

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA
EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO SOB
VEGETAÇÃO NATIVA E CULTIVADOS**

Fabiana Gomes Teixeira Peixoto

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA
EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO SOB
VEGETAÇÃO NATIVA E CULTIVADOS**

Fabiana Gomes Teixeira Peixoto

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

Julho de 2010

Peixoto, Fabiana Gomes Teixeira

P379b Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos do Estado de São Paulo sob vegetação nativa e cultivados / Fabiana Gomes Teixeira Peixoto. -- Jaboticabal, 2010

vii, 69 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

Orientador: Wanderley José de Melo

Banca examinadora: José Frederico Centurion, Marcus Vinícius Vieitas Ramos

Bibliografia

1. Biomassa. 2. Atividade enzimática. 3. Ação antrópica. I. Título.
II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:633

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO SOB VEGETAÇÃO NATIVA E CULTIVADAS

AUTORA: FABIANA GOMES TEIXEIRA PEIXOTO

ORIENTADOR: Prof. Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. GABRIEL MAURÍCIO PERUCA DE MELO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO

Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSE FREDERICO CENTURION

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. MARCUS VINICIUS VIEITAS RAMOS

Instituto Federal Goiano / Urutai/GO

Data da realização: 22 de julho de 2010.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FABIANA GOMES TEIXEIRA PEIXOTO - nasceu no dia 20 de fevereiro de 1982, na cidade de Goiânia - Goiás, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual de Goiás (UEG) Unidade Universitária de Ipameri - GO, em agosto de 2001, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2005. Foi bolsista de Iniciação Científica pela Universidade Estadual de Goiás de 2002 a 2005. Trabalhou com frutíferas nativas do cerrado e com a caracterização da aptidão agrícola dos solos da universidade. Durante a graduação participou da organização de eventos científicos, de projetos de pesquisa, levando os resultados para reuniões, seminários e congressos. Atuou como Coordenadora de estágio junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Recursos Hídricos de Ipameri - GO de 2006 a 2008, período no qual ministrou palestras para o município e cidades vizinhas. Participou da organização de eventos da Secretaria do Meio Ambiente do município de Ipameri-GO. Auxiliou o grupo de trabalho comunitário na elaboração do Plano Diretor Democrático de Ipameri-GO. Ministrou cursos voltados para a área da Agronomia. Participou de bancas de conclusão de curso de graduação. Em agosto de 2008 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), em Jaboticabal - SP foi bolsista CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior durante o curso de mestrado. Em julho de 2010, obteve o título de Mestre em Agronomia "Ciência do Solo".

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já têm a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, pra sempre, à margem de nós mesmos.”

(Fernando Pessoa)

“A vida está cheia de desafios que, se aproveitados de forma criativa, transformam-se em oportunidades.”

(Maxweell Maltz)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por estar sempre presente em meu caminho.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP).

Ao meu orientador Prof. Dr. Wanderley José de Melo, pela orientação segura, amizade, paciência e pela oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal e profissional. Exemplo de profissionalismo, competência e dedicação.

A CAPES pela bolsa concedida e ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao professor Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo, meu co-orientador, pelas considerações realizadas durante as análises laboratoriais. Muito Obrigada!

Ao meu esposo Wanderson e aos meus filhos Ingredy Jordana e Berthier Neto por encherem minha vida de alegria e por entenderem minha ausência... Amo vocês.

Agradeço em especial a minha mãezinha (Teresinha) que tirou férias exclusivamente para me apoiar na conclusão deste trabalho.

Aos meus familiares, meu pai (Valdivino), meus irmãos (Juliana e Cristiano), meus sogros (Maria e Berthier) e meu tio (Nei Peixoto) pelo amor e incentivo constantes.

À banca do exame geral de qualificação, Prof^a. Dr^a. Mara Cristina Pessôa da Cruz e Prof. Dr. José Carlos Barbosa pelas críticas e sugestões que permitiram o aprimoramento do trabalho e preparação para a defesa da dissertação.

Ao professor Dr. José Frederico Centurion, por ter participado da banca da Defesa e por suas sugestões que foram de extrema importância. Muito Obrigada!

Ao professor Dr. Marcus Vinícius Vieitas Ramos, o qual foi o maior responsável, por me direcionar na área de Ciência do Solo. Muito Obrigada!

Ao professor Dr. Antonio Sérgio Ferraudó, por ter sido tão prestativo durante as análises multivariadas, seu apoio foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo, pela colaboração.

Ao professor Dr. Manoel Evaristo Ferreira, enquanto Coordenador do Programa de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo, sempre me tratou com consideração.

A professora Dr^a. Teresa Cristina Tarlé Pissarra e ao Ronaldo Barros do Departamento de Engenharia Rural que colaboraram muito com este trabalho.

Obrigada muito especial a toda Equipe do CCI - Centro de Convivência Infantil da FCAV/UNESP, vocês são exemplo de carinho, compromisso e dedicação.

Jose e família, vocês foram anjos que Deus colocou no meu caminho, no momento em que mais precisei vocês me deram a mão. Muito Obrigada!

Ao Dr. Antônio Fernando Gervásio Leonardo APTA Pariquera Açu, pelas fotografias.

Aos funcionários do Laboratório de Biogeoquímica, Sueli, Alex, Rodrigo e Roberto pela amizade, incentivo e apoio nas determinações analíticas.

Aos colegas do Laboratório de Biogeoquímica, André, Amanda, Iolanda, Luciana, Ronald e Maurício.

Ao colega Silas do Pólo Computacional da UNESP - Jaboticabal, pelo apoio.

Ao Sr. José Pinto do Instituto Agrônomo de Campinas, pelo qual adquiri um carinho especial, muito me ensinou com sua experiência de campo.

Aos meus grandes amigos: Edson, Fabiana, Muza, Osvaldo e Paula. Vocês são muito especiais!

Aos amigos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Ipameri-GO, em especial a Eliane, Kaue, Leandro Perfeito e Uanderson. Muito Obrigada!

Aos meus colegas, Karina, Lilian Lúcia, Renata, Fabiana Reis, Atalita, Flavia Gomes, Teresinha Xavier, Diego "Pimpão", Ana Flávia Gouveia, Thiago Martins, Anderson Gonçalves (Entomologia) e Ivana não poderia me esquecer de vocês.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Qualidade do solo.....	5
2.2 Indicadores biológicos de qualidade do solo.....	7
2.2.1 Biomassa microbiana do solo.....	8
2.2.2 Respiração basal do solo.....	10
2.2.3 Quociente metabólico.....	12
2.2.4 Matéria orgânica.....	12
2.3 Enzimas do solo.....	13
2.3.1 Amilases.....	15
2.3.2 Arilsulfatases.....	16
2.3.3 Celulase.....	16
2.3.4 Desidrogenases.....	17
2.3.5 Fosfatase ácida.....	17
2.3.6 Potencial de Hidrólise do diacetato de fluoresceína.....	18
2.3.7 Proteases.....	18
2.4 Análise multivariada.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Caracterização das áreas.....	22
3.2 Caracterização das amostras de terra.....	24
3.2.1 Análise química para avaliação da fertilidade dos solos.....	24
3.2.2 Conteúdo de água do solo.....	24

3.2.3 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana.....	26
3.2.4 Determinação da respiração basal do solo.....	27
3.2.5 Quociente metabólico qCO_2	27
3.2.6 Atividade de amilases.....	27
3.2.7 Atividade de arilsulfatases.....	28
3.2.8 Atividade de celulase.....	28
3.2.9 Atividade de desidrogenases.....	28
3.2.10 Atividade de fosfatase ácida.....	28
3.2.11 Atividade de proteases.....	29
3.2.12 Potencial de Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).....	29
3.3 Análise dos resultados obtidos.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Análise multivariada.....	44
5 CONCLUSÕES.....	49
ANEXO.....	50
6 REFERÊNCIAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Localização dos municípios para seleção dos principais núcleos de amostragem de solos do Estado de São Paulo.....	21
Figura 2. Localização dos mapas-base para seleção dos principais núcleos de amostragem de solos do Estado de São Paulo.....	22
Figura 3. Gráfico dos componentes principais Fator 1.....	47
Figura 4. Gráfico dos componentes principais Fator 2.....	47
Figura 5. Gráfico dos componentes principais 1 e 2 distribuição das amostras pelos dois componentes principais.....	48
Figura 6. Dendrograma dos grupos de solos e variáveis analisadas.....	48
Figura 7. Alguns locais de coleta de terra.....	51
Figura 8. Alguns locais de coleta de terra.....	52

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Solos selecionados em diferentes regiões do Estado de São Paulo.....	23
Tabela 2. Caracterização química dos solos 0-0,20 m de diferentes regiões do Estado de São Paulo.....	25
Tabela 3. Conteúdo de água dos solos selecionados no momento da coleta.....	26
Tabela 4. Solos selecionados para análise multivariada.....	30
Tabela 5. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana camada 0-0,20m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.....	32
Tabela 6. Respiração basal do solo e quociente metabólico camada 0-0,20m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.....	35
Tabela 7. Atividade da amilase, arilsulfatase e celulase camada 0-0,20m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e sob cultivo.....	37

Tabela 8. Atividade da desidrogenase e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína camada 0-0,20m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e sob cultivo.....	39
Tabela 9. Atividade da fosfatase ácida e protease camada 0-0,20m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e sob cultivo.....	40
Tabela 10. Correlação linear entre atributos químicos, biológicos e bioquímicos de onze solos sob condições de mata nativa ou cultivados no Estado de São Paulo.....	42
Tabela 11. Atividade da arilsulfatase, amilase, celulase, camada 0-0,20 m de quatorze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa ou sob cultivo.....	43
Tabela 12. Atividade da desidrogenase, FDA, fosfatase ácida e protease camada 0-0,20 m de quatorze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa ou sob cultivo.....	43
Tabela 13. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico na camada 0-0,20 m de quatorze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa ou sob cultivo.....	44
Tabela 14. Análise multivariada de fatores.....	45

BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO SOB VEGETAÇÃO NATIVA E CULTIVADOS

RESUMO - A derrubada da vegetação nativa e o uso do solo para atividades agropecuárias podem causar alterações nos atributos do solo que variam de intensidade, em função do tipo de manejo adotado. É importante o acompanhamento na variação dos atributos do solo no sentido de detectar alterações que venham em detrimento do potencial produtivo, as propriedades biológicas são as que primeiro se alteram, sendo de grande validade na detecção de impactos negativos no solo pelo uso. O objetivo deste estudo foi verificar alterações em atributos biológicos, comparando áreas sob vegetação nativa com áreas cultivadas com cana-de-açúcar, milho, pastagem e citros. A partir de um ponto georreferenciado, cada área amostrada foi dividida em três sub áreas com 100 m² (10 x 10 m), sendo coletadas 20 amostras simples em cada uma delas na profundidade 0-0,20 m, que foram misturadas para formar uma amostra composta. As áreas em estudo incluíram onze Latossolos, seis Argissolos, três Neossolos, dois Nitossolos, um Gleissolo, um Organossolo, um Cambissolo e um Chernossolo, solos estes situados em diferentes municípios do Estado de São Paulo. Nas amostras de solo foram avaliados: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico (qCO_2) e atividade das enzimas amilase, arilsulfatase, celulase, desidrogenase, fosfatase ácida, protease e o potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). As atividades de arilsulfatases e desidrogenases foram as que melhor refletiram alterações antrópicas sofridas pelos solos em estudo. A matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica foram às propriedades químicas do solo que melhor se correlacionaram com os atributos biológicos e bioquímicos avaliados.

Palavras-Chave: sustentabilidade, atividade biológica, quociente metabólico, enzimas do solo, impacto ambiental, solos degradados.

BIOMASS AND MICROBIAL ENZYMATIC ACTIVITY OF THE STATE OF SÃO PAULO AND CULTIVATED UNDER NATIVE VEGETATION

SUMMARY - The removal of the natural vegetation and the use of the soil for agricultural purposes may cause deep alterations in the soil properties depending on the management applied. It is important periodic evaluations of soil properties in order to detect alterations that can degrade the soil. Among soil properties, soil biological activities are those that first indicate soil modifications. The objective of this study was to evaluate changes in soil biological attributes, comparing areas under native forests with areas with the same soils and cultivated with sugarcane or maize. From a georeferenced point, each selected area was divided into three plots with 100 m² (10 x 10 m), and 20 simple samples were collected in the 0-0.20 m depth, which were mixed to form a composed sample. The studied areas included the eleven different Oxisols, Ultisols six, three Neossolos two Alfisols, an Ultisol, a Organosol a Cambisol and a Chernosol, these soils located in different districts all in São Paulo State. The following soil attributes were evaluated in the soil samples: carbon and nitrogen in the soil microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient ($q\text{CO}_2$), the activity of the enzymes amylases, arylsulphatase, cellulose, dehydrogenases, phosphatase acid, proteases and the hydrolysis of fluorescein diacetate (FDA). The activities of arylsulfatase and dehydrogenase were the ones that best reflected changes undergone by anthropogenic soils in the study. Organic matter associated and cation exchange capacity were the soil properties that best correlated with the biological and biochemical attributes evaluated.

Keywords: sustainability, biological activity, metabolic quotient, soil enzymes, environmental impact, degraded soils.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional e a crise de alimentos no mundo, o manejo intensivo do solo e o uso de pesticidas e fertilizantes tornaram-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007). Contudo, este tipo de exploração do solo ocasiona sua degradação, com acelerada perda de matéria orgânica e nutriente, diminuindo a atividade da microbiota e a qualidade do solo, tornando o sistema produtivo não sustentável.

Um solo equilibrado proporciona a planta um desenvolvimento vigoroso e oferece condições para expressar todo seu potencial genético de produção. Esse equilíbrio é alcançado quando se tem uma comunidade microbiana ativa e com todas as condições de desenvolver suas atividades (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

A retirada da mata nativa para implantação da agropecuária rompe um ciclo natural em equilíbrio em que folhas e outras partes da planta depositadas na superfície do solo são transformadas pela microbiota presente no solo, resultando na ciclagem dos nutrientes que serão absorvidos pelas plantas, mantendo a estabilidade do sistema. O rompimento do equilíbrio leva a uma rápida queda no conteúdo de matéria orgânica, com reflexos negativos na atividade biológica do solo e na sua capacidade produtiva, caso um sistema de manejo conservacionista não seja imediatamente implantado (CERRI & MORAES, 1992).

Como consequência, os atributos biológicos do solo são os primeiros a serem afetados pelo manejo não conservacionista do solo, de tal modo que podem constituir índices de qualidade para a detecção imediata de sistemas de manejo que estejam causando impactos negativos no solo. Para a obtenção de indicadores sensíveis de qualidade do solo, são necessárias combinações de diferentes atributos (BROOKES, 1995).

Segundo NORTCLIFF (2002) a avaliação da qualidade do solo envolve a integração complexa de fatores químicos, físicos e biológicos, funcionalmente

dinâmicos, definindo um estado ideal para um número infinito de cenários ambientais e de manejo. Qualquer avaliação da qualidade do solo deve considerar seu papel multifuncional.

As avaliações qualitativas e quantitativas de variáveis relacionadas à atividade microbiana são importantes, quando se pretende conhecer as transformações ocorridas no solo, as quais podem ser inferidas pela quantificação das frações do carbono e do nitrogênio do solo que participam do compartimento microbiano, da atividade respiratória e enzimática.

Dentre os vários indicadores de qualidade do solo os de caráter microbiológicos têm sido cada vez mais avaliados como os mais sensíveis, dados o relacionamento entre a atividade e diversidade microbiana, qualidade do solo e da vegetação e sustentabilidade do ecossistema (DORAN & PARKIN, 1994a).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da remoção da mata nativa e do cultivo do solo de diferentes regiões do Estado de São Paulo sobre o conteúdo de C (CBMS) e o N (NBMS) da biomassa microbiana do solo, respiração basal (RBS), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), atividade das enzimas amilase, arilsulfatase, celulase, desidrogenase, fosfatase ácida, potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) e protease em Latossolos, Argissolos, Nitossolos e Cambissolos e a caracterização biológica e bioquímica, de Latossolos, Argissolos, Neossolos, Gleissolo, Organossolo e Chernossolo, e aplicar a estatística multivariada para que se obtenham grupos de acordo com o grau de similaridade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A atual realidade mundial consiste no uso intensivo da terra, em atividades agrícolas para suprir a crescente demanda alimentar, ocasionada pelo acelerado crescimento populacional, através de sistemas intensivos de produção, com aplicação de doses elevadas de pesticida, além de mecanização intensa e inadequada, na busca por altas produtividades de monoculturas, acarretando perdas na qualidade do solo.

No Brasil, a realidade não é diferente, a excessiva exploração do solo, ocasiona sua degradação com acelerada perda de matéria orgânica. O atual modelo empregado nos sistemas agrícolas, mantidos com altos custos monetários e energéticos, proporcionam em um período relativamente curto, a degradação do solo, através da erosão, compactação, destruição dos agregados e contaminação dos mananciais hídricos, dificultando as atividades da microbiota e dos seus processos bioquímicos.

Freqüentemente, o solo tem a capacidade de neutralizar os efeitos de condições de uso incorreto, essa capacidade neutralizadora do solo existe porque ele é um material muito complexo e variado, com muitos atributos físicos, químicos e biológicos (NORTCLIFF, 2002).

Os ecossistemas naturais são capazes de suportar impactos provocados por perturbações periódicas ou agudas, já que exibem notável resistência e/ou elasticidade. Entretanto quando uma perturbação crônica é inserida, pode provocar efeitos pronunciados e prolongados, podendo desequilibrar o ecossistema de forma irreversível (ODUM, 1988).

Assim, o manejo inadequado e intensivo do solo pode ocasionar um estado de degradação que, caso seja reversível requer muito mais tempo e recurso para sua recuperação. Fatores de ordem química e biológica podem ser afetados, impossibilitando à ocorrência de reações enzimáticas que favorecem a absorção de nutrientes de forma equilibrada.

O solo como um sistema natural vivo e dinâmico, regula a produção de alimentos e fibras e o balanço global do ecossistema, além de servir como meio para o crescimento vegetal, através do suporte físico, disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio para as raízes (DORAN et al., 1996).

As principais funções do solo relacionadas às atividades da agricultura e meio ambiente, são: a) prover um meio de crescimento vegetal e habitat para animais e microrganismos; b) regular o fluxo de água no ambiente; e c) servir como um “tampão ambiental” na atenuação e degradação de compostos químicos prejudiciais ao meio ambiente (LARSON & PIERCE, 1994).

O solo é responsável pelo fluxo de água no ciclo hidrológico, pelo controle das emissões dos gases do efeito estufa, pela atenuação, tamponamento e remediação de contaminantes xenobióticos e pelo controle da qualidade da água e do ar (BURNS et al., 2006).

Considerado por muito tempo um receptor ilimitado de materiais descartáveis, como o lixo doméstico, os efluentes e os resíduos industriais, com base na suposição de que o solo apresenta uma capacidade ilimitada de atenuação das substâncias nocivas presentes, que levaria ao saneamento dos impactos criados. Essa capacidade, como ficou comprovado, é limitada (CETESB, 2001).

Na literatura encontram-se várias definições sobre qualidade do solo, (LARSON & PIERCE, 1994) a definem como a capacidade do solo funcionar dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo. Varia consideravelmente, apresentando caráter dinâmico, podendo ser expressa tanto pelos atributos inerentes ao solo como pela habilidade do solo em interagir com estímulos aplicados.

Estimativas de diversidade, biomassa e atividade microbiana podem ser indicadores úteis de qualidade do solo, pois a biomassa microbiana assume função importante na decomposição da matéria orgânica do solo, não há dúvidas de que as atividades antrópicas são os grandes responsáveis pela diminuição da diversidade microbiana e que as alterações na biomassa e atividade microbiana

são decorrentes de perda de qualidade e ou quantidade de matéria orgânica na superfície do solo (NDAW et al., 2002).

Para REIS JÚNIOR & MENDES (2007), a identificação e o melhor conhecimento de indicadores microbiológicos em solos são fundamentais tanto para incentivar o agricultor que já está adotando sistemas agrícolas conservacionistas, bem como para alertar aquele que está adotando sistemas de manejo que levam à degradação do solo.

Uma das principais estratégias para evitar a expansão da fronteira agrícola, com o desmatamento de novas áreas, é recuperar as áreas que se encontram em algum estágio de degradação e manter ou melhorar a qualidade das áreas utilizadas atualmente na atividade agropecuária. Desse modo, o melhor entendimento do componente biológico do solo será decisivo para a resolução da equação, envolvendo manutenção de altas produtividades e sustentabilidade de sistemas agropecuários (REIS JÚNIOR & MENDES, 2007).

Segundo GRISI (1995), ao se avaliar a atividade dos microrganismos pode-se ter uma idéia sobre a importância do seu papel nos ecossistemas, ou seja, se em determinadas condições ambientais as populações microbianas estão em atividade, decompondo a necromassa, promovendo assim a neossíntese dos nutrientes.

2.1 Qualidade do Solo

Segundo DORAN & PARKIN (1994a), a qualidade do solo é definida como a capacidade do solo em funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais. Diversos autores definem o termo qualidade do solo, como a “capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da

água e do ar e suportar o crescimento humano” (KARLEN et al., 1997); “condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de algum propósito humano” (JOHNSON et al., 1997); “capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo de água e solutos, degradar, imobilizar e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos” (SEYBOLD et al., 1998). “capacidade do solo em funcionar dentro do ecossistema visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais, sendo avaliada pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos” (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

A qualidade do solo pode ser o indicador ideal do manejo sustentável do ambiente uma vez que podem incluir na sua definição: a) existência de relação causal entre qualidade do solo e funções do ecossistema, como a conservação da biodiversidade, produção de biomassa e conservação do solo; b) capacidade dos indicadores da qualidade do solo para predizer as respostas a impactos no ambiente; c) maior resposta e acessibilidade ao monitoramento; d) maior integração com outros indicadores bio-físicos e sócio-econômicos; e) amplitude do conceito da qualidade do solo no contexto da paisagem e do ambiente (HERRICK, 2000).

Para GIL-SOTRES et al. (2005) citado por MELO (2006), há duas opções para definir o termo “qualidade do solo”. A primeira considera que a qualidade máxima do solo é a de um solo que está em equilíbrio com todos os outros componentes do ambiente, como a vegetação clímax, de uma floresta. A segunda considera que a referência de qualidade máxima está relacionada aos solos capazes de manter alta produtividade, causando o mínimo de distorção no ambiente.

A qualidade do solo pode ser avaliada através do uso de indicadores. Indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema e podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

O critério para o uso de um parâmetro como indicador da qualidade do solo, é a sua capacidade de interferir nos processos ecológicos, integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas, além de ser facilmente utilizável por especialistas, técnicos e agricultores, assim os microrganismos se enquadram nesses critérios podendo ser utilizados como sensíveis indicadores da qualidade do solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

Para DORAN & PARKIN (1994a) um conjunto mínimo de indicadores englobando atributos físicos, químicos e biológicos devem ser utilizados nas análises de qualidade do solo.

2.2 Indicadores biológicos de qualidade do solo

Os microrganismos presentes na maioria dos solos podem ser utilizados como sensíveis bioindicadores de qualidade do solo, pois podem provocar alterações significativas em substratos e influenciar grandemente a composição do ar e da solução do solo. Bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da sua qualidade (DORAN & PARKING, 1994a). Segundo WITTIG (1993) biomonitoramento é a medida da resposta de organismos vivos a mudança no seu ambiente.

Os efeitos desta atividade decrescem com a profundidade do solo devido à menor aeração e ao menor suprimento de matéria orgânica (RESENDE et al., 2002). A atividade biológica se concentra nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Nestas camadas, o componente biológico ocupa uma fração de menos que 0,5% do volume total do solo e representa menos que 10% da matéria orgânica. Este componente biológico consiste principalmente de microrganismos, os quais decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (KENNEDY & DORAN, 2002).

Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um evidente sinal na melhoria ou na degradação do solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

Para que um atributo possa ser considerado um bom indicador biológico: devem ser exatos e precisamente avaliados para se obter respostas em uma ampla escala de tipos e condições de solo; devido ao alto número de amostras analisadas normalmente, os atributos microbiológicos devem ser fáceis e econômicos de serem avaliados; sensíveis a stress, mas suficientemente robustos para não fornecer alarmes falsos; devem ter validação científica, com base na realidade e conhecimento atual (VISSER & PARKINSON, 1992; BROOKES, 1995).

Dois ou mais atributos, independentes, devem ser utilizados para determinar a qualidade do solo (BROOKES, 1995). Nenhum indicador individualmente conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo, existindo uma relação entre todos os atributos do solo (STENBERG, 1999).

2.2.1 Biomassa microbiana do solo

A biomassa microbiana (BMS) é a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo raízes e animais maiores que $5 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ (JENKINSON & LADD, 1981; PAUL & CLARCK, 1989) sendo o equivalente ao peso por unidade de volume ou área de solo, de grupos de organismos que ocorrem comumente nos solos citado por (RESENDE et al., 2002).

A BMS pode ser avaliada por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos envolvem a microscopia dos componentes da biomassa microbiana (bactérias e fungos). A microscopia é o método mais antigo e vem sendo substituído, por outros métodos indiretos. Os métodos indiretos para determinação

da BMS são a fumigação-extração, fumigação-incubação e a respiração induzida pelo substrato (ANDERSON & DOMSCH, 1978).

De maneira geral a BMS está diretamente relacionada à quantidade de carbono (substrato) presente no solo. Ela é elevada em solos com vegetação, com teores elevados de argila ou sob cultivo mínimo e baixa nos solos cultivados, arenosos ou degradados pela erosão ou contaminação (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Os microrganismos representam de 1 a 4% do total do carbono orgânico do solo JENKINSON & LADD (1981) e são de grande importância para a nutrição de plantas, pois atuam diretamente nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, responsáveis pelos processos de mineralização de elementos como o N, P, S entre outros.

A BMS permite obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou por devastação de florestas, medir regeneração dos solos após a remoção da camada superficial e avaliar os efeitos dos poluentes do solo (FRIGHETTO, 2000).

A BMS é um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais. Representa, ainda, uma reserva considerável de nutrientes, os quais são continuamente assimilados durante os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema. Assim, os solos que mantêm um alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes não somente de estocar, mas também de ciclar mais nutrientes no sistema (GREGORICH et al., 1994).

As funções da BMS seriam de fonte e dreno de nutrientes e catalisador em função da execução de processos enzimáticos no solo (DUXBURY et al., 1989; TEMPLER et al., 2003) sendo amplamente aceita por atuar como agente de transformação da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000).

A BMS não é uma estimativa da atividade dos microrganismos do solo, mas da massa microbiana viva total do solo, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular, considerando-se a população microbiana como uma entidade única (DE-POLLI & GUERRA, 1999).

Estudos mostraram que em média, 2,5% do carbono orgânico total e 5% do N total estão presentes na BMS. Isto demonstra o potencial da BMS, como fonte de nutrientes para as plantas na forma orgânica facilmente mineralizável, já que a decomposição de seus tecidos ocorre rapidamente (ANDERSON & DOMSCH, 1980).

Apesar de ser um indicador precoce de intervenções antrópicas, a BMS deve estar associada a outro indicador, como o conteúdo de matéria orgânica, por exemplo, para que possa ser utilizada como índices comparativos de qualidade do solo sob diferentes manejos (BROOKES, 1995).

A resposta da BMS é mais rápida, se comparado com o conteúdo de matéria orgânica (JENKINSON & LADD, 1981). Estes autores sugerem que as mudanças no conteúdo de biomassa microbiana predizem em longo tempo o conteúdo de matéria orgânica do solo. Dessa forma, segundo (LARSON & PIERCE, 1994) as taxas de mudanças da biomassa podem indicar, em longo tempo, a qualidade e a saúde do solo.

Assim, a fertilidade natural do solo depende significativamente da ciclagem de matéria orgânica que é mediada pela BMS. O declínio na atividade microbiana terá alto impacto na fertilidade natural do solo, com grandes efeitos nos ecossistemas naturais (BROOKES, 1995).

2.2.2 Respiração basal do solo

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido, através da oxidação biológica

da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbios, ocupa posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres (ALEF, 1995).

As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica (MO). A RBS possui estreita relação com as condições abióticas do solo entre elas a umidade, temperatura e aeração. CATTELAN & VIDOR (1990) detectaram influência destas características, além da disponibilidade de substrato no solo, sobre a RBS e o Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C). A disponibilidade de C no solo tem sido descrita como fonte contribuidora para o aumento da RBS.

A avaliação da RBS é a técnica mais freqüente para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana (ALEF, 1995).

A quantificação da RBS é variável e dependente da disponibilidade do substrato, umidade e temperatura (BROOKES, 1995). Ainda segundo o mesmo autor, os microrganismos respondem rapidamente a mudanças nas condições do solo após longos períodos de baixa atividade. Poucos segundos após o reumedecimento do solo ocorre aumento na respiração e mineralização do C e do N da matéria orgânica do solo. Existe grande variabilidade nas medidas da respiração e desta forma, torna difícil a interpretação dos resultados quando somente é utilizado este indicador.

A respiração microbiana é influenciada pela temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes do solo, assim o pré-tratamento e a padronização das amostras devem ser realizados antes da avaliação da respiração. A respiração microbiana diminui com a profundidade do solo e correlaciona-se significativamente com o conteúdo de matéria orgânica e os outros indicadores biológicos (ARAÚJO & MONTEIRO, 2006; ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

2.2.3 Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O $q\text{CO}_2$ é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C) e tempo, sendo usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo ANDERSON & DOMSCH (1993), podendo ser utilizado como sensível indicador de estresse quando a BMS-C é afetada, sendo ambas as ferramentas importantes no entendimento das transformações e perdas nos compartimentos orgânicos do solo.

Este atributo indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica e qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002).

O uso do $q\text{CO}_2$ como um indicador de mudanças na qualidade do solo está baseado na teoria sobre a respiração da comunidade descrita por (ODUM, 1985). Na qual descreve que o aumento da respiração da comunidade pode ser o primeiro sinal de estresse, uma vez que a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular. Desse modo, durante um estresse na biomassa microbiana, haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO_2 .

KLUMP et al. (2003) recomendam a utilização do quociente microbiano como indicador de impacto em solos e comentam que esse índice se mostrou mais adequado que a biomassa microbiana.

2.2.4 Matéria orgânica

A matéria orgânica é considerada por POWLSON et al. (1987) como o melhor indicador da qualidade do solo. Um solo com teor elevado de matéria

orgânica tende a manter a população microbiana mais estável ao longo dos anos, provavelmente, em decorrência da riqueza de nichos ecológicos e pela heterogeneidade das fontes de carbono (GRAYSTON & JONES, 1996).

Para DORAN & PARKIN (1994b), a matéria orgânica do solo apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave da qualidade do solo, pois além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão.

2.3 Enzimas do solo

Segundo MELO et al. (2008) enzimas são biomoléculas de natureza predominantemente protéica, que catalisam reações termodinamicamente possíveis. São catalisadores que aumentam a velocidade das reações bioquímicas, por volta de 10⁶ a 10¹² vezes quando comparadas com as reações não-catalisadas (SMITH et al., 1985).

As enzimas apresentam grande potencial como indicadoras de qualidade do solo por serem sensíveis às variações induzidas por fatores ambientais e de manejo, e os processos de sua análise são relativamente simples e rápidos (BALOTA et al., 2004; TEJADA et al. 2006).

Enzimas ativas e biomassa microbiana estão intimamente relacionadas devido às transformações de importantes compostos orgânicos ocorridas por intermédio dos microrganismos (AJWA et al., 1999).

Os microrganismos introduzem no solo um grande número de enzimas, sendo que boa parte delas tem-se revelado ativa no solo, entre as quais se incluem óxido-redutases, hidrolases e transferases (RESENDE et al., 2002). Muitas enzimas do solo são importantes na formação de moléculas orgânicas

recalcitrantes que contribuem para a estabilidade química dos ecossistemas (MARTENS et al., 1992).

A biota produz enzimas que podem ser excretadas ou ficarem ligadas à membrana externa, de tal modo a proceder à hidrólise de biomoléculas de elevado peso molecular, como amido, celulose e proteínas. As biomoléculas menores são absorvidas e então enzimas internas, são sintetizadas para a continuidade do processo metabólico. Ao afetar os organismos do solo, os agentes de poluição afetam a síntese de enzimas e até mesmo a atividade de enzimas já existentes através de ligações químicas que acabam por alterar a configuração dos sítios ativos.

Assim, a atividade enzimática se constitui uma forma de avaliar impactos, antes que outras propriedades sejam afetadas. Uma detecção precoce possibilita maior probabilidade de êxito na prevenção ou correção dos efeitos negativos (REVOREDO, 2005).

Cada enzima exibe um alto grau de especificidade e catalisa uma ou, no máximo, algumas reações. Este elevado grau de especificidade enzimática é o fator responsável pela rede coordenada de reações químicas que ocorre nas células vivas e cuja soma constitui o metabolismo. A velocidade de várias reações enzimáticas críticas é regulada por mecanismos especiais, que modificam as suas atividades catalíticas, constituindo-se num fenômeno de grande importância para o metabolismo (SMITH et al., 1985).

As enzimas estão associadas à vida das células metabolicamente ativas. Portanto as fontes de enzimas para o solo são os microrganismos, os vegetais e a fauna, o que reforça a importância das áreas de preservação ambiental, na manutenção do equilíbrio do sistema.

Entre os fatores importantes na determinação da atividade enzimática do solo estão o preparo das amostras e o armazenamento, uma vez que o manuseio e a secagem ao ar podem determinar alterações no número de microrganismos e na atividade enzimática; além do pH, temperatura, tempo de incubação e concentração do substrato (MELO, 1988).

A atividade enzimática é uma ferramenta importante no monitoramento das alterações que ocorrem no solo devido a fatores antropogênicos, neste contexto, é evidente a importância da pesquisa para obtenção de parâmetros, que possam ser utilizados como indicadores de qualidade, que norteiem estratégias de prevenção de possíveis riscos de desequilíbrio ambiental.

2.3.1 Atividade de Amilases

A denominação amilase inclui um conjunto de enzimas que catalisam a hidrólise do amido até unidades de glicose. O amido é um homopolissacarídeo formado por dois tipos de biomoléculas, a amilose, formada por muitas unidades de glicose unidas através da ligação glicosídica α 1,4, e a amilopectina, formada por unidades de glicose em ligação glicosídica α 1,4 e α 1,6 (MELO, 1988).

No solo, sob a ação de enzimas chamadas de amilase, as ligações glicosídicas da molécula de amido são hidrolisadas, liberando unidades de maltose e, no estágio final de hidrólise, moléculas de glicose. Assim, após a hidrólise, o amido transforma-se em açúcar redutor.

Há vários tipos de amilase, cada um promovendo a quebra da molécula em posições diferentes. As α -amilases ou endoamilases hidrolisam as ligações glicosídicas α -1,4 ao acaso, mas não são capazes de hidrolisar a ligação glicosídica α -1,6. Da sua ação resulta a liberação de uma mistura de glicose, maltose, maltotriose e dextrinas limites. As β -amilases removem unidades de maltose (2 glicoses em ligação glicosídica α -1,4) a partir de uma extremidade não redutora. Também não conseguem hidrolisar a ligação glicosídica α -1,6.

2.3.2 Atividade de Arilsulfatases

A enzima arilsulfatase catalisa a hidrólise de p-nitrofenil sulfato, sulfato de potássio fenila, sulfato de potássio nitrocatechol fenolftaleína e sulfato de potássio. Os valores encontrados quando o sulfato de p-nitrofenil foi utilizado como substrato foram dependentes do tipo de solo.

Sabe-se que a atividade da arilsulfatase diminui com a profundidade do solo e estudos mostraram correlações significativas com o teor de carbono orgânico, nitrogênio total e capacidade de troca catiônica (TABATABAI & BREMNER 1970). Sabe-se que a maior parte do enxofre total encontrado nos solos está presente sob a forma de sulfatos orgânicos, a enzima arilsulfatase atua na disponibilização do S, para as plantas. No entanto, JARVIS et al. (1987) não encontraram correlação entre a atividade da arilsulfatase e mineralização de enxofre.

2.3.3 Atividade de Celulase

A celulose é um homopolissacarídeo formado por n moléculas de glicose em ligação glicosídica β 1,4. Pelo fato de ser uma molécula muito grande, possui poucas extremidades reductoras, sendo considerada como um carboidrato não redutor, ou seja, não é capaz de reduzir o cobre do licor de Fehling.

A celulase é uma enzima que catalisa a hidrólise da celulose em unidades de celobiose, que é um dissacarídeo formado por unidades de glicose em ligação glicosídica β 1,4. A celobiose é posteriormente hidrolisada pela β -glicosidase, de tal modo que a hidrólise total da celulose resulta em muitas moléculas de glicose. Tanto a glicose como a celobiose são capazes de reduzir o cobre do licor de Fehling, formando um precipitado de cor vermelho tijolo, que é o óxido cuproso (PANCHOLY & RICE, 1973).

2.3.4 Atividade de Desidrogenases

As desidrogenases são enzimas que catalisam a oxidação de substratos orgânicos pela remoção de elétrons e hidrogênios, os quais são recebidos por uma coenzima como NAD⁺ ou FAD⁺. As desidrogenases são enzimas ligadas às células e não enzimas extracelulares.

Os íons nitrato, nitrito e Fe⁺³ inibem a atividade de desidrogenases, enquanto P-inorgânico, Fe⁺², sulfato e Mn estimulam a redução do trifeniltetrazólio (TTC) (BREMNER & TABATABAI, 1973).

É preciso evitar o contato do meio de incubação com o oxigênio do ar, pois o TTC é reduzido pelo oxigênio do ar. Para que os resultados de diferentes amostras sejam comparáveis, é necessário que os tubos de ensaio tenham a mesma área de exposição ao oxigênio (BENEFIELD et al., 1977) e o menor diâmetro possível.

O TTC é um indicador muito sensível de alterações na atividade microbiana do solo causada por diferentes tipos de manejo do solo, entre eles os métodos de cultivo (TIWAN et al., 1989).

2.3.5 Atividade de Fosfatase ácida

As enzimas genericamente chamadas de fosfatases catalisam a hidrólise da ligação éster de fosfato. Há três grupos de fosfatases, de acordo com o tipo de ligação fosfórica que hidrolisam: fosfomonoesterases, fosfodiesterases e fosfotriesterases.

Ao grupo das triéster fosfórico hidrolases, pertencem às enzimas que atuam sobre grupos fosforil, contendo anidrido e as que atuam sobre a ligação P-N, caso das fosfoamidases.

As fosfomonoesterases têm sido muito estudadas, pois transformam o fósforo orgânico em inorgânico, que pode ser absorvido pelas plantas. As enzimas

deste grupo classificam-se em ácidas, neutras e alcalinas, dependendo do pH ótimo para a hidrólise. Tanto as fosfatases ácidas (pH ótimo= 4,0 - 6,5) como as alcalinas (pH ótimo= 9,0 - 10,0) têm sido encontradas no solo.

2.3.6 Potencial de Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A hidrólise do 3,6 diacetilfluoresceína (FDA) não expressa a atividade de uma enzima específica, mas a de um grupo de enzimas que são capazes de realizá-la. Neste grupo estão lipases, esterases, proteases. O FDA pode ser hidrolisado por algas, protozoários e tecidos animais, mas não por esporos e células microbianas na fase estacionária de crescimento, de tal modo que a reação pode ser usada para colorir células microbianas ativas.

Os ésteres da fluoresceína são apolares e conseguem atravessar com facilidade a membrana celular, enquanto os produtos da hidrólise são polares e permanecem no interior da célula. O pH ótimo para a hidrólise do FDA situa-se na faixa 7 - 8. Em pH 8,5 já ocorre a hidrólise química do FDA.

A solução de diacetato de fluoresceína é incolor, enquanto a solução de fluoresceína apresenta-se fluorescente e pode ser estimada quantitativamente por espectrofotometria. Este é o princípio do método para avaliação do potencial de hidrólise do FDA em amostras de solo (SCHNÜRER & ROSSWALL, 1982).

2.3.7 Atividade de Proteases

Proteases são enzimas que catalisam a hidrólise de proteínas, liberando, no estágio final de hidrólise, uma mistura de aminoácidos.

Os aminoácidos liberados são passíveis de sofrer desaminação, liberando o nitrogênio na forma amoniacal. Assim, a hidrólise das proteínas constitui o

primeiro passo na mineralização do nitrogênio protéico que chega ao solo através da incorporação dos restos culturais, fertilizantes orgânicos ou pela morte de organismos.

2.4 Análise multivariada

A análise multivariada refere-se a todos os métodos estatísticos que simultaneamente analisam múltiplas medidas (variáveis) sobre cada indivíduo ou objeto de investigação. As variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de maneira que seus diferentes efeitos não podem ser significativamente interpretados de forma separada (FERRAUDO, 2009).

A análise de componentes principais (ACP) foi introduzida por (PEARSON, 1901) e fundamentada por (HOTELLING, 1933). Essa análise explica a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, formado por p-variáveis aleatórias, por combinações lineares das variáveis originais denominadas de componentes principais e não correlacionadas entre si. Avalia a estrutura das variáveis considerando a variância total contida nas variáveis originais. Redimensiona o conjunto de variáveis num conjunto menor preservando a máxima informação contida nas variáveis originais.

O principal objetivo da ACP é reduzir a dimensão dos dados originais, retirando informações redundantes provenientes de variáveis que estejam correlacionadas. Assim as variáveis originais são reduzidas a umas poucas novas variáveis independentes, que explicam a informação relevante, simplificando com isso, a interpretação de dados e eliminando informações desnecessárias (FERRAUDO, 2009).

Na ACP as unidades amostrais são distribuídas em gráficos bidimensionais ou tridimensionais onde os eixos ortogonais são os componentes principais (FERRAUDO, 2009).

A ACP é uma técnica de ordenação amplamente empregada para sumarizar e integrar dados multivariados (VALENTIN, 2000; CLARKE & WARWICK, 2001; PIELOU, 1984). Essa técnica é mais eficiente quanto maior for a sua estrutura de correlação com as variáveis originais, possibilita o estudo da similaridade ou dissimilaridade inter e intragrupos e também a avaliação da importância de cada variável sobre a variação total disponível entre as coberturas estudadas (CRUZ & REGAZZI, 1994).

O sistema original de coordenadas é transformado, e os componentes principais (ou fatores), que explicam a maior parte da variabilidade dos dados, são representados pelos eixos cartesianos de modo que o eixo da primeira componente esteja na direção do máximo de variância contida nos dados (eixo 1) e o segundo, ortogonal ao primeiro, deverá explicar a maior quantidade de variância restante. A quantidade de eixos retidos e representados deverá ser determinada pelo pesquisador com base na quantidade de variância explicada pelo modelo (POPI & SENA, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com base em mapas de solos do Estado de São Paulo, foram selecionadas trinta e seis áreas de diferentes solos (Figuras 1 e 2). Das áreas selecionadas apenas onze possuíam vegetação nativa e cultivo simultaneamente. As demais foram representadas por solos de mata nativa, sob cultivo de cana-de-açúcar e sob pastagem. Estes solos haviam sido previamente caracterizados por (OLIVEIRA et al., 1977) e (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). A localização das áreas é apresentada na (Tabela 1).

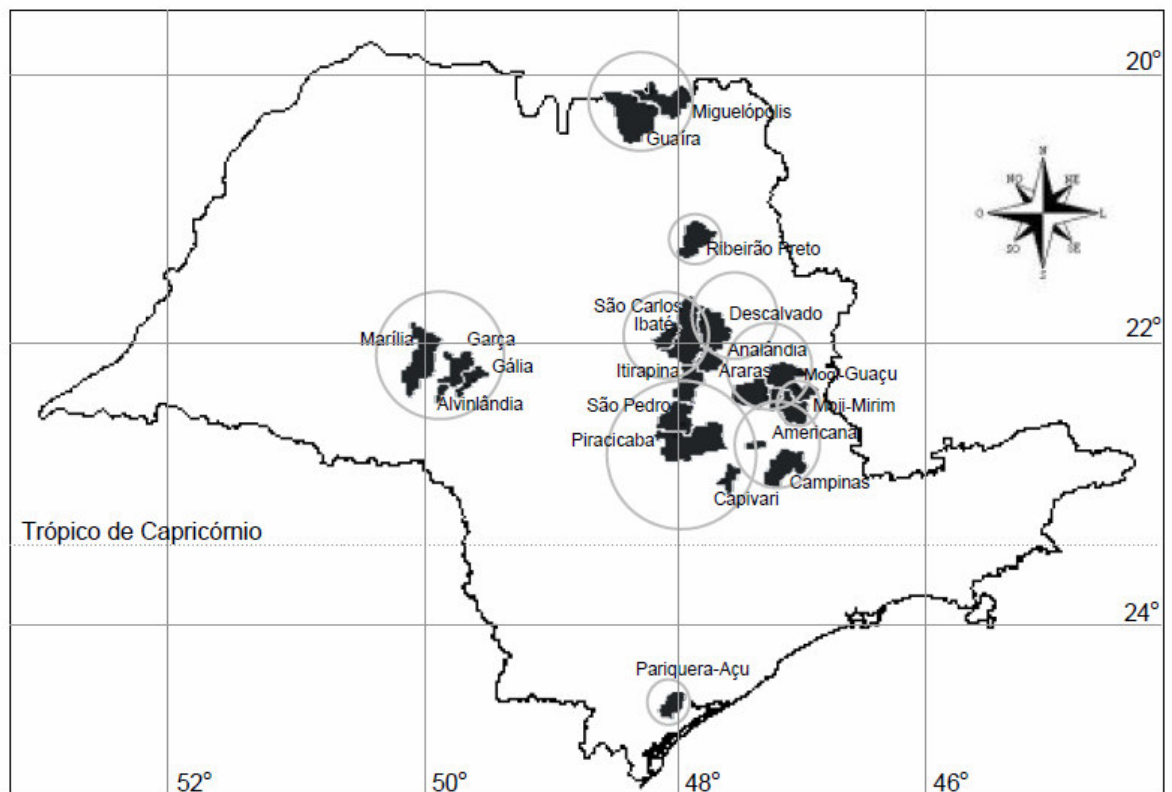


Figura 1. Localização dos municípios para seleção dos principais núcleos de amostragem de solos do Estado de São Paulo. Fonte: SOARES (2004).

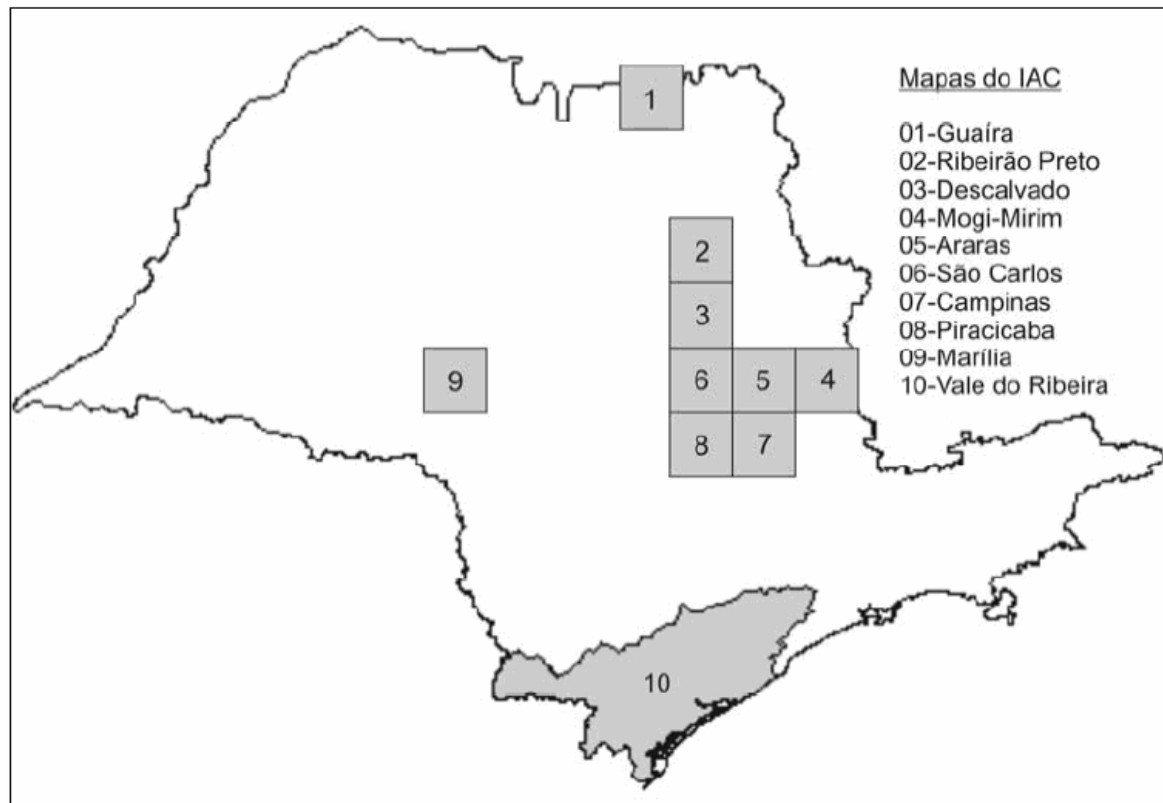


Figura 2. Localização dos mapas-base para seleção dos principais núcleos de amostragem de solos do Estado de São Paulo. Fonte: SOARES (2004).

3.1 Caracterização das áreas

Em cada área com a mata nativa foi selecionado um ponto, que foi devidamente georreferenciado. A 25 m deste ponto foram demarcadas três áreas com 100 m² cada (10 x 10 m²), localizadas ao norte, leste e oeste do ponto de referência. Nas proximidades da área com mata nativa foi selecionada uma área com o mesmo tipo de solo e cultivada, que também foi dividida em três parcelas com 100 m², da forma como foi feito no solo sob mata. Nas áreas onde não havia as duas situações simultaneamente, foi adotado o mesmo procedimento acima descrito.

A amostragem foi realizada nos meses de abril e maio de 2009, em cada área foram retiradas, com o auxílio de um trado holandês, vinte amostras simples na profundidade de 0-0,20 m, as quais foram misturadas e homogêneas para

formar uma amostra composta, da qual se tirou uma amostra que foi colocada em recipiente de isopor, contendo gelo (MELO, 1988; WARDLE, 1992; MELO et al., 1998).

Tabela 1. Solos selecionados em diferentes regiões do Estado de São Paulo.

Solos	Município	Cob Veg	Latitude	Longitude
Latossolos				
1-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-1)	Conchal	Cana-de-açúcar	22°15'23.8" S	047°08'57.1" W
2-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-2)	Itirapina	Milho	22°22'11.4" S	047°55'09.1" W
3-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-3)	Itirapina	Mata nativa	22°22'12.7" S	047°54'16.8" W
4-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-4)	Araras	Mata nativa	22°15'23.8" S	047°08'57.1" W
5-Latossolo Vermelho (LV-1)	São Carlos	Cana-de-açúcar	22°15'19.5" S	047°50'37.3" W
6-Latossolo Vermelho (LV-2)	São Carlos	Mata nativa	22°15'12.0" S	047°50'38.5" W
7-Latossolo Vermelho-Eutroférico (LVef-1)	Bonfim Paulista	Mata nativa	21°14'20.8" S	047°47'00.2" W
8-Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf-1)	Ribeirão Preto	Cana-de-açúcar	21°28'10.2" S	047°53'38.9" W
9-Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf-2)	Ribeirão Preto	Mata nativa	21°28'11.2" S	047°53'38.9" W
10-Latossolo Amarelo (LA-1)	Itirapina	Cana-de-açúcar	22°24'12.5" S	047°52'51.8" W
11-Latossolo Amarelo (LA-2)	Itirapina	Mata nativa	22°24'03.0" S	047°52'52.0" W
12-Latossolo Amarelo (LA-3)	Ibaté	Mata nativa	22°00'35.2" S	047°51'37.3" W
13-Latossolo Amarelo Acriférico (LAWf-1)	Miguelópolis	Cana-de-açúcar	20°13'18.8" S	048°01'39.5" W
14-Latossolo Amarelo Acriférico (LAWf-2)	Miguelópolis	Mata nativa	20°13'18.5" S	048°01'40.3" W
15-Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef-2)	Jaboticabal	Milho	21°14'54.04" S	048°16'13.3" W
16-Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef-3)	Jaboticabal	Mata nativa	21°14'52.55" S	048°16'10.1" W
Argissolos				
17-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-1)	São Pedro	Pastagem degradada	0216337 S	7490667 W
18-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-2)	Marília	Pastagem degradada	22°13'14.1" S	049°52'15.8" W
19-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-3)	Marília	Mata nativa	22°13'15.1" S	049°52'15.2" W
20-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-4)	Holambra	Cana-de-açúcar	22°36'53.9" S	047°04'46.6" W
21-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-5)	Holambra	Mata nativa	22°36'53.8" S	047°04'46.6" W
22-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-6)	Capivari	Cana-de-açúcar	0236876 S	7456166 W
23-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-7)	Capivari	Cana-de-açúcar	0221510 S	7457519 W
24-Argissolo Vermelho (PV-1)	Gália	Mata nativa	22°13'49.9" S	049°40'32.6" W
Neossolos				
25-Neossolo Quartzarênico (RQ-1)	São Pedro	Mata nativa	201683 S	7501286 W
26-Neossolo Litólico (RL-1)	Garça	Mata nativa	22°13'49.8" S	049°40'32.6" W
27-Neossolo Regolítico (RR-1)	Alvinlândia	Pastagem	22°14'18.7" S	049°44'00.1" W
Nitossolos				
28- Nitossolo Háptico (NX-1)	E. Santo Pinhal	Pastagem	22°16'00.2" S	046°43'42.5" W
29- Nitossolo Háptico (NX-2)	E. Santo Pinhal	Mata	22°16'00.6" S	046°43'41.1" W
30- Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef-1)	Ribeirão Preto	Milho	21°12'58.1" S	047°52'32.7" W
31- Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef-2)	Ribeirão Preto	Mata nativa	21°12'59.0" S	047°52'34.1" W
Gleissolo				
32-Gleissolo Háptico (GX-1)	Parquera Açu	Mata nativa	24°36'33.9" S	047°53'27.5" W
Organossolo				
33-Organossolo Háptico (OX-1)	Parquera Açu	Mata	24°36'32.9" S	047°53'18.8" W
Cambissolo				
34-Cambissolo Háptico (CX-1)	Mogi-Guaçu	Citros	22°13'08.0" S	047°14'06.6" W
35-Cambissolo Háptico (CX-2)	Mogi-Guaçu	Mata nativa	22°13'08.1" S	047°14'06.1" W
Chernossolo				
36-Chernossolo Argilúvico (MT-1)	Análândia	Mata nativa	22°06'36.7" S	047°41'17.0" W

⁽¹⁾Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA (2006); Fonte: MOUTA (2007)

3.2 Caracterização das amostras de terra

No laboratório, as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm de malha, retirando-se as raízes e resíduos visíveis de plantas e pequenos organismos do solo. As amostras assim obtidas foram acondicionadas em sacos de plástico e mantidas sob refrigeração a 4 °C até o momento de serem analisadas com relação ao conteúdo em carbono da biomassa microbiana (CBMS), nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBMS), respiração basal do solo (RBS) e atividade enzimática.

3.2.1 Análise química para avaliação da fertilidade dos solos

A composição química para avaliação da fertilidade do solo foi determinada segundo metodologia proposta por RAIJ et al. (2001), realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP/Jaboticabal (Tabela 2).

3.2.2 Conteúdo de água do solo

A porcentagem de água foi determinada nas amostras após secagem do solo a 105°C por 24 horas. Depois de retirados da estufa, as amostras foram colocadas em dessecador com sílica e novamente pesados com o solo seco. A porcentagem de umidade foi dada através da subtração da amostra úmida menos a amostra seca multiplicado por 100 e dividido pelo valor da amostra úmida (Tabela 3).

Tabela 2. Caracterização química dos solos (0-0,20 m) de diferentes regiões do Estado de São Paulo.

Classificação do Solo	COB VEG	P resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V %
1-Latossolo Verm-Amarelo (LVA-1)	CA	7	25	3,7	1,1	2	1	64	4	68	6
2-Latossolo Verm-Amarelo (LVA-2)	MI	29	17	4,6	0,5	11	2	28	14	42	33
3-Latossolo Verm-Amarelo (LVA-3)	MA	7	35	5,3	1,5	36	4	20	42	62	67
4-Latossolo Verm-Amarelo (LVA-4)	MA	4	16	3,7	0,7	1	1	38	3	41	7
5-Latossolo Vermelho (LV-1)	CA	27	15	4,5	0,6	6	1	60	8	68	12
6-Latossolo Vermelho (LV-2)	MA	14	27	4,3	0,6	12	3	52	16	68	23
7-Latossolo Verm-Eutroférico (LVef-1)	MA	96	54	6,7	14,4	226	16	12	256	268	96
8-Latossolo Verm Acriférico (LVwf-1)	CA	69	36	5,5	2,4	41	25	28	68	96	71
9-Latossolo Verm Acriférico (LVwf-2)	MA	19	47	4,1	1,9	9	4	72	15	87	17
10-Latossolo Amarelo (LA-1)	CA	5	15	3,7	0,7	1	1	42	3	45	6
11-Latossolo Amarelo (LA-2)	MA	15	36	4,5	5,2	14	9	47	28	75	38
12-Latossolo Amarelo (LA-3)	MA	7	37	3,8	1,3	5	1	64	7	71	10
13-Latossolo Am Acriférico (LAWf-1)	CA	41	40	5,3	4,7	28	9	38	42	80	52
14-Latossolo Am Acriférico (LAWf-2)	MA	37	64	4,9	1,7	41	11	58	54	112	48
15-Latossolo Ver Eutroférico (LVef-2)	MI	25	28	5,6	3,7	31	17	25	52	77	67
16-Latossolo Ver Eutroférico (LVef-3)	MA	22	41	6,4	5,4	97	28	15	130	145	90
17-Argissolo Verm-Amarelo (PVA-1)	PA	6	16	4,7	0,6	6	3	18	10	28	35
18-Argissolo Verm-Amarelo (PVA-2)	PA	12	11	4,6	0,8	4	3	18	8	26	30
19-Argissolo Verm-Amarelo (PVA-3)	MA	8	9	4,7	0,7	5	3	15	9	24	37
20-Argissolo Verm-Amarelo (PVA-4)	CA	107	16	4,7	3,5	14	3	25	21	46	45
21-Argissolo Verm-Amarelo (PVA-5)	MA	27	11	5	2,1	8	3	16	13	29	45
22- Argissolo Verm-Amarelo (PVA-6)	CA	3	13	4,2	0,8	6	2	31	9	40	22
23-Argissolo Verm-Amarelo (PVA-7)	CA	10	23	4,7	3,5	10	9	34	23	57	40
24-Argissolo Vermelho (PV-1)	MA	5	17	4,9	1,8	10	4	18	16	34	47
25-Neossolo Quartzarênico (RQ-1)	MA	4	16	4,8	0,6	6	3	16	10	26	38
26-Neossolo Litólico (RL-1)	MA	15	11	5,0	1,9	9	5	15	16	31	51
27-Neossolo Regolítico (RR-1)	PA	7	24	5,4	1,3	34	12	18	47	65	72
28- Nitossolo Háplico (NX-1)	PA	16	69	5,6	4,3	51	20	25	75	100	75
29- Nitossolo Háplico (NX-2)	MA	8	28	5	2,1	18	7	31	27	58	47
30- Nitossolo Ver-Eutroférico (NVef-1)	MI	32	32	5,2	5,3	33	15	47	53	100	53
31- Nitossolo Ver-Eutroférico (NVef-2)	MA	70	61	5,3	17,6	48	11	52	77	129	60
32-Gleissolo Háplico (GX-1)	MA	53	48	4,9	1,3	49	11	58	61	119	51
33-Organossolo Háplico (OX-1)	MA	119	59	3,7	2,2	8	2	185	12	197	6
34-Cambissolo Háplico (CX-1)	CI	31	23	4,6	2,6	20	13	42	36	78	46
35-Cambissolo Háplico (CX-2)	MA	10	30	3,8	1,4	5	2	98	8	106	8
36-Chernossolo Argilúvico (MT-1)	MA	68	79	5,4	10,0	104	53	52	167	219	76

CA= cana-de-açúcar; MI= milho; MA= mata; PA= pastagem; CI= citros

Tabela 3. Conteúdo de água no momento da coleta dos solos selecionados

Classificação do Solo	Uso	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Umidade (%)
LVA-1	Cana	5,08	4,75	6,37
LVA-2	Milho	5,06	4,57	9,68
LVA-3	Mata	5,18	4,72	8,75
LVA-4	Mata	5,45	4,84	11,14
LV-1	Cana	5,22	4,81	7,99
LV-2	Mata	5,02	4,73	5,78
LVef-1	Mata	5,12	4,35	14,98
LVwf-1	Cana	5,01	4,00	20,21
LVwf-2	Mata	5,03	4,11	18,29
LA-1	Cana	5,37	4,78	10,99
LA-2	Mata	5,12	4,49	12,30
LA-3	Mata	5,00	4,38	12,47
LWf-1	Cana	5,01	4,20	16,23
LWf-2	Mata	5,02	4,02	19,92
LVef-2	Milho	5,02	4,16	17,06
LVef-3	Mata	5,01	4,05	19,15
PVA-1	Pastagem	5,01	4,80	4,19
PVA-2	Pastagem	4,62	4,30	6,93
PVA-3	Mata	4,70	4,37	7,09
PVA-4	Cana	4,69	4,28	8,80
PVA-5	Mata	4,56	4,15	9,06
PVA-6	Cana	5,03	4,74	5,76
PVA-7	Cana	5,11	4,75	7,05
PV-1	Mata	4,95	4,47	9,58
RQ-1	Mata	5,03	4,68	7,09
RL-1	Mata	4,60	4,31	6,24
RR-1	Pastagem	4,14	3,51	15,31
NX-1	Pastagem	5,01	4,18	16,63
NX-2	Mata	3,63	2,53	20,32
NVef-1	Milho	5,00	4,11	17,79
NVef-2	Mata	5,02	4,26	15,02
GX-1	Mata	4,97	3,62	27,28
OX-1	Mata	4,71	3,31	29,75
CX-1	Citros	4,86	4,25	12,56
CX-2	Mata	4,55	3,97	12,74
MT-1	Mata	5,01	4,05	19,15

3.2.3 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

O carbono (CBMS) e o nitrogênio (NBMS) da biomassa microbiana foram determinados segundo metodologia da fumigação-extração estabelecida por VANCE et al. (1987), que consiste em fumigar a amostra de solo com clorofórmio isento de álcool, seguindo-se a extração com solução de sulfato de potássio e determinação dos teores de C e N no extrato obtido. Para cada amostra, foi feito

um branco, em que o solo não foi fumigado com clorofórmio. Os fatores para conversão de C e N para biomassa microbiana foram 0,30 e 0,45 respectivamente, (FEIGL et al., 1995). O C da biomassa microbiana foi expresso em $\text{mg C g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (SILVA et al., 2007).

3.2.4 Determinação da respiração basal do solo (RBS)

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada por meio da quantificação de CO_2 liberado após 48 h de incubação em condições aeróbias, conforme descrito em ALEF (1995). O método consiste em incubar a amostra de solo em recipiente hermético na presença de solução padronizada de NaOH, seguindo-se a dosagem do excesso de base com solução padronizada de HCl. As determinações foram feitas em triplicata e para cada amostra de solo foi feito um branco, cuja incubação foi conduzida na ausência de solo (STOTZKY, 1965).

3.2.5 Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi calculado pela relação entre a respiração basal do solo, expressa em $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, e o C da biomassa microbiana, expresso em $\text{mg C g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (SILVA et al., 2007).

3.2.6 Amilases

As atividades das amilases nas amostras de solo foram determinadas de acordo com MELO et al. (1983). O princípio do método consiste na incubação das amostras de solo com o substrato da enzima, o amido, por um período de 24 horas em temperatura constante de 30°C , avaliando-se então a glicose produzida.

3.2.7 Arilsulfatases

A atividade da arilsulfatase foi determinada de acordo com a metodologia proposta por TABATABAI & BREMNER (1970), a qual consiste em incubar a amostra de solo com solução de p-nitrofenil sulfato de potássio (substrato), em presença de tolueno, determinando-se, após o período de incubação, o teor de p-nitrofenol (PNF) liberado.

3.2.8 Celulase

A atividade da celulase foi determinada pela metodologia proposta por PANCHOLY & RICE (1973). O método consiste em incubar a amostra de solo na presença do substrato carboximetilcelulose, avaliando-se, em seguida, a quantidade de açúcares redutores produzidos.

3.2.9 Desidrogenases

A atividade das desidrogenases foi determinada segundo método de THALMANN (1968) que consiste em incubar a amostra de solo com TTC (cloridrato de 2,3,5 trifeniltetrazólio) e determinação do teor de trifenilformazan (TFF) após o período de incubação.

3.2.10 Fosfatase ácida

A atividade da fosfatase ácida foi avaliada pela metodologia proposta por EIVAZI & TABATABAI (1977), que consiste na incubação da amostra de solo com o substrato p-nitrofenil fosfato de sódio, avaliando-se, ao final do período de incubação a quantidade de p-nitrofenol formada.

3.2.11 Proteases

A atividade das proteases nas amostras de solo foi determinada segundo metodologia proposta por LADD & BUTLER (1972), que consiste em incubar as amostras de solo por um período de 2 horas à temperatura constante de 50 °C sob agitação, em presença de caseína, utilizando posteriormente o reagente de Folin, que reage com aminoácidos, principalmente a tirosina, liberada pela hidrólise da caseína.

3.2.12 Potencial de Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

O potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi determinado segundo metodologia proposta por SCHNÜRER & ROSSWALL (1982), que consiste em incubar a amostra de solo com solução de diacetato de fluoresceína FDA (substrato), seguindo-se a determinação do teor de fluoresceína (FLU) liberada após o período de incubação.

3.3 Análise dos dados obtidos

Os dados obtidos para os solos sob mata e cultivo foram submetidos à análise fatorial (Tabela 4). Comparou-se o uso do solo Fator 1 (mata nativa ou cultivo) e tipos de solo Fator 2 (Latosolos, Argissolos, Nitossolos e Cambissolo).

Os resultados também foram submetidos à análise de variância e, nos casos em que o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram feitas análises de correlação entre as variáveis, utilizando o programa ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009).

Os dados dos trinta e seis solos e das treze variáveis analisadas foram submetidos à análise multivariada utilizando o programa STATISTICA 7.0

(STATSOFT, 2004). A ACP foi aplicada aos valores médios das 3 amostras coletadas em cada um dos solos, chamados de “pontos” - P1 a P39, que identificou e separou os resultados em grupos, também foi utilizada para observar as interações entre os diferentes solos e todos os atributos (Tabela 4).

Tabela 4. Solos selecionados para análise multivariada, sendo considerados “Pontos” de P1 a P39, nos gráficos das análises.

Solos	Município	Ponto
1-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-1)	Conchal	P1
2-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-2)	Itirapina	P2
3-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-3)	Itirapina	P3
4-Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA-4)	Araras	P4
5-Latossolo Vermelho (LV-1)	São Carlos	P5
6-Latossolo Vermelho (LV-2)	São Carlos	P6
7-Latossolo Vermelho-Eutroférico (LVef-1)	Bonfim Paulista	P8
8-Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf-1)	Ribeirão Preto	P9
9-Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf-2)	Ribeirão Preto	P10
10-Latossolo Amarelo (LA-1)	Itirapina	P11
11-Latossolo Amarelo (LA-2)	Itirapina	P12
12-Latossolo Amarelo (LA-3)	Ibaté	P13
13-Latossolo Amarelo Acriférico (LAWf-1)	Miguelópolis	P14
14- Latossolo Amarelo Acriférico (LAWf-2)	Miguelópolis	P15
15- Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef-2)	Jaboticabal	P16
16- Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef-3)	Jaboticabal	P17
17-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-1)	São Pedro	P18
18-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-2)	Marília	P19
19-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-3)	Marília	P20
20-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-4)	Holambra	P21
21-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-5)	Holambra	P22
22- Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-6)	Capivari	P23
23-Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA-7)	Capivari	P24
24-Argissolo Vermelho (PV-1)	Gália	P25
25-Neossolo Quartzarênico (RQ-1)	São Pedro	P27
26-Neossolo Litólico (RL-1)	Garça	P28
27-Neossolo Regolítico (RR-1)	Alvinlândia	P29
28- Nitossolo Háplico (NX-1)	Espírito Santo do Pinhal	P30
29- Nitossolo Háplico (NX-2)	Espírito Santo do Pinhal	P31
30- Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef-1)	Ribeirão Preto	P32
31- Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef-2)	Ribeirão Preto	P33
32-Gleissolo Háplico (GX-1)	Pariquera Açu	P34
33-Organossolo Háplico (OX-1)	Pariquera Açu	P36
34-Cambissolo Háplico (CX-1)	Mogi-Guaçu	P37
35-Cambissolo Háplico (CX-2)	Mogi-Guaçu	P38
36-Chernossolo Argilúvico (MT-1)	Analândia	P39

P7, P26, P35 não foram considerados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

O CBMS variou de 312,78 (LVA sob mata nativa) a 1979,66 mg C kg⁻¹ solo (NVef sob mata) e foi afetado tanto pelo tipo de uso como pela condição do solo (Tabela 5). Nos solos analisados apenas LVwf, LAwf, LVEf e PVA2, apresentaram diferença significativa, quando se comparou o CBMS da mata nativa com a condição de cultivo, o que corrobora os resultados obtidos por outros autores (MENDES et al., 1999; D'ANDRÉA et al., 2002; MENDES, 2002; FERREIRA et al., 2007). D'ANDRÉA et al. (2002), em Latossolos sob vegetação de Cerrado, observaram redução nos valores de CBMS da ordem de 49% para o sistema de pastagem, e de 73% para a média dos sistemas com culturas anuais. O CBMS do NX sob pastagem e o NVef cultivado com milho apresentaram valores consideravelmente superiores aos demais solos estudados 3308,24 e 2084,46 mg C kg⁻¹ solo respectivamente. Aumentos específicos de população microbiana são observados com a incorporação de palhada (MUKHERJEE & GAUR, 1980). Além disso, o uso de diferentes implementos agrícolas no preparo do solo também pode afetar a biomassa microbiana do solo (RAMOS et al., 2001).

De acordo com BANDICK & DICK (1999) citados por MATSUOKA et al. (2003), nas áreas sob vegetação nativa, dentre os fatores que podem ser responsáveis por condições mais favoráveis à biomassa microbiana, destacam-se ausência de preparo do solo e a maior diversidade florística, além de favorecer a preservação dos fungos benéficos e o acúmulo da serapilheira na superfície do solo, favorecendo a ocorrência de menor variação e de níveis mais adequados de temperatura e umidade. A ausência de revolvimento do solo preserva maior número de raízes, as quais propiciam a entrada de substratos orgânicos no sistema, via exudatos radiculares. Segundo MATSUOKA et al. (2003), a diversidade florística das áreas nativas e a presença de vegetação durante todo o

ano influenciam a produção da serapilheira em quantidade e qualidade, e, o somatório desses fatores colabora para a ocorrência de maiores níveis de biomassa microbiana nessas áreas, comparativamente às áreas sob cultivo.

Tabela 5. Carbono (CBMS) e nitrogênio (NBMS) da biomassa microbiana na camada 0-0,20 m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.

Solos	CBMS	CBMS	NBMS	NBMS
	mg C kg ⁻¹ solo	mg C kg ⁻¹ solo	mg N kg ⁻¹ solo	mg N kg ⁻¹ solo
	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>
LVA	736,83 aDE	312,78 bE	207,22 aC	92,70 bE
LV	577,39 aDEF	530,01 aDE	72,73 aG	47,70 bF
LVwf	914,17 bCD	1254,01 aBC	90,77 aEFG	54,79 bF
LA	796,66 aDE	979,36 aCD	84,23 bFG	156,83 aC
LAWf	804,38 bDE	1167,24 aBC	101,20 bEF	212,45 aB
LVef	1335,48 aC	1500,35 aAB	135,42 bD	412,02 aA
PVA 2	207,45 bF	586,11 aDE	23,09 bH	155,31 aC
PVA 4	339,18 aEF	333,90 aE	16,56 bH	134,21 aCD
NX	3308,24 aA	1480,28 bAB	602,58 aA	155,45 bC
NVef	2084,46 aB	1979,66 aA	401,66 aB	202,53 bB
CX	880,25 aCD	1092,49 aBC	111,93 aDE	115,37 aDE
Média	1089,49 a	1019,65 a	167,94 a	158,12 b
DMS	89,57	353,23	4,38	17,28
CV (%)	17,11		5,41	

Letras maiúsculas comparam médias na mesma coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e letras minúsculas comparam médias para o mesmo solo e mesmo atributo em condições de cultivo e de mata nativa.

Em seis dos solos estudados LV, LA, LVef, PVA4, NVef e CX, não foi detectada diferença significativa entre as condições do solo. No caso do LVA-2 e NX, contudo, o CBMS foi maior, quando sob cultivo de milho e pastagem, respectivamente, fato que pode ser explicado pela maior presença de palhada sobre o solo, resultando em maior conteúdo de água (Tabela 3). A palhada mantém a umidade, protege contra a erosão e garante um retorno de material orgânico na superfície do solo, favorecendo o desenvolvimento da biota do solo. Na condição de cultivo, o maior teor de CBMS deve-se, provavelmente, à alta taxa de renovação das raízes finas e à entrada de palhada mais facilmente

decomponível, resultando em C disponível para a população microbiana e aumento da sua biomassa (GERALDES et al., 1995; FERNANDES et al., 1997; FEIGL et al., 1998; LUIZÃO et al., 1999; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Os dados da análise química de fertilidade do solo (Tabela 2) revelam que, provavelmente, o P foi o atributo mais determinante para que o valor do CBMS fosse maior no solo sob cultivo. Em quase todos os solos o conteúdo de P foi maior para a condição de cultivo, exceto para o NVef onde foi encontrado 70 mg dm^{-3} de P para mata e 32 mg dm^{-3} de P para cultivo com milho. Por outro lado, a época de amostragem é um fator que pode causar alterações no CBMS. FERREIRA et al. (2007) observaram pequenos valores no CBMS a partir da semeadura da cultura do milho, o que justificaram pela precipitação pluviométrica de mais de 250 mm ocorrida nos meses antecedentes à amostragem de solo, causando aumento na mineralização de C-orgânico e diminuindo a disponibilidade para a microbiota do solo no período que sucedeu à semeadura da gramínea.

O NBMS variou de $16,56 \text{ mg kg}^{-1}$ no solo PVA4 sob cultivo de cana-de-açúcar, a $602,58 \text{ mg kg}^{-1}$ no solo sob pastagem. Para a condição de mata o NBMS variou de $47,70 \text{ mg kg}^{-1}$ para o LV, a $412,02 \text{ mg kg}^{-1}$ no solo LVef (Tabela 5). Esse resultado comprova que, quando se mantém a comunidade microbiana, como no caso verificado na condição de mata nativa, ocorrem melhorias nas condições do solo, talvez com menor necessidade de adição de adubos químicos. Foram verificados efeitos significativos para o tipo de solo e a condição do solo, exceto para o CX sob mata nativa, comparado com o mesmo solo cultivado com citros há mais de dez anos. Não houve diferença significativa entre as condições do solo.

Ao se considerar o efeito do tipo de uso sobre a NBMS, em cinco dos solos os valores mais elevados foram observados em condições de mata nativa LA, LAwf, LVef, PVA2 e PVA4. Valores mais elevados no solo sob cultivo foram verificados em LVA, LV, LVwf, NX e NVef, enquanto que o CX não apresentou diferença significativa quando comparado solo de mata nativa com solo cultivado com citros. O valor elevado de NBMS no solo cultivado pode ser atribuído à adubação nitrogenada efetuada no manejo da cultura, aumentando o estoque do

elemento no solo com reflexos na disponibilidade para os microrganismos, desde que outros fatores estejam adequados ao seu desenvolvimento. COSER et al. (2007) encontraram que a aplicação de 60 kg ha^{-1} de N em solo LVA cultivado com cevada promoveu o aumento do NBMS na camada de 0-0,05 m. Outro fator que pode explicar os valores encontrados é a condição edafoclimática no momento da amostragem. Em mata nativa SOUZA (2005), encontrou variação significativa no NBMS amostras obtidas nos meses de outubro ($156,11 \text{ mg kg}^{-1}$) e fevereiro ($64,90 \text{ mg kg}^{-1}$).

Respiração basal e quociente metabólico

A RBS variou de $2,16 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (LVwf) sob cultivo de cana-de-açúcar a $11,02 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (NX) sob pastagem. GAMA-RODRIGUES et al. (2008) ao compararem o efeito de diferentes coberturas vegetais sobre os atributos químicos e microbianos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, também obtiveram valores superiores de RBS para pastagem.

Dos onze solos analisados, sete apresentaram maior RBS na condição de mata LA, LAwf, LVef, PVA2, PVA4, NVef e CX, dois apresentaram maior RBS na condição de cultivo LV e NX, enquanto LVA e LVwf não apresentaram diferenças significativas (Tabela 6).

SANTOS et al. (2004), ao compararem sistemas de produção de arroz com solo mantido sob condições naturais, encontraram que a RBS foi maior no sistema natural. FIALHO et al. (2006) encontraram valores de RBS maiores em condições de mata nativa do que em área cultivada com bananeira em todas as profundidades avaliadas. Segundo ROSA et al. (2003), as condições de temperatura, umidade e aeração, favorecidas por menores oscilações em condições de mata nativa, favoreceram a população microbiana do solo, aumentando a RBS.

A RBS isoladamente não permite esclarecer se um dado manejo do solo está causando um impacto negativo ou positivo, pois em ambos os casos ocorre aumento no seu valor, uma vez que alterações que causam estresse na microbiota do solo promovem aumento na atividade respiratória como forma de sobrevivência.

Tabela 6. Respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) na camada 0-0,20 m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.

Solos	Respiração Basal (RBS)		Quociente Metabólico (qCO_2)	
	mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹		mg CO ₂ kg ⁻¹ CBMS.h ⁻¹	
	Cultivo	Mata	Cultivo	Mata
LVA	4,37 aEF	4,36 aF	5,95 bCD	14,15 aBC
LV	3,85 aFG	2,50 bG	6,73 aCD	4,68 aDE
LVwf	2,16 aH	2,49 aG	2,37 aD	1,99 aE
LA	4,69 bE	6,53 aE	5,90 aCD	6,69 aDE
LAWf	5,93 bD	6,97 aDE	7,39 aCD	6,03 aDE
LVEf	3,45 bG	7,21 aD	2,62 aD	4,95 aDE
PVA 2	7,80 bC	9,14 aC	38,63 aA	15,65 bB
PVA 4	9,02 bB	10,95 aA	26,63 bB	32,83 aA
NX	11,02 aA	10,47 bAB	3,44 bD	7,08 aDE
NVEf	8,09 bc	9,93 aB	3,91 aD	5,03 aDE
CX	8,46 bBC	10,37 aAB	9,90 aC	9,52 aCD
Média	6,26 b	7,36 a	10,31 a	9,87 a
DMS	0,12	0,46	0,92	3,64
CV(%)	3,48		18,42	

Letras maiúsculas comparam médias na mesma coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e letras minúsculas comparam médias para o mesmo solo e mesmo atributo em condições de cultivo e de mata nativa.

O quociente metabólico (qCO_2), calculado a partir da relação entre RBS e CBMS é mais indicado para definir se um determinado tipo de manejo está causando impacto positivo ou negativo. Segundo TÓTOLA & CHAER (2002), valores mais elevados de qCO_2 , indicam maior consumo de C prontamente mineralizável, elevando-se as perdas de CO₂, o que não é desejável.

O qCO_2 variou de 2,37 mg CO₂ kg⁻¹ CBMS. h⁻¹ no LVwf cultivado com cana-de-açúcar a 38,63 mg CO₂ kg⁻¹ CBMS.h⁻¹ no PVA2 sob pastagem (Tabela 7). O

qCO_2 , foi maior em condição de cultivo no solo PVA2 sob pastagem e no solo PVA4 cultivado com cana-de-açúcar. Os solos LV, LVwf, LA, LAwf, LVef, NVef e CX, não foram afetados pelo uso. As maiores diferenças entre as condições do solo foram observadas para LVA, PVA4 e NX na condição de mata. O solo PVA2 na condição de pastagem apresentou valor relativamente superior aos demais (Tabela 6).

JAKELAITIS et al. (2008) verificaram que, em solo mantido sob vegetação nativa ou quando houve intercalação entre agricultura e pecuária, os valores obtidos para qCO_2 foram baixos, enquanto que, para pastagem exclusiva ou cultivo de milho os valores foram bem mais elevados, denunciando ambiente com maior grau de distúrbio ou que apresentam comunidade microbiana sob condições desfavoráveis ou submetidas a impactos negativos.

Atividade enzimática

A atividade de amilases variou de 9,85 mg de glicose kg^{-1} TFSE h^{-1} para LV cultivado com cana-de-açúcar a 67,46 mg de glicose kg^{-1} TFSE h^{-1} para NX sob pastagem (Tabela 7). Dos solos analisados, o LAwf e o PVA 2 não apresentaram diferenças significativas quanto ao uso. Diferenças significativas foram verificadas para os solos LV, LA, LVef, NVef na condição de mata, enquanto que para a condição de cultivo diferenças significativas foram verificadas para LVA, LVwf, PVA4, NX e CX.

A atividade de arilsulfatases variou de 5,91 mg PNF kg^{-1} no solo h^{-1} do solo PVA 4 cultivado com cana-de-açúcar a 269,49 mg PNF kg^{-1} no solo h^{-1} NX sob pastagem. Os solos LVA, LV, LVwf, LA, LAwf, LVef, PVA2, NVef e CX apresentaram diferenças significativas para a condição de mata. O solo PVA4 cultivado com cana não apresentou diferença significativa quando comparado a condição de mata. O solo NX sob pastagem apresentou valor relativamente superior aos demais (Tabela 7).

Para celulase encontrou-se variação de 0,46 mg de glicose kg⁻¹ TFSE h⁻¹ no solo LVA cultivado com milho a 19,62 mg de glicose kg⁻¹ TFSE h⁻¹ no solo NX sob pastagem. Os solos LA, LAwf e LVef não apresentaram diferenças significativas quanto ao uso. Os solos LVA, LV, PVA2, PVA4 e NVef apresentaram diferenças significativas sob condições de mata, enquanto que LVwf, NX e CX apresentaram diferenças significativas na condição de cultivo (Tabela 7).

Tabela 7. Atividade da amilase, arilsulfatase e celulase na camada de 0-0,20 m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.

Solos	AMIL µg glicose kg ⁻¹ TFSE h ⁻¹		ARIL µg PNF g ⁻¹ solo h ⁻¹		CELUL µg glicose kg ⁻¹ TFSE h ⁻¹	
	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>
LVA	17,19 aDE	11,16 bFG	19,19 bCDE	54,97 aE	0,46 bG	3,09 aE
LV	9,85 bG	19,46 aE	12,28 bDE	25,70 aF	2,30 bEFG	4,04 aE
LVwf	39,96 aB	23,52 bDE	16,15 bDE	57,27 aE	12,46 aB	10,04 bB
LA	18,07 bDE	25,88 aD	32,56 bC	117,39 aC	6,63 aCD	6,66 aCD
LAwf	25,62 aC	27,36 aCD	20,10 bCDE	85,70 aD	7,76 aC	7,19 aC
LVef	19,49 bD	30,72 aBC	22,88 bCD	229,41 aA	4,71 aDE	4,28 aDE
PVA 2	14,47 aEF	12,22 aFG	9,68 bDE	49,76 aE	2,08 bFG	3,63 aE
PVA 4	12,32 aFG	8,68 bG	5,91 aE	14,26 aF	3,04 bEF	7,25 aC
NX	67,46 aA	32,94 bB	269,49 aA	143,31 bB	19,62 aA	8,25 bBC
NVef	15,50 bDEF	45,73 aA	11,13 bDE	79,57 aD	4,22 bDEF	37,84 aA
CX	25,71 aC	13,20 bF	52,45 bB	78,06 aD	13,38 aB	7,86 bBC
Média	24,15 a	22,81 b	42,89 b	85,04 a	6,97 b	9,10 a
DMS	0,75	2,94	2,76	10,90	0,45	1,76
CV (%)	4,12		8,71		4,05	

AMIL= atividade de amilases, ARIL= atividade de arilsulfatases, CELUL= atividade de celulases. Letras maiúsculas comparam médias na mesma coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e letras minúsculas comparam médias para o mesmo solo e mesmo atributo em condições de cultivo e de mata nativa.

A atividade de desidrogenases variou de 16,43 mg TFF kg⁻¹ TFSE h⁻¹ no LV cultivado com cana-de-açúcar a 1582,33 mg TFF kg⁻¹ TFSE h⁻¹ no solo NX sob pastagem. Para a condição de mata a atividade variou de 5,08 mg TFF kg⁻¹ TFSE h⁻¹ para o PVA4 a 784,43 mg TFF kg⁻¹ TFSE h⁻¹ para o LVef. Não houve diferença significativa quanto à condição do solo para LV, PVA4 e NVef. Dos solos

analisados apenas o NX sob pastagem apresentou diferença significativa na condição de cultivo (Tabela 8).

OLIVEIRA et al. (2007) também encontraram valores para atividade de desidrogenases mais elevados em solo de mata do que em solo cultivado com cana-de-açúcar em sistema de manejo orgânico ou convencional, mas concluíram que atributos isolados não são precisos e confiáveis como índice de qualidade do solo. VALARINI et al. (2007), em estudo avaliando indicadores biológicos em solos de mata, sob pastagem e cultivados com tomateiro em condições de campo e de estufa e em sistemas de manejo orgânico e convencional, concluíram que a atividade de desidrogenases correlaciona-se positivamente com o cultivo orgânico, a pastagem e a mata.

O potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) apresentou valores de 17,85 mg FLU kg⁻¹ TFSE h⁻¹ para o solo PVA2 sob pastagem a 55,91 mg FLU kg⁻¹ TFSE h⁻¹ para o solo NX sob pastagem. Na condição de mata houve variação de 19,49 mg FLU kg⁻¹ TFSE h⁻¹ para o solo PVA4 a 82,19 mg FLU kg⁻¹ TFSE h⁻¹ para o solo LVwf. Os solos LVA e LVef não apresentaram diferenças significativas quanto ao uso. Os solos LV e PVA4 apresentaram diferenças significativas na condição de cultivo enquanto que LVwf, LA, LAwf, PVA2, NX, NVef e CX apresentaram diferenças significativas na condição de mata. SILVA et al. (2004), em estudo de reflorestamento com espécies nativas e exóticas, concluíram que o potencial de hidrólise do FDA mostrou-se estável e promissor como bioindicador de sucesso em sistemas restaurados. COSTA & SIQUEIRA (2004) estudaram o potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em reflorestamento com espécies nativas e exóticas e verificaram valores de 118,73 e 112,40 mg de FDA hidrolisada/60min/8g de solo respectivamente.

Tabela 8. Atividade de desidrogenases e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína na camada 0-0,20 m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.

Solos	DESID	DESID	FDA	FDA
	$\mu\text{g TF kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$	$\mu\text{g TF kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$	$\mu\text{g FLU kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$	$\mu\text{g FLU kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$
	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>
LVA	43,04 bF	106,63 aF	24,95 aEF	24,73 aG
LV	16,43 aF	37,45 aG	40,70 aC	30,99 bEF
LVwf	289,74 bB	335,50 aD	44,47 bBC	82,19 aA
LA	237,09 bC	315,05 aD	24,36 bEF	42,64 aD
LAWf	212,28 bCD	419,84 aC	33,68 bD	67,44 aB
LVef	245,29 bBC	784,43 aA	27,82 aE	29,45 aF
PVA 2	20,64 bF	108,00 aF	17,85 bG	33,10 aEF
PVA 4	18,96 aF	5,08 aG	22,47 aF	19,49 bH
NX	1582,33 aA	630,33 bB	55,91 bA	62,51 aC
NVef	181,81 aD	195,64 aE	48,12 bB	60,95 aC
CX	125,00 bE	163,56 aE	27,24 bE	35,33 aE
Média	270,24 b	281,96 a	33,42 b	44,44 a
DMS	8,24	32,49	0,80	3,14
CV (%)		6,01		4,12

DESID= atividade de desidrogenases, FDA= potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína. Letras maiúsculas comparam médias na mesma coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e letras minúsculas comparam médias para o mesmo solo e mesmo atributo em condições de cultivo e de mata nativa.

A atividade da fosfatase ácida variou de 8,61 mg p-nitrofenol $\text{kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ no PVA2 na condição de cultivo a 191,79 mg p-nitrofenol $\text{kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ no NX na condição de pastagem. Para solos sob condições de mata obtiveram-se valores de 19,63 mg p-nitrofenol $\text{kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ para o solo PVA4 a 158,22 mg p-nitrofenol $\text{kg}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ para LVwf. Todos os solos analisados apresentaram diferenças significativas quanto ao uso, sendo que para LV, LVef e NX diferenças significativas foram observadas na condição de cultivo, enquanto que para LVA, LVwf, LA, LAWf, PVA2, PVA4, NVef e CX apresentaram diferenças significativas na condição de mata (Tabela 9).

Tabela 9. Atividade da fosfatase ácida e proteases na camada 0-0,20 m de onze solos do Estado de São Paulo sob mata nativa e cultivo.

Solos	FOSF ÁC.		PROT	
	$\mu\text{g p-nitrofenol kg}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$		$\mu\text{g tirosina kg}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$	
	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Mata</i>
LVA	30,56 bD	35,63 aF	226,57 bD	507,98 aD
LV	38,44 aC	31,90 bFG	177,31 aE	197,36 aG
LVwf	65,71 bB	100,91 aC	404,85 aB	405,15 aE
LA	38,83 bC	80,74 aD	228,17 bD	299,04 aF
LAWf	69,01 bB	95,24 aC	379,70 bB	475,28 aD
LVEf	62,43 aB	54,06 bE	386,48 bB	947,12 aA
PVA 2	8,61 bE	25,36 aGH	110,19 bF	303,85 aF
PVA 4	13,91 bE	19,63 aH	230,20 aD	148,99 bH
NX	191,79 aA	158,22 bA	1539,38 aA	569,99 bC
NVEf	43,31 bC	136,78 aB	180,96 bE	670,91 aB
CX	44,55 bC	52,81 aE	276,34 aC	136,97 bH
Média	55,20 b	71,93 a	376,38 b	423,88 a
DMS	1,20	4,74	8,04	31,73
CV (%)	3,81		4,05	

FOSF ÁC= atividade de fosfatases ácidas. PNF= p-nitrofenol, TFF= trifeniiformazan, FLU=fluoresceína. Letras maiúsculas comparam médias na mesma coluna pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e letras minúsculas comparam médias para o mesmo solo e mesmo atributo em condições de cultivo e de mata nativa.

CARNEIRO et al. (2004) concluíram que a fosfatase ácida, apresentou sensibilidade em detectar alterações provocadas no solo pelos sistemas de manejo e sazonalidade do clima e, portanto poderá ser útil em programas de avaliação da qualidade do solo, ampliando o enfoque sobre fertilidade do solo com a inclusão do componente biológico.

Os valores obtidos para a atividade de proteases variaram de 110,19 mg tirosina $\text{kg}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$ para o solo PVA2 sob pastagem a 1539,38 mg tirosina $\text{kg}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$ para os solo NX sob pastagem. Na condição de mata os resultados variaram de 148,99 mg tirosina $\text{kg}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$ para o solo PVA 4 a 947,12 mg tirosina $\text{kg}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$ para o solo LVEf. Os solos LV e LVwf não apresentaram diferenças significativas quanto ao uso. Os solos PVA 4, NX e CX apresentaram maior atividade de proteases na condição de cultivo, enquanto que os demais

solos LVA, LA, LAwf, LVef, PVA2 e NVef apresentaram diferenças significativas para a condição de mata.

Correlação entre as variáveis

Através da correlação entre os atributos de solo analisados, verificou-se a existência de correlações significativas e positivas entre os atributos de solos analisados, sendo que a CTC, a matéria orgânica e o teor de Ca^{2+} extraível pela resina de troca iônica foram os que melhor se correlacionaram com os atributos biológicos e bioquímicos. O pH em CaCl_2 e H^+Al , apresentaram correlações menos significativas (Tabela 10).

A atividade das amilases apresentou correlação com Ca^{2+} ($r= 0,63^{**}$), a atividade arilsulfatases se correlacionou com a matéria orgânica ($r= 0,77^{**}$), a atividade de celulase apresentou correlação positiva com K^+ ($r= 0,81^{**}$), a atividade de desidrogenases apresentou alta correlação com arilsulfatase ($r= 0,90^{**}$), a atividade de fosfatase ácida apresentou correlação positiva com a atividade de amilases ($r= 0,85^{**}$), o potencial de hidrólise do FDA apresentou alta correlação positiva com fosfatase ácida ($r= 0,76^{**}$), a atividade de proteases correlacionou-se com a atividade de desidrogenases ($r= 0,93^{**}$), o CBMS correlacionou-se positivamente com a atividade de desidrogenases e fosfatase ácida ($r= 0,80^{**}$), o NBMS correlacionou-se positivamente com o CBMS ($r= 0,83^{**}$) a taxa de umidade apresentou altas correlações com praticamente todos os atributos amilase ($r= 0,85^{**}$), desidrogenases, CBMS, matéria orgânica ($r=0,84^{**}$).

A atividade das fosfatases ácidas apresentou correlação positiva significativa com o teor de matéria orgânica ($r=0,78^{**}$), dados que corroboram com os obtidos por NAHAS et al. (1994), estudando o efeito da fosfatase ácida em 13 tipos de solos. FERNANDES et al. (1998), estudando a fosfatase ácida observaram que esta apresentou correlação positiva com a matéria orgânica, teores de cálcio e de magnésio trocáveis.

Tabela 10. Correlação linear entre atributos químicos, biológicos e bioquímicos de onze solos sob condições de mata nativa ou cultivados no Estado de São Paulo.

Atributos	ARIL	AMIL	CEL	DES	FAC	FDA	PROT	CBMS	NBMS	RBS	qCO ₂	UM
P	-0,29**	0,12ns	0,31**	-0,19ns	-0,07ns	-0,01ns	-0,06ns	-0,04ns	-0,16ns	0,01ns	0,08ns	0,10ns
MO	0,60**	0,77**	0,63**	0,67**	0,78**	0,70**	0,72**	0,72**	0,54**	0,05ns	-0,56**	0,84**
pH	0,44**	0,46**	0,21ns	0,49**	0,27**	-0,03ns	0,63**	0,41**	0,58**	0,08ns	-0,17ns	0,54**
K ⁺	0,21*	0,47**	0,81**	0,16ns	0,42**	0,26*	0,33**	0,47**	0,28**	0,27**	-0,23*	0,35**
Ca ²⁺	0,63**	0,57**	0,32**	0,59**	0,37**	0,17ns	0,72**	0,53**	0,65**	0,05ns	-0,38**	0,65**
Mg ²⁺	0,51**	0,64**	0,30**	0,60**	0,37**	0,16ns	0,60**	0,57**	0,60**	-0,03ns	-0,45**	0,73**
H+Al	-0,09ns	-0,06ns	0,18ns	-0,13ns	0,16ns	0,46**	-0,25*	0,11ns	-0,18ns	-0,11ns	-0,40**	0,04ns
CTC	0,51**	0,55**	0,50**	0,47**	0,49**	0,48**	0,51**	0,62**	0,50**	-0,01ns	-0,65**	0,68**
V%	0,47**	0,54**	0,28**	0,52**	0,31**	-0,03ns	0,66**	0,43**	0,56**	0,12ns	-0,17ns	0,58**
ARIL		0,70**	0,32**	0,90**	0,70**	0,36**	0,87**	0,69**	0,74**	0,40**	-0,31**	0,67**
AMIL			0,70**	0,82**	0,85**	0,52**	0,85**	0,78**	0,62**	0,20ns	-0,45**	0,85**
CEL				0,33**	0,65**	0,47**	0,48**	0,56**	0,27**	0,33**	-0,26*	0,53**
DES					0,78**	0,44**	0,93**	0,80**	0,79**	0,29**	-0,38**	0,84**
FÁC						0,76**	0,76**	0,80**	0,53**	0,28**	-0,50**	0,82**
FDA							0,39**	0,57**	0,27**	0,01ns	-0,54**	0,62**
PROT								0,76**	0,76**	0,26*	-0,35**	0,80**
CBMS									0,83**	0,32**	-0,55**	0,84**
NBMS										0,39**	-0,35**	0,68**
RBS											0,40**	0,15ns
qCO ₂												-0,53**
UM												

ARIL= arilsulfatase, AMIL= amilase, CEL= celulase, DES= desidrogenases, FÁC= fosfatase ácida, FDA= potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína, PROT= protease, CBMS= carbono da biomassa microbiana do solo, NBMS= nitrogênio da biomassa microbiana do solo, RBS= respiração basal do solo, qCO₂= quociente metabólico, UM= taxa de umidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade, * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo.

Caracterização biológica e bioquímica dos solos

Tabela 11. Atividade da arilsulfatase, amilase, celulase, camada 0-0,20 m de solos do Estado de São Paulo sob mata nativa ou sob cultivo.

Classificação do Solo	COB. VEG.	ARIL	AMIL	CEL
		$\mu\text{g PNF g}^{-1}$ Solo h^{-1}	$\mu\text{g glicose kg}^{-1}$ TFSE h^{-1}	$\mu\text{g glicose kg}^{-1}$ TFSE h^{-1}
1-Latossolo Verm-Amarelo	Cana	25,43	21,98	0,45
4-Latossolo Verm-Amarelo	Mata	14,28	14,82	2,05
7-Latossolo Verm-Eutroférico	Mata	119,12	28,37	6,64
12-Latossolo Amarelo	Mata	26,76	32,45	15,47
17-Argissolo Verm-Amarelo	Pastagem	21,59	9,82	2,75
22- Argissolo Verm-Amarelo	Cana	4,11	4,03	2,24
23-Argissolo Verm-Amarelo	Cana	34,14	11,64	2,32
24-Argissolo Vermelho	Cana	66,99	18,40	3,52
25-Neossolo Quartzarênico	Mata	15,53	6,71	3,34
26-Neossolo Litólico	Mata	15,94	7,47	3,10
27-Neossolo Regolítico	Pastagem	115,51	35,95	6,54
32-Gleissolo Háplico	Mata	284,08	56,51	11,69
33-Organossolo Háplico	Mata	89,73	35,86	14,06
36-Chernossolo Argilúvico	Mata	266,91	63,89	10,49

ARIL= atividade de arilsulfatases, AMIL= atividade de amilases, CELUL= atividade de celulase.

Tabela 12. Atividade da desidrogenase, FDA, fosfatase ácida e protease camada 0-0,20 m de solos do Estado de São Paulo mata nativa ou sob cultivo.

Classificação do Solo	COB. VEG.	DESID	FDA	FOSF. ÁC.	PROT.
		$\mu\text{g TFF kg}^{-1}$ TFSE h^{-1}	$\mu\text{g FLU kg}^{-1}$ TFSE h^{-1}	$\mu\text{g p-nitrofenol}$ kg^{-1} TFSE h^{-1}	$\mu\text{g tirosina kg}^{-1}$ TFSE h^{-1}
1-Latossolo Verm-Amarelo	Cana	59,63	56,52	24,55	160,98
4-Latossolo Verm-Amarelo	Mata	76,09	22,01	19,00	107,40
7-Latossolo Verm-Eutroférico	Mata	1031,22	64,48	86,74	827,32
12-Latossolo Amarelo	Mata	310,71	70,74	86,17	244,59
17-Argissolo Verm-Amarelo	Pastagem	54,54	22,27	24,23	78,78
22- Argissolo Verm-Amarelo	Cana	51,85	26,57	16,42	30,85
23-Argissolo Verm-Amarelo	Cana	75,42	21,15	28,61	107,60
24-Argissolo Vermelho	Cana	180,54	29,88	44,35	450,26
25-Neossolo Quartzarênico	Mata	786,52	23,61	48,18	140,24
26-Neossolo Litólico	Mata	305,59	24,86	43,53	229,97
27-Neossolo Regolítico	Pastagem	539,34	40,64	90,61	306,45
32-Gleissolo Háplico	Mata	1079,63	55,95	184,19	1068,99
33-Organossolo Háplico	Mata	48,96	74,05	142,80	535,72
36-Chernossolo Argilúvico	Mata	802,57	74,47	341,86	986,51

DESID= atividade de desidrogenases, FDA= potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína, FOSF. ÁC= Atividade de fosfatase ácida, PROT= atividade de proteases.

Tabela 13. Carbono (CBMS) e nitrogênio (NBMS) da biomassa microbiana, respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) na camada 0-0,20 m de solos do Estado de São Paulo sob mata nativa ou sob cultivo.

Classificação do Solo	COB. VEG.	CBMS mg C kg ⁻¹ solo	NBMS mg N kg ⁻¹ solo	RBS mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	qCO₂ mg CO ₂ kg ⁻¹ CBMS.h ⁻¹
1-Latossolo Verm-Amarelo	Cana	356,13	47,07	4,26	12,63
4-Latossolo Verm-Amarelo	Mata	532,47	90,87	5,27	9,91
7-Latossolo Verm-Eutroférico	Mata	1379,50	204,77	4,38	3,18
12-Latossolo Amarelo	Mata	1152,23	238,82	3,49	3,05
17-Argissolo Verm-Amarelo	Pastagem	572,71	79,20	8,10	14,64
22- Argissolo Verm-Amarelo	Cana	651,99	98,23	7,51	11,60
23-Argissolo Verm-Amarelo	Cana	337,02	134,90	2,93	8,68
24-Argissolo Vermelho	Cana	588,87	154,79	9,37	16,06
25-Neossolo Quartzarênico	Mata	664,13	47,48	7,88	12,80
26-Neossolo Litólico	Mata	284,90	23,75	9,72	34,76
27-Neossolo Regolítico	Pastagem	1346,21	216,52	9,93	7,38
32-Gleissolo Háplico	Mata	2901,56	320,47	11,87	4,18
33-Organossolo Háplico	Mata	2700,46	213,77	12,27	4,70
36-Chernossolo Argilúvico	Mata	3052,53	570,60	17,25	5,75

4.1 Análise Multivariada

Através do gráfico bidimensional dos componentes principais, visualizou-se a distribuição em conjunto dos solos e das variáveis estudadas (Figura 1). A variabilidade retida nestes componentes explicou 83,11% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 71,62% e 11,49%, respectivamente.

Após a análise multivariada, obtiveram-se dois grupos chamados de fatores: Fator 1 (atividade de desidrogenases, proteases, fosfatase ácida, arilsulfatases, amilases, carbono e nitrogênio da biomassa e respiração basal) e Fator 2 (hidrólise do FDA, atividade de celulase, fósforo e matéria orgânica) verifica-se valores acima de 0,70, que representam maior correlação com o componente 1 (Tabela 14). Para cada fator foi realizada uma Análise de Componentes Principais (ACP), perfazendo um total de dois ACP.

Tabela 14. Análise multivariada de fatores, mostrando dois blocos de variáveis (bloco vermelho agregado ao Fator 1 e bloco azul agregado ao Fator 2)

Atributo	Fator 1	Fator 2
FDA	0,41	0,70
Celulase	0,31	0,64
Fósforo	0,06	0,79
Matéria orgânica	0,49	0,76
Desidrogenase	0,83	0,13
Protease	0,83	0,31
Fosfatase ácida	0,80	0,41
Arilsulfatase	0,92	0,15
Amilase	0,78	0,47
Carbono da biomassa	0,81	0,47
Nitrogênio da biomassa	0,87	0,17
Respiração	0,52	-0,18

Em CP1 (eixo horizontal), Fator 1, as amostras localizadas à direita (correlação positiva), P30, P34, P36 e P39, apresentaram maior poder discriminatório em ordem crescente de importância para as variáveis, respiração basal, atividade das enzimas amilase, arilsulfatase, desidrogenase, fosfatase ácida, protease e concentração de C e N na biomassa microbiana.

GAMA-RODRIGUES et al. (2008), ao compararem diferentes coberturas para o Latossolo Vermelho-Amarelo através da análise multivariada, observaram que os índices microbianos (qCO_2 , CBM/C, NBM/N e C/N microbiana), foram mais discriminantes que os atributos químicos (C orgânico e N total) e microbianos (CBM e NBM) em aferir a dissimilaridade entre as coberturas vegetais.

Em CP2 (eixo vertical), Fator 2, as amostras localizadas à esquerda (correlação negativa), P8, P33, P36 e P39, apresentaram maior poder discriminatório em ordem de importância para as variáveis fósforo, matéria orgânica, atividade de desidrogenases e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).

Os vetores de P30, P34 e P39 se posicionaram dentro de uma região periférica tendo por isso características próprias relevantes. As amostras P30, P34 e P39 apresentaram maiores valores para respiração basal, atividade das enzimas

amilase, arilsulfatase, desidrogenase, fosfatase ácida, protease, C e N da biomassa (Figura 5).

Nota-se uma associação entre a atividade das enzimas fosfatase ácida, arilsulfatase, amilase, protease, desidrogenase, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana com as amostras P30, P34 e P39 (Figura 5), e uma associação entre a atividade da celulase e o potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) na amostra P33, e uma associação entre o fósforo e matéria orgânica nas amostras P8 e P36 (Figura 6).

A distribuição das amostras é apresentada pelos dois primeiros componentes principais, obtiveram 65,41% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 53,66% e 11,75% respectivamente (Figura 7).

No gráfico Fator 1 formado por CP1 e CP2 a variabilidade retida nestes dois componentes explicou 83,11% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 71,62% e 11,49%, respectivamente (Figura 5).

No gráfico Fator 2 formado por CP1 e CP2, a variabilidade retida nestes dois componentes explicou 80,99% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 64,11% e 16,88%, respectivamente (Figura 4).

O dendrograma (Figura 6) ilustrou a formação e a arquitetura de grupos contida num conjunto de dados. Verificaram uma interação entre os atributos analisados e a distância euclidiana que é a distância geométrica num espaço m-multidimensional. Trata-se de um coeficiente de dissimilaridade, pois quanto menor a distância maior a similaridade entre as unidades ou objetos nos grupos (FERRAUDO, 2009).

Solos com características mais específicas permaneceram mais próximos do ponto (0,0) do gráfico PVA4 Cana, NVef Milho, LVef Mata formando um grupo. Na região central permaneceram os solos com valores menos significativos, formando outro grupo e os demais permaneceram em outro grupo de menor importância quanto à representatividade das amostras de solo em estudo.

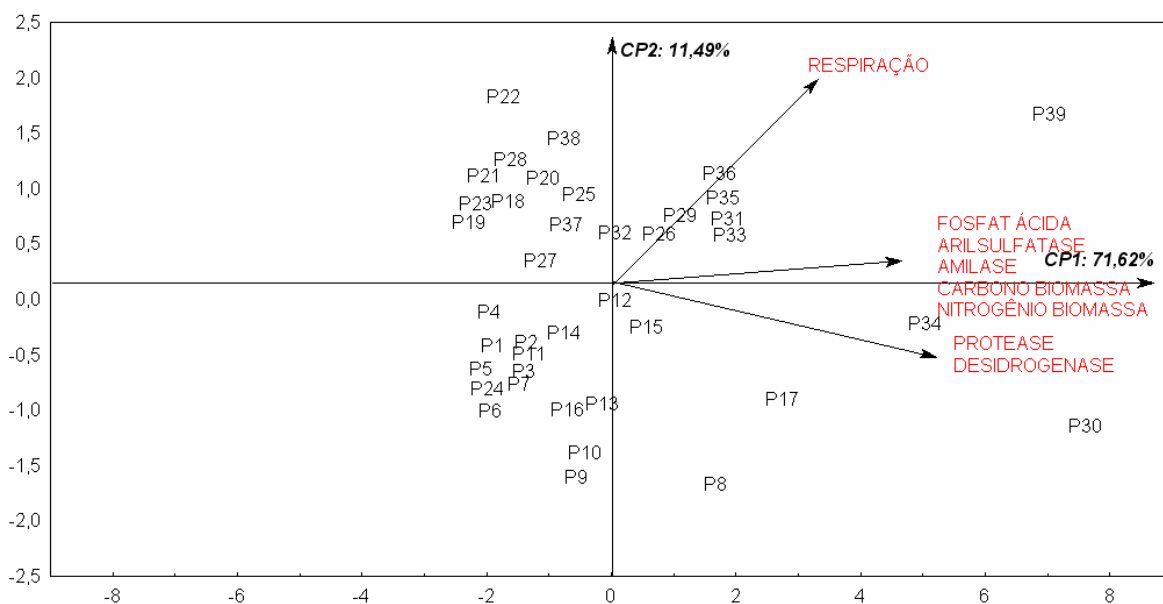


Figura 3. Gráfico dos componentes principais 1 e 2 Fator 1 - Bloco Vermelho com a distribuição das variáveis atividade de desidrogenases, proteases, fosfatase ácida, arilsulfatases, amilases, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e respiração basal do solo.

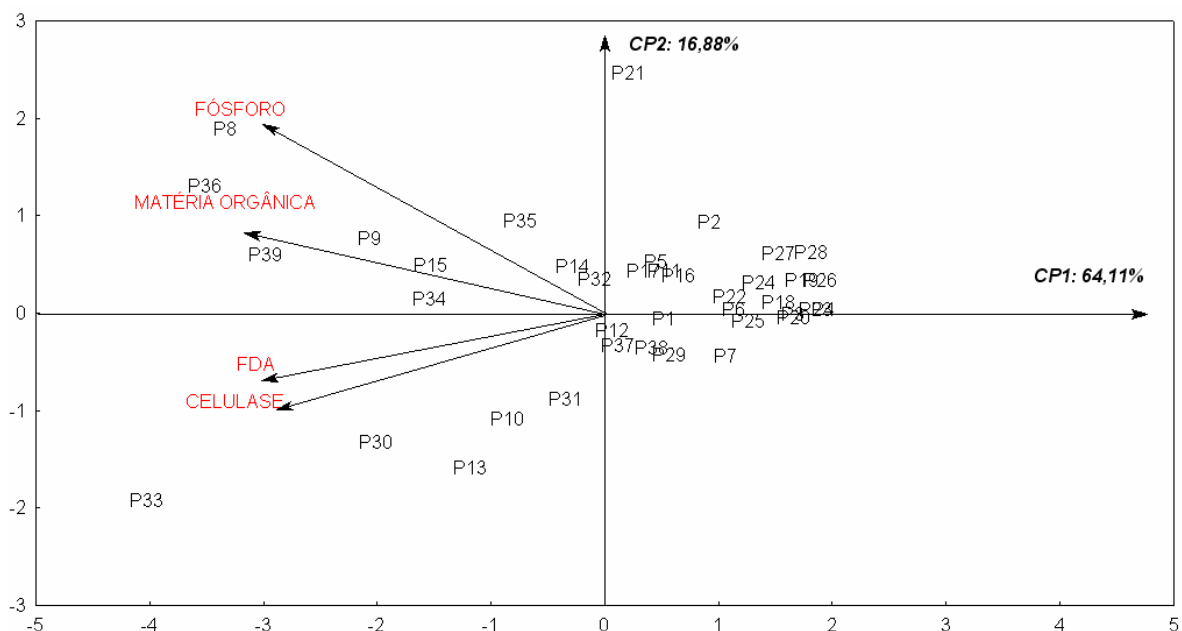


Figura 4. Gráfico dos componentes principais 1 e 2 Fator 2 - Bloco Azul com a distribuição das variáveis fósforo, matéria orgânica, potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína FDA e atividade de celulase.

5 CONCLUSÕES

O solo Nitossolo Háplico (NX-1) sob pastagem foi o que apresentou maiores valores para as atividades de amilase, arilsulfatase, celulase, desidrogenase, FDA, fosfatase ácida, protease, carbono, nitrogênio da biomassa microbiana e respiração basal, quando comparados aos demais solos sob cultivo.

A maioria dos atributos avaliados apresentaram maiores valores para os solos sob condição de mata, sugerindo que podem ser utilizados como indicadores de alterações no meio com o uso da terra. Dentre as enzimas avaliadas a arilsulfatase e a desidrogenase foram as que melhor refletiram as alterações antrópicas sofridas pelos solos em estudo.

O teor de matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica foram as propriedades químicas do solo que melhor se correlacionaram com os atributos biológicos e bioquímicos avaliados.

Quanto à caracterização biológica e bioquímica dos solos, o Gleissolo Háplico (GX-1) e o Chernossolo Argilúvico (MT-1) foram os que apresentaram valores mais elevados.

A análise multivariada mostrou que os solos Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef-1), Chernossolo Argilúvico (MT-1), Gleissolo Háplico (GX-1), Organossolo Argilúvico apresentaram características específicas em relação às enzimas protease, desidrogenase e celulase.

ANEXO



Figura 7. Alguns locais de coleta de terra. a. LAwf – Miguelópolis; b. LVA 4 - Araras; d. LV-1 - São Carlos; e. LVef-2 - Jaboticabal; f. LVef-3 – Jaboticabal; g. OX-1 - Pariquera Açú; h. GX-1 - Pariquera Açú.



Figura 8. Alguns locais de coleta de terra: i. LVA 2 - Itirapina; j. LVA 3 - Itirapina; k. LA-3 - Ibaté; l. MT-1 - Analândia; m. CX-1 - Mogi-Guaçu; n. CX-2 - Mogi-Guaçu.

6 REFERÊNCIAS

AJWA, H. A.; DELL, C. J.; RICE, C. W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. Elmsford, **Soil Biology & Biochemistry**, v. 31, p. 769-777, 1999.

ALEF, K. Estimation of the hydrolysis of fluorescein diacetate. *In*: Alef, K., Nannipieri, P. (Eds.), **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Press, London., p. 232 - 238, 1995.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. **Soil Biology & Biochemistry**. Oxford, v. 10, p. 215-221, 1978.

ANDERSON, J. P.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Sci.**, v. 130, n. 4, p.211-216, 1980.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDRIOLI, I. CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, Brasília, 1999. Anais Brasília, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1999. 32p.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil amended with untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, 64, 1043-1046, 2006.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75. 2007.

BALOTA E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, p. 300-306, 2004.

BENEFIELD, C.D.; HOWARD, P.J.A.; HOWARD, D. M. The estimation of dehydrogenase activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.9, p.67-70, 1977.

BINI, L. M. Alguns problemas com a aplicação de índices de estado trófico em reservatórios. In: **Workshop sobre gestão ambiental de reservatórios hidrelétricos. Monitoramento e avaliação da qualidade da água em reservatórios, 1**. São Paulo, 1999. São Paulo: CESP, 1999. p. 31-43.

BREMNER, J.M.; TABATABAI, M.A. Effects of some inorganic substances on TTC assay of dehydrogenase activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.5, p. 385-396, 1973.

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

BURNS, R. G.; NANNIPIERI, P.; BENEDETTI, A.; HOPKINS, D.W. Defining Soil Quality. In: BLOEM, J.; HOPKINS, D.W.; BENEDETTI, A. (Eds.) Microbiological methods for assessing soil quality. **CABI Pub., Oxfordshire**, 2006. p.15-22.

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14, 133-142, 1990.

CERRI, C.C. & MORAES, J.F.L. Conseqüências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: Encontro sobre matéria orgânica do solo, Botucatu, 1992. Anais. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1992. p. 26-36.

CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e água subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. 247p.

CLARKE, K.R.; WARWICK, R.M.E. Change in Marine Communities. An approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2^a ed. **Plymouth: Primer-E**, 2001.

COSER, T.R.; RAMOS, M.L.G.; AMABILE, R.F.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q. Nitrogênio da biomassa em solo de cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42 (3): 399-406, 2007.

COSTA, J.L.; SIQUEIRA, A.E. Análise de DNA dos solos e atividade enzimática como bioindicadores de diversidade microbiana em sistemas de restauração

florestal na mata atlântica. In: **II SEMINÁRIO DE PESQUISA FAP-SE**, Aracaju, 2004. Anais..., 2004.

CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 390p.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26: 913-923, 2002.

DE-POLLI, H.; & GUERRA, J.G.M. C, N e P da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.389-412.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A. J. (Org.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1994. p. 25-37. 1994a.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSA, p.3-22. 1994b.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D.L. (Org.). **Advances in Agronomy**. San Diego: Academic Press, p. 1-54.1996.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 33-67.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatase in Soils. **Soil Biology & Biochemistry**. Vol. 9, n. 3. p. 167-172, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.

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 Biochemistry**. 27: 1467-1472, 1995.

FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia. In: **MELO, I.S. & AZEVEDO, J.L.**, (Eds.) Ecologia microbiana. Jaguariúna, Embrapa, 1998. 486p.

FERNANDES, S.A.P.; FEIGL, B.J. & CERRI, C.C. Ação de fertilizante fosfatado na biomassa microbiana de solos sob pastagem e capoeira em Rondônia. In: **CONGRESSO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, 1997. CD-ROM.

FERNANDES, M.F.; FERNANDES, R.P.M.; ANJOS, J.; SOBRAL, L.F.; ARAÚJO, A.S. Efeito da saturação por bases sobre a atividade das fosfatases em solos do tabuleiro costeiro cultivado com citrus II. Constantes cinéticas das enzimas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22. n. 3 p. 403-410, 1998.

FERRAUDO, A.S. **Técnicas de Análise Multivariada**. Universidade Estadual Paulista. 78p. 2009.

FERREIRA, E.A.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1625-1635, 2007.

FIALHO, J.S.; GOMES, V.F.F.; OLIVEIRA, T.S.; SILVA JÚNIOR, J.M.T. Indicadores de qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, 37 (3): 257-260, 2006.

FILARDI, F.L.R.; GARCIA, G.C.P.; OKANO, R.M.C.; RODRIGUES, I.M. Padrões de distribuição geográfica de espécies arbóreas de Leguminosae ocorrentes no cerrado. Nota Científica. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 5, p. 1116-1118. 2007.

FRIGHETTO, R.T.S. XVIII. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação extração. In: FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. (Coords). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 157-166. (Embrapa Meio Ambiente Documentos, 21) 2000.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; PAULINO, G.M.; FRANCO, A.A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1521-1530, 2008.

GERALDES, P.A.; CERRI, C.C. & FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1:55-60, 1995.

GRAYSTON, S.J.; JONES, D.V.D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, n. 1, p.29-56, 1996.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Can J. Soil Sci** 74:367-385. 1994.

GRISI, B.M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: Revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 10, nº 1, p. 1-22, 1995.

HERRICK, J.E. Soil quality: na indicator of sustainable land management? **Applied and Environmental Microbiology**, 57: 2351-2359, 2000.

HOTTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**., 24, p. 417-41, 498-520, 1933.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial do solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 39 (2): 118-127, 2008.

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

JOHNSON, D.L.; AMBROSE, S.H.; BASSET, J.J.; BOWEN, M.L.; CRUMMEY, D.E.; ISAACSON, J.S.; JOHNSON, D.N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, New York, v. 26, p. 581-589, 1997.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. R.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, p.4-10, 1997.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.). **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, p. 3116-3126. 2002.

KLUMPP, A.; HINTEMANN, T.; SANTANA LIMA, J.; E. Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties. **Environmental Pollution**, v. 126, p. 313-321, 2003.

LADD, J. N.; BUTLER, J. H. A. Short-term assay of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.4, n.1, p.19-30, 1972.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. 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, p.37-51. 1994.

LUIZÃO, R.C.C.; COSTA, E.S.; LUIZÃO, F.J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima de floresta na Amazônia Central. **Acta Amaz.**, 29:43-56, 1999.

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural e submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p. 1177-1182, 2000.

MARTENS, D. A.; JOHANSON, J. B.; FRANKENBERGER, Jr., W.T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. Baltimore, **Soil Sci.**, v. 153, n.1, p. 53-61, 1992.

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**, 27:425-433, 2003.

MELO, V. P. **Carbono, nitrogênio e atividade biológica em Latossolos cultivados com milho, no sexto ano de aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 93p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

MELO, W.J. Enzimas no Solo. In: MONIZ, A.C. et al. (Eds). A responsabilidade social da ciência do Solo. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 365-378. 1988.

MELO, W.J. et al. Amilase em solos do município de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7 , nº2 , p. 231-5, 1983.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; MELO, V.P. **Enzimas no solo**. Disponível em:<<http://www.fcav.unesp.br/wjmelo/TEXTOS/FERTBIO2008.pdf>> Acesso em: 12 dez 2008.

MENDES, I.C.; CARNEIRO, R.G.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L. & VARGAS, M.A.T. **Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional**. Planaltina, 1999. 5p. EMBRAPA Cerrados, 5.

MENDES, I.C. **Impactos de sistemas agropecuários na atividade enzimática e biomassa microbiana dos solos de Cerrado**. In: II Congresso Brasileiro de Soja/Mercosoja, 2., Foz do Iguaçu, 2002. Anais. Londrina, Embrapa Soja, 2002. p. 246-257.

MOUTA, E. R. **Adsorção e Coeficientes de distribuição de Selênio em Solos do Estado de São Paulo**. Jaboticabal, 2007. p.17. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

MUKHERJEE, D.; GAUR, A.C. A study of influence of straw incorporation on soil organic matter maintenance, nutrient release and asymbiotic nitrogen fixation. **Zentralbl. Bakteriol. Parasitenkd. Infectiionshr. Hyg., II.**, 135(8):663-668, 1980.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.F. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p.49-53, 1994.

NDAW, S.M.; RODRIGUES, E.F. da G.; ROSADO, A.S. Diversidade, biomassa e atividade microbiana como indicadores da qualidade dos solos sob diferentes coberturas vegetais no entorno do parque do desengano, Santa Maria Madalena, RJ. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7; REUNIÃO BRASILEIRA DE**

BIOLOGIA DO SOLO, 4; 2002, Rio de Janeiro, Resumos..., Rio de Janeiro, p. 201, 2002.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2. p. 161-168, Feb. 2002.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **BioScience**, Londres, v.35, p. 419-422, 1985.

ODUM, E.P. **Ecologia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434p.

OLIVEIRA, F.R.A.; VALARINI, P.J.; POPPI, R.J. Indicadores de qualidade de solo em área de mata e cultivado com cana orgânica e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2 (2):1299-1302, 2007.

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; ROTTA, C.L. **Levantamento semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo**. Mapa escala 1:100.000. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 1977.

PANCHOLY, S.K. & RICE, E.L. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase, gehydrogenase and urease. **Soil Sci. Amer. Proc.**, v.37, p. 47-50, 1973.

PAUL, E.A.; CLARCK, F. E. **Soil Biology & Biochemistry**. San Diego, Academic Press, 272p., 1989.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, Series 6, 2, p.559-572, 1901.

PIELOU, E.C. **The Interpretation of Ecological Data: A Primer on Classification and Ordination**. New York: Wiley, 1984, 263p.

POPI, R.J.; SENA, M.M. Métodos quimiométricos na análise integrada de dados. In: FRIGHETO, R.T.S.; VALARINI, P.J. (coords.) **Indicadores biológicos e bioquímicos de qualidade do solo**. Manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 1198p.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSER, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in the total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**. n. 19, p.159-164. 1987.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAMOS, M.L.G.; RESCK, D.V.S.; FERREIRA, A.B.; EL-MOOR, R.D.; GOMES, A.C. Biomassa microbiana e evolução de CO₂, em diferentes sistemas de manejo num Latossolo Vermelho-escuro do cerrado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 18, 2001, Londrina, Resumos..., Londrina, p. 82, 2001.

REIS JUNIOR, F.B.; MENDES, I.C. **Biomassa microbiana do solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Cerrados. Documentos 205. 38p. 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

REVOREDO, M. D. **Atributos químicos e bioquímicos de um latossolo tratado com lodo de esgoto contaminado com níquel e cultivado com sorgo.** Jaboticabal, 2005. p.2-23. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP.

RIBEIRO, J.F.; & WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **Cerrado: ambiente e flora.** Eds S.M. SANO & S.P. ALMEIDA. EMBRAPA, CPAC, Planaltina, 89-164. 1998.

ROSA, M.E.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M.; CORREIA, J.R. Formas de carbono em latossolo vermelho eutrófico sob plantio direto no sistema biogeográfico de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27(4):911-923, 2003.

SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.S.; GOMES, A.S.; SILVA, D.G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas e manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, 10(3):333-338, 2004.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, p. 1256-1261, 1982.

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J. E.; BREDJA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Madison, v. 164, p. 224-233, 1998.

SILVA, M.; SIQUEIRA, E.R.; COSTA, J.L.S. Hidrólise do diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, 34(5):1483-1496, 2004.

SILVA, F. DE A. S.E. & AZEVEDO, C.A.V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: World Congress on Computers in Agriculture, 7, Reno – NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, E.E. da.; de AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).

SMITH, L.S.; HILL, R. L.; LEHMAN, I.R.; LEFKOWITZ, R.J. **Bioquímica: Aspectos gerais**. Rio de Janeiro: 7. ed. Guanabara Koogan, 1985, 170p.

SOARES, M.R. **Coefficiente de distribuição (K_d) de metais pesados em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 2004. 202p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOUZA, I.M.Z. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em áreas reflorestadas comparadas ao campo e mata nativa no planalto dos campos gerais, SC**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 2005. 50p. (Dissertação de Mestrado).

STATSOFT, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 7, 2004. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em 10/04/2010.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiology indicators. **Soil and Plant Science**, v. 49, p.1-24, 1999.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soils analysis, Madison: **American Society of Agronomy**, v. 2, n.1, p. 1551-1572. 1965.

TABATABAI, M.A & BREMNER, J.M. Arylsulphatase activity in soils. **Soil Science Society**. America Proceeding, v.34(2): 225-229, 1970.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M.T.; GARCIA, C. Application of Two Organic Amendments on Soil Restoration: Effects on the Soil Biological Properties. **J. Environ. Qual.**, v. 35, p. 1010 – 1017. 2006.

TEMPLER, P.; FINDLAY, S.; LOVETT, G. Soil microbial biomass and nitrogen transformations among five tree species of the Catskill Mountains, New York, USA. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, n.4, p. 607-613, 2003.

THALMANN, Zur methodic der bestimmung der dehydrogenase aktivita triphenyltetrazolium chlorid (TTC) in boden mittels. **Landwirtschaftliche Forschung**, 21:249-258, 1968.

TIWAN, S.C.; TIWAN, B.K.; MISHRA, R.R. Microbial populations, enzyme activities and nitrogen-phosphorus-potassium enrichment in earthworm casts and in the surrounding soil of a pineapple plantation. **Biology and Fertility of Soils**, v. 8, p.178-182, 1989.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H; SCHAEFER, C.E.G.R; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (eds) **Tópicos em Ciência do Solo**, Vol. 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276 . 2002.

VALARINI, P.J.; FRIGUETO, R.T.S.; SCHIAVINATO, R.J.; CAMPANHOLA, C.; SENA, M.M.; BALBIONOT, L.; POPPI, R.J. Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. **Horticultura Brasileira**. 25(1):60-67, 2007.

VALENTIN, J.L. **Ecologia Numérica**. Uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117p.

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

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

WARDLE, D.A.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, 67:321-358, 1992.

WITTIG, R. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: MARKERT, B. (Org.) Plant as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. **Weinheim**: VCH, p. 3-27, 1993.