributos químicos apresentaram pequena variação em relação aos valores encontrados para o Cerrado, com maior acidez potencial e menor teor de cátions trocáveis e P.

Observou-se que houve um aumento no teor de matéria orgânica do solo (MOS) nos ambientes TMCV e vegetação nativa, em relação aos ambientes leito e TMSV. Nota-se que o ambiente TMSV foi o que menores valores de MOS apresentou nas três voçorocas estudadas, com reduções da ordem de 6,5; 3,7 e 6,6 vezes em relação à vegetação nativa da voçoroca sob CXBd, LVA1 e LVA2, respectivamente, devido à remoção da cobertura vegetal e ao menor aporte de material orgânico na superfície deste solo.

As alterações observadas nos atributos químicos do solo, com clara tendência de redução da fertilidade nos ambientes de voçoroca, estão associadas, possivelmente à redução do conteúdo de matéria orgânica, condicionada pela remoção da vegetação nesses ambientes, determinando, assim, menor reciclagem de nutrientes e aumento de perdas por lixiviação.

A presença de vegetação nesses ambientes degradados pela erosão hídrica tem extrema importância para a recuperação desses locais, uma vez que a vegetação propiciará melhor aporte de material orgânico naquele solo, contribuindo com maiores teores de nutrientes, propiciando condições para o estabelecimento de novas espécies vegetais nestes locais e reduzindo o efeito destrutivo da erosão hídrica sob o solo.

Desse modo, o teor de matéria orgânica assume importante papel na manutenção de ambientes de baixa fertilidade natural e não fertilizados, como no caso de voçorocas. Portanto, práticas que favoreçam ou incrementem o seu teor nesses ambientes devem ser estimuladas.

TABELA 3 Características químicas dos diferentes ambientes de voçoroca no município de Lavras, MG

Ambientes <sup>1</sup>	pH água	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	T	V	m	MO	P-Rem
		..mg dm <sup>-3</sup> ..		..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					..... %.....	g kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>			
<b>Cambissolo Háplico</b>														
VN	5,2 b	0,60 b	48,0 a	0,10b	0,10b	1,30a	3,84 a	0,30 b	1,60b	4,14b	7,82b	79,8a	14,4a	21,5b
TMCV	5,2 b	2,44 a	61,2 a	0,10b	0,14b	2,06a	5,04 a	0,42 b	2,48b	5,44a	7,28b	83,8a	11,2a	19,3b
TMSV	5,6 a	0,74 b	18,2b	1,64a	1,08a	1,60a	3,22 a	2,76 a	4,36a	5,98a	46,1a	45,0b	2,2 c	35,2a
Leito	5,5 a	1,20 b	46,9a	0,36b	0,60a	0,76a	2,28 a	1,08b	1,84b	3,36b	32,7a	42,0b	8,0 b	31,8a
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 1</b>														
VN	4,6 b	0,72a	78,4a	0,32a	0,20a	1,90a	13,9a	0,74 a	2,64a	14,7a	5,0 b	72,8a	31,8a	8,26a
TMCV	5,3 a	0,32b	61,2a	0,52a	0,30a	1,02b	5,56b	0,98 a	2,00a	6,54b	14,6b	49,4b	18,0b	9,02a
TMSV	5,4 a	0,40b	58,8a	0,20a	0,14a	1,42a	5,66b	0,48 a	1,90a	6,14b	8,18b	73,0a	8,6 c	8,66a
Leito	5,7 a	0,68a	50,0a	0,58a	0,14a	0,44b	3,16b	0,82 a	1,64a	4,36b	29,0a	34,0b	15,2b	13,3a
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 2</b>														
VN	4,6 b	1,10a	59,6b	0,10b	0,18b	1,58a	12,9 a	0,34 b	1,92	13,2a	2,88b	80,2a	36,0a	5,66b
TMCV	5,4 a	1,28a	71,6a	3,76a	0,72a	0,88b	9,24b	4,82 a	4,88a	13,2a	33,3a	26,8b	37,8a	19,6a
TMSV	5,6 a	0,28b	23,2c	0,14b	0,10b	0,20c	2,50 c	0,34 b	0,54b	2,84b	10,9b	33,0b	5,4 c	3,8b
TMEucalipto	5,3 a	0,32b	32,4c	0,10b	0,10b	0,32c	3,90 c	0,30 b	0,62b	4,20b	6,94b	50,2a	13,6b	4,28b
TMCandeia	5,2 a	0,10b	34,4c	0,10b	0,10b	0,48c	4,04 c	0,30 b	0,78b	4,34b	6,72b	60,0a	16,0b	7,08b
Leito	5,4 a	0,86a	31,2c	0,14b	0,10b	0,86b	2,78 c	0,34 b	1,20b	3,12b	10,3b	64,8a	6,8 c	16,6a

<sup>1</sup>VN: vegetação nativa; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto. pH; P; K; Ca; Mg; Al; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases trocáveis; V: índice de saturação por bases; m: saturação por alumínio; t: CTC efetiva e T: CTC potencial; P-Rem: fósforo remanescente Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

### 4.3 Atributos biológicos

Na FIGURA 2 e na TABELA 4 encontram-se as representações dos resultados das análises biológicas do solo dos diferentes ambientes estudados (das três voçorocas), na camada superficial do solo (0-20 cm).

O processo erosivo promoveu alterações nos atributos biológicos do solo nos diferentes ambientes das voçorocas, expressas pela redução da microbiota edáfica presente nestes ambientes.

#### 4.3.1 Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico ( $qCO_2$ )

De acordo com os resultados apresentados na FIGURA 2, os valores de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente microbiano ( $qCO_2$ ) para a voçoroca sob Cambissolo apresentaram diferenças significativas entre os ambientes. Verificou-se que, para o carbono da biomassa microbiana, os ambientes de vegetação nativa, TMCV e leito não diferiram estatisticamente, sendo superiores ao ambiente TMSV que apresentou redução do carbono da biomassa microbiana de 85% em relação à vegetação nativa.

Devido à baixa quantidade de carbono da biomassa microbiana, observou-se também baixa respiração basal no ambiente TMSV ( $0,80 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ). Este resultado promoveu um alto valor do  $qCO_2$  ( $19,73 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), evidenciando a condição de estresse naquele ambiente.

Na voçoroca sob LVA 1 houve diferença significativa entre os ambientes analisados, para cada atributo estudado (FIGURA 2).

Verificou-se que o carbono da biomassa microbiana foi elevado na vegetação nativa ( $691,91 \mu\text{g C-BM g}^{-1} \text{ solo}$ ), sendo esta reduzida em 54%, 75% e 79% em relação aos ambientes de voçoroca TMCV, leito e TMSV, respectivamente.

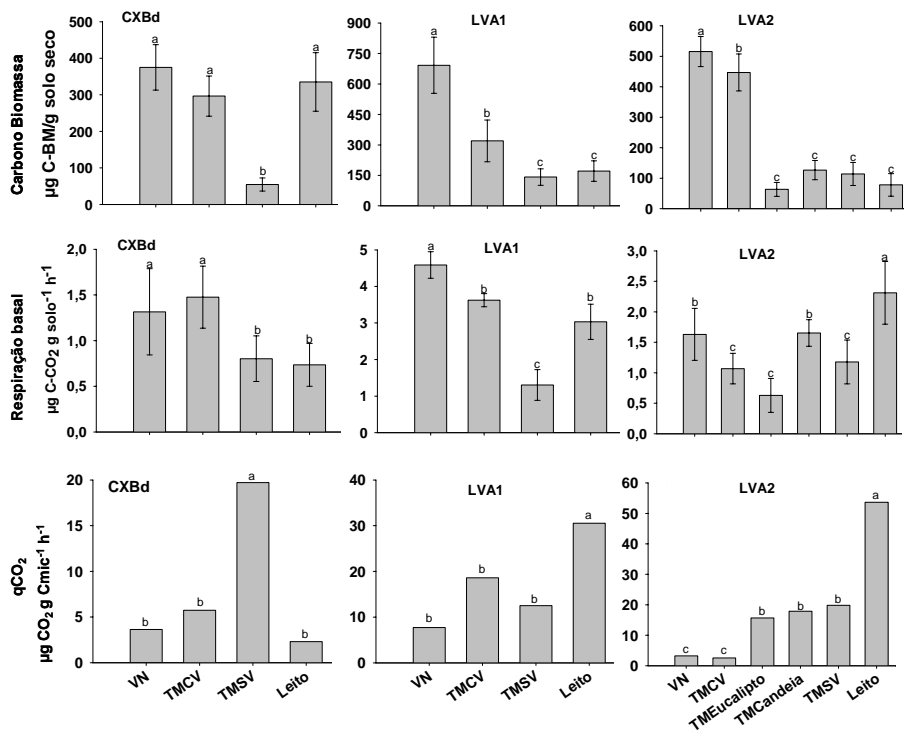


FIGURA 2 Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG. CXBd - Cambissolo háplico, e LVA1 e LVA2-Latossolo Vermelho-Amarelo. Barras verticais representam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra nas barras não diferem, pelo teste de Scott-Knott, a 5%.

Os menores valores da respiração basal foram encontrados no ambiente TMSV ( $1,26 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ), sendo este 73% inferior à área referência.

O  $qCO_2$  mostrou-se índice sensível às alterações do ambiente, sendo o maior valor encontrado no leito, indicativo da condição de estresse da população microbiana, ocasionada pelo excesso de umidade.

Na voçoroca sob LVA 2, houve efeito significativo dos diferentes ambientes sobre o carbono da biomassa microbiana (C-BM), respiração basal (RB) e  $qCO_2$ , tendo o ambiente vegetação nativa sido o que apresentou maior resultado quanto ao C-BM ( $515,73 \mu\text{g C-BM g}^{-1} \text{ solo}$ ) em relação aos demais



ambientes, TMCV, TMCandeia, TMSV, leito e TMEucalipto, que apresentaram redução de 13%, 75%, 78%, 84% e 87%, respectivamente. Resultado semelhante foi verificado por Lourente et al. (2008), avaliando os atributos químicos e microbiológicos em sistemas agrícolas e florestais, cujo valor do C-BM, no ambiente de vegetação nativa, foi de 452,9  $\mu\text{g C-BM g}^{-1}$  solo.

O ambiente leito, apesar de seu baixo C-BM, apresentou elevada RB (2,33  $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{solo h}^{-1}$ ), sendo este 1,4 vez maior que a área referência (vegetação nativa).

O  $q\text{CO}_2$  no ambiente leito, em função do baixo valor do C-BM e da elevada RB, foi onde encontrou-se o maior resultado desta variável (53,60  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g Cmic}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), mostrando a condição de estresse da população microbiana nesse ambiente, ocasionada pelo excesso de umidade.

Segundo Moreira & Siqueira (2006), geralmente, os menores valores de biomassa são encontrados em áreas degradadas pela mineração ou florestas queimadas, áreas sujeitas a inundações e solo sob cultivo intensivo, áreas degradadas pela erosão hídrica, como apresentado neste estudo, contaminado por metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas, onde o teor típico desta fração é geralmente inferior a 100  $\text{mg C kg}^{-1}$ ; enquanto solos preservados e com vegetação natural apresentam valores típicos de biomassa superiores a 1000  $\text{mg C kg}^{-1}$  solo.

A comunidade microbiana do solo é influenciada pela temperatura, pela umidade e pela aeração do solo, além da disponibilidade de nutrientes e dos substratos orgânicos.

Portanto, a menor biomassa microbiana e a menor respiração basal, constatadas em alguns ambientes das voçorocas, como no caso do ambiente TMSV na voçoroca sob CXBd e dos ambientes de leito nas duas voçorocas sob LVA1 e LVA2, podem ser decorrentes de maiores variações de temperatura e

umidade, ausência de vegetação, como também pelo menor aporte de nutrientes e material orgânico no solo (Vargas et al., 2004).

De acordo com Colozzi Filho et al. (1999), maior atividade microbiana representa quantidade maior de carbono respirado e, por conseguinte, perda de carbono do sistema solo-planta para a atmosfera.

Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio como um alto nível de produtividade do ecossistema (Islam & Weil, 2000). Por sua vez, baixo  $qCO_2$  indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio.

Ao contrário, valores elevados de  $qCO_2$  são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (Tótola & Chaer, 2002 citado por Cardoso, 2008).

Dessa forma, o maior valor de  $qCO_2$  apresentado no ambiente TMSV da voçoroca sob CXBd e nos ambientes de leito das voçorocas sob LVA1 e LVA2 deve-se ao fato de esses ambientes estarem sob condições estressantes para a microbiota edáfica, o que faz com que haja maior gasto energético para a manutenção da sua biomassa microbiana.

Os ambientes de vegetação nativa das três voçorocas apresentaram baixos valores de RB e altos valores de C-BM, evidenciando que as suas comunidades microbianas perdem menos C na forma de  $CO_2$ , através da respiração e uma fração significativa de C está sendo incorporada na constituição da biomassa microbiana, segundo Gama-Rodrigues (1999), citado por Carneiro et al. (2008).

Desse modo, a microbiota presente nestes ambientes encontra-se em estágio de sucessão mais avançado, no qual a retenção e a conservação de nutrientes são maiores (Anderson & Domsch, 1990). Portanto, a comunidade microbiana desses ambientes utilizará mais as substâncias orgânicas para o seu crescimento do que para a sua manutenção (Mader et al., 2002).

Nas áreas sob vegetação nativa, dentre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis à biomassa microbiana, destacam-se ausência de preparo do solo e maior diversidade florística (Bandick & Dick, 1999). Além de favorecer a preservação das hifas fúngicas e o acúmulo da serrapilheira na superfície do solo, a ausência de revolvimento do solo também resulta em maior presença de raízes, as quais aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema, via exsudatos radiculares (Bopaiah & Shetti, 1991).

Resultados encontrados por Matsuoka et al. (2003) confirmam as condições mais favoráveis em áreas sob vegetação nativa. Segundo esses autores, a diversidade florística das áreas nativas e a presença da vegetação durante todo o ano influenciam a produção (quantidade) e a qualidade da serrapilheira. A soma desses fatores contribui para a ocorrência de maiores níveis de biomassa microbiana nessas áreas, comparativamente às áreas sob alguma interferência antrópica.

Dentre os valores observados na voçoroca sob Cambissolo, a relação entre C na biomassa microbiana e C orgânico total (C-BM/COT) foi reduzida nos ambientes TMSV, TMCV e vegetação nativa, em relação ao leito. Essa variação pode ser explicada pelas diferenças químicas e físicas encontradas entre os ambientes estudados (Weigand et al., 1995).

A relação reflete quanto do C orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (Anderson & Domsch, 1993). Nesse sentido, esses ambientes que apresentaram menores valores desta relação indicam que há menor reserva de energia e nutriente imobilizado na biomassa microbiana.

O resultado está coerente com o estado de cada ambiente, pois, o ambiente de vegetação nativa está localizado em área de cerrado *sensu lato*, além de se situar sob um Neossolo litólico, raso, com baixa umidade e sinais de degradação do solo. Já o leito, em função da deposição de materiais orgânicos

que são lixiviados das camadas mais superficiais, contribui, dessa forma, para o maior valor apresentado neste ambiente.

Diferentemente do observado nos ambientes da voçoroca sob Cambissolo, na voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo 1 (LVA1), os valores encontrados mostraram-se mais condizentes com as características de cada ambiente desta voçoroca.

Verificou-se que a relação C-BM/COT foi maior na vegetação nativa (3,75%), sendo esta reduzida em 18%, 25% e 49%, em relação aos ambientes de voçoroca TMCV, TMSV e leito, respectivamente (TABELA 2A). O menor valor observado para o ambiente leito deve-se ao elevado teor de água neste ambiente, o que levou a microbiota a consumir mais C para a sua manutenção neste local.

A maioria dos ambientes da voçoroca sob LVA2 apresentou valores da relação C-BM/COT baixos, de acordo com as características de cada ambiente.

O ambiente TMEucalipto apresentou o menor resultado (0,80%), em comparação ao ambiente TMSV, que apresentou o maior valor (3,63%). Para o ambiente com eucalipto, esse menor resultado, segundo Polglase & Attiwil (1992), deve-se ao fato de sua serapilheira apresentar maior quantidade de C recalitrante menos disponíveis para a biomassa microbiana.

O resultado para o ambiente TMSV não era esperado, uma vez que o teor de matéria orgânica e biomassa microbiana nesse ambiente foi muito baixo.

De acordo com Anderson & Domsch (1989), a relação C-BM/COT pode variar de 0,27% a 7,0%, dependendo de diferenças de tipo de solo e de manejo, da cobertura vegetal, bem como da época amostrada e das condições analíticas dos métodos empregados. Contudo, segundo Sparling (1992), mudanças na relação C-BM/COT podem refletir os acréscimos de matéria orgânica ao solo, a eficiência de conversão do carbono orgânico para biomassa microbiana, as

perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico pela fração mineral do solo.

Segundo Wardle (1994), em ocasiões em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização do carbono é diminuída, sendo expressa por um baixo valor de C-BM/COT. Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a biomassa pode aumentar rapidamente, maior C-BM/COT, mesmo se os teores de carbono permanecerem inalterados (Tótola & Chaer, 2002 citado por Cardoso, 2008).

Portanto, os menores valores encontrados nos ambientes das voçorocas neste estudo sugerem que as reduções na relação C-BM/COT podem ter sido influenciadas tanto por uma provável condição de estresse para a população microbiana (deficiência de nutrientes, maior variação em temperatura e umidade do solo, decorrentes da menor cobertura vegetal) como, principalmente, pela redução nos teores de matéria orgânica do solo.

#### **4.3.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)**

A ocorrência de FMAs, determinada nos diferentes ambientes das voçorocas estudadas, é apresentada na FIGURA 3. Houve efeito significativo dos diferentes ambientes sobre a ocorrência dos FMAs, sendo o número de esporos de FMAs na voçoroca sob CXBd bastante reduzido. Foram encontrados apenas 191 esporos/50 cm<sup>3</sup> solo no ambiente vegetação nativa, enquanto que nos ambientes leito, TMSV e TMCV, o número de esporos encontrados foi de apenas 46, 52, 62 esporos/50 cm<sup>3</sup> solo, com predomínio de *Paraglomus occultum*, *Glomus* sp., *Scutellospora heterogama*, *Acaullospora spinosa*, *Glomus etunicatum* e *Glomus diaphanum*.

Na voçoroca sob LVA1, várias espécies de FMAs foram encontradas, com predomínio de *Glomus* sp., *Paraglomus occultum* e *Acaulospora*

*morrowiae*, atingindo até 541 esporos/50 cm<sup>3</sup> solo no TMCV, enquanto no leito esta foi de apenas 103 esporos/50 cm<sup>3</sup> solo.

A voçoroca sob LVA2 apresentou número de esporos de FMAs variando de 56 esporos/50 cm<sup>3</sup> solo no ambiente TMSV a 265 esporos/50 cm<sup>3</sup> solo no ambiente TMCV. Esses resultados demonstram que, mesmo em ambientes degradados, a presença desses micossimbiontes é de ocorrência generalizada.

Nesta voçoroca, o ambiente de vegetação nativa apresentou número de esporos bastante reduzido, o que demonstra, nesse ambiente, um dado equilíbrio nutricional e das outras variáveis analisadas. A necessidade desses organismos não é expressiva, uma vez que atuam e são mais bem explorados em ambientes de baixa fertilidade.

Decréscimos superiores a 75% no número de esporos de FMAs dos ambientes mais afetados pela erosão hídrica, como o leito da voçoroca e o TMSV em relação ao ambiente vegetação nativa e TMCV, para as três voçorocas analisadas no presente estudo, foram observados. Esses resultados corroboram os de Cuenca & Lovera (1992) citado por Rosales et al. (1997), que estudaram, na Venezuela, os efeitos da escavação e limpeza do solo para a construção de estrada e observaram reduções superiores a 90% no número de esporos de FMAs.

Apesar dos efeitos adversos observados nos diferentes ambientes de voçoroca do presente estudo, espécies de FMAs foram encontradas, sendo este o primeiro relato da ocorrência deste grupo de microrganismos em ambiente de voçoroca no sul de Minas Gerais (TABELA 5). Esses resultados demonstram que, nessas áreas, apesar de possuírem baixa diversidade de FMAs, eles são de fundamental importância para o estabelecimento da vegetação em processos de recuperação de ambientes de voçorocas.

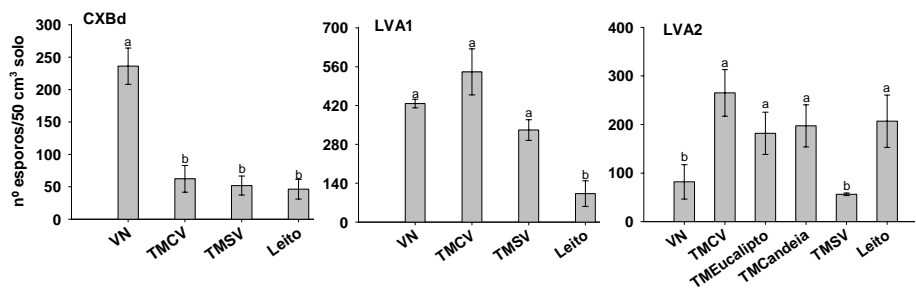
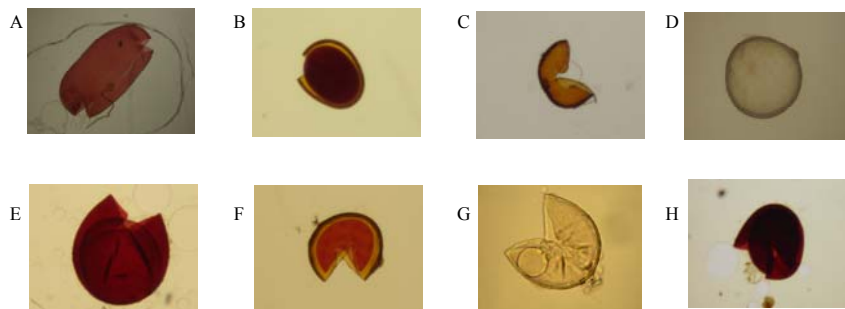


FIGURA 3 Número de esporos (50 cm<sup>3</sup> solo) de FMAs em diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG. CXBd - Cambissolo, e LVA1 e LVA2- Latossolo Vermelho-Amarelo. Barras verticais representam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra nas barras não diferem, pelo teste de Scott-Knott, a 5%.

TABELA 5 Ocorrência de FMAs nos ambientes de três voçorocas em Lavras, MG

Ambientes <sup>1</sup>	Espécies de FMAs
<b>Cambissolo Háptico</b>	
VN	<i>Paraglomus occultum</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>Scutellospora heterogama</i>
TMCV	<i>P. occultum</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>Acaulospora spinosa</i> , <i>Glomus etunicatum</i>
TMSV	<i>Glomus diaphanum</i> , <i>Glomus</i> SP.
Leito	<i>Paraglomus occultum</i>
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 1</b>	
VN	<i>Paraglomus occultum</i> , <i>Acaulospora morrowiae</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>Acaulospora mellea</i>
TMCV	<i>Acaulospora spinosa</i> , <i>Scutellospora heterogama</i> , <i>Scutellospora pellucida</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>A. morrowiae</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>A. scrobiculata</i>
TMSV	<i>Gomus diaphanum</i> , <i>Paraglomus occultum</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>Acaulospora morrowiae</i>
Leito	<i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Gomus diaphanum</i> , <i>Scutellospora heterogama</i> , <i>Glomus</i> sp.
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 2</b>	
VN	<i>A. scrobiculata</i> , <i>Paraglomus occultum</i> , <i>Acaulospora longula</i> ,
TMCV	<i>Scutellospora</i> sp., <i>A. spinosa</i> , <i>A. longula</i> , <i>S. heterogama</i> , <i>P. occultum</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>A. scrobiculata</i> , <i>Gisgaspura</i> sp., <i>A. mellea</i>
TMSV	<i>Acaulospora morrowiae</i> , <i>Gomus diaphanum</i> , <i>Scutellospora</i> sp., <i>Glomus</i> sp., <i>Paraglomus occultum</i> , <i>Gisgaspura</i> sp.
TMCandeia	<i>S. heterogama</i> , <i>A. morrowiae</i> , <i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Acaulospora mellea</i> , <i>Paraglomus occultum</i> , <i>Glomus</i> sp.
TMEucalipto	<i>Scutellospora heterogama</i> , <i>Acaulospora morrowiae</i> , <i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Glomus</i> sp.
Leito	<i>Acaulospora colombiana</i> , <i>Acaulospora morrowiae</i> , <i>Glomus</i> sp., <i>Paraglomus occultum</i> , <i>Acaulospora longula</i>

**FOTOS DE ALGUNS ESPOROS ENCONTRADOS NOS DIFERENTES AMBIENTES DAS VOÇOROCAS<sup>2</sup>**



<sup>1</sup> VN: vegetação nativa; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia e leito da voçoroca. <sup>2</sup> (A) *Scutellospora* sp., (B) *Acaulospora longula*, (C) *Glomus etunicatum*, (D) *Acaulospora Scrobiculata*, (E) *Scutellospora* sp., (F) *Acaulospora mellea*, (G) *Paraglomus occultum*, (H) *Acaulospora spinosa*.



### 4.3.3 Atividade da fosfatase

A atividade da fosfatase determinada nos diferentes ambientes das voçorocas estudadas está representada na FIGURA 4.

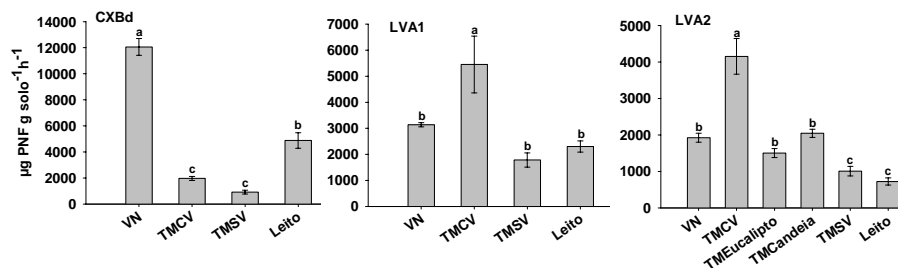


FIGURA 4 Atividade da fosfatase em diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG. CXBd – Cambissolo háplico e LVA1 e LVA2 - Latossolo Vermelho-Amarelo. Barras verticais representam o erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra, nas barras, não diferem, pelo teste de Scott-Knott, a 5%.

Houve efeito significativo dos diferentes ambientes sobre a atividade da fosfatase. Na voçoroca sob Cambissolo, a vegetação nativa foi a que apresentou maior atividade da fosfatase ( $12.057 \mu\text{g PNF g solo}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). Este resultado foi semelhante ao encontrado por Santos et al. (2009), para esta enzima em ambiente de vegetação nativa secundária de  $13.828 \mu\text{g PNF g solo}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

Moreira & Siqueira (2006) citam que a produção desta enzima é realizada por microrganismos do solo, pelas raízes das plantas e induzida pela baixa disponibilidade de P no solo. Possivelmente, a baixa disponibilidade deste elemento no solo pode explicar a elevada atividade dessa enzima no ambiente de vegetação nativa do presente estudo.

Neste ambiente, foi encontrado valor relativamente elevado de C-BM ( $375,2 \mu\text{g C-BM g}^{-1}\text{ solo}$ ), em comparação aos outros ambientes e o teor de P muito baixo ( $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ ), condição que explica a elevada atividade dessa enzima neste local.

O ambiente TMSV desta voçoroca foi o que apresentou menor valor de fosfatase, o que pode ser explicado em função do baixo valor encontrado para o C-BM (54,53  $\mu\text{g C-BM g}^{-1}$  solo), além de ausência de vegetação neste local.

A menor atividade desta enzima pode significar reduzida disponibilidade de fósforo, uma vez que ela participa ativamente do ciclo desse nutriente no solo (Carneiro et al., 2008; Carneiro et al., 2009; Santos et al., 2009).

Na voçoroca sob LVA1, o ambiente TMCV (5448,1  $\mu\text{g PNF g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) apresentou maior atividade da fosfatase, sendo esta reduzida em 42%, 57% e 67%, em relação aos ambientes de vegetação nativa, leito e TMSV, respectivamente.

Resultado semelhante foi observado na voçoroca sob LVA2, onde o ambiente TMCV apresentou a maior atividade enzimática da fosfatase, sendo superior aos valores encontrados para os ambientes vegetação nativa, TMEucalipto e TMCandeia, que não diferiram entre si, sendo estes superiores aos valores observados no TMSV e leito desta voçoroca.

O TMCV apresentou elevada atividade microbiana no solo, juntamente com alto teor de matéria orgânica e grande diversidade florística, o que pode ter contribuído para a maior atividade desta enzima.

Os resultados observados para os ambientes TMEucalipto e TMCandeia, em relação ao ambiente TMCV, podem estar relacionados à posição de encosta, que é mais suscetível a uma situação de estresse ocasionado pela escassez de água ou de nutrientes necessários à atividade das comunidades microbianas. Para a vegetação nativa, por estar em uma condição mais equilibrada, a atividade desta enzima foi menor em relação ao TMCV.

Nos ambientes TMSV e leito, que apresentaram os menores valores desta atividade, este fato observado nas outras duas voçorocas mencionadas anteriormente deve-se à baixa densidade de cobertura vegetal e à reduzida atividade biológica, além do excesso de umidade no leito desta voçoroca.

Os resultados do presente estudo demonstraram que os atributos da microbiota edáfica foram sensíveis às alterações no ambiente de voçoroca e podem servir como indicadores para o monitoramento e a recuperação desses ambientes degradados pela erosão hídrica.

#### **4.3.4 Análise de componentes principais (ACP)**

A análise de componentes principais (ACP) demonstrou, por meio da relação entre a componente principal 1 (CP 1) e a componente principal 2 (CP 2), que houve separação entre os ambientes de voçoroca estudados. Na voçoroca sob Cambissolo, a variabilidade dos dados foi explicada em 52,9% pela CP 1 e em 22,0% pela CP 2, totalizando 74,9% da variabilidade total dos atributos físicos, químicos e biológicos (FIGURA 5).

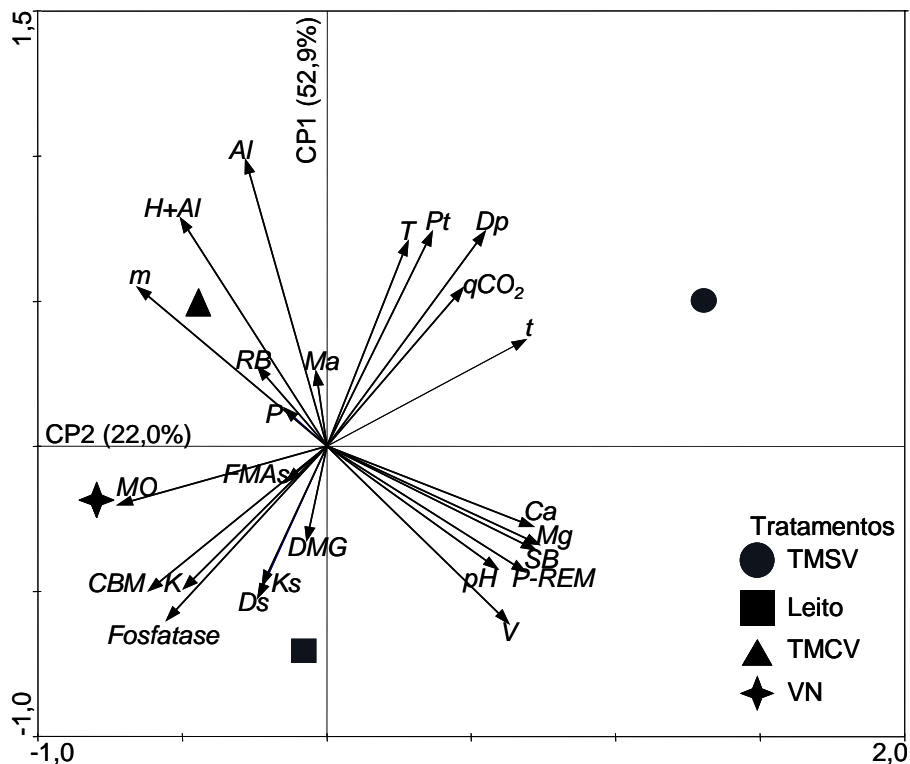


FIGURA 5 Relação entre o componente principal 1 (CP 1) e o componente principal 2 (CP 2), discriminando os ambientes da voçoroca sob Cambissolo Háplico e as variáveis químicas, físicas e microbiológicas explicativas (→). pH; P; K; Ca; Mg; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases trocáveis; V: índice de saturação por bases; m: saturação por alumínio; Al; t: CTC efetiva e T: CTC potencial; P-Rem: fósforo remanescente; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Ks: condutividade hidráulica; Pt: porosidade total; Ma: macroporosidade; DMG: diâmetro médio geométrico; CBM: carbono da biomassa microbiana (CBM); RB: respiração basal;  $qCO_2$ : quociente metabólico; FMA<sub>s</sub>: fungos micorrízicos arbusculares e fosfatase.

Observou-se que, na CP1, ocorreu uma separação dos ambientes de vegetação nativa e leito, em relação aos ambientes TMCV e TMSV (FIGURA 5). Essa separação ocorreu devido a forte correlação entre os atributos químicos (Al, H+Al e m), físicos (Dp e Pt) e biológicos ( $qCO_2$ ), nos ambientes de TMCV e TMSV. O ambiente leito pode ter sido influenciado pelos atributos físicos DMG, Ks e Ds.

Analisando-se a CP2, observou-se que o ambiente TMSV foi diferente dos ambientes de vegetação nativa e TMCV. Tal resultado demonstrou que o ambiente TMSV encontra-se em estágio mais avançado de degradação, necessitando de algum tipo de intervenção a para sua recuperação, a fim de evitar que a degradação seja progressiva neste ambiente, comprometendo novas áreas.

Os atributos CBM, K, MO e fosfatase apresentaram maior associação com o ambiente de vegetação nativa, enquanto os químicos Al, H+Al e m apresentaram associação com o ambiente TMCV. Além disso, o leito apresentou maiores valores dos atributos físicos, como Ds, Ks e DMG, em relação aos outros ambientes, possivelmente por ser um ambiente mais compactado que os demais.

Observando-se a CP 2, constatou-se que o ambiente TMSV caracterizou-se por apresentar maior associação com os atributos químicos, como Ca, Mg, SB, T, t, V, pH e P-REM; físicos, como Pt e Dp e biológicos, como  $qCO_2$ , em comparação com os demais ambientes estudados. O maior valor de  $qCO_2$  encontrado no ambiente TMSV indica maiores perdas de C neste local, na forma de  $CO_2$ , por unidade de C microbiano, diferenciando-se dos demais ambientes estudados, que apresentaram menores valores de  $qCO_2$ . Portanto, indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio.

Ao contrário, valores elevados de  $qCO_2$  são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (Tótola & Chaer, 2002 citado por Cardoso, 2008). O C que é retido no solo é de extrema importância em ambientes degradados pela erosão hídrica, uma vez que possibilita o crescimento de espécies vegetais nestes locais, reduzindo o impacto das gotas de chuva sob o solo (Tótola & Chaer, 2002 citado por Cardoso, 2008).

Na voçoroca sob LVA1, a análise de componentes principais (ACP) demonstrou, por meio da relação entre a componente principal 1 (CP 1) e a componente principal 2 (CP 2), que houve separação entre os ambientes de voçoroca estudados. A variabilidade dos dados foi explicada em 37,4% pela CP 1 e 18,8% pela CP 2, totalizando 56,2% da variabilidade total dos dados dos atributos físicos, químicos e biológicos (FIGURA 6).

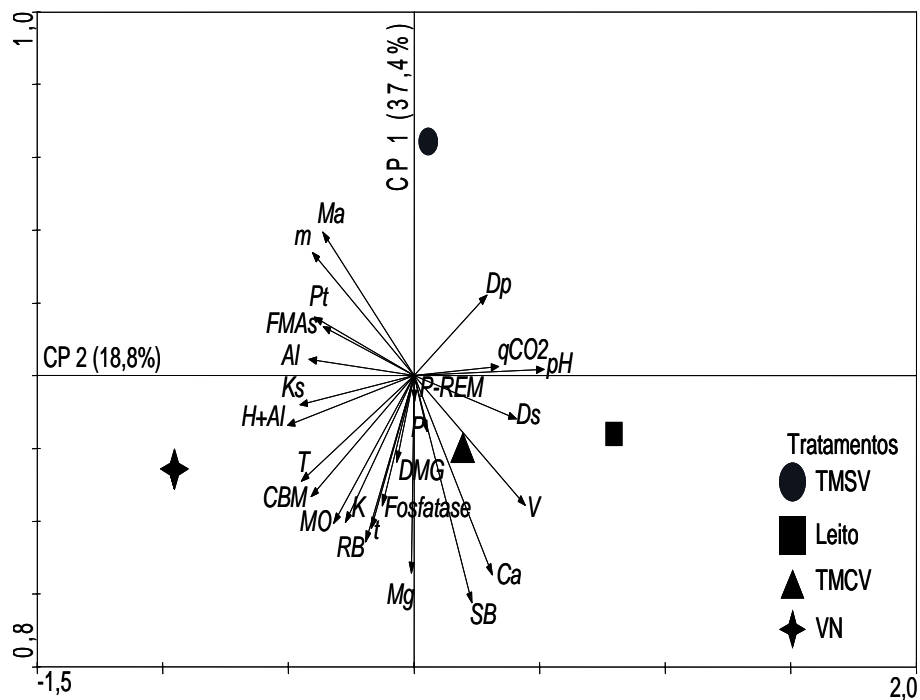


FIGURA 6 Relação entre o componente principal 1 (CP 1) e o componente principal 2 (CP 2), discriminando os ambientes da voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo1 e as variáveis químicas, físicas e microbiológicas explicativas (→). pH; P; K; Ca; Mg; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases trocáveis; V: índice de saturação por bases; m: saturação por alumínio; Al; t: CTC efetiva e T: CTC potencial; P-Rem: fósforo remanescente; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Ks: condutividade hidráulica; Pt: porosidade total; Ma: macroporosidade; DMG: diâmetro médio geométrico; CBM: carbono da biomassa microbiana (CBM); RB: respiração basal;  $qCO_2$ : quociente metabólico; FMA: fungos micorrízicos arbusculares e fosfatase.

Observou-se que, na CP1, ocorreu uma separação do ambiente TMSV em relação aos demais ambientes (FIGURA 6). Essa separação ocorreu devido

as maiores valores encontrados nos atributos químicos (Ca, Mg, K, SB, V, MO, T), físicos (Ks e Ds) e biológicos (CBM, RB e fosfatase) nos ambientes de vegetação nativa, TMCV e leito. O ambiente TMSV, diferentemente dos demais ambientes, não apresentou forte associação com nenhum atributo analisado, pois ficou disposto no centro da FIGURA, apresentando valores próximos de zero.

Analisando-se a CP 2, observou-se que o ambiente vegetação nativa ficou separado do ambiente leito, o que pode ser explicado por meio dos atributos microbiológicos  $qCO_2$ , CBM, RB, FMAs e fosfatase, sendo que, dentre estes, o que mais contribuiu para a separação destes ambientes foi o  $qCO_2$  que mostrou-se mais próximo do leito do que os outros atributos que mais se aproximaram da vegetação nativa. Além disso, a vegetação nativa apresentou maiores valores dos atributos físicos, como DMG e Ks e químicos, MO, K, T e H+Al, em relação aos outros ambientes. Este resultado demonstra que a vegetação nativa está mais estabilizada ou mais próxima do estado de equilíbrio.

Na voçoroca sob LVA2, a análise de componentes principais (ACP) demonstrou, por meio da relação entre a componente principal 1 (CP 1) e a componente principal 2 (CP 2), que houve separação entre os ambientes de voçoroca estudados. A variabilidade dos dados foi explicada, em 36,8%, pela CP 1 e em 20,7% pela CP 2, totalizando 57,5% da variabilidade total dos dados dos atributos físicos, químicos e biológicos (FIGURA 7).

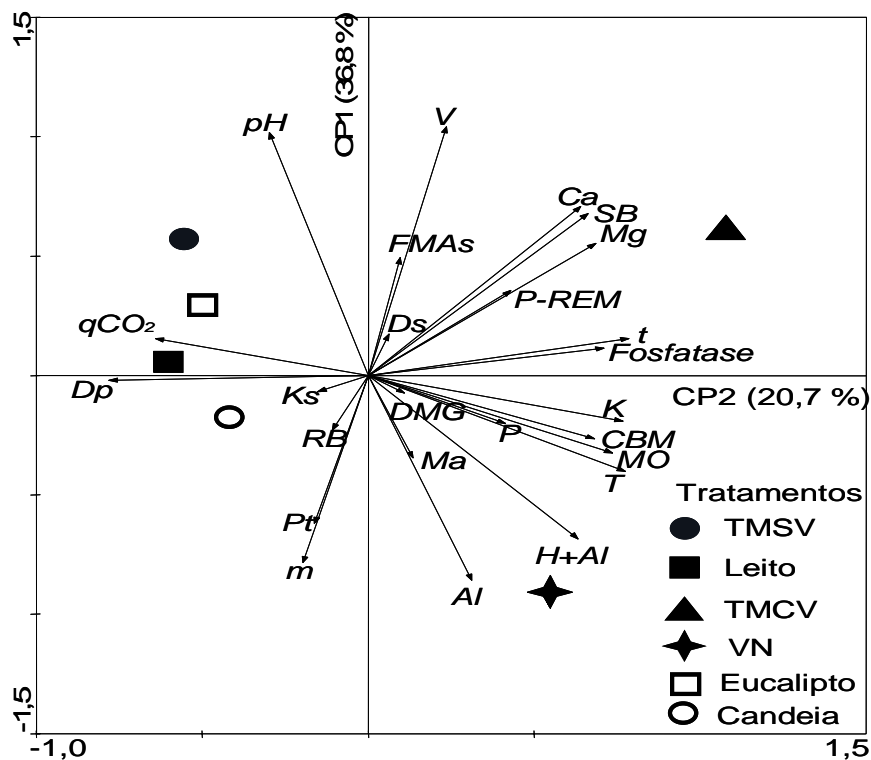


FIGURA 7 Relação entre o componente principal 1 (CP 1) e o componente principal 2 (CP 2), discriminando os ambientes da voçoroca sob Latossolo Vermelho-Amarelo2 e as variáveis químicas, físicas e microbiológicas explicativas (→). pH; P; K; Ca; Mg; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases trocáveis; V: índice de saturação por bases; m: saturação por alumínio; Al; t: CTC efetiva e T: CTC potencial; P-Rem: fósforo remanescente; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Ks: condutividade hidráulica; Pt: porosidade total; Ma: macroporosidade; DMG: diâmetro médio geométrico; CBM: carbono da biomassa microbiana (CBM); RB: respiração basal;  $qCO_2$ : quociente metabólico; FMA<sub>s</sub>: fungos micorrízicos arbusculares e fosfatase.

Observou-se que na CP 1 ocorreu uma separação do ambiente vegetação nativa, em relação aos demais ambientes (FIGURA 7), devido às maiores associações encontradas entre o atributo biológico  $qCO_2$  nos ambientes leito, TMSV e TMEucalipto, químicos Al, H+Al, T e m na vegetação nativa.

Analisando-se a CP 2, observou-se que os ambientes de vegetação nativa e TMCV ficaram separados dos demais ambientes, o que pode ser



explicado por meio dos atributos microbiológicos (CBM e fosfatase) que se mostraram mais próximos dos ambientes TMCV e vegetação nativa e o  $qCO_2$ , que se mostrou mais próximo dos demais ambientes desta voçoroca. Além disso, a vegetação nativa e o TMCV apresentaram maiores valores dos atributos físicos, como DMG e Ma e químicos, Al, H+Al, K, SB, Ca, Mg, T, MO, t e P, em relação aos outros ambientes. Este resultado demonstra que estes ambientes encontram-se mais estabilizados ou mais próximos do estado de equilíbrio.

A análise de componentes principais mostrou, além da separação espacial das áreas estudadas, que houve diferenças na distribuição dos atributos analisados (FIGURA 5, 6 e 7), de modo que alguns atributos foram mais sensíveis aos danos causados pela erosão hídrica, distinguindo os ambientes mais degradados daqueles que se apresentaram mais estabilizados. Dessa forma, a identificação de atributos físicos, químicos e biológicos apresenta potencial para a utilização como indicadores de distúrbios, o que possibilita a utilização como indicadores da qualidade do solo (Melloni et al., 2003; Mielniczuk, 2008). Sabe-se que a maior ou a menor sensibilidade de cada atributo nos ambientes estudados das voçorocas se deve, dentre outros fatores, às condições climáticas, ao tipo de manejo do solo, ao histórico da área, às condições químicas e microbiológicas do solo, além de outros efeitos, como maior quantidade e qualidade dos resíduos vegetais. Essas informações ainda complementam as evidências de que a erosão hídrica na forma mais drástica, o voçorocamento, pode trazer efeitos drásticos aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

## 5 CONCLUSÕES

Ambientes de voçoroca localizados no sul de Minas Gerais apresentam-se em estágio avançado de degradação, conforme demonstrado por vários atributos físicos, destacando-se volume total de poros, macro e microporosidade, condutividade hidráulica do solo e densidade do solo.

O voçorocamento ocasionou decréscimo acentuado na fertilidade do solo, expresso, principalmente, por redução nos teores de Ca, Mg, K e valores de SB, CTC potencial e CTC efetiva, além de promover perdas no estoque de matéria orgânica do solo.

Os atributos biológicos analisados foram sensíveis ao refletirem o estágio de degradação dos ambientes de voçoroca destacando-se o  $qCO_2$  o qual apresentou maiores valores no leito e no ambiente terço médio sem vegetação.

Embora tenham sido encontradas espécies de fungos micorrízicos arbusculares em ambientes de voçoroca, o número de esporos foi bastante reduzido nos ambientes mais degradados. Entretanto, a presença de vegetação favoreceu a ocorrência destes micosimbiontes.

A presença de vegetação espontânea ou implantada (eucalipto e candeia) em ambientes de voçorocas propiciou melhorias em vários atributos físicos, químicos e biológicos do solo, assumindo importante papel na estabilização desses ambientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic, 1995. 576 p.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **5º aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. cap. 5, p. 25-32.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to asses the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, Mar. 1993.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia ocidental. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 307-315, mar./abr. 2004.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (Special publication, 49).

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distróférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e vegetação nativa. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 515-522, jul./ago. 2005.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzymes activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, n. 11, p. 1471-1479, Oct. 1999.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. (Ed.). **Soil physics**. 4. ed. New York: J. Wiley, 1972. chap. 5, p. 178-223.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. **Revista Brasileira e Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163, jan./fev. 2004.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão CV. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, maio 2000.

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

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./mar. 2001.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v. 1, chap. 13, p. 363-375.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v. 1, chap. 14, p. 377-381.

BLANCHARD, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acids. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 29, n. 1, p. 71-72, Jan. 1965.

BLOSSER, D. L.; JENNY, H. Correlation of soil pH and percent of saturation as influenced by soil forming factors. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, n. 6, p. 1017-1018, Nov./Dec. 1971.

BONO, J. A. M. **Sistemas de melhoramento de pastagens nativas visando ao aumento de produtividade e conservação do solo**. 1994. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BOPALAH, B. M.; SHETTI, H. S. Soil microflora and biological activities in the rhizospheres and root regions of coconut-based multistoreyed cropping and coconut monocropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 89-94, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas climatológicas**: 1961-1990. Brasília: MA/SNI/INMET, 1992. 84 p.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 4, p. 269-279, Mar. 1995.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, London, v. 21, n. 2, p. 171-313, July 1991.

CALDAS, A.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Densidade de bactérias nodulíferas fixadoras de N<sub>2</sub> e de fungos micorrízicos arbusculares em área degradada, no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 2004, Lages. **Anais...** Lages: Sociedade Brasileira Ciência Solo, 2004. 1 CD-ROM.

CAMPOS, D. C. **Influência da mudança do uso da terra sobre a matéria orgânica no município de São Pedro-SP**. 1998. 83 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CARDOSO, E. L. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARNEIRO, M. A. C. **Características bioquímicas do solo em duas cronossequências de reabilitação em áreas de mineração de bauxita.** 2000. 166 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosseqüências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 621-632, mar./abr. 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, jan./fev. 2009.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 1-4, jan./abr. 1985.

CHANDER, K.; BROOKES, P. C. Effects of heavy metals from past applications of sewage sludge on microbial biomass and organic matter accumulation in a sandy loam and silty loam U.K. soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 10, p. 927-932, Oct. 1991.

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Viçosa, MG: SBCS, 1999. cap. 6, p. 487-508.

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L. Micorrizas arbusculares. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. cap. 1, p. 383-412. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 777-78, set./out. 2005.

CORRÊA, A. A. M. **Prejuízos com as perdas de solo nas áreas agrícolas.**  
Disponível em: < <http://www.embrapa.gov.br/solos> >. Acesso em: 05 jun. 2005.

CRUZ, A. C. R.; PAULETO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, nov./dez. 2003.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de Ciência do Solo.** Campinas: SBCS, 1993. 90 p.

D'ANDREA, A. F. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 919-929, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectivas para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: SBCS/UFV/ DPS, 1996. cap. 5, p. 551-564.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap. 3, p. 389-411.

DIAS JÚNIOR, H. E.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; SILVA, R. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 631-640, out./dez. 1998.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. chap. 2, p. 247-272.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; CELEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. chap. 2, p. 107-124.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 3-11, Jan. 2000.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatase in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 167-172, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 11, p.1467-1472, Nov. 1995.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, V. M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG**: origem, uso da terra e atributos do solo. 2005. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 893-901, nov./dez. 2005.

GARCIA, C.; HERNANDES, T. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 2, p. 171-177, Feb. 1997.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogene, especies extratect from soil by wetsieving and decanting. **Transaction British of the Mycological Society**, London, v. 46, n. 2, p. 235-246, June 1963.



GIAROLA, N. F. B.; CURI, N.; SIQUEIRA, 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.

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. 226 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 863-873, set./out. 2007.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D. F. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. **American Journal of Alternative Agriculture**, Washington, v. 7, n. 1/2, p. 12-16, 1992.

GRANT, C. A.; LANFOND, G. O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clayey soil in Southern Saskatchewan, **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 3, p. 223-232, May 1993.

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

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v. 15, n. 2, p. 177-188, Mar. 1988.

INTERNATIONAL CULTURE COLLECTION OF VESICULAR AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI. **Species description**. Morgantown: West Virginia Agriculture and Forestry Experimental Station, 2000. Disponível em: <<http://www.invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em: 13 maio 2009.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, n. 1, p. 69-78, Jan./Mar. 2000.

JENKINSON, D. S.; LADD, L. N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: M. Dekker, 1981. v. 5, chap. 5, p. 415-471.

KARLEN, D. L.; SCOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; CELEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. chap. 1, p. 3-21. (Special publication, 35).

KIEFT, T. L.; ROSACKER, L. L. Application of respiration- and adenylate-based soil microbiological assays to deep subsurface terrestrial sediments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 6, p. 563-568, 1991.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KISS, S.; DRAGAN-BULARDA, M.; PASCA, D. Enzymology of technogenic soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 42, p. 229-278, 1993.

LIMA, J. M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 85-90, jan./abr. 1990.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; TOKURA, A. M.; MIOTTO, D.; COLAÇO, F. W.; VIANA, C. M. Atributos químicos e microbiológicos avaliados em sistemas de cultivos agrícolas e florestais. In: SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DE MATO GROSSO DO SUL, 2., 2008, Dourados. **Anais...** Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2008. 1 CD-ROM.

MADER, P.; FLIEBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P.; NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, Switzerland, v. 296, n. 5573, p. 1694-1697, May 2002.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 425-433, maio/jun. 2003.

MC CUNE, B.; MELFFORD, M. J. **Multivariate analysis of ecological data**. Glenden Beach: MjM Software, 1999. 1 CD-ROM.

MELLONI, R.; NÓBREGA, R. S. A.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Densidade e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas endofíticas em solos de mineração de bauxita, em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 85-93, jan./fev. 2004.

MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. cap. 11, p. 193-217.

MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 267-276, fev. 2003.

MELO, E. F. R. Q. Alterações nas características químicas do solo de uma área degradada em recuperação. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 371-381.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 435-443, maio/jun. 2003.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: 2008. cap. 1, p. 1-6.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 626 p.

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 Itutinga/Camargos - MG**. Belo Horizonte: CEMIG, 2001. 51 p.

NANNIPIERI, P.; GRECO, S.; CECCANTI, B. Ecological significance of the biological activity in soil. **Soil Biochemistry**, New York, v. 6, n. 3, p. 293-355, May. 1990.

NANNIPIERI, P. Productivity, sustainability and pollution. In: PARKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota-management in sustainable farming systems**. Adelaide: CSIRO, 1994. p. 238-244.

NEVES, C. M. N. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril, no noroeste do estado de Minas Gerais**. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 45-53, jun. 2007.

OLIVEIRA, A. H.; LIMA, G. C.; MARTINS JÚNIOR, J. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, M. L. N. Voçorocas no município de Nazareno, MG: qualidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., **Anais...** Aracaju: UFSE, 2006. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, G. C. **Cambissolo da microregião Campos da Mantiqueira (MG): caracterização físico – hídrica e interpretação para manejo**. 1993. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PAUL, E. A.; HARRIS, D.; COLLINS, H. P.; SCHULTHESS, U.; ROBERTSO, G. P. Evolution of CO<sub>2</sub> and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agrosystems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 53-65, Jan. 1999.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, set./dez. 2003.

PETTERMANN, P. C.; PAULA, A. M. de; CARDOSO, E. J. B. N.; FONSECA, A. F. da. Biomassa e atividade microbiana em solo sob pastagem irrigada com efluente de lagoas de estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTILIDADE DO SOLO, 33., 2006, Bonito. **Anais...** Bonito: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.

PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana em solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 16, n. 1, p. 31-37, jan./abr. 1992.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Suprema Gráfica, 2003. 176 p.

POLGLASE, P. J.; ATTIWIL, P. M. Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age of *Eucalyptus regnans* F. Muell: I. return from plant to soil in litterfall. **Plant and Soil**, The Hague, v. 142, n. 2, p. 157-166, May 1992.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 486 p.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, ago. 1985.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2006. cap. 7, p. 163-199.

ROSALES, J.; CUENCA, G.; RAMIREZ, N.; DE ANDRADE, Z. Native colonizing species and degraded Land Restoration in La Gran Sabana, Venezuela. **Restoration Ecology**, Malden, v. 5, n. 2, p. 147-155, June 1997.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: conseqüências para o desenvolvimento vegetal**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2005. 26 p.

SANTANA, D. F.; BAHIA FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: ISSS, 1998. 1 CD-ROM.

SANTOS, C. A. P.; TÓTOLA, M. R.; BORGES, A. C.; KASUYA, C. M. Atributos indicadores da qualidade do solo em povoamentos de eucalipto fertirrigado no vale do Rio Doce, MG. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 135-141, mar./abr. 2009.

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 em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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 JÚNIOR, M. S.; CURI, N.; FAQUIN, V. **Solo no contexto ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. v. 1, p. 111-115.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto Rio Grande - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; PEREIRA, E. G. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no Sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 21-29, abr./jun. 2004.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142 p. (Documento, 45).

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SANTOS, J. G. D.; SCHNEIDER, J.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas e a degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, 2007. v. 5, cap. 5, p. 219-306.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2008. cap. 26, p. 495-524.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS, 1993. 437 p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, jan./abr. 2003.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 533-542, maio/jun. 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA–Planalsucar, 1983. 8 p. (Série penetrômetro de impacto. Boletim, 1).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235, set./dez. 1991.

STÜMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 16, p. 537-583.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology – the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 532 p.

TEIXEIRA, W. G. **Métodos de manejo em Cambissolo distrófico (epiálico) para a implantação de gramíneas forrageiras em pastagens nativas da microrregião dos Campos da Mantiqueira (MG)**. 1993. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4)**. New York: USGS, 1998. 352 p.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, out./dez. 2002.

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. C.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. chap. 9, p. 73-90. (Special publication, 35).

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SEBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p.749-755, ago. 2004.

VETTORI, L. **Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim técnico, 7).

VISSER, S.; PARKINSON, D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 7, n. 1/2, p. 33-37, July 1992.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, United Kingdom, v. 67, n. 3, p. 321-358, July 1992.



WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 542 p. (EMBRAPA-CNPAC. Documentos, 46).

WEIGAND, S.; AUERSWALD, K.; BECK, T. Microbial biomass in agricultural topsoils after 6 years of bare fallow. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, n. 2/3, p. 129-134, Feb. 1995.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHOS, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.

## ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Nomes vulgares de espécies vegetais mais comumente encontradas em diferentes ambientes de voçorocas no município de Lavras, MG.....	87
TABELA 2A	Atributos biológicos em diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG. Valores médios C-BM, RB, $qCO_2$ , CBM/COT, atividade da fosfatase e FMAs.....	89

TABELA 1A Nomes vulgares de espécies vegetais mais comumente encontradas em diferentes ambientes de voçorocas no município de Lavras, MG.

<b>Famílias e espécies</b>	<b>Nomes vulgares</b>
<b>Asteraceae</b>	
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	Candeia
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	Coração-de-negro, Candeia
<i>Lychnophora ericoides</i> Mart.	Arnica
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	Carqueja
<b>Anacardiaceae</b>	
<i>Lithraea molleoides</i> Engl.	Aroeira brava; aroeira branca, aroeirinha
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Peito de pomba, pombeiro
<b>Annonaceae</b>	
<i>Annona coriacea</i> Mart.	Araticum; Marolo
<b>Araliaceae</b>	
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schtdl.) Frodin	Mandiocão; Cinco folhas
<b>Bignoniaceae</b>	
<i>Zeyheria montana</i> Mart.	Bolsinha-de-pastor; Mandioquinha
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau	Bolsa-de-pastor
<b>Burseraceae</b>	
<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	Amescla branca, Breu
<b>Cecropiaceae</b>	
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Embaúba
<b>Cunoniaceae</b>	
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Açoita-cavalo; Ceifa cavalo
<b>Caryocaraceae</b>	
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Pequi
<b>Casuarinaceae</b>	
<i>Casuarina</i> sp.	Casuarina
<b>Erythroxylaceae</b>	
<i>Erythroxylum</i> sp.	Pimentinha do mato
<b>Fabaceae</b>	
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Barbatimão
<i>Machaerium</i> sp.	Jacarandá
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Jacarandazinho
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Cumbaru; Barú
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	Chapadinha, Amargosinha
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico branco

Continua...

TABELA 1A, Cont.

<b>Melastomataceae</b>	
<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.	Quaresmeira roxa
<i>Miconia</i> sp.	Arroz, Miconia
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Arroz, Folha peluda
<b>Myrsinaceae</b>	
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororocão, Pororoca
<b>Myrtaceae</b>	
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Piúna
<i>Eucalyptus</i> sp.	Eucalipto
<i>Myrciaria</i> sp.	Goiabinha
<b>Proteaceae</b>	
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Carne-de-vaca
<b>Piperaceae</b>	
<i>Piper</i> sp.	Pimenta-do-mato
<b>Poaceae</b>	
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf	Braquiária
<i>Andropogon</i> sp.	Capim rabo-de-raposa
<i>Bambusa</i> sp.	Bambu
<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	Capim gordura
<b>Rubiaceae</b>	
<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth.	Congonha-do-bugre, Congonha
<b>Vochysiaceae</b>	
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Gomeira, Vochysia

TABELA 2A Atributos biológicos em diferentes ambientes de três voçorocas no município de Lavras, MG. Valores médios para CBM, RB,  $qCO_2$ , CBM/COT, fosfatase e FMAs.

Ambientes <sup>1</sup>	C-BM	Respiração	$qCO_2$	CBM/COT	Fosfatase	FMAs
	$\mu\text{g C-BM} / \text{g solo seco}$	$\mu\text{g C-CO}_2 / \text{g solo}^{-1} \text{h}^{-1}$	$\mu\text{g C-CO}_2 / \text{g}^{-1} \text{Cmic}^{-1} \text{h}^{-1}$	%	$\mu\text{g PNF g solo}^{-1} \text{h}^{-1}$	50mL Solo
						<b>Esporos</b>
<b>Cambissolo Háptico</b>						
VN	375,2 a	1,33 a	3,73 b	4,5	12.057, a	191 a
TMCV	296,53 a	1,53 a	5,80 b	4,6	1969,4 c	62 b
TMSV	54,53 b	0,80 b	19,73 a	4,3	910,7 c	52 b
Leito	335,20 a	0,60 b	2,26 b	7,2	4877,6 b	46 b
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 1</b>						
VN	691,86 a	4,66 a	7,73 b	3,75	3136,8 b	430 a
TMCV	319,53 b	3,66 b	18,60 b	3,06	5448,1 a	541 a
TMSV	141,53 c	1,26 c	12,46 b	2,8	1781,1 b	332 a
Leito	171,26 c	3,06 b	30,60 a	1,9	2301,2 b	103 b
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo 2</b>						
VN	515,73 a	1,66 b	3,33 c	2,47	1924,0 b	82 b
TMCV	446,93 b	1,00 c	2,46 c	2,04	4154,3 a	265 a
TMSV	113,73 c	1,20 c	19,86 b	3,63	1009,2 c	56 b
TMEucalipto	63,26 c	0,60 c	15,66 b	0,80	1503,7 b	182 a
TMCandeia	126,40 c	1,66 b	17,93 b	1,36	2045,4 b	197 a
Leito	78,00 c	2,33 a	53,60 a	1,97	724,8 c	207 a

<sup>1</sup>VN: vegetação nativa; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; (TMEucalipto): terço médio com vegetação de eucalipto. Atributos biológicos: C-BM (carbono da biomassa microbiana); respiração basal;  $qCO_2$  (quociente metabólico), C-BM/COT (relação carbono biomassa microbiana e carbono orgânico total), atividade da fosfatase e FMAs (fungos micorrízicos arbusculares). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5%.