

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS PELA
ATIVIDADE AGRÍCOLA E ALTERAÇÕES BIOLÓGICAS APÓS
REFLORESTAMENTOS COM DIFERENTES ASSOCIAÇÕES DE
ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA**

LAURO RODRIGUES NOGUEIRA JUNIOR

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE M. GONÇALVES**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Ciências, Área de concentração: Ciências Florestais.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro - 2000

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS PELA
ATIVIDADE AGRÍCOLA E ALTERAÇÕES BIOLÓGICAS APÓS
REFLORESTAMENTOS COM DIFERENTES ASSOCIAÇÕES DE
ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA**

LAURO RODRIGUES NOGUEIRA JUNIOR

Aprovada em: 15.02.2001

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Leonardo de M. Gonçalves	ESALQ/USP
Profa. Dra. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso	ESALQ/USP
Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini	FCA/UNESP

Prof. Dr. José Leonardo de M. Gonçalves

Orientador

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Nogueira Junior, Lauro Rodrigues

Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da Mata Atlântica / Lauro Rodrigues Nogueira Junior. - - Piracicaba, 2000.
50 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Biomassa microbiana do solo 2. Cultivo 3. Degradação do solo 4. Fragmento florestal 5. Mata Atlântica 6. Propriedade físico-químico do solo 7. Reflorestamento l.
Titulo

CDD 634.90981

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Data de depósito junto ao CPB/ESALQ

18 / 12 / 2000

À Mata Atlântica, dedico.

AGRADECIMENTOS

À incansável "transmutação" de tudo que existe no universo.

Aos meus amores: mãe, pai, filho, irmãos, amigos..., por tudo.

Ao Prof. José Leonardo de M. Gonçalves, pela oportunidade do ingresso no curso de Pós Graduação, por trabalharmos juntos, pela orientação, ensinamentos, confiança e aprimoramento técnico-científico.

À Profa. Vera Lex Engel e ao John Parrota por proporcionarem, através do Projeto "Restauração de sítios degradados da Mata Atlântica no Estado de São Paulo, Brasil", esta dissertação. Além de agradecido, desejo que tudo dê certo nesse maravilhoso trabalho - fica, assim, minha admiração por vocês.

Às Professoras Simey Thury Vieira Fisch e Maria Cecilia Barbosa de Toledo e ao Prof. Serafim Daniel Ballestero, ambos da Universidade de Taubaté (UNITAU), por me iniciarem no campo da pesquisa, pelas oportunidades e incentivos, pelo amor e pelo carinho.

Aos meus grandes irmãos, amigos e companheiros de moradia: Luciano Mendes Souza Vaz, Marcio Sztutman e Valquiria Garrote – adoro vocês.

A Denise e Fernando (Laboratório de Microbiologia-Solos), por tudo que vocês me ensinaram e pela ajuda a mim emprestada.

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia Aplicada (Juliana, Francismara, Luciana, Fernanda e Alba), pela excelente colaboração.

Aos meus "pequenos" grandes amores: Daniela Midei, Audrei I. del N. da Costa, Catarina S. Camargo e Juliana Napolitano, por tudo que vocês me proporcionaram;

A Elder, Patricia Vaz, Claudia Irene, Fabiane Ducatti, Luiz (fanho), Amarildo, Ivan, Luciana e André (dójine).

A todas as pessoas que colaboraram direta ou indiretamente na realização do Projeto.

Aos inúmeros colegas de pós-graduação e graduação, professores e funcionários da ESALQ e amigos de Piracicaba (Alexandra, Eduardo e Luciana).

Ao LCF e ESALQ, por facilitarem a pesquisa (biblioteca, internet e laboratórios) e por outras coisas (RUCAS, campo de futebol, centro de vivência e saúde, vila de estudante, etc.).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de Mestrado e Reserva Técnica, que muito facilitaram minha manutenção e meus estudos.

Ao Estado de São Paulo, um dos mais degradados da Nação, onde morei por oito anos e aprendi a importância da Restauração Ambiental;

Agradeço, de corpo e alma.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
SUMMARY.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Caracterização das áreas experimentais.....	8
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	10
3.3 Instalação do experimento.....	15
3.4 Caracterização dos atributos do solo.....	15
3.4.1 Físicos e químicos.....	15
3.4.2 Biológicos.....	16
3.5 Análise estatística.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Atributos físicos e químicos do solo.....	19
4.2 Atributos biológicos do solo.....	27
4.2.1 C da biomassa microbiana.....	27
4.2.2 Liberação de CO ₂	32
4.2.3 Mineralização de N.....	34
4.3 Correlação e relação entre o C orgânico e o C da biomassa microbiana.....	36
5 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS PELA ATIVIDADE AGRÍCOLA E ALTERAÇÕES BIOLÓGICAS APÓS REFLORESTAMENTOS COM DIFERENTES ASSOCIAÇÕES DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA

Autor: LAURO RODRIGUES NOGUEIRA JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE M. GONÇALVES

RESUMO

No presente estudo perseguimos os seguintes objetivos: a) caracterizar o grau de degradação física e química de solos usados em cultivo agrícola por várias décadas, originalmente cobertos por Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) em Botucatu, SP; b) avaliar as alterações biológicas destes solos ao longo de 16 meses pós-reflorestamento com diferentes modelos de associação de espécies da Mata Atlântica. As áreas experimentais estavam localizadas em duas propriedades (Fazenda Lageado e Edgardia) da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA/UNESP) em Botucatu-SP. O clima da região é do tipo tropical com inverno seco (Cwa, classif. de Köppen). Os solos das áreas experimentais são os seguintes: um Nitossolo Vermelho (NV) de textura argilosa; um Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) álico, de textura areia-franca; e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) álico, de textura arenosa. Seis tratamentos (delineamento em blocos casualizados, com três repetições) foram usados: Testemunha; Semeadura Direta; Taungya; Consorciação; Restauração e, por fim, Fragmentos Florestais. Os atributos físicos (textura, densidade e porosidade) foram avaliados nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40cm, os atributos químicos (pH, MO, P, S, K, Ca, Mg, H, Al, CTC, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm e os atributos biológicos (C da biomassa microbiana, liberação de CO₂ e mineralização de N) nas camadas de 0-5 e 5-20cm. No NV, o teor de argila no solo degradado foi 57% maior do que o obtido no solo sob o Fragmento Florestal (camada 0-10cm), no AVA, 33% maior e, no LVA, 77% menor. Este efeito, no NV e AVA, foi atribuído à remoção de camadas superiores do solo, mais arenosas, pela erosão e exposição das camadas inferiores mais argilosas. No LVA, o menor teor de argila e silte no solo degradado foi

atribuído à perda destas frações por eluviação ou em suspensão na enxurrada. O pH, teor de MO, de P e de Ca nos solos NV e LVA foram bem superiores nos Fragmentos Florestais relativamente aos obtidos nas áreas com solos degradados. Diferenças menos acentuadas foram observadas no AVA, como também detectadas para a composição textural, indicando que este solo está menos degradado que os demais. A CTC dos solos mostrou-se altamente correlacionada com os teores de argila e de MO. Isto destaca a importância da preservação da composição granulométrica e elevação dos teores de MO com o intuito de restaurar importantes propriedades físico-químicas do solo, como a CTC. Em áreas com cobertura florestal (Fragmentos Florestais do NV, AVA e LVA), o C da biomassa microbiana apresenta maiores valores na camada superficial e no verão. Fato atribuído a condições mais favoráveis (MO, pH, umidade, temperatura, etc) à manutenção da vida microbiana no solo. O C da biomassa microbiana e, em menor escala, a liberação de CO₂ apresentaram-se como bons indicadores das alterações ocorridas após o reflorestamento com as diferentes associações de espécies. No LVA, como o solo desta área se apresenta mais degradado, em relação ao NV e ao AVA, a alta correlação e relação C microbiano/C orgânico indica que a biomassa microbiana é um importante compartimento de reserva do C orgânico do solo. Quanto aos atributos biológicos, as diferenças entre os Fragmentos Florestais e os demais tratamentos continuam a existir nas três áreas e camadas, devendo ser gradativo o retorno desses atributos à condição pré-existente; ademais, o tempo de retorno sofrerá influência das condições edafoclimáticas da área e da associação de espécies presentes.

CHARACTERIZATION OF SOILS DEGRADED BY THE AGRICULTURAL ACTIVITY AND BIOLOGICAL CHANGES AFTER REFORESTATION WITH DIFFERENT SPECIES ASSOCIATIONS OF THE ATLANTIC FOREST

Author: LAURO RODRIGUES NOGUEIRA JUNIOR

Adviser: Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE M. GONÇALVES

SUMMARY

This study seeks to: a) characterize the degree of physical and chemical degradation of the soils used in agricultural cultivation for several decades, originally covered by the Atlantic Forest (Seasonal Semideciduous Forest) in Botucatu, SP; b) evaluate the biological changes of these soils along a 16-month post-reforestation with different models of species association of the Atlantic Forest. The experimental areas were located in two properties (Fazenda Lageado and Edgardia) of the Agronomic Sciences College (FCA/UNESP) in Botucatu-SP. The climate in that region is the tropical type with dry winter (Cwa, Köppen class.). The soils of the experimental areas are: clayey Red Nitosol (NV), loamy alic Red-Yellow Argisol (AVA), and sandy alic Red-Yellow Latosol (LVA). Six treatments (randomized block design with three replications) were used: Test; Direct Seeding; Taungya; Consortium; Restoration and finally Forestal Fragments. The physical attributes (texture, density and porosity) were evaluated in layers of 0-10, 10-20 and 20-40cm; the chemical attributes (pH, MO, P, S, K, Ca, Mg, H, Al, CTC, B, Cu, Fe, Mn and Zn) in layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40cm and the biological attributes (Microbial biomass C, CO₂ release and N mineralization) in layers of 0-5 and 5-20cm. The clay content in the degraded soil in NV was 57% higher than that obtained in soil under Forestal Fragment (0-10cm layer), 33% higher in AVA, and 77% lower in LVA. This effect in NV and AVA was accredited to the removal of the soil top layers, which are sandier due to the erosion and exposition of the lower layers that are more clayey. In LVA the lowest clay and silt content in the degraded soil was accredited to the loss of these fractions by eluviation or flood suspension. The pH, MO, P and Ca contents in NV and LVA soils were much higher in Forestal

Fragments regarding those reached in degraded soil areas. The less marking differences were observed in AVA and also detected for the textural composition, thus indicating that this soil is less degraded than the other ones. The CTC of the soils was highly correlated with the clay and MO contents. That highlights the importance of preserving the granulometric composition and elevation of the MO contents in order to restore important physical-chemical soil properties, such as the CTC. In primary forest areas (NV, AVA and LVA Forestal Fragments), the microbial biomass C presents higher values at the top layer and in the summer, a fact accredited to more favorable conditions (MO, pH, moisture, temperature, etc) for the maintenance of the microbial life in the soil. The microbial biomass C and, in a lesser scale, the CO₂ release were good indicators of the changes occurred after the reforestation with the different species associations. In the LVA, since the soil of this area is more degraded in relationship to NV and AVA, the high correlation and microbial C/organic C relationship indicate that the microbial biomass is an important reserve compartment of the soil organic C. As to the biological attributes, the differences between the Forestal Fragments and the remaining treatments still exist in the three areas and layers, and the return to the pre-existing attributes is likely to be gradual; moreover, the time of return should undergo influences of the pedoclimatic conditions of the area and of the association of the present species.

1 INTRODUÇÃO

Entre os ecossistemas de florestas tropicais e subtropicais, a Mata Atlântica é, seguramente, um dos mais afetados pelo desflorestamento. Sua vegetação natural cinge-se a poucas áreas de preservação e a remanescentes em propriedades particulares. Atualmente, a Mata Atlântica representa apenas cerca de 7% da cobertura vegetal original do Estado de São Paulo, concentrando-se em algumas grandes áreas na Serra do Mar e a fragmentos no interior (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 1993). No Estado de São Paulo, grande parte dos solos ocupados anteriormente por esse ecossistema apresenta-se degradada. Destes solos, os utilizados de forma predatória (mineração, áreas de empréstimo em usinas hidroelétricas, etc.) e os encontrados em áreas de preservação permanente (APP), devem ser restaurados. Da mesma forma, os que não se encontram em APP precisam ser restaurados, constituindo áreas de reserva legal ou visando a preservar seu potencial para utilização futura.

Restaurar a *função* e a *estrutura* de um ambiente degradado, buscando a similaridade com as características anteriores à ação antrópica ou distúrbio ambiental causadores da degradação, é um dos desafios que as ciências enfrentam na tentativa de mitigar os efeitos da degradação (Ewel, 1987; Young, 2000). Assim, a restauração de áreas degradadas é considerada por Ewel (1987) necessária; para tanto, devem ser seguidos alguns critérios: retenção de nutrientes, sustentabilidade do ecossistema, interações biológicas, etc. No que concerne a tal restauração, estão sendo empregados programas de revegetação em “áreas de empréstimos” de hidroelétricas, matas ciliares e

de preservação permanente, solos degradados pela erosão e mineração (Kageyama *et al.*, 1992; Kageyama *et al.*, 1994).

As pesquisas que visam a estudar a interação solo-vegetação na restauração de áreas degradadas na Mata Atlântica são escassas. Faltam, sobretudo, as que auxiliem os proprietários rurais a encontrarem uma relação custo-benefício favorável à implantação de associações de espécies. Estudar seu funcionamento pode permitir, não só a avaliação das modificações produzidas pelo uso de solos ocupados anteriormente por esse ecossistema como também propiciar a compreensão das distintas etapas necessárias à restauração da função e estrutura do ambiente degradado.

O presente estudo perseguiu os seguintes objetivos: a) avaliar o grau de degradação física e química de solos usados em cultivo agrícola por várias décadas, originalmente cobertos por Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) em Botucatu, SP; b) caracterizar as condições biológicas desses solos ao longo de 16 meses pós-reflorestamento com diferentes modelos de associação de espécies da Mata Atlântica. Os estudos foram conduzidos com base nas seguintes hipóteses: 1) quanto maior o tempo e intensidade de ação antrópica maior o grau de degradação dos atributos do solo; 2) reflorestando-se os solos com diferentes técnicas/modelos de reflorestamento os atributos químicos e biológicos do solo são gradativamente restaurados e os físicos preservados; 3) a velocidade de restauração é diretamente relacionada à qualidade dos atributos edáficos e ao sucesso do estabelecimento florestal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Solo degradado é o que sofreu modificação em sua natureza – quer tal mudança tenha sido física, química ou biológica – em consequência de alterações climáticas causadas por fatores naturais ou em decorrência de ação antrópica (Lal & Stewart, 1992). A degradação implica a diminuição da capacidade produtiva e, nos solos agrícolas, deve-se, principalmente, à ação erosiva ou ao uso indevido. Se não ocorrer a reposição das perdas de nutrientes devidas às colheitas, ao pastoreio, à lixiviação e à volatilização, estes solos passam a apresentar atributos físicos, químicos ou biológicos pouco propícios à produção agrícola. Assim, o reflorestamento de solos degradados, bem como a sustentabilidade das associações de espécies florestais depende da restauração do nível de fertilidade do solo, sendo, por conseguinte, imprescindível para a recomposição do ecossistema.

Franco *et al.* (1992) preconizam que, para a recuperação de solos degradados, os modelos de associação de espécies florestais devem basear-se em tecnologias que promovam não apenas a utilização de espécies vegetais de rápido crescimento, mas, também, que sejam capazes de melhorar o solo por meio do aporte de matéria orgânica. Resck *et al.* (1996), estudando sistemas agroflorestais (associações de árvores com culturas comerciais) em áreas de cerrado concluíram que esses podem melhorar a fertilidade do solo, especialmente em função da maior produção de fitomassa. Gama-Rodrigues & Barros (1997) verificaram que, em plantios puros e mistos de espécies

florestais nativas do sudeste da Bahia, as coberturas florestais podem distinguir-se marcadamente na capacidade de alterar os atributos edáficos, devido à quantidade, qualidade e taxa de decomposição da serapilheira.

Inicialmente, o estabelecimento da cobertura vegetal atua como proteção mecânica contra os agentes erosivos, como fonte potencial de matéria orgânica (Andrade *et al.*, 1995b) e como mecanismo regulador da liberação e ciclagem de nutrientes contidos na serapilheira (Heaney & Proctor, 1989; Costa *et al.*, 1996, 1997). Após o estabelecimento, a vegetação proporciona nova dinâmica de nutrientes, seja pelo fluxo de material orgânico transferido para a superfície do solo via serapilheira ou pela ação mecânica e incremento dos tecidos radiculares incorporados ao solo (Proctor, 1987).

A manutenção da capacidade produtiva dos solos está intimamente ligada ao seu teor de matéria orgânica, responsável por: a) aporte de energia e nutrientes ao sistema (Adams & Attiwill, 1986; Swift & Woome, 1993); b) melhoria das condições físicas, preservação do efeito tampão, enriquecimento de nutrientes à biota em geral (Aniétot, 1983); c) aumento da Capacidade de Troca Catiônica (Raij, 1969; Beer, 1988). Admitindo-se o padrão de movimento de nutrientes raiz-caule-folhas-serapilheira-solo-raiz, observa-se que grande quantidade de nutrientes está contida na serapilheira (restos vegetais e animais), sendo importante fonte de entrada de matéria orgânica em solos sob florestas (Golley *et al.*, 1978; Haag, 1985).

Na interface solo-serapilheira ocorre a decomposição e humificação da matéria orgânica depositada e também a liberação, mineralização e lixiviação de nutrientes. Toda essa dinâmica de nutrientes depende da qualidade do material depositado no solo e das condições edafoclimáticas do local (Golley *et al.*, 1978). No estágio inicial a transferência e a decomposição parcial da serapilheira promovem o acúmulo de material orgânico na superfície do solo por serem, as taxas de entrada, superiores às taxas de decomposição desse material. Num segundo estágio as taxas de decomposição aproximam-se das taxas de deposição promovendo um estado de equilíbrio entre

acúmulo e deposição de serapilheira (Odum, 1985). Nesse estágio o povoamento florestal encontra-se na maturidade (clímax), ou próximo dela.

A decomposição da matéria orgânica é afetada pelos seguintes fatores: composição química da serapilheira, condições ambientais (temperatura e umidade), diversidade e quantidade de macro e microorganismos (Singh & Gupta, 1977; Lekha & Gupta, 1989; Killham, 1994), agregação e porosidade do solo (Sollins, 1989). As taxas de decomposição variam de acordo com o material da planta (hemicelulose, celulose e lignina) e o ambiente; tais taxas são diferentes devido à solubilidade em água do material orgânico (Singh & Gupta, 1977; Killham, 1994).

Os principais grupos de organismos decompositores da serapilheira são: bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, nematóides, microartrópodos, macroartrópodos e minhocas (Singh & Gupta, 1977; Lekha & Gupta, 1989; Killham, 1994). Fundamentais nos ciclos biogeoquímicos, os organismos do solo são responsáveis e participam dos processos de humificação, imobilizando eles próprios grande quantidade de nutrientes em sua biomassa (Fernandes *et al.*, 1997). Todavia, os microorganismos promovem alterações (físicas, químicas e biológicas) no solo; os efeitos de tais alterações podem afetar o desenvolvimento das plantas, auxiliando-as ou prejudicando-as. Entre os fatores benéficos podem-se citar os decorrentes da decomposição e incorporação de matéria orgânica, da fixação de nitrogênio atmosférico e das alterações dos constituintes minerais do solo, resultando na liberação de nutrientes em forma assimilável (Killham, 1994).

Avaliando os resultados de carbono orgânico, taxa de respiração e nitrogênio total dos solos sob diferentes coberturas florestais, Gama-Rodrigues *et al.* (1997), concluíram ser a biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio indicadores sensíveis para aferir a dinâmica desses elementos. O solo, por suas características de estrutura e textura, pode tornar-se um fator limitante à sua biota (Killham, 1994). Todavia, a biomassa microbiana do solo é influenciada, principalmente, por limitações de C e N;

fatores climáticos; adições de resíduos, nutrientes e poluentes (De-Polli & Guerra, 1996).

O nitrogênio chega ao solo das seguintes maneiras: fixação simbiótica, fixação não-simbiótica e precipitação atmosférica. A maior parte do N do solo (95%) encontra-se na matéria orgânica, isto é nos resíduos orgânicos, sendo um elemento funcional para as atividades dos seres vivos (Killham, 1994). A disponibilidade de N para as plantas é devida, principalmente, à atividade de microorganismos amonificadores e bactérias nitrificantes, que podem ter suas populações alteradas pela elevação do pH no solo (Andrade *et al.*, 1995a).

Do total do carbono, aproximadamente 1,5, 35 e 63,5% encontram-se, respectivamente, na atmosfera, ecossistemas terrestres e oceanos. Boa parte do carbono nos ecossistemas terrestres está nas florestas que são, dessa forma, importantes para o equilíbrio global do carbono, pois guardam dentro de sua biomassa e no solo mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera (Beinroth *et al.*, 1996). Portanto, se solos degradados são reflorestados parte do CO₂ atmosférico proveniente da mudança de ocupação é retirado da atmosfera pelos processos fotossintéticos e armazenado, sob a forma de compostos orgânicos, na biomassa florestal ou no solo (Chmora & Mokronosov, 1994).

A respiração do solo geralmente é definida como a quantidade de CO₂ liberado da superfície do solo para a atmosfera. Tal respiração decorre, principalmente, da decomposição de detritos (mineralização da matéria orgânica), envolvendo populações transitórias (animais, micorrizas e microorganismos) e da respiração das raízes (Medina *et al.*, 1980; Keller *et al.*, 1986; Behera *et al.*, 1990).

Cerri *et al.* (1985) e Araújo (1996) demonstraram que a maior taxa de liberação de CO₂ ocorre na camada superficial e que isso pode ser atribuído à biomassa microbiana que se concentra nos primeiros 20 cm do solo. Esse fato também pode ser

atribuído às raízes, visto que, em estudos com vegetação natural da Amazônia (Volkoff & Cerri, 1981) e eucalipto (Mello, 1997), verificou-se maior concentração de raízes finas, responsáveis pela absorção de nutrientes, no topo da camada superficial do solo, em contato com a serapilheira.

O fato de a decomposição da serapilheira ocorrer principalmente na camada superficial do solo favorece o aumento da retenção e absorção de água e nutrientes pelas raízes e micorrizas (Gerhardt & Fredriksson, 1995; Medina *et al.*, 1980; Alexander, 1989) ocasionando, por conseguinte, uma rápida ciclagem de nutrientes e o crescimento da vegetação. Restabelecida a interação solo-vegetação, a restauração do ecossistema em recomposição poderá ser promovida fornecendo, mediante o manejo florestal, uma relação custo-benefício favorável à manutenção dessas florestas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das áreas experimentais

Os estudos foram conduzidos no município de Botucatu, situado na região centro sul do Estado de São Paulo (22°50'S; 48°24'W). De propriedade da UNESP (Campus de Botucatu) as áreas experimentais estão instaladas na Fazenda Edgardia e Lageado que fazem parte da Faculdade de Ciências Agrônomicas. A precipitação média anual (últimos cinco anos) foi de 1.530 mm, ocorrendo a maior incidência no período de outubro a março (1.165 mm) (Figura 1); a temperatura média anual foi de 20,3 °C, ocorrendo a média mínima, 16,5 °C, no mês de julho e a máxima, 23,4 °C, no mês de janeiro.

As áreas experimentais situam-se junto a cuesta arenito-basáltica, com altitudes variando de 775 a 464 m. Em decorrência da topografia e embasamento geológico existe uma variação de oito tipos de solo; alguns, de origem basáltica, são mais férteis já outros apresentam-se como manchas de solos extremamente pobres e ácidos. A vegetação natural das áreas foi classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual (IBGE, 1993) de domínio de Mata Atlântica, existindo poucos remanescentes em bom estado de conservação. Presentemente a região vem merecendo a atenção de ambientalistas, pois situa-se numa Área de Preservação Ambiental (APA) onde se localiza a recarga de um dos mais importantes aquíferos do Estado de São Paulo.

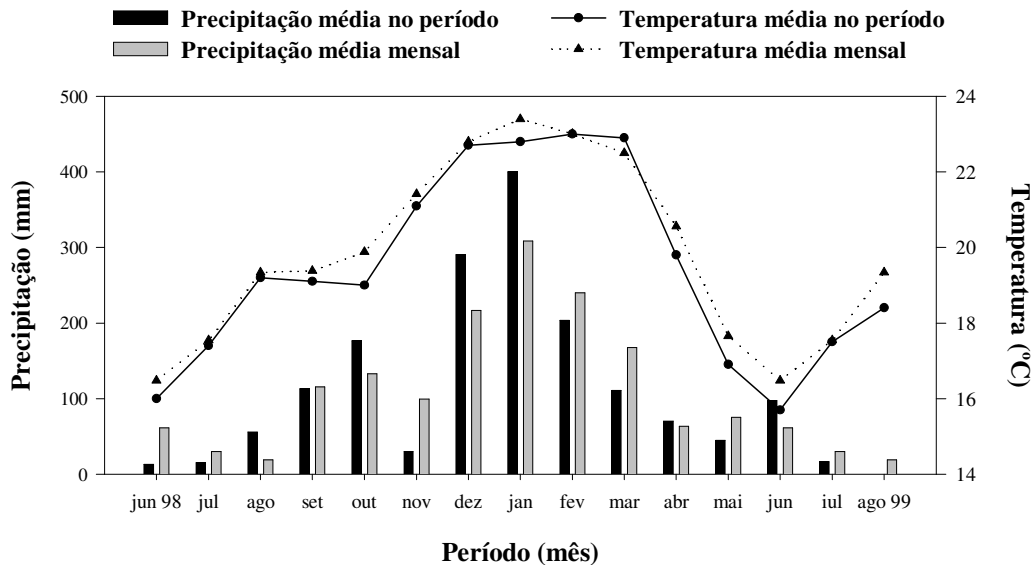


Figura 1. Precipitação e temperatura médias no período de 06/98 a 08/99 e mensal (média dos últimos cinco anos), na Fazenda Lageado.

O experimento foi estabelecido em três locais:

- **Área 1** - localizada a 700m de altitude, em área ocupada por um Nitossolo Vermelho (NV), textura argilosa e relevo ondulado. Do início do século até o fim da década de 60 a área foi utilizada para a produção de café, na década de 70 e 80 para produção de feijão e, na de 90, com plantios de capim napier (*Pennisetum purpureum*). Ao lado desta área, há um remanescente florestal de mata ciliar.

- **Área 2** - localizada a 574m de altitude, em área ocupada por um Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA), álico, textura areia franca, relevo suave ondulado a ondulado. De 1920 a 1971, aproximadamente, a área foi utilizada como pastagem, depois parte da área foi utilizada com plantios de *Citrus* e parte como pastagem, formada com *Brachiaria decumbens*. Ao lado desta área há um remanescente florestal em bom estado de conservação.

- **Área 3** - localizada a 540m de altitude, em área ocupada por um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), álico, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado. De 1933 a 1964 a área foi utilizada como pastagem, de 1964 a 1980, com plantios de manga e pecã e, nos últimos 10 anos, como pastagem (formada com *Panicum maximum*). Esta área é vizinha a um fragmento de mata secundária que se encontra em médio estágio de regeneração.

Os atributos químicos do solo das três áreas experimentais, bem como os dos Fragmentos Florestais adjacentes a cada área, são apresentados na Tabela 1.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados foram os seguintes:

- **Trat. 1 Testemunha (TEST)** - As parcelas experimentais foram isoladas com cerca;

- **Trat. 2 Semeadura Direta (SEME)** - Foram utilizadas 5 espécies heliófilas e de rápido crescimento (*Chorisia speciosa*, *Croton floribundus*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Mimosa scabrela* e *Schizolobium parahyba*). As sementes passaram pelo processo de quebra de dormência indicado para cada espécie. A semeadura foi feita em espaçamento de 1x1m e a 5cm da superfície. Foram utilizadas de 2 a 4 sementes/cova, esperando-se uma população de plantas equivalente a 4000 plantas ha⁻¹. Na Tabela 2 são apresentados alguns dados sobre a germinação de sementes e crescimento das plantas neste tratamento, obtidos por Engel & Parrota (no prelo). Os dados apresentados nesta tabela são importantes para discutir alguns resultados deste estudo;

Tabela 1. Atributos químicos dos solos das diferentes áreas experimentais: degradadas e Fragmentos Florestais.

Área	pH	MO	P-resina	S-SO ₄ ²⁻	K	Ca	Mg	H ^o	Al	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	—mg dm ⁻³ —	mmol _c dm ⁻³					%	mg dm ⁻³					
NITOSSOLO VERMELHO															
0-5 cm															
Degradada	5,8	51	40	13	4,7	84	26	26	0,1	82	0,26	15,6	24,0	256	5,54
Fragmento Florestal	6,7	107	98	18	4,6	317	43	18	0,4	96	0,96	8,19	25,8	172	5,17
5-10 cm															
Degradada	5,7	44	22	14	4,8	59	22	28	0,4	76	0,09	16,2	19,2	272	4,88
Fragmento Florestal	6,3	84	106	17	4,1	274	44	22	0,2	94	0,47	11,7	28,7	235	4,90
10-20 cm															
Degradada	5,7	37	16	15	3,6	77	18	32	0,5	77	0,28	15,8	16,8	255	3,84
Fragmento Florestal	5,7	73	73	15	3,4	236	44	28	0,5	91	0,32	12,5	27,4	300	3,74
20-40 cm															
Degradada	5,6	26	13	22	1,8	64	15	30	0,4	72	0,24	13,2	13,8	176	2,06
Fragmento Florestal	6,0	63	45	16	4,5	181	40	27	0,1	90	0,40	11,3	27,7	280	3,88
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO															
0-5 cm															
Degradada	5,6	16	27	8,3	2,3	18	12	13	0,1	67	0,12	0,56	29,0	25,6	0,88
Fragmento Florestal	5,8	44	33	11	8,7	83	14	15	0,7	87	0,59	0,20	26,2	84,7	7,44
5-10 cm															
Degradada	5,1	14	19	8,4	1,7	14	8,4	16	0,6	56	0,14	0,53	33,6	26,8	0,64
Fragmento Florestal	5,4	27	25	25	2,4	52	10	16	0,6	79	0,36	0,15	29,0	96,9	5,51
10-20 cm															
Degradada	4,6	11	12	7,0	1,3	12	5,8	18	1,6	47	0,09	1,05	30,8	23,4	0,29
Fragmento Florestal	5,1	18	18	9,6	1,7	32	7,8	15	0,9	72	0,20	0,32	31,0	91,6	3,44
20-40 cm															
Degradada	4,4	6,5	10	7,7	1,3	10	4,8	20	2,5	38	0,06	1,49	31,5	23,6	0,08
Fragmento Florestal	4,8	7,0	12	10	2,0	19	5,5	16	0,7	62	0,11	0,34	30,2	67,5	1,86
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO															
0-5 cm															
Degradada	4,8	17	14	8,4	3,1	14	5,2	17	0,6	57	0,08	0,42	30,0	36,5	2,02
Fragmento Florestal	6,1	86	88	22	5,4	218	42	18	0,4	94	0,61	4,72	53,6	127	6,64
5-10 cm															
Degradada	4,6	13	13	6,2	1,9	13	4,4	17	1,2	52	0,12	0,595	32,8	39,55	1,32
Fragmento Florestal	5,7	40	72	18	3,8	125	34	21	0,3	89	0,46	6,22	57,2	153	4,05
10-20 cm															
Degradada	4,4	7,6	12	5,6	1,1	12	2,6	16	1,8	46	0,10	0,63	24,5	37,1	0,34
Fragmento Florestal	5,5	32	65	11	4,1	106	38	27	0,4	85	0,24	8,17	63,7	196	4,11
20-40 cm															
Degradada	4,3	3,1	2,6	5,5	1,2	6,6	1,8	15	2,5	36	0,42	0,56	22,45	34	0,44
Fragmento Florestal	5,4	23	53	12	3,2	109	41	26	0,3	85	0,21	8,00	62,6	189	3,90

Tabela 2. Germinação de sementes¹ (45 dias pós-semeadura) e crescimento das plantas¹ (dois anos pós-semeadura) no Nitossolo Vermelho (NV), Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Dados obtidos na mesma área e época experimental por Engel & Parrota (no prelo).

Espécie	Solo			Média de todas áreas	ANOVA ²
	NV	AVA	LVA		
Sementes germinadas (%)					
<i>Chorisia speciosa</i>	13,1±1,8 ^a	5,1±1,9 ^b	4,5±1,4 ^b	7,6	*
<i>Croton floribundus</i>	0	0	0	0	ns
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	18,1±4,4	20,8±1,8	18,7±1,8	19,2	ns
<i>Mimosa scabrella</i>	3,3±1,7	0,5±0,5	0	1,3	ns
<i>Schizolobium parahyba</i>	18,8±5,3	21,6±2,3	30,6±13,0	23,7	ns
Todas espécies	10,6±1,5	9,6±1,0	10,8±2,9	10,3	ns
Altura (m)					
<i>Chorisia speciosa</i>	0,4±0,3	0,1±0,1	0	0,2	ns
<i>Croton floribundus</i>	1,0±1,0	0	0,5±0,5	0,5	ns
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	1,6±0,2 ^a	2,2±0,2 ^a	0,8±0,1 ^b	1,5	*
<i>Mimosa scabrella</i>	1,3±1,0	0	0	0,4	ns
<i>Schizolobium parahyba</i>	2,0±0,4	1,4±0,02	1,8±0,4	1,7	ns
Diâmetro do colo (cm)					
<i>Chorisia speciosa</i>	1,2±0,8	0,4±0,4	0	0,5	ns
<i>Croton floribundus</i>	1,4±1,4	0	0,1±0,1	0,5	ns
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	4,1±0,4 ^{ab}	6,5±1,2 ^a	1,8±0,3 ^b	4,1	*
<i>Mimosa scabrella</i>	1,9±1,0	0	0	0,6	ns
<i>Schizolobium parahyba</i>	4,5±1,2	4,8±0,6	4,6±0,7	4,6	ns

¹ Valores médios das repetições por parcela em cada área ± desvio padrão ($n=3$); ² Resultados da ANOVA: ns – efeito da área não é significativo; * - $p<0,05$, letras iguais na mesma linha indicam que as médias são semelhantes ($p<0,05$; LSD, t -test).

- **Trat. 3 Sistema Taungya modificado (TAUN)** - Nesse sistema as mudas de 19 espécies foram plantadas em linhas triplas com espaçamento entre si de 2m, intercaladas com faixas de 5m, onde foram plantadas culturas anuais durante os 2 primeiros anos. O espaçamento entre plantas nas linhas triplas foi de 1,5m, sendo as plantas das linhas externas formadas por 10 espécies (grupo A e B) de uso múltiplo e rápido crescimento para lenha (Tabela 3). Na linha central foram plantadas 9 espécies (grupo C) de valor comercial e crescimento mais lento. As culturas anuais foram definidas com base na sua

adaptabilidade aos diferentes solos e época de plantio; empregou-se preparo do solo e adubação convencionais; as culturas escolhidas foram as seguintes: feijão e milho no NV, milho e mandioca no AVA e feijão e batata-doce no LVA;

- **Trat. 4** *Consociação de espécies nativas de rápido crescimento com espécies comerciais para madeira (CONS)* - Foram utilizadas mudas de 8 espécies do grupo A e B e 13 espécies do grupo C (Tabela 3), plantadas em linhas alternadas com espaçamento de 2m entre linhas e 1,5m entre plantas;

- **Trat. 5** *Mistura de espécies nativas em modelos de plantio-restauração (REST)* - Esta plantação consistiu de uma mistura de espécies características de remanescentes da Mata Atlântica da região. Essas árvores estão incluídas em diferentes grupos ecológicos/silviculturais (A - 6 spp, B - 8 spp, C - 13 spp e D - 7 spp) (Tabela 3);

- **Trat. 6** *Fragmentos Florestais (FRAG)* - Nas avaliações físicas, químicas e biológicas do solo, para efeito de comparação (referência), foram utilizados os fragmentos florestais de mata nativa localizados ao lado das áreas experimentais.

Os tratamentos experimentais foram instalados no delineamento de blocos casualizados, constituindo-se de seis tratamentos e três repetições. As parcelas experimentais possuem 2.500m² (50 x 50m), ocupando em cada área experimental 4,5ha.

Tabela 3. Grupo, família, nome científico, vulgar e indivíduos/parcela das espécies utilizadas nas associações de espécies dos tratamentos¹.

Grupo	Família	Nome		Indivíduos/parcela		
		Científico	vulgar	TAUN	CONS	REST
A	Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira-pimenteira	-	-	44
A	Cecropiaceae	<i>Cecropia sp.</i>	Embaúba	-	-	10
A	Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	-	-	50
A	Leguminosae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril	10	52	33
A	Leguminosae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico-branco	60	78	-
A	Leguminosae	<i>Ingá uruguensis</i>	Ingá	10	-	-
A	Leguminosae	<i>Mimosa caesalpiniaeifolia</i>	Sansão-do-campo	30	26	-
A	Leguminosae	<i>Mimosa scabrela</i>	Bracatinga	90	78	-
A	Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	-	-	20
A	Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	40	26	46
B	Bignoniaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i>	Ipê-felpudo	50	65	17
B	Bombacaceae	<i>Chorisia speciosa</i>	Paineira	-	-	28
B	Leguminosae	<i>Peltophorum dubium</i>	Canafistula	10	13	-
B	Leguminosae	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Pau-jacaré	10	-	10
B	Leguminosae	<i>Pterogyne nitens</i>	Amendoim-bravo	40	39	28
B	Leguminosae	<i>Schizolobium parahyba</i>	Guapuruvu	-	-	28
B	Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	Genipapo	-	-	22
B	Tiliaceae	<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	-	-	10
B	Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i>	Pau-viola	-	-	44
C	Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba-rosa	15	26	20
C	Apocynaceae	<i>Aspidosperma ramiflorum</i>	Guatambu	10	-	11
C	Bignoniaceae	<i>Tatebuia aveilanedas</i>	Ipê-roxo	-	13	-
C	Euphorbiaceae	<i>Pera glabrata</i>	Tamanqueira	10	-	33
C	Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá-branco	-	-	10
C	Lecythidaceae	<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá-vermelho	-	13	-
C	Leguminosae	<i>Copaifera longedorfii</i>	Copaíba	10	13	10
C	Leguminosae	<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá-da-bahia	-	13	-
C	Leguminosae	<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru	-	-	17
C	Leguminosae	<i>Hymenea courbaril (stilbocarpa)</i>	Jatobá	30	39	20
C	Leguminosae	<i>Machaerium villosum</i>	Jacarandá-paulista	30	26	-
C	Leguminosae	<i>Myroxylum peruiferum</i>	Cabreúva	-	13	-
C	Leguminosae	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico-vermelho	-	26	10
C	Leguminosae	<i>Poecilanthe parviflora</i>	Coração-de-negro	-	-	10
C	Meliaceae	<i>Cedrella fissilis</i>	Cedro	20	13	20
C	Rutaceae	<i>Enzenbeckia leiocarpa</i>	Guarantã	20	52	20
C	Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Pau-marfim	-	26	20
C	Sapotaceae	<i>Pouteria ramiflora</i>	Grão-de-galo	-	-	18
D	Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i>	Palmito-branco	10	13	27
D	Boraginaceae	<i>Cordia superba</i>	Baba-de-boi	-	-	47
D	Leguminosae	<i>Ormosia arborea</i>	Olho-de-cabra	-	-	10
D	Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i>	Figueira-branca	-	-	10
D	Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	Pitanga-vermelha	-	-	18
D	Rutaceae	<i>Metrodorea stipularis</i>	Chupa-ferro	-	-	24

¹ TAUN = Trat. 3; CONS = Trat. 4; e REST = Trat. 5.

3.3 Instalação do experimento

As parcelas do tratamento “Semeadura Direta” foram preparadas convencionalmente (uma aração e duas gradagens) em 06/97, logo a seguir as sementes receberam quebra de dormência e foram semeadas. Para a instalação dos tratamentos TAUN, CONS e REST realizou-se o preparo da área de 11 a 12/97 e utilizaram-se mudas produzidas no viveiro do Departamento de Ciências Florestais da FCA-UNESP. Esses tratamentos e o TEST foram instalados no período de 01 a 02/98. As parcelas nos FRAGs foram instaladas no período de 03 a 06/98.

3.4 Caracterização dos atributos do solo

Na primeira amostragem – e com respeito à avaliação de seus atributos físicos, químicos e biológicos – optou-se por analisar, isoladamente, o SEME e o FRAG. Considerando-se que os demais tratamentos (TEST, TAUN, CONS e REST) foram instalados no mesmo período (01 a 02/98), portanto sob condições edafoclimáticas similares, foram coletadas amostras compostas (10 amostras simples) representativas de cada bloco destes tratamentos em conjunto. A partir da segunda amostragem, para a avaliação dos atributos químicos e biológicos do solo, os tratamentos foram avaliados isoladamente.

3.4.1 Físicos e químicos

A textura, densidade real e aparente do solo foram analisadas de acordo com os métodos propostos em EMBRAPA (1997), sendo realizada uma amostragem em 07/98. Para avaliação da textura e densidade real foi realizada uma amostragem em 07/98, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm. A densidade aparente foi avaliada nas profundidades de 0-10 e 10-20cm. Na análise da textura e densidade real foram utilizadas amostras compostas de 10 amostras simples por parcela, coletadas com trado. Já para a análise da densidade aparente foram utilizadas 5 amostras indeformadas de

98cm³ por parcela, coletadas em cilindros de 5cm de altura por 5cm de diâmetro. A porosidade foi calculada pela seguinte equação: porosidade = ((densidade real – densidade aparente)/densidade real)*100.

A fertilidade do solo foi avaliada segundo os métodos descritos por Raij *et al.* (1987), foram consideradas as seguintes características químicas: pH, carbono orgânico, fósforo disponível, enxofre, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio e alumínio trocáveis e saturação por bases. O boro foi extraído com água quente e analisado segundo o método descrito por Abreu *et al.* (1994). Os micronutrientes, cobre, ferro, manganês e zinco foram extraídos com DTPA e analisados segundo os métodos descritos por Lindsay & Norvell (1978).

Os atributos químicos das amostras coletadas em 07/98 (primeira avaliação) foram determinados nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm. Na segunda avaliação (08/99), os micronutrientes não foram analisados e a fertilidade do solo foi determinada nas camadas de 0-5 e 5-10cm. Para as análises utilizaram-se amostras compostas de 10 amostras simples por parcela.

3.4.2 Biológicos

Para a avaliação dos atributos biológicos, analisaram-se o carbono da biomassa microbiana, a liberação de dióxido de carbono (CO₂) e a mineralização de nitrogênio. Nesta avaliação foram feitas amostragens das camadas de 0-5 e 5-20cm de profundidade, em três períodos: 08/98, 02/99 e 08/99. Para tais análises, foram usadas amostras compostas por 20 amostras simples por parcela. Os métodos utilizados foram os seguintes:

Carbono da biomassa microbiana - O carbono da biomassa microbiana (C_{micro}) foi determinado pelo método da fumigação-extração (Vance *et al.*, 1987). Foram utilizadas duas sub-amostras com 10g de massa seca: uma submetida à fumigação e a outra não (testemunha). Para a fumigação as sub-amostras foram colocadas em um dissecador

fornado com papel toalha úmido, ao lado de um becker contendo 25ml de clorofórmio purificado (sem etanol) e algumas bolas de vidro. O dissecador foi evacuado até o clorofórmio borbulhar por dois minutos. Após vinte e quatro horas, o becker com clorofórmio foi removido e o resíduo retirado por evacuações repetidas. Para a extração do carbono orgânico (C_{orga}) das sub-amostras fumigadas e testemunhas, as sub-amostras foram transferidas para frascos de 80ml, onde foram adicionados 40ml de K_2SO_4 0,5mol L^{-1} . Os frascos foram agitados por 30 minutos e a suspensão resultante filtrada. O C_{orga} do extrato foi determinado pela digestão de 10ml do extrato filtrado com 1ml de $K_2Cr_2O_7$ 66,7mmol L^{-1} e uma mistura de 5ml de H_2SO_4 mais 5ml de H_3PO_4 concentrados. A mistura foi levada a banho-maria por uma hora e, após resfriada, acrescentou-se 10ml de H_2O deionizada. O excesso de dicromato foi determinado por titulação com sulfato ferroso de amônio (33,3mmol em H_2SO_4 0,4mol L^{-1}), usando-se difenil amina sulfonato de bário como indicador. O dicromato consumido foi dado pela diferença entre uma digestão em branco de 10ml de extrator (K_2SO_4 0,5mol L^{-1}) menos aquela que sobrou na digestão do extrato de solo. O carbono extraível foi calculado assumindo que um ml de $K_2Cr_2O_7$ 66,7mmol é equivalente a 1200 μ g de C. O C_{micro} de cada amostra foi obtido, multiplicando o valor da diferença entre o carbono orgânico extraível da sub-amostra fumigada menos o da não fumigada (testemunha), pelo fator K (2,64) de correção.

Liberção de CO_2 - Para avaliação da respiração do solo foi utilizado como indicador o CO_2 liberado determinado pelo método da incubação (Jenkison & Powlson, 1976). Foram utilizadas 40g de terra úmida por amostra, próximo à capacidade de campo, sendo incubada inicialmente por 2 dias a 28°C em vasilha hermeticamente fechada de 2 litros, juntamente com um bequer contendo 10ml de NaOH 0,5N. A respiração foi medida por titulação do NaOH residual com HCl a 0,5N. Antes acrescentou-se $BaCl_2$ para precipitar o CO_2 liberado e captado pelo NaOH. A fenolftaleína foi usada como indicador. A partir do volume de ácido usado para a titulação estimou-se a quantidade de CO_2 que o NaOH captou. As amostras foram incubadas por dezesseis semanas,

quantificando-se o CO₂ liberado aos 2, 4, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 84, 98 e 112 dias após o início da incubação.

Mineralização de nitrogênio - O N mineralizado foi determinado pelo método da incubação anaeróbica descrito por Waring & Bremner (1964). Para a extração inicial de N colocaram-se 10g de solo seco (<2mm) em tubos de centrífuga de 50ml. A seguir adicionaram-se 30ml de KCl 2mol L⁻¹, agitando os tubos por 45 minutos e centrifugando a 2000 rpm durante 15 minutos. Para as incubações foram acrescentados, nestes tubos de centrífuga, 30ml de solução nutritiva constituída de: MgSO₄ (0,002mol L⁻¹) e Ca₂(H₂PO₄)₂ (0,005mol L⁻¹). Os tubos foram agitados manualmente até a dispersão dos solos e depois tampados com papel alumínio para prevenir perdas d'água por evaporação e crescimento de algas; após tal procedimento foram incubados em sala climatizada a 28°C. A primeira extração de N foi realizada três semanas após o início das incubações, adicionando-se 2,6g de KCl (sal anidro) a cada tubo de centrífuga, obtendo a concentração de 1mol L⁻¹ de KCl. Os tubos foram agitados e centrifugados da mesma forma empregada para a extração do N presente antes das incubações. Estas operações foram realizadas 3, 6, 9, 12, 18 e 24 semanas após o início das incubações, sendo congelados os extratos das amostras. Determinou-se o N-NH₄⁺ por diferenças na condutividade elétrica com utilização do sistema de análise por injeção de fluxo (FIA: "Flow Injection Analysis").

3.5 Análise estatística

Os dados relativos aos atributos físicos, químicos e biológicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de média (*t* e Tukey, P≤0,05). As relações entre CTC e teores de argila e matéria orgânica foram analisadas através da correlação simples e regressões múltiplas, do tipo "stepwise", modelo "backward". Foi também realizada análise de correlação entre o carbono orgânico e o carbono da biomassa microbiana. O programa estatístico utilizado para as análises foi o SAS Institute (1991).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos e químicos do solo

Tendo os solos dos Fragmentos Florestais como referência verificou-se – em relação aos solos degradados e para as três camadas amostradas do Nitossolo Vermelho (NV) e Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) – maior teor de argila e, para as do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), menores teores de argila e silte (Tabela 4).

Na camada de 0-10cm do NV o teor de argila variou de 337 (Fragmento Florestal) para 530g kg⁻¹ (área com solo degradado), ou seja, 57% maior (Tabela 4). Para a profundidade de 10-20 e 20-40cm, esta variação foi de 56 e 66%, respectivamente. Variações bem menores foram observadas no AVA, provavelmente associadas à menor declividade da área onde se localiza este solo. Essas variações estão relacionadas ao processo erosivo que se instaurou nas áreas após o desmatamento causando perdas de solo das camadas superiores, mais arenosas, e expondo camadas inferiores, mais argilosas. Esta também é uma das causas da considerável redução do teor de matéria orgânica (MO) das áreas usadas para cultivo agrícola (Figura 2). Cerri *et al.* (1991) e Gregorich *et al.* (1998) atribuíram o depauperamento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo após desmatamento, principalmente, à redução do estoque orgânico do solo devido, respectivamente, ao cultivo agrícola e erosão.

Tabela 4. Textura, densidade e porosidade das camadas de 0-10, 10-20 e 20-40cm, de amostras coletadas em 07/98, nos solos das diferentes áreas experimentais: degradadas e fragmentos florestais.

Área	Textura			Classificação	Densidade		Porosidade
	Argila	Silte	Areia		Real	Aparente	
g kg ⁻¹			g dm ⁻³		%		
Nitossolo Vermelho							
0-10 cm							
Degradada	530 a	167 b	300 b	Argiloso	2,7	0,99	63
Fragmento Florestal	337 b	246 a	417 a	Franco Argiloso	2,6	0,91	65
10-20 cm							
Degradada	670 a	120 b	210 b	Argiloso	2,8	0,99	65
Fragmento Florestal	427 b	223 a	350 a	Argiloso	2,6	0,91	65
20-40 cm							
Degradada	650 a	127 b	223 b	Argiloso	2,7 b	-	-
Fragmento Florestal	390 b	230 a	380 a	Franco Argiloso	2,4 a	-	-
Argissolo Vermelho-Amarelo							
0-10 cm							
Degradada	80 a	0 b	920 a	Arenoso	2,5	1,45 b	42 b
Fragmento Florestal	60 b	20 a	920 a	Arenoso	2,6	1,24 a	53 a
10-20 cm							
Degradada	100 a	0 b	899 b	Areia Franca	2,5	1,45 b	42 b
Fragmento Florestal	47 b	20 a	933 a	Arenoso	2,6	1,24 a	53 a
20-40 cm							
Degradada	121 a	27	852 b	Areia Franca	2,6	-	-
Fragmento Florestal	40 b	20	940 a	Arenoso	2,7	-	-
Latossolo Vermelho-Amarelo							
0-10 cm							
Degradada	60 b	20 b	920 a	Arenoso	2,6	1,45 b	44 b
Fragmento Florestal	196 a	149 a	655 b	Franco Arenoso	2,6	1,30 a	50 a
10-20 cm							
Degradada	47 b	20 b	933 a	Arenoso	2,6	1,45 b	44 b
Fragmento Florestal	224 a	176 a	600 b	Franco Argilo Arenoso	2,6	1,30 a	50 a
20-40 cm							
Degradada	47 b	27 b	926 a	Arenoso	2,7	-	-
Fragmento Florestal	218 a	102 a	679 b	Franco Argilo Arenoso	2,7	-	-

Médias seguidas por letras iguais ou sem letras, na mesma coluna, solo e camada, não diferem entre si pelo teste *t* (P<0,05).

O menor teor de argila e silte no LVA deve estar relacionado à maior perda destas frações por eluviação ou em suspensão na água da enxurrada. Como esse solo é muito arenoso (areia=650g kg⁻¹ sob o Fragmento Florestal), a perda das frações mais leves e o acúmulo da areia são facilitados pela alta friabilidade e baixa coesão das partículas nele presentes (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Em um LVE, Cavenage *et al.* (1999) verificaram, após 18 anos de cultivo intensivo com milho, menores teores de argila e silte nas camadas superficiais.

Kirkegaard *et al.* (1992) demonstraram, para solos argilosos, que a redução da captação de água e de poros – promovida pela mudança na estrutura e compactação do solo decorrente, por via de regra, do seu uso indevido – limita o crescimento radicular e, conseqüentemente, o estabelecimento da vegetação. No entanto, diferentemente do relatado por esses autores, a mudança na estrutura do solo causada pelo maior teor de argila, não limitou, no caso de nosso experimento, o crescimento da vegetação. Isto é demonstrado pelo bom crescimento das espécies arbóreas utilizadas no tratamento SEME (Tabela 2) e pode ser atribuído aos níveis de MO (37g dm⁻³ na camada de 0-40cm) e de outros atributos químicos deste solo (Tabela 1) bem como à densidade aparente e à porosidade (Tabela 4).

Stirzaker *et al.* (1996) observaram, em solo arenoso, que, numa menor densidade do solo, o contato do sistema radicular com as partículas do solo é menor; isto diminui a absorção de nutrientes e água causando menor crescimento das plantas. Desta forma, a macroestrutura dos solos arenosos, como demonstrado por Cornish (1993), afeta o crescimento radicular e o estabelecimento de plântulas. Estas constatações indicam que, para o AVA, a maior quantidade de frações finas no solo, o aumento na densidade aparente e a redução na porosidade podem promover maior microagregação a qual se reflete em bom crescimento da vegetação no tratamento SEME instalado sobre tais solos (Tabela 2).

Devido à grande redução do teor de argila e silte ocorridos com o cultivo agrícola no LVA – e isto em períodos de uso pouco diferentes dos observados quanto aos demais solos –, bem como devido aos reflexos negativos sobre os atributos físicos, químicos e

biológicos do solo causados por tal efeito, deduz-se que este solo foi o mais sensível e o mais afetado pelas mudanças de ocupação e de manejo. Bons indicadores dessas afirmações, além dos atributos edáficos avaliados, consubstanciaram-se na dificuldade de estabelecimento e nos baixos índices de crescimento das espécies plantadas no SEME, bem inferiores aos observados nos demais solos (Tabela 2). Em observações de campo verificou-se que, certamente devido ao elevado estado de degradação deste solo, as espécies nele plantadas foram mais afetadas por estresses hídricos e nutricionais,

Quanto ao NV e AVA, é impossível sua recuperação em termos de composição textural. Química e biologicamente tal recuperação deverá ser possível; as alterações da textura nas camadas superficiais não devem constituir empecilho a ela, ao contrário, talvez agilizem o processo de recuperação. As boas condições estruturais desses solos, proporcionadas pela predominância da mineralogia mista (sesquióxidos de Fe e Al e argila 1:1) (Oliveira, 1999) e por sua maior fertilidade atual – relativamente ao LVA – deverão favorecer a recuperação de sua fertilidade; tal recuperação dever-se-á ao estabelecimento e crescimento mais rápido das plantas dando início à ciclagem de nutrientes e à deposição de MO mais cedo e em maior quantidade.

Em função da intensa redução dos teores de argila e silte, característica intrínseca do solo que não pode ser recuperada, o LVA é o solo que apresenta as maiores dificuldades no que tange à recuperação. Na impossibilidade de modificar sua composição textural deduz-se que, em termos edáficos, é impossível recuperar este solo de sorte a fazê-lo chegar aos níveis observados em áreas adjacentes, com solos pouco ou não perturbados. Talvez isto seja possível em termos florísticos, mas seria prematura qualquer afirmação a esse respeito.

O NV apresentou-se como um solo bem mais fértil do que o AVA e o LVA, os quais apresentam níveis de fertilidade próximos entre si para a maioria dos atributos (Figuras 2 e 3 e Tabela 1). Por exemplo, no SEME do NV, observou-se, nas duas avaliações da camada de 0-5cm, em média, $MO = 56g\ dm^{-3}$, $P = 41mg\ dm^{-3}$, $S-SO_4^{2-} = 9\ mg\ dm^{-3}$, $K = 5,2mmol_c\ dm^{-3}$ e $Ca = 76mmol_c\ dm^{-3}$ e, no LVA, $MO = 24\ g\ dm^{-3}$, $P = 11mg\ dm^{-3}$, $S-SO_4^{2-} = 6mg\ dm^{-3}$, $K = 3,2mmol_c\ dm^{-3}$ e $Ca = 13mmol_c\ dm^{-3}$.

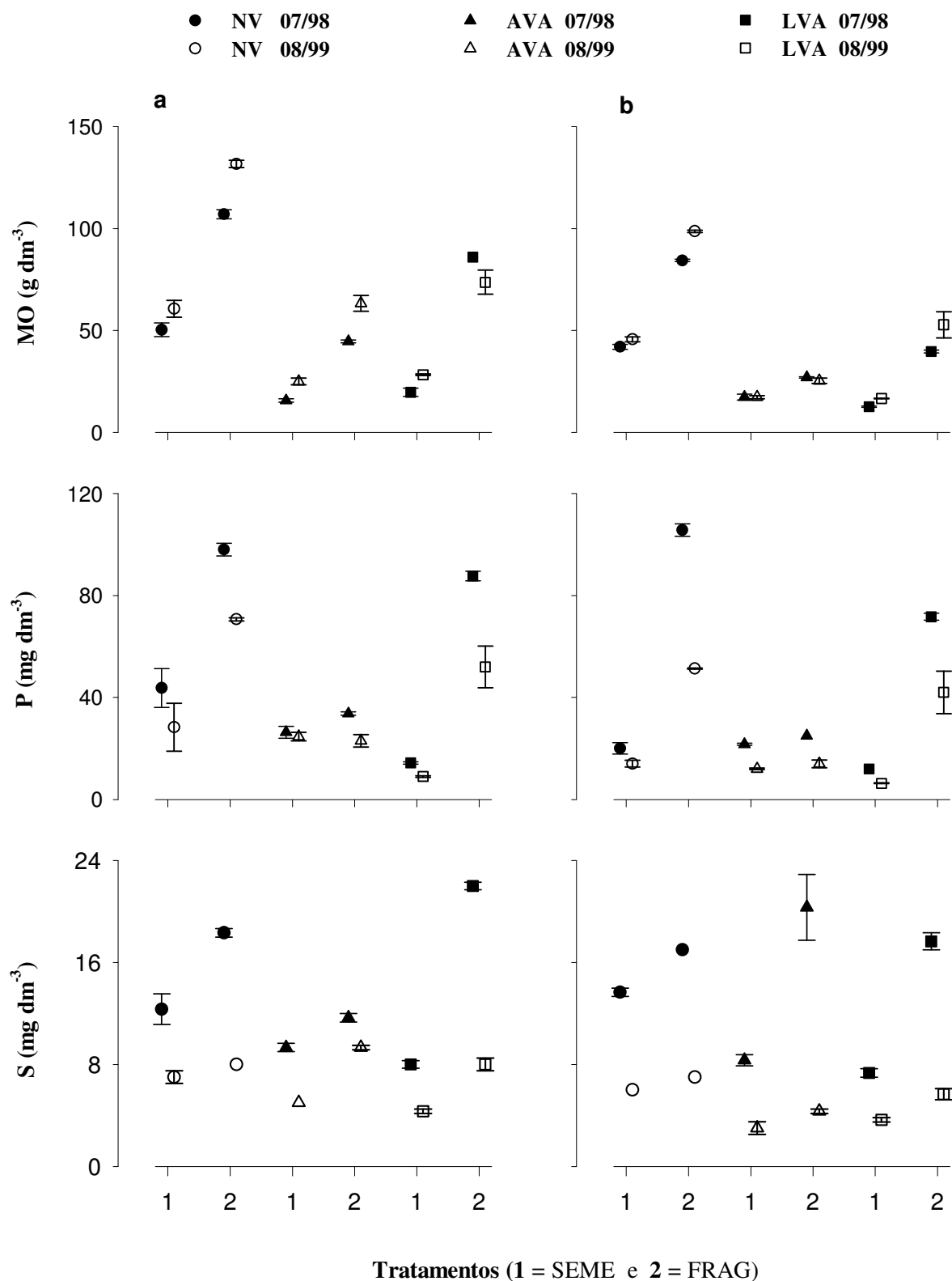


Figura 2. Atributos químicos (média \pm erro padrão) da camada de 0-5 (a) e 5-10cm (b), 12 (07/98) e 25 meses (08/99) após a instalação do experimento, em dois tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

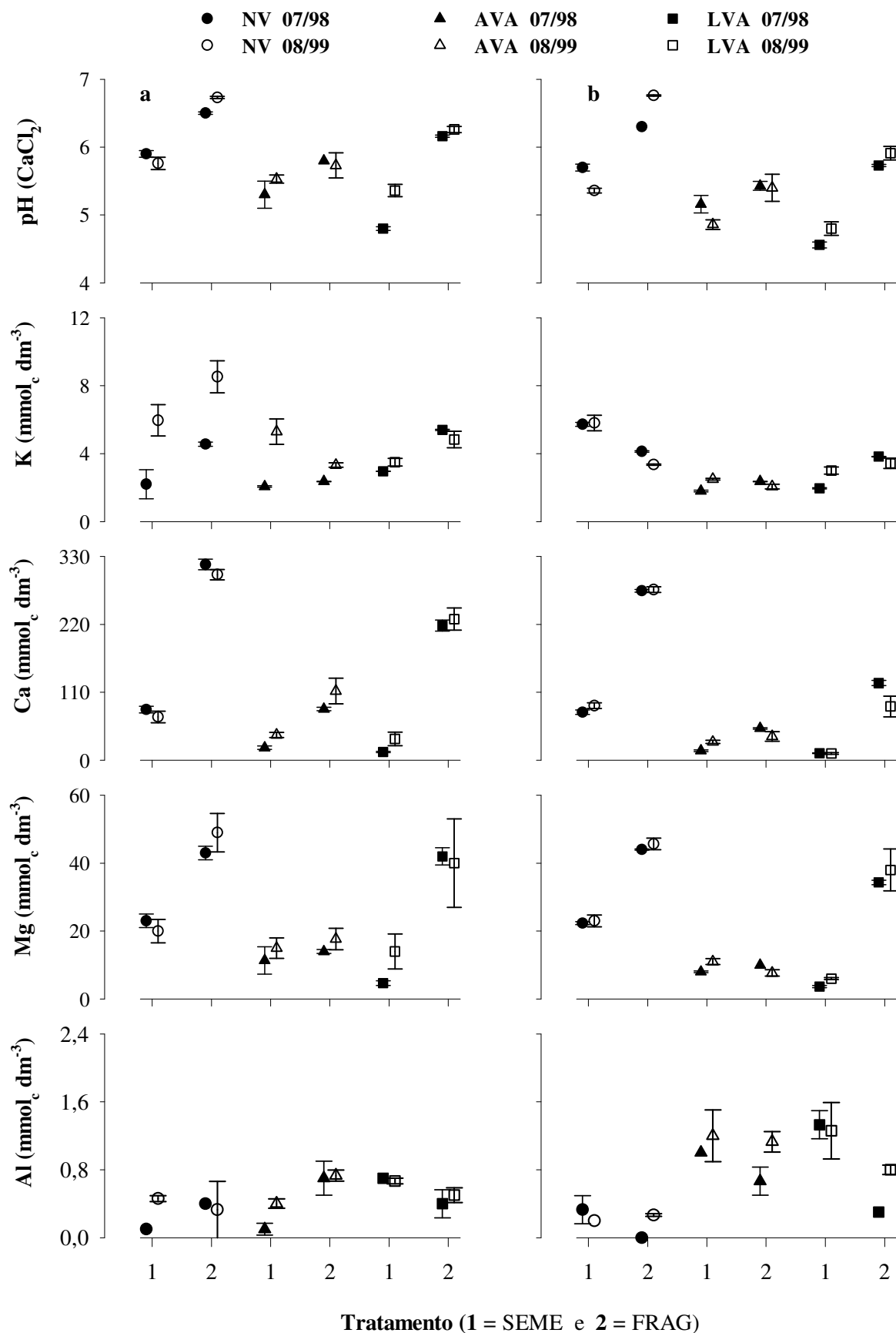


Figura 3. Atributos químicos (média \pm erro padrão) da camada de 0-5 (a) e 5-10cm (b), 12 (07/98) e 25 meses (08/99) após a instalação do experimento, em dois tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Os atributos pH, MO, P e Ca nos solos NV e LVA apresentaram valores bem superiores no FRAG relativamente ao SEME. Diferenças menos acentuadas, inclusive quanto à composição textural, foram observadas no AVA, indicando que este solo está menos degradado que os demais, devendo sua fertilidade ser recuperada em lapso temporal menor. Os teores de MO no NV, camada 0-5cm, decresceram de 120 (média das duas avaliações no FRAG) para 56g dm^{-3} (no SEME; -53%) e, no LVA, de 80 para 24g dm^{-3} (-70%) (Figura 2). Esses resultados evidenciam grande depauperamento de algumas propriedades físico-químicas dos solos, como por exemplo, a CTC e o nível de agregação/estruturação de suas partículas. Como uma das principais implicações, o potencial de lixiviação de bases e de fixação de P dos solos degradados é bem maior do que o observado naqueles que se encontram sob floresta natural (Gonçalves *et al.*, 2000).

Verificou-se uma relação elevada entre a CTC dos solos e seus teores de argila e MO (Tabela 5). Isto realça a importância da preservação da composição granulométrica e elevação dos teores de MO com o intuito de restaurar importantes propriedades físico-químicas do solo, como a CTC. No solo NV, observou-se uma correlação linear negativa entre os atributos CTC–argila, argila–MO e, positiva, para os atributos CTC–MO (Tabela 6). Relações semelhantes, embora com menores valores, também foram observadas para o AVA. Essas correlações negativas entre o teor de argila e os demais atributos estão relacionadas à erosão das camadas superficiais, o que ocasionou a exposição de camadas de solos com maiores teores em argila (Tabela 3), mas com menores teores em MO (Tabela 1), atributo altamente correlacionado com a CTC (Tabela 6). Por outro lado, o solo LVA, que teve seu teor de argila reduzido com o cultivo agrícola, apresentou apenas correlações positivas entre esses atributos.

Um dos fatores essenciais para elevar os teores de MO desses solos é o uso de espécies arbóreas da Família das Leguminosas, comuns nas florestas naturais da região. Segundo Binkley & Giardina (1997), Debell *et al.* (1997), Parrotta (1999) e Binkley *et al.* (2000), as espécies arbóreas fixadoras de N têm alta capacidade de elevar os teores de carbono (C) do solo, isto deve-se ao alto potencial de produção e deposição de MO e

porque retardam a decomposição deste C, efeito relacionado à baixa relação C:N dos resíduos orgânicos. Destaca-se que o uso de espécies leguminosas fixadoras de N associadas com outras espécies para a restauração florestal é fator imprescindível para causar acréscimos estáveis de MO no solo, pois esta constitui a principal fonte de N do solo; a deposição atmosférica e as adubações constituem fontes secundárias, perante as quantidades envolvidas e por não conter C.

Tabela 5. Relação entre a CTC e os teores de argila e MO dos solos NV, AVA e LVA em três camadas, quando se consideram todos tratamentos.

Prof	Equação (Y=CTC, X ₁ =argila, X ₂ =MO)	R ²	P
Cm			
0-10	Y= -38,55 - 0,91X ₁ + 4,22X ₂	0,97	<0,01
10-20	Y= -14,54 - 0,91X ₁ + 4,68X ₂	0,96	<0,01
20-40	Y= 3,71X ₂	0,93	<0,01

Tabela 6. Coeficiente de correlação entre CTC (mmol_c dm⁻³), argila (g kg⁻¹) e MO (g dm⁻³) nos solos NV, AVA e LVA, quando se consideram todos tratamentos e profundidades. Todos valores são significativos a pelo menos 2% de probabilidade.

Solo	CTC x Argila	CTC x MO	Argila x MO
NV	-0,87	0,95	-0,92
AVA	-0,54	0,96	-0,50
LVA	0,85	0,91	0,68

4.2 Atributos biológicos do solo

4.2.1 C da biomassa microbiana

Nas três avaliações (8/98, 2/99 e 8/99) da camada superficial (0-5cm) do NV, os maiores teores de C da biomassa microbiana (C_{micro}) foram encontrados no FRAG (Tabela 7). Porém, na terceira avaliação, a média do REST apresentou valor semelhante ao do FRAG. Para a camada subsuperficial (5-20cm), a média do FRAG só é maior estatisticamente na primeira avaliação. Na segunda avaliação a diferença ocorreu entre o FRAG e o TAUN e, na terceira avaliação, não ocorreu entre nenhum tratamento.

No NV, os teores de C_{micro} variaram de 568 (segunda avaliação da camada de 0-5cm sob o FRAG) a $103\mu\text{g C g}^{-1}$ solo (primeira avaliação da camada de 0-5cm sob o SEME). Em um mesmo tipo de solo, sob diferentes tipos de uso (mata natural, pastagem e algodão), Marchiori Jr. & Melo (1999), ao analisarem em fev/96 o C_{micro} da camada de 0-10 e 10-20cm pelo método da fumigação-extração obtiveram resultados de 428 (0-10cm sob a mata natural) a $123\mu\text{g C g}^{-1}$ solo (10-20cm sob o algodão). Estes resultados demonstram que, mesmo com a alteração ocorrida na textura, o solo da área degradada apresenta elevado teor de C_{micro} , não oferecendo restrições à biomassa microbiana.

Apesar de a terceira avaliação ter sido realizada no inverno, no NV, ao comparar os teores de C_{micro} da segunda com os da terceira avaliação, observou-se que, na camada superficial do TAUN e REST, ocorreu aumento e, na camada subsuperficial, somente o FRAG não apresentou acréscimo. Isto indica que o solo na área degradada, principalmente na camada subsuperficial, começou a proporcionar melhores condições à biomassa microbiana.

No AVA o FRAG apresentou nas três avaliações da camada superficial os maiores teores de C_{micro} (Tabela 7), porém, na terceira avaliação, este tratamento só diferiu estatisticamente do TAUN. Para a camada subsuperficial o FRAG apresenta o maior teor de C_{micro} na terceira avaliação e só diferiu estatisticamente do TEST.

Tabela 7. Média¹ do C da biomassa microbiana das camadas de 0-5 e 5-20cm, de amostras coletadas em agosto de 1998 (Inv.98), fevereiro de 1999 (Ver.99) e agosto de 1999 (Inv.99), dos tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Tratamento	NV			AVA			LVA		
	Inv.98	Ver.99	Inv.99	Inv.98	Ver.99	Inv.99	Inv.98	Ver.99	Inv.99
$\mu\text{g C g}^{-1}$ solo									
0-5cm									
TEST	155 b	366 b	229 d	71 b	188 b	188 ab	19 b	62 b	166 b
SEME	103 b	385 b	228 d	60 b	145 b	156 ab	32 b	86 b	138 b
TAUN	155 b	306 b	416 bc	71 b	156 b	68 b	19 b	66 b	163 b
CONS	155 b	351 b	320 cd	71 b	138 b	120 ab	19 b	90 b	155 b
REST	155 b	349 b	468 ab	71 b	86 b	168 ab	19 b	137 b	230 b
FRAG	313 a	568 a	524 a	234 a	492 a	278 a	331 a	692 a	572 a
5-20cm									
TEST	167 c	340 ab	351	71	296 ab	0,0 b	37 b	88 b	17 b
SEME	265 b	332 ab	416	37	345 a	12 ab	56 b	158 b	58 b
TAUN	167 c	236 b	408	71	300 ab	44 ab	37 b	202 b	13 b
CONS	167 c	288 ab	383	71	316 ab	20 ab	37 b	184 b	47 b
REST	167 c	280 ab	325	71	206 b	22 ab	37 b	184 b	60 b
FRAG	330 a	412 a	400	25	220 ab	68 a	136 a	452 a	172 a

¹ Médias na mesma coluna e camada, seguidas por letras iguais ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Desconsiderando os teores de C_{micro} encontrados no FRAG observa-se que, na camada superficial do AVA, o valor mínimo ($60\mu\text{g C g}^{-1}\text{ solo}$) e máximo ($188\mu\text{g C g}^{-1}\text{ solo}$) são inferiores aos encontrados por outros autores, porém apresentam variação semelhante. Vargas & Scholles (2000), estudando diferentes métodos de preparo do solo (plântio direto, reduzido e convencional) durante um ano de ensaio (quatro avaliações), em um Argissolo Vermelho-Escuro sob cultivo agrícola por vários anos, encontraram na camada superficial teores de C_{micro} que variaram de 105 a $303\mu\text{g C g}^{-1}\text{ solo}$. Mendonza *et al.* (2000) estudando um Argissolo Amarelo, cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima de palhada, ao avaliarem o C_{micro} na camada de 0-5cm em três épocas ao longo do ano encontraram teores que variaram de 194 a $303\mu\text{g C g}^{-1}\text{ solo}$. Por outro lado, nas três avaliações da camada subsuperficial do TEST e das associações de espécies observou-se ampla variação ($0,0$ a $345\mu\text{g C g}^{-1}\text{ solo}$), reflexo do processo de degradação

e variabilidade espacial do solo desses tratamentos. Vargas & Scholles (2000), na camada de 5-15cm, e Mendonza *et al.* (2000), na camada de 5-20cm, encontraram teores que variaram de 121 a 212 e 107 a 242 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo, respectivamente.

Na segunda avaliação da área degradada sob o AVA, os maiores teores de C_{micro} foram encontrados na camada subsuperficial. Resultados semelhantes são relatados por Vargas & Scholles (2000) os quais verificaram, nas avaliações de verão, que o solo sob plantio convencional apresenta maiores teores de C_{micro} na camada subsuperficial; atribuíram este fato ao maior conteúdo de C orgânico nessa camada, à ocorrência de temperaturas altas e à menor umidade na camada superior do solo. Na segunda avaliação não se obteve o conteúdo de C orgânico do solo, portanto, esta hipótese está descartada. Quanto às elevadas temperaturas, existe uma concordância com os autores, porém, em relação à umidade, observa-se que as elevadas precipitações ocorridas no período (Figura 1) poderiam estar percolando parte da biomassa microbiana para camadas inferiores do solo devido à textura arenosa da camada superficial (Tabela 3) e à ausência de cobertura vegetal capaz de minimizar os efeitos de chuvas intensas.

Em relação à terceira avaliação da área degradada sob o AVA, os maiores teores de C_{micro} foram encontrados na camada superficial. Verifica-se que a biomassa microbiana, tanto na camada superficial do TEST, SEME, CONS e REST como na camada subsuperficial do TAUN, SEME, CONS e REST, começou a apresentar comportamento similar à encontrada no FRAG. Estas observações indicam que o solo da área degradada começa a apresentar melhores condições aos microorganismos.

Tendo o FRAG como referência, e em face das observações acima relatadas, verifica-se que o AVA não foi gravemente afetado pela retirada da cobertura florestal. Confirma-se que a alteração na textura, demonstrada no item 4.1, pode propiciar condições favoráveis ao crescimento vegetal e auxiliar na recuperação biológica do solo e, conseqüentemente, na da fertilidade natural desta área.

No LVA o que mais se destaca são as diferenças dos teores de C_{micro} entre o FRAG e os demais tratamentos (Tabela 7). Nas três avaliações e nas duas camadas as diferenças entre o FRAG e os demais tratamentos são mais acentuadas do que no NV e no AVA. Isto pode ser devido à alteração ocorrida na textura bem como aos elevados teores de C_{micro} encontrados no FRAG: o valor máximo foi de 692, na camada superficial (02/99) e, o mínimo de $136\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$, na camada subsuperficial (08/98). Para o NV e AVA, os teores máximos e mínimos variaram de 568 a 313 e de 492 a $25\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente. Em uma mata natural sob um LVA argiloso na Amazônia brasileira Geraldes *et al.* (1995), avaliando o C_{micro} pelo método da fumigação-extração, encontraram nas camadas de 0-10 e 10-20cm, 476 e $302\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente. Teores semelhantes (mínimo de 203 e máximo de $594\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$) foram observados por Balota *et al.* (1998) na camada de 0-15cm de um Latossolo Roxo sob plantio direto e em diferentes épocas do ano. Teores bem menores (mínimo de 80 e máximo de $224\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$) foram encontrados por Gama-Rodrigues *et al.* (1997) ao analisarem, em 04/94, a camada de 0-10cm de um LVA argiloso sob diferentes coberturas florestais (*Piptadenia rigida*, *Pinus sp.*, *Eucalyptus robusta* e capoeira). Teores bem maiores foram encontrados por Luizão *et al.* (1992) ao extraírem mensalmente, pelo período de um ano, o C_{micro} de um LVA argiloso sob floresta tropical, com valor médio de $1287\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$, na camada superficial (0-5cm), e de $765\mu\text{g C g}^{-1}\text{solo}$ na camada subsuperficial (5-20cm).

O comportamento do C_{micro} na área degradada do LVA, principalmente na segunda avaliação, é semelhante ao descrito para o AVA, com diferenças pouco marcantes. Na segunda avaliação os maiores teores de C_{micro} foram encontrados na camada subsuperficial, confirmando que, em solos arenosos – sem cobertura vegetal capaz de propiciar condições favoráveis aos microorganismos e proteção que diminua a ação de chuvas intensas – elevadas temperaturas e precipitações afetam a comunidade microbiana na camada superior do solo.

Ao comparar os resultados da segunda avaliação da camada superficial do LVA com os da terceira, constata-se que o teor de C_{micro} aumentou em todos os tratamentos

na área degradada. Isto indica que o solo da área degradada começa a apresentar condições favoráveis aos microorganismos. Porém, na terceira avaliação das duas camadas, as diferenças entre o FRAG e os demais tratamentos continuaram a existir confirmando que: i) este solo foi o mais afetado pela mudança de ocupação; e ii) em termos químicos e biológicos, o tempo necessário para a recuperação desse solo será relativamente maior do que o lapso temporal a ser observado nas demais áreas.

Nos três solos, mediante a consideração dos dados dos FRAGs, pode-se inferir o efeito da profundidade e da sazonalidade sobre a biomassa microbiana do solo. No AVA, LVA e, em menor escala, no NV observa-se que os FRAGs apresentam, para as três avaliações, os maiores teores de C_{micro} na camada superficial. Este comportamento já era esperado, pois, na camada superficial de ambientes pouco ou não perturbados e bem manejados – independentemente dos efeitos sazonais –, encontram-se as condições mais favoráveis (MO, pH, umidade, temperatura, etc) à manutenção da vida microbiana no solo. O fato de serem encontrados nos FRAGs – tanto na camada superficial como na subsuperficial – os maiores teores de C_{micro} na avaliação de verão (fevereiro de 1999) também já era esperado, isto por causa das condições ambientais mais adequadas a esses organismos.

Os resultados acima relatados demonstram que o C_{micro} apresenta menores teores no solo das áreas degradadas. Nestas áreas, portanto, o aumento no teor de C_{micro} indica que os microorganismos do solo começam a atingir níveis de biomassa satisfatórios para uma eficiente atividade biológica e disponibilização de nutrientes para as plantas.

O fato de as associações de espécies e TEST, na terceira avaliação, não serem estatisticamente distintos quanto à capacidade de alterar o C_{micro} , exceto na camada superficial do NV, é devido ao curto espaço de tempo de avaliação. Ou seja, passaram-se 16 meses após o plantio, lapso temporal relativamente curto para o crescimento de espécies nativas. Mas, em face dos resultados aqui apresentados e discutidos fica evidente que o solo das áreas degradadas começam a oferecer condições mais propícias

para a biomassa microbiana, o que pode operar no sentido de favorecer o crescimento das espécies utilizadas nas associações florestais.

4.2.2 Liberação de CO₂

Os valores de C-CO₂ liberado (C-CO₂_{libe}) observados neste estudo (Tabela 8) são pouco maiores do que os relatados pela literatura pertinente. Isto pode ser atribuído ao fato de o período de incubação ter-se estendido por 112 dias, lapso de tempo bem superior ao adotado em outros experimentos. Os valores de C-CO₂_{libe}, nos três solos e avaliações e nas duas camadas, variaram de 220 a 5030 µg C-CO₂ g⁻¹ solo. Luizão *et al.* (1992), que encubaram por cinco dias amostras coletadas mensalmente pelo período de um ano de um LVA argiloso sob floresta tropical, chegaram ao valor médio de 194µg C-CO₂ g⁻¹ solo na camada superficial (0-5cm) e de 75µg C-CO₂ g⁻¹ solo na camada subsuperficial (5-20cm). Vargas & Scholles (2000), ao quantificarem o C-CO₂_{libe} acumulado em 60 dias de incubação nas profundidades de 0-5 e de 5-15cm de um Argissolo Vermelho-Escuro, sob diferentes métodos de preparo e períodos de avaliações, chegaram a resultados que variaram de 67 a 507µg C-CO₂ g⁻¹ solo.

Tendo em vista as observações acima postas não será efetuada comparação com outros estudos, como a realizada no item 4.2.1. Portanto, apenas será comparada, com base na liberação de CO₂ proveniente da decomposição de material orgânico, à atividade dos microorganismos nas diferentes áreas, avaliações, profundidades e tratamentos.

Na camada superficial verifica-se que, nas três avaliações do NV e na primeira e segunda avaliações do AVA e do LVA, a quantidade de C-CO₂_{libe} foi maior nos FRAGs (Tabela 8). Na terceira avaliação do AVA observa-se que no TEST, CONS e REST as médias são semelhantes à do FRAG. Isto no LVA ocorre para o TEST, SEME e TAUN. Nas três avaliações da camada subsuperficial do NV o C-CO₂_{libe} apresenta diferença

entre o FRAG e os demais tratamentos e, na do AVA, esta diferença não ocorre. No LVA, o FRAG só não difere do REST na segunda avaliação e não difere do TEST na terceira avaliação.

Tabela 8. Média¹ da liberação de CO₂ (112 dias de incubação) das camadas de 0-5 e 5-20cm, de amostras coletadas em agosto de 1998 (Inv.98), fevereiro de 1999 (Ver.99) e agosto de 1999 (Inv.99), dos tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Tratamento	NV			AVA			LVA		
	Inv.98	Ver.99	Inv.99	Inv.98	Ver.99	Inv.99	Inv.98	Ver.99	Inv.99
—µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo—									
0-5cm									
TEST	1210 b	1450 b	1000 b	520 b	710 b	840 abc	460 b	570 b	500 ab
SEME	1240 b	1480 b	1070 b	650 b	770 b	460 bc	530 b	530 b	560 ab
TAUN	1210 b	1180 b	890 b	520 b	740 b	390 c	460 b	500 b	490 ab
CONS	1210 b	1390 b	980 b	520 b	590 b	860 ab	460 b	530 b	390 b
REST	1210 b	1320 b	990 b	520 b	700 b	910 ab	460 b	530 b	430 b
FRAG	3180 a	5030 a	1910 a	1310 a	1810 a	1160 a	1690 a	2690 a	750 a
5-20 cm									
TEST	610 b	750 b	530 b	320	680	350	330 b	450 b	350 ab
SEME	600 b	850 b	400 b	290	680	310	460 b	540 b	220 b
TAUN	610 b	750 b	490 b	320	590	330	330 b	530 b	280 b
CONS	610 b	880 b	540 b	320	610	290	330 b	570 b	290 b
REST	610 b	810 b	500 b	320	570	260	330 b	610 ab	260 b
FRAG	1270 a	1390 a	920 a	500	570	390	610 a	930 a	570 a

¹ Médias na mesma coluna e camada, seguidas por letras iguais ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os solos de todos os tratamentos instalados no NV apresentam, em ambas camadas e avaliações, as maiores médias de C-CO₂libe. Nos FRAGs as maiores médias são encontradas na camada superficial. Para as áreas degradadas as diferenças entre as duas camadas são mais evidentes no NV e as maiores médias também são encontradas na camada superficial. Na avaliação de verão o CONS no AVA e as associações de espécies no LVA apresentaram as maiores médias na camada subsuperficial, o que confirma, mais uma vez, a influência negativa de elevadas temperaturas e precipitações sobre a biomassa microbiana na camada superficial de solos arenosos sem cobertura

vegetal, capaz de propiciar condições favoráveis aos microorganismos e de minimizar os efeitos de chuvas intensas.

Comparando os resultados da segunda e terceira avaliação da camada superficial do AVA observa-se que o TEST, CONS e REST apresentam acréscimo no C-CO₂libe. Para o NV e LVA as associações de espécies apresentaram média de C-CO₂libe estável, verificando-se o efeito da sazonalidade pelos resultados da segunda avaliação. Na camada subsuperficial das três áreas todos tratamentos apresentam liberação de CO₂ similar nas três avaliações e o efeito da sazonalidade revelou-se pouco visível.

Algumas observações descritas acima confirmam os resultados apresentados no item 4.2.1. Assim, os resultados obtidos pela liberação de CO₂ (atividade microbiana) quando comparados aos resultados da biomassa microbiana representam, em menor escala, as alterações ocorridas no solo das áreas degradadas.

4.2.3 Mineralização de N

Na primeira e segunda avaliações da camada superficial do NV, AVA e LVA os maiores valores de N-NH₄⁺ (N_{mine}) são observados nos FRAGs (Tabela 9). Para a camada subsuperficial do NV e AVA a diferença entre o FRAG e os demais tratamentos ocorreu na primeira avaliação. Já o FRAG do LVA difere dos demais tratamentos nas duas avaliações.

Os tratamentos no NV apresentaram, em ambas camadas e avaliações, os maiores valores de N_{mine}. Para os FRAGs, os maiores valores de N_{mine}, nas três áreas e nas duas avaliações, foram encontrados na camada superficial. Nos demais tratamentos este fato somente ocorreu no NV, sendo que, para o AVA e LVA isto não pode ser afirmado devido às pequenas diferenças ocorridas entre os valores da camada superficial e subsuperficial. O efeito da sazonalidade é perceptível em todos tratamentos, solos e

profundidades e, diferentemente do C_{micro} e $CO_{2\text{libe}}$, o N_{mine} foi maior na avaliação de inverno.

Tabela 9. Média¹ do $N-NH_4^+$ (24 semanas de incubação) da camada de 0-5 e 5-20cm, de amostras coletadas em agosto de 1998 (Inv.98) e fevereiro de 1999 (Ver.99), nos tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Tratamento	NV		AVA		LVA	
	Inv.98	Ver.99	Inv.98	Ver.99	Inv.98	Ver.99
$\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ solo}$						
0-5 cm						
TEST	114 b	63,1 b	34,9 b	26,6 b	27,5 b	27,4 b
SEME	111 b	62,3 bc	39,4 b	31,0 b	40,1 b	25,0 b
TAUN	114 b	39,8 c	34,9 b	27,1 b	27,5 b	25,3 b
CONS	114 b	42,2 bc	34,9 b	15,0 b	27,5 b	13,5 b
REST	114 b	47,4 bc	34,9 b	20,3 b	27,5 b	24,4 b
FRAG	249 a	116 a	98,3 a	65,0 a	173 a	111 a
5-20 cm						
TEST	78,4 b	48,0	39,0 ab	20,1	31,0 b	13,4 b
SEME	72,7 b	43,2	31,8 b	14,3	29,9 b	11,6 b
TAUN	78,4 b	36,0	39,0 ab	18,1	31,0 b	16,6 b
CONS	78,4 b	42,1	39,0 ab	18,1	31,0 b	15,9 b
REST	78,4 b	45,0	39,0 ab	17,7	31,0 b	22,7 b
FRAG	146 a	44,0	46,7 a	20,5	81,3 a	39,2 a

¹ Médias na mesma coluna e profundidade, seguidas por letras iguais ou sem letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nos três solos, nas duas avaliações e camadas, os FRAGs apresentaram valores médios de N_{mine} que variaram de 21 a $249 \mu\text{g g}^{-1}$ solo e que são semelhantes aos observados por Mendes (1999). Esse autor ao avaliar a camada de 0-15cm de 15 sítios florestais (Cerrado-2, Cerradão-1, Floresta Estacional Semidecidual-2, *Pinus caribaea*-2 e *Eucalyptus grandis*-8) situados no Estado de São Paulo obteve valores de N_{mine} , em 30 semanas de incubação, que variaram de 38 a $269 \mu\text{g g}^{-1}$ solo.

Os resultados acima relatados demonstram que: i) as áreas degradadas apresentam uma mineralização menor de N do que os FRAGs; e ii) o LVA é mais sensível a mudanças de ocupação do solo.

4.3 Correlação e relação entre o C orgânico e o C da biomassa microbiana

Neste estudo realizou-se análise de correlação entre o C orgânico (C_{orga}) e o C_{micro} . Essa análise e a relação C_{micro}/C_{orga} foi realizada com os dados levantados em agosto de 1999 e concernentes à avaliação da camada de 0-5cm dos diferentes tratamentos no NV, AVA e LVA.

No NV e AVA, o coeficiente de correlação entre o C_{orga} e o C_{micro} , apesar de positivo e significativo, foi baixo em relação ao do LVA (Figura 4). Para o NV isto pode ser explicado pela baixa relação C_{micro}/C_{orga} , encontrada no TEST, SEME e FRAG (Tabela 10), devido ao baixo teor de C_{micro} (Tabela 7) e aumento no teor de MO (Figura 2). Nesses tratamentos pode estar ocorrendo uma evapotranspiração maior do que a verificada nos demais tratamentos, dando-se, conseqüentemente, uma perda maior de umidade do solo. Quanto ao TEST não foi realizado o controle do capim *Pennisetum purpureum* que se encontra em abundância nas parcelas; no SEME, as espécies apresentam um bom crescimento. Desta forma, no TEST, SEME e FRAG a redução da umidade do solo se agrava ainda mais em períodos de seca com tendência de aumento da temperatura (Figura 1). O TAUN, CONS e REST não apresentam cobertura vegetal definida e os restos vegetais, provenientes do controle de plantas invasoras, são mantidos sobre o solo. Deste modo, a perda de umidade é menor. Assim, nessa área a biomassa microbiana pode estar sendo influenciada tanto pelo C_{orga} como pela umidade do solo.

Para o AVA, a baixa correlação não possui uma explicação definida. Isto é melhor demonstrado pela elevada variação observada na relação C_{micro}/C_{orga} que assumiu valores de 0,53 a 1,61% (Tabela 10). A variada relação e a baixa correlação provam que, além do C_{orga} , outros fatores (propriedades físicas e químicas; condições ambientais; tratamentos etc.) podem estar influenciando a biomassa microbiana nesta área.

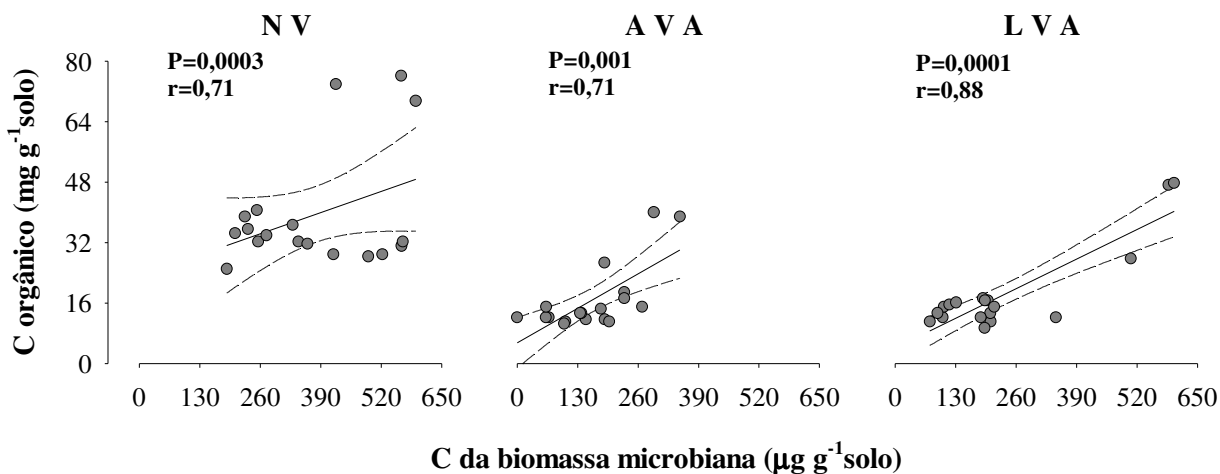


Figura 4. Correlação entre o C orgânico e o C da biomassa microbiana, na avaliação realizada em 08/99, da camada superficial (0-5cm) de diferentes tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). **P** = Probabilidade de Rho=0 e **r** = Coeficiente de correlação de Pearson.

Tabela 10. Relação $C_{\text{micro}}/C_{\text{org}}$ na camada de 0-5cm, nos tratamentos no Nitossolo Vermelho (NV), no Argissolo Vermelho-Amarelo (AVA) e no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Tratamento	NV	AVA	LVA
	%		
TEST	0,65	1,61	1,07
SEME	0,67	1,28	0,89
TAUN	1,39	0,53	1,40
CONS	0,94	1,08	1,27
REST	1,50	1,16	1,59
FRAG	0,71	0,79	1,39
<i>Média</i>	<i>0,98</i>	<i>1,08</i>	<i>1,27</i>

No LVA a alta correlação é confirmada pela menor variação (0,89 a 1,59%) e maior percentagem média (1,28%) da relação $C_{\text{micro}}/C_{\text{orga}}$. Como o solo desta área apresenta-se mais degradado que no NV e AVA, a alta correlação demonstra que, inicialmente, o aumento no teor de MO é imprescindível para elevação do nível de fertilidade do solo. Já a menor variação e a maior percentagem da relação $C_{\text{micro}}/C_{\text{orga}}$ demonstra que, nesse solo, a biomassa microbiana é um importante compartimento de reserva do C orgânico.

Apesar de os valores do coeficiente de correlação – 0,71 para o NV e AVA e 0,88 para o LVA – concordarem com os apresentados por Balota *et al.* (1998) (0,88 na camada de 0-15cm) e Marchiori Jr. & Melo (1999) (0,67 na camada de 0-10cm) as relações $C_{\text{micro}}/C_{\text{orga}}$ são inferiores. Balota *et al.* (1998) e Marchiori Jr. & Melo (1999) encontraram percentagens da relação $C_{\text{micro}}/C_{\text{orga}}$ que variaram de 0,6 a 3,6 e de 0,7 a 2,6, respectivamente. A baixa percentagem encontrada neste estudo e que variou de 0,5 a 1,6 (Tabela 10) pode ser atribuída ao teor de C_{orga} e à época de amostragem (inverno). No final de períodos de inverno-seca ocorre acúmulo de C_{orga} – isto porque a “entrada” é maior do que a “saída” – e redução da biomassa microbiana, fato devido às condições ambientais.

Ao correlacionar ou relacionar o C_{orga} com o C_{micro} diversos estudos (Ross *et al.*, 1982; Alvarez *et al.*, 1994; Geraldles *et al.*, 1995; Balota *et al.*, 1998; Sato & Seto, 1999; Vasconcellos *et al.*, 1999) apresentam resultados que variam em função da quantidade e qualidade da matéria orgânica, fatores ambientais, sistemas de cultivo, tipo, manejo e profundidade do solo, entre outros fatores. Em geral, os autores demonstram que a correlação, quando positiva, influencia favoravelmente nos processos físicos, químicos e biológicos do solo. Assim, a correlação positiva entre o C_{orga} e o C_{micro} encontrada no NV, AVA e LVA sugere que o nível de fertilidade do solo começa a ser recuperado proporcionando condições propícias aos microorganismos e um melhor crescimento vegetal, o que se deve ao aumento da MO (C_{orga}) e de sua fração lábil (C_{micro}).

Mesmo tendo ocorrido aumento no teor de C_{orga} (Figura 2) e C_{micro} (Tabela 7) na camada superficial dos três solos as diferenças entre os FRAGs e os demais tratamentos continuam a existir. Portanto, o retorno destes atributos à condição pré-existente deverá ser gradativa e o tempo de retorno dependerá da influência das condições edáficas da área e da associação de espécies. Assim, a prática de reflorestamento e até mesmo a regeneração natural (TEST) inicia e favorece o processo de seqüestro do CO_2 atmosférico e temporariamente estoca e conserva o C nos solos degradados (Dixon *et al.*, 1994; Bajracharya *et al.*, 1997; Knops & Tilman, 2000).

Restabelecida a cobertura florestal, práticas seletivas de manejo devem ser tomadas para a manutenção do estoque de C no solo e sustentabilidade da vegetação. A depender da associação de espécies utilizada no reflorestamento, condições edáficas, interações biológicas, entre outros fatores, a restauração da função e estrutura da vegetação nativa poderá ser promovida minimizando-se, assim, o efeito natural ou antrópico causador da degradação do solo.

5 CONCLUSÕES

- 1) No NV, o teor de argila no solo degradado foi 57% maior do que o obtido no solo sob o Fragmento Florestal (camada 0-10cm), no AVA, 33% maior e, no LVA, 77% menor. Este efeito, no NV e AVA, foi atribuído à remoção de camadas superiores do solo, mais arenosas, pela erosão e exposição das camadas inferiores mais argilosas. No LVA, o menor teor de argila e silte no solo degradado foi atribuído à perda destas frações por eluviação ou em suspensão na enxurrada.
- 2) O pH, teor de MO, de P e de Ca nos solos NV e LVA foram bem superiores nos Fragmentos Florestais relativamente aos obtidos nas áreas com solos degradados. Diferenças menos acentuadas foram observadas no AVA, como também detectadas para a composição textural, indicando que este solo está menos degradado que os demais.
- 3) A CTC dos solos mostrou-se altamente correlacionada com os teores de argila e de MO. Isto destaca a importância da preservação da composição granulométrica e elevação dos teores de MO com o intuito de restaurar importantes propriedades físico-químicas do solo, como a CTC.

- 4) Em áreas com cobertura florestal (Fragmentos Florestais do NV, AVA e LVA), o C da biomassa microbiana apresenta maiores valores na camada superficial e no verão. Fato atribuído a condições mais favoráveis (MO, pH, umidade, temperatura, etc) à manutenção da vida microbiana no solo.
- 5) O C da biomassa microbiana e, em menor escala, a liberação de CO₂ apresentaram-se como bons indicadores das alterações ocorridas após o reflorestamento com as diferentes associações de espécies.
- 6) No LVA, como o solo desta área se apresenta mais degradado, em relação ao NV e ao AVA, a alta correlação e relação C microbiano/C orgânico indica que a biomassa microbiana é um importante compartimento de reserva do C orgânico do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A. de; ABREU, M. F. de. *et al.* Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. **Commun. Soil Sci. Plant. Anal**, 1994. 25 (19/20):3321-3333.
- ADAMS, M. A.; ATTWILL, P. M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalyptus forests in southeastern Australia: I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. **Plant and soil**, 92:319-339. 1986.
- ALEXANDER, I. Mycorrhizas in tropical forests. In: PROCTOR, J. (Ed.), **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. British Ecological Society, 1989. p 169-188.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, 33:17-28, 1995.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI-FILHO, A.; PAVAN, M. A. *et al.* Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **R. bras. Ci. Solo**, 19:191-196, 1995a.
- ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S. & FARIA, S. M. de. Produção e qualidade de serapilheira de leguminosas arbóreas usadas na recuperação de solos degradados. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Viçosa, 1995b. Resumos expandidos. 4:2033-2035.

- ANIÉTOT, N. **Les Fertilizants Organiques A.D.A.S. - Sciences et Techniques de L'An 2000**. Paris-France: Le courrier du Livre, 1983. 124 p.
- ARAÚJO, Q. R. Avaliação dos efeitos de manejo do solo sobre a matéria orgânica e ácido húmico de um Latossolo Roxo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.
- BAJRACHARYA, R. M.; LAL, R.; KIMBLE, J. M. Soil organic carbon distribution in aggregates and primary particle fractions as influenced by erosion phases and landscape position. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil processes and the carbon cycle**. CRC press LLC, 1987, p 353-367.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:641-649, 1998.
- BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. **Agrofor. Systems**, 7:103-114, 1988.
- BEHERA, N.; JOSHI, S. K.; PATI, D. P. Root contribution to total soil metabolism in a tropical Forest soil from Orissa, India. **Forest Ecology and Management**, 36:125-134. 1990.
- BEINROTH, F. H.; VÁSQUEZ, M. A.; SNYDER, V. A.; REICH, P. F.; ALEGRÍA, L. R. P. **Factors controlling carbon sequestration in tropical soils: A case study of Puerto Rico**. Puerto Rico: Puerto Rico University Press, 1996. 35p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BINKLEY, D.; GIARDINA, C. Biological nitrogen fixation in plantations. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. (Eds.). **Management of soil, water, and**

- nutrients in tropical plantation forests.** ACIAR Monograph 43, canberra, 1997, p 297-337.
- BINKLEY, D.; GIARDINA, C.; BASHKIN, M. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia falcataria*. **Forest Ecology and Management**, 128:241-247. 2000.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:997-1003, 1999.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **R. bras. Ci. Solo**, 9(1):01-04. 1985.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Liberação das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cah. ORSTOM, sér. Pédol.**, 26(1):37-50. 1991.
- CHMORA, S. N.; MOKRONOSOV, A. T. The global increase of CO₂ in the atmosphere: Adaptative strategies in plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.41, n.5, p679-685, 1994.
- CORNISH, P.S. Soil macrostructure and root growth of establishing seedlings. **Plant and Soil**, v.151, p.119-126, 1993.
- COSTA, G. S.; ANDRADE, A. G.; FARIA, S. M. de. Ciclagem de nutrientes em um plantio de *Acácia magium* com seis anos de idade. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.
- COSTA, G. S.; ANDRADE, A. G.; FARIA, S. M. de. Aporte de nutrientes pela serapilheira de *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá) com seis anos de idade. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., Resumos expandidos. Ouro Preto MG, 1997. p:344-349.

- DEBELL, D. S.; COLE, T. G.; WHITESELL, C. D. Growth, development, and yield of pure and mixed stands of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. **Ecology**, in press.
- DE-POLLI, H ; GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: Perspectiva para o uso e manejo do solo. In: Alvarez, V. V. H; Fontes, L. E. F. ; Fontes, M. P. F. (Eds.). **O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**. Viçosa, MG.;SBCS;UFV.DPS., 1996. 930 p. (il).
- DIXON, R. K.; WINJUM, J. K.; ANDRASKO, K. J.; LEE, J. J.; SCHROEDER, P. E. Integrated land-use systems: Assessment of promising agroforest and alternative land-use practices to enhance carbon conservation and sequestration. **Climatic Change**, 27:71-92. 1994.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. CNPS, Rio de Janeiro, 1997. (il.)
- ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 2001, in press.
- EWEL, J. J. Restoration is the ultimate test for ecological theory. In: JORDAN III, W.; GILPIN, M. E.; ABER, J. D. (Eds.), **Restoration ecology**. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1987. p:31-33.
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F.; SILVA, E. M. R.; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica, RJ, EMBRAPA-CNPAB, 1992. 11 p. (EMBRAPA-CNPAB, Comunicado técnico 9)
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados do domínio da Mata Atlântica no período de 1985 a 1990**. São Paulo, 22 p. 1993.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de Carbono e de Nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. **R. bras. Ci. Solo**, 21:361-365. 1997.

- GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa e nutrientes da serapilheira e do solo sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. trabalhos. Piracicaba: SBCS, 1997.
- GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Biomassa microbiana do solos sob pastagens na Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:55-60, 1995.
- GERHARDT, K; FREDRIKSSON, D. Biomass allocation by Broad-leaf Mahogany seedlings, *Swietenia macrophylla* (King), in abandoned pasture and secondary dry Forest in Guanacaste, Costa Rica. **Biotropica**, 27(2):174-182. 1995.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das arvores. In: Gonçalves, J. L. M; Benedetti, V. (Eds.) **Nutrição e Fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 01-57
- GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. E.P.U.; EDUSP, 1978. 256 p.
- GREGORICH, E. G.; GREER, K. J.; ANDERSON, D. W.; LIANG, B. C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil and Tillage Research**, 47:291-302. 1998.
- HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Fund. Cargill, Campinas, 1985. 144 p.
- HEANEY, A.; PROCTOR, J. Chemical elements in litter in forests on Volcán Barva, Costa Rica. In: Proctor, J. (Ed.), **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. British Ecological Society, 1989. p 255-272.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil.-V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, New York, 8:209-213. 1976.

- KAGEYAMA, P. Y.; REIS, A.; CARPANEZZI, A. A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Anais. Curitiba, Paraná, 1992. P:1-7.
- KAGEYAMA, P. Y.; SANTARELLI, E. *et al.* Revegetação de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO & SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1 e 2. Curitiba, Anais, FUPEF, 1994. p:569-576.
- KELLER, M.; KAPLAN, W. A.; WOFYSY, S. C. Emission of N₂O, CH₄ and CO₂ from Tropical Forest Soils. **Journal of Geophysical research**, 20 out. 1986. 91:11791-11802.
- KILLHAM, K. **Soil Ecology**. Cambridge University Press, 1994. 242 p.
- KIRKEGAARD, J.A.; TROEDSON, R.J.; SO, H.B.; KUSHWAHA, B.L. The effect of compaction on the growth of pigeonpea on clay soils: II. Mechanisms of crop response and seasonal effects on a oxissol in a humid coastal environment. **Soil and Tillage Research**, v.24, p.129-147, 1992.
- KNOPS, J. M. H.; TILMAN, D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. **Ecology**, 81(1):88-98. 2000.
- LAL, R.; STEWART, B. A. Need for land restoration. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil Restoration**. New York, Advances in Soil Science, 17:1-11. 1992.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DPTA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 1978. 42:421-428.
- LEKHA, A.; GUPTA, S. R. Decomposition of populus in Leucaena leaf litter in an agroforestry system. **Int. Environ. Sci.**, 15:97-108. 1989.
- LUIZÃO, R. C.; BONDE, T. A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass-the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central amazon. **Soil Biol. Biochem.**, 24(8):805-813. 1992.

- MARCHIORI JR., M.; MELO, W. J. Carbono, carbono microbiano e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, **23**:257-263, 1999.
- MEDINA, E.; KLINGE, H.; JORDAN, C. F.; HERRERA, R. Soil respiration in Amazonian Rain Forests in the Rio Negro Basin. **Flora**, **170**:240-250, 1980.
- MELLO, S. L. de M. Características do sistema radicular de povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. Piracicaba, 1997. 79 p. Dissertação (M.Sc.). Universidade de São Paulo.
- MENDES, K. C.; Mineralização da matéria orgânica e nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1999. p. Dissertação (M.Sc.). Universidade de São Paulo.
- MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **R. Bras. Ci. Solo**, **24**:201-207, 2000.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1985. 434 p.
- OLIVEIRA, J. B. de. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1999. 112p. (Boletim científico, 45).
- PARROTTA, J. A.; Productivity, nutrient cycling, and succession in single-and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, **124**:45-77. 1999.
- PROCTOR, J. Nutrient Cycling in primary and old secondary Rain Forests. **Applied Geography**, **7**:135-152, 1987.
- RAIJ, B. V. A Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, **28**(8):85-112. 1969.

- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.;
BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas:
Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RODRIGUES, D. C.; SANTOS, A. L. G. dos ;
SILVAA, J. E. da. Influência do uso e manejo do solo na produção de CO₂ em
diferentes agroecossistemas na região dos cerrados. In: CONGRESSO LATINO
AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo
96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.
- ROSS, D. J.; SPEIR, T. W.; TATE, K. R.; CAIRNS, A.; MEYRICK, K. F.; PANSIER,
E. A. Restoration of pasture after topsoil removal effects on soil carbon and
nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activities. **Soil Biol.
Biochem.**, 14:575-581, 1982.
- SAS Institute. 1991. **SAS/STAT procedure guide for personal computers**. Version 5
ed. SAS Inst., Cary, NC.
- SATO, A.; SETO, M. Relationship between rate of carbon dioxide evolution, microbial
biomass carbon, and amount of dissolved organic carbon as affected by
temperature and water content of a forest and arable soil. **Commun. Soil Sci.
Plant Anal.**, 30(19-20):2593-2605, 1999.
- SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. Plant Decomposition and soil respiration in Terrestrial
Ecosystems. **The Botanical Review**, 43(4):449-528. 1977.
- SOLLINS, P. Factors affecting nutrient cycling in tropical soils. In: Proctor, J. (Ed.),
Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems. British Ecological
Society, 1989. p 85-96.
- STIRZAKER, R.J.; PASSIOURA, J.B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth:
impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, v.185, p.151-162, 1996.
- SWIFT, M. J.; WOOMER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural
systems: Definition and measurement. In: Mulongoy, K.; Merckx, R. (Ed.). **Soil**

Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture.
IITA/K.U.Leuven, 1993. p 3-18.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biol. Biochem.**, New York, 19:703-707. 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:35-42, 2000.

VASCONCELLOS, C. A.; CAMPOLINA, D. C. A.; SANTOS, F. G.; EXEL PITTA, G. V.; MARRIEL, I. E. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:69-76, 1999.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal.** Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1991. 123pp.

VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Húmus em solo da floresta Amazônica na região do Rio Madeira. **R. bras. Ci. Solo**, 5(1):15-21. 1981.

WARING, S. A.; BREMMER, J. M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as a index of nitrogen availability. **Nature**, 201: 951-952. 1964.

YOUNG, T. P. Restoration ecology and conservation biology. **Biological Conservation**, 92:73-83. 2000.