

BIOMASSA MICROBIANA EM ÁREAS EM PROCESSO DE RESTAURAÇÃO NA RESERVA BIOLÓGICA DE POÇO DAS ANTAS, RJ

Luiz Fernando Duarte de Moraes
Doutor em Agromonia - Ciência do Solo, Pesquisador do IBAMA
e-mail: luiz.moraes@ibama.gov.br

Eduardo Francia Carneiro Campelo
Engenheiro Florestal, Doutor em Ciência Florestal, Pesquisador da Embrapa Agrobiologia
e-mail: campello@cnpab.embrapa.br

Maria Elizabeth Fernandes Correia
Bióloga, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Agrobiologia
e-mail: ecorreia@cnpab.embrapa.br

Marcos Gervásio Pereira
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Prof Adjunto da UFRRJ
e-mail: gervasio@ufrj.br

RESUMO – A biomassa microbiana do solo (BMS) é considerada um expressivo reservatório de nutrientes nos solos, podendo ser associada a mudanças na cobertura vegetal e funcionar como indicador ecológico. Através do método de extração-fumigação foram estimados os estoques de C e N na BMS em solos sob floresta madura, plantio de espécies arbóreas nativas com oito anos de idade e pastagem abandonada na Reserva Biológica de Poço das Antas, nas situações de várzea e morrote. Amostras de solo foram incubadas para se determinar a atividade microbiana (taxa de respiração). As análises foram feitas somente para a camada de 0-2,5cm, com três amostras compostas, e o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para BMS-C e atividade microbiana, mas o plantio na várzea apresentou um valor maior de BMS-N do que o no morrote. Valores mais altos do quociente metabólico (qCO_2 , que mede a eficiência na utilização de C pela BMS) e da relação BMS-C:BMS-N para o plantio de morrote reforçam a hipótese desse tratamento estar com uma menor estabilidade que o plantio da várzea.

Palavras Chave: Microrganismos, matéria orgânica, reservatório de nutrientes.

SOIL MICROBIAL BIOMASS IN AREAS IN RESTORATION PROCESS IN THE BIOLOGICAL RESERVATION OF POÇO DAS ANTAS, RJ – BRAZIL.

ABSTRACT – Soil microbial biomass (SMB) is considered a significant nutrient pool in soils, that may be associated to changes in the vegetation cover. In order to estimated the SMB C and N contents, six treatments were installed in mature forests (F), 8-year-old mixed plantations of indigenous tree species (P), and abandoned pastures (G), at both the flooding (V) and the sloping (M) areas of the Poço das Antas Biological Reserve, an Atlantic Rain Forest remnant of ca. 5,200ha. Soil samples were collected at the layers 0-2.5cm, and were incubated to also measure soil respiration rates. There was no significant difference among the treatments for SMB-C content and for the soil respiration rate, but the plantation on the flooding area showed a higher value for SMB-N than that on the sloping area plantation. Higher values of metabolic quotient (qCO_2) and of $C_{mic}:N_{mic}$ ratio suggest the plantation on the sloping area has a lower stability than the plantation on the flooding area.

Key Words: microorganisms, organic mater, nutrient pool.

INTRODUÇÃO

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte da matéria orgânica do solo constituída por organismos vivos com volume menor que 5 a 10 mm³ (MOREIRA &

SIQUEIRA, 2002), sendo considerada o compartimento central do ciclo do C. Representa um expressivo reservatório de nutrientes nos solos, tendo um papel fundamental na decomposição dos resíduos orgânicos, na

ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia no solo, constituindo-se um importante atributo para o estudo desses parâmetros em diferentes ecossistemas (FEIGL et al., 1998; GAMA-RODRIGUES, 1999; LI et al., 2002).

As plantas servem como fonte de C para a comunidade microbiana, que em troca fornece nutrientes à vegetação, através da mineralização de resíduos vegetais e animais, e matéria orgânica para o solo (SRIVASTAVA & SINGH, 1991). A microbiota do solo tem alta diversidade funcional e metabólica, o que lhe confere alta reatividade bioquímica (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Os microrganismos desempenham um papel fundamental na retenção e liberação de energia e nutrientes nos solos florestais. Bactérias e fungos têm uma alta exigência por nutrientes, e alguns nutrientes resultantes de materiais em decomposição, como o carbono, são retidos pela síntese dos decompositores de biomassa em um processo conhecido como imobilização (GALLARDO & SCHLESINGER, 1990).

Considerada uma das propriedades bioquímicas mais utilizadas como indicadores de qualidade do solo (GIL-SOTRES et al., 2005), não existem muitas estimativas de C microbiano (C_{mic}) nos trópicos úmidos em relação a mudanças na composição da vegetação de cobertura (HENROT & ROBERTSON, 1994). Para os ecossistemas ameaçados dessa região a imobilização microbiana é um importante mecanismo para a retenção de nutrientes no curto prazo (LUIZÃO et al., 1992).

A sucessão das comunidades microbianas do solo parece ocorrer independentemente do desenvolvimento da vegetação da floresta, e é controlada pelas condições edáficas e climáticas predominantes (MERILÄ et al., 2002). Para BLUME et al. (2002), a atividade microbiana está fortemente relacionada com a temperatura do solo, sendo mais intensa nos períodos mais quentes. RUAN et al. (2004), por outro lado, sugerem que a atividade microbiana não é regulada diretamente pela temperatura nem pela umidade do solo, mas preferencialmente pela adição de serapilheira, uma vez que é a disponibilidade de C que controla o desenvolvimento da comunidade microbiana. Finalmente, EATON (2001) afirma que o C_{mic} e o C orgânico, associados com a umidade e o teor de argila do solo, podem ser bons indicadores da qualidade do solo em florestas.

Os critérios para se avaliar o sucesso na restauração de áreas degradadas são geralmente

baseados em parâmetros que são visualmente distinguíveis, como o controle da erosão do solo e cobertura e diversidade vegetal. Considerando o papel da biota microbiana do solo na formação do solo, no estabelecimento da vegetação e na transformação da matéria orgânica do solo, uma avaliação da saúde da comunidade microbiana do solo pode ser um indicador do progresso da restauração (MUMMEY et al., 2002), uma vez que o sucesso de projetos de revegetação depende fortemente da regeneração da diversidade microbiana (DEGROOD et al., 2005).

A estimativa da biomassa microbiana do solo pode indicar mudanças na matéria orgânica total do solo muito antes de mudanças nos teores de C e N totais do solo serem detectáveis (HENROT & ROBERTSON, 1994). A biomassa microbiana pode ainda fornecer um índice das condições de fertilidade do solo, por representar um importante reservatório lábil de nutrientes do solo, desempenhando um papel ativo na prevenção de perdas de nutrientes (HENROT & ROBERTSON, 1994).

Uma outra forma de se quantificar a atividade microbiana é a mensuração da respiração, que representa a oxidação da MOS por organismos aeróbicos e pode ser avaliada pela estimativa de CO₂ produzido (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Tanto quanto os teores de C orgânico, a atividade microbiana do solo pode ser um indicador importante para a indicar o grau de conservação das florestas (NAEL et al., 2004).

Para avaliar o comportamento da comunidade microbiana do solo no armazenamento de C e N na restauração de áreas degradadas, os teores de C e N microbiano (C_{mic} e N_{mic}, respectivamente) foram estimados em solos coletados em áreas de floresta madura, plantio misto de espécies arbóreas nativas e pastagens abandonadas, em situações de várzea e morrote, na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. Foi calculada também a atividade microbiana do solo (taxa de respiração), com o objetivo de estimar a eficiência dos sistemas na estocagem de C.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas experimentais estão localizadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, situada na zona costeira ou região das baixadas litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, no município de Silva Jardim, entre os paralelos de 22°30' e 22°33' S e os meridianos de 42°15' e 42°19' W, em área de ocorrência de uma formação florestal denominada Mata Atlântica de Baixada.

O clima local é quente e úmido (Aw, de acordo com a classificação de Köppen), com uma discreta estação seca no inverno. A precipitação anual média é de 2.120mm e a temperatura média anual de 24,6°C (série histórica 1987-1996, segundo dados fornecidos pela Associação Mico-Leão-Dourado e pelo Programa Mata Atlântica/JBRJ).

Os dados registrados para o período em que foi desenvolvido este estudo são apresentados na Figura 1. Como pode ser

observado, há um discreto período de seca durante o inverno, que foi agravado no ano de 2002 pela menor precipitação no início daquele ano em relação ao mesmo período dos anos subsequentes. Além disso, os anos de 1999, 2000 e 2001 apresentaram precipitações totais nos valores de 1906,2; 1373,6 e 1439mm, respectivamente, ao passo que nos anos de 2002, 2003 e 2004 houve uma recuperação nesses valores (1760,2; 1874,4 e 2617,9mm, respectivamente).

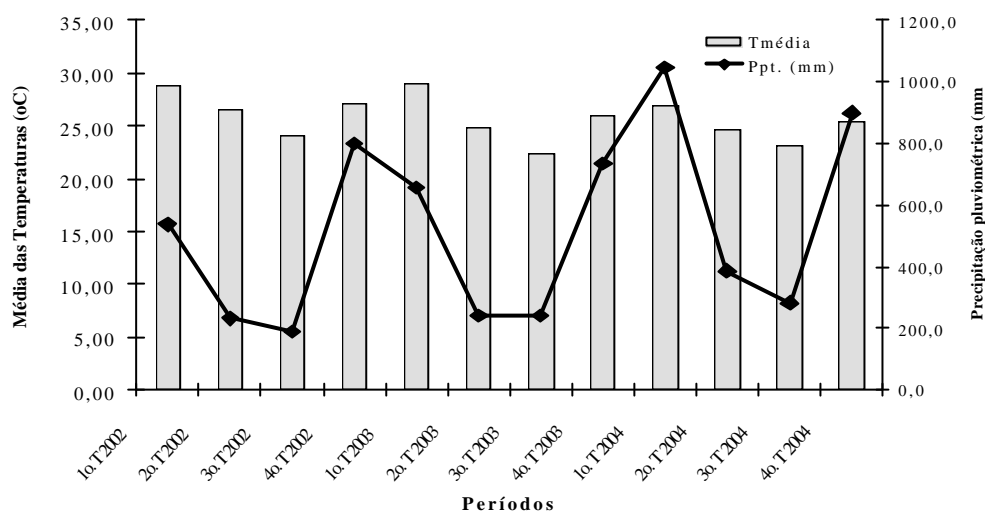


Figura 1: Dados de clima coletados na Reserva Biológica de Poço das Antas entre os anos 2002 e 2004, apresentados por trimestre (Programa Mata Atlântica/JBRJ).

Para este estudo foram selecionadas áreas de floresta que foram utilizadas como referência neste estudo (FV e FM) são matas secundárias com aproximadamente 60-70 anos de idade.

Amostras de solo foram coletadas ao final da estação chuvosa, com o objetivo de evitar solos encharcados ou demasiadamente secos. A coleta de solo para análise da biomassa microbiana não foi feita em duas épocas distintas do ano porque estudo anteriormente realizado na mesma área indicou não haver influência da sazonalidade para este parâmetro.

Os valores de C e N na biomassa microbiana do solo foram estimados através dos métodos de fumigação-extração (BROOKES et al. 1985; VANCE et al. 1987). Para cada tratamento, seis sub-amostras contendo 20g de solo fresco foram separadas. Três dessas amostras foram fumigadas com clorofórmio durante 24h; após a remoção do clorofórmio, cada sub-amostra em duplicata foi agitada durante 30min. com solução extratora K_2SO_4 0,5

mol L^{-1} . As amostras não-fumigadas foram submetidas ao mesmo procedimento de extração. Para a estimativa de C foi feita leitura colorimétrica (BARTLETT & ROSS, 1988). A estimativa de Nmic foi feita a partir da digestão de Kjeldahl.

A partir dos valores originais foram calculadas as proporções entre C microbiano e C orgânico do solo (Cmic:Corg), e entre N microbiano e N total no solo (Nmic:Ntot), que expressam índices da qualidade da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES, 1999). A relação Cmic:Corg pode ser também um indicativo da disponibilidade de substrato para a microflora do solo (MOSCATELLI et al., 2005). Nas amostras também foi determinado o conteúdo de alumínio de alumínio trocável segundo EMBRAPA (1997).

A atividade microbiana foi calculada através da evolução do CO_2 (taxa de respiração) (ANDERSON & DOMSCH, 1978). Para a análise da atividade microbiana (taxa de

respiração do solo) amostras de 50g de solo em duplicata foram acondicionadas em frascos de 100ml e incubadas em jarros de vidro com volume de 3l, juntamente com 10ml de solução 1mol L⁻¹ de NaOH, durante 120h. Após o período de incubação o CO₂ retido pela solução de NaOH foi precipitado com 2ml de cloreto de bário 10% em água e titulado com ácido clorídrico ± 0,5 mol L⁻¹, usando como indicador fenolftaleína 1% em meio alcoólico.

Além da taxa de respiração ($\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}\cdot\text{h}^{-1}$), foi calculado também o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que pode sugerir com que eficiência a comunidade microbiana utiliza os recursos de C (WARDLE & GHANI, 1995) e mesmo caracterizar os riscos de degradação dos solos em termos de matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES, 1999). O quociente tende a diminuir com o aumento da maturidade do ecossistema.

O desenho experimental utilizado neste ensaio foi o inteiramente casualizado, em desenho fatorial 3 x 2 (sistema x situação). A partir da análise da variância as médias foram comparadas através do teste de Scott-Knott, ao nível mínimo de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de biomassa microbiana (BMS) e atividade microbiana (AMS) para os solos estudados encontram-se na Tabela 1. As análises desses parâmetros foram feitas somente para a camada mais superficial do solo (0 a 2,5cm).

Houve diferença estatística entre os valores de Cmic somente entre as áreas de pastagem, onde a situação de morrote apresentou um valor maior, confirmando o que já foi sugerido pelo fracionamento de matéria orgânica: que os solos sob os três sistemas estudados – floresta madura, plantio misto de espécies arbóreas nativas e pastagens abandonadas – possuem graus semelhantes de estabilidade. Os teores de C microbiano na camada superficial do solo foram semelhantes para áreas de floresta primária e pastagem recém-formada (1287 e 1290 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente), na Amazônia (LUIZÃO et al. 1992).

Os valores de Cmic na camada de 0-2,5cm também não diferiram entre os solos sob floresta madura e plantios mistos de espécies arbóreas nativas, ambas em área de várzea, na Reserva Biológica de Poço das Antas (BARBOSA, 2000). Nesse estudo o solo foi amostrado nas estações

seca e chuvosa, sendo que os valores de Cmic também não variaram entre as estações.

Em um estudo cujo objetivo era justamente avaliar se o teor de C na BMS podia ser usado como um indicador para mudanças ambientais em sistemas naturais e semi-naturais, HARGREAVES et al. (2003) opinam que esse parâmetro não é um indicador válido para sistemas jovens. Os autores sugerem que mudanças estatisticamente significativas são somente detectáveis no longo prazo (por ex., 30 a 40 anos), através de amostragens regulares.

Na Costa Rica, a retirada de vegetação nativa resultou em um declínio acentuado para a biomassa microbiana, de aproximadamente 50% do valor inicial para o C microbiano (HENROT & ROBERTSON, 1994). O C microbiano no solo sob floresta representou 4% do C total do solo, e o valor correspondente no solo sem cobertura vegetal foi de aproximadamente 1,5% (HENROT & ROBERTSON, 1994). Os valores de BMS-C para floresta perturbada (646 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$) foram significativamente superiores aos dos encontrados para pastagem (385 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$) (Moreira e Siqueira, 2002).

Os valores de Cmic encontrados em um estudo em ambiente tropical seco na Índia foram de 609 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$ para floresta e 397 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$ para savana (SRIVASTAVA & SINGH, 1991). No mesmo estudo, os valores de Nmic foram, em média, 65 e 38 $\mu\text{gN}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente para floresta e pastagem. A menor diversidade vegetal da savana, resultando em menor biomassa, pode implicar em menores valores para Cmic e Nmic (SRIVASTAVA & SINGH, 1991).

Em florestas tropicais secundárias chinesas, os valores médios para carbono microbiano foram de 350 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$, enquanto que os valores correspondentes para plantios mistos de espécies arbóreas leguminosas com idade aproximada de 18 anos foram de 140 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\text{solo}$ (MAO et al., 1992). Os autores concluíram que o reflorestamento melhorou rapidamente as propriedades microbianas do solo, além do teor de C e o estado nutricional. Foi observado também que em plantios onde houve a retirada da serapilheira, a melhoria pode ser transitória. Os resultados indicaram que a recuperação do solo se dá melhor em sistemas com maior diversidade vegetal.

Ainda na Tabela 1, foi observada diferença significativa para os valores de Nmic no plantio misto com espécies arbóreas nativas ($p<0,01$), com a condição de várzea conseguindo estocar uma maior quantidade de N ($p<0,01$) do

que a de morrote (142,34 e 46,28 $\mu\text{gN.g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente). Quando são comparados somente os dois tipos de situação, a área de várzea apresentou maiores teores de Nmic que a área de morrote (124,48 e 87,64 $\mu\text{gN.g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente). No morrote, o plantio foi o sistema com menor teor de BMS-N (46,28 $\mu\text{gN.g}^{-1}\text{solo}$), enquanto os valores na floresta e na pastagem foram 129,27 e 87,37 $\mu\text{gN.g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente. A remoção da fonte principal de matéria orgânica (floresta) pode reduzir os teores de Nmic (LI et al., 2004), e, em sítios menos estáveis, como a situação de morrote na Reserva, o retorno aos níveis da floresta pode ser mais lento.

Existe uma grande faixa de valores para Nmic apresentados pela literatura (GALLARDO & SCHLESINGER, 1990). Os mesmos autores registraram que valores de Nmic não variaram ao longo de uma encosta, mas decresceram com o aumento da profundidade do solo. Em áreas de floresta em regeneração logo após o abandono do cultivo agrícola, houve o restabelecimento dos estoques de Cmic e Nmic, que se aproximaram

aos da floresta não perturbada, sugerindo uma rápida reversão nos níveis desses parâmetros para uma condição mais estável após a eliminação da causa do impacto (TEMPLER et al., 2005).

Os valores médios de Cmic e Nmic foram de 902 e 104 $\mu\text{g.g}^{-1}\text{solo}$, respectivamente, em áreas de floresta natural na Índia (BEHERA & SAHANI, 2003). Os valores correspondentes no mesmo estudo para floresta em regeneração variaram entre 567 e 68 $\mu\text{g.g}^{-1}\text{solo}$.

Na maioria dos ecossistemas naturais poucas quantidades de nitrogênio são oriundas de fixação de N_2 atmosférico, o que significa que o N deve ser retido e ciclado eficientemente para manter a produtividade do ecossistema (MUMMEY et al., 2002). Os autores sugerem que mudanças na comunidade microbiana do solo alteram a eficiência do ciclo do N, diminuindo a concentração de N inorgânico no solo. O nitrogênio microbiano constitui uma parte significativa do N potencialmente mineralizável que está disponível às plantas (GALLARDO & SCHLESINGER, 1990).

Tabela 1: Estoque de C (Cmic) e N (Nmic) na BMS, e atividade microbiana (AMS), para solos sob floresta madura (Floresta), plantio de espécies arbóreas nativas (Plantio) e pastagem abandonada (Pastagem), em situações de várzea e morrote, na Reserva de Poço das Antas, RJ

| Sistema | Cmic | | Nmic | | AMS | |
|----------|------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------------|----------|
| | -----($\mu\text{gC.g}^{-1}\text{solo}$)----- | | | | $\mu\text{gC.g}^{-1}\text{solo.hora}^{-1}$ | |
| | V | M | V | M | V | M |
| Floresta | 217,92 Aa | 327,67 Aa | 111,43 Aa | 129,27 Ac | 2,94 Aa | 9,45 Ba |
| Plantio | 351,88 Aa | 361,91 Aa | 142,34 Ba | 46,28 Aa | 6,25 Aa | 5,59 Aa |
| Pastagem | 288,53 Aa | 411,17 Ba | 119,69 Aa | 87,37 Ab | 17,94 Ab | 11,90 Aa |
| CV (%) | 19,53 | | 18,21 | | 39,19 | |

Valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente, de acordo com o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$); Legenda: V = Várzea; M = Morrote; CV = coeficiente de variação.

A atividade microbiana (taxa de respiração) apresentou valores maiores para as pastagens abandonadas ($p < 0,01$) entre os três sistemas estudados. Não houve diferença quando a comparação foi feita somente entre as situações morfológicas. Entretanto, quando as situações foram comparadas dentro de cada sistema, a floresta de morrote mostrou taxa de respiração superior à floresta de várzea ($p < 0,05$). O maior teor de AI nesse tratamento pode ser responsável pela menor atividade microbiana, uma vez que foi detectada uma correlação negativa entre os teores de AI no solo e os valores de AMS (Figura 2).

Na análise dos sistemas dentro de cada situação, a área de pastagem apresentou valores maiores ($p < 0,01$) do que os sistemas floresta madura e plantio de espécies arbóreas nativas, na várzea. Os resultados sugerem que a situação de morrote confere certa instabilidade à biomassa microbiana, e que as pastagens são sistemas com menor eficiência na assimilação de C pela biomassa microbiana.

Uma outra possível explicação para os maiores valores de atividade microbiana para as pastagens na várzea, quando comparados com os dos outros dois sistemas nessa mesma situação, é a ocorrência de incêndios na área amostrada, na

Reserva de Poço das Antas. Cinzas resultantes de queimadas podem inibir a atividade microbiana através de alterações na composição química do solo (GARCIA-OLIVA et al., 1999). Essa hipótese, no entanto, é pouco provável, uma vez que o último incêndio na referida área ocorreu quatro anos da coleta de solos para estimativa de atividade microbiana.

A causa mais provável para as taxas de respiração mais altas para a pastagem na várzea é a rápida ciclagem de nutrientes nesse tratamento, seja pela alta renovação de biomassa da vegetação (parte aérea e sistema radicular), seja pela atividade biológica mais intensa, devido ao ambiente mais úmido. O acréscimo de C em solos minerais sob *Pinus taeda*, nos EUA, aumentou tanto a taxa de respiração quando os teores de C microbiano (ALLEN &

SCHLESINGER, 2004). A taxa de ciclagem de C e N nos solos tem forte influência sobre a estrutura microbiana (COOKSON et al., 2005).

O baixo pH do solo, resultando de altos teores de matéria orgânica, pode ser um fator que dificulte a estimativa de biomassa microbiana no solo, por provocar variações nas proporções entre fungos e bactérias na comunidade microbiana (LECKIE et al., 2004).

A conversão de floresta em outros tipos de uso do solo resultou em expressivo declínio na quantidade de nutrientes do solo e nos teores de C e N na BMS. Os nutrientes microbianos em um sistema tropical seco na Índia foram sensíveis a alterações no uso do solo (SRIVASTAVA & SINGH, 1991). Os resultados para o presente estudo não indicam este declínio, provavelmente porque a conversão da floresta em pastagens já se deu há mais tempo.

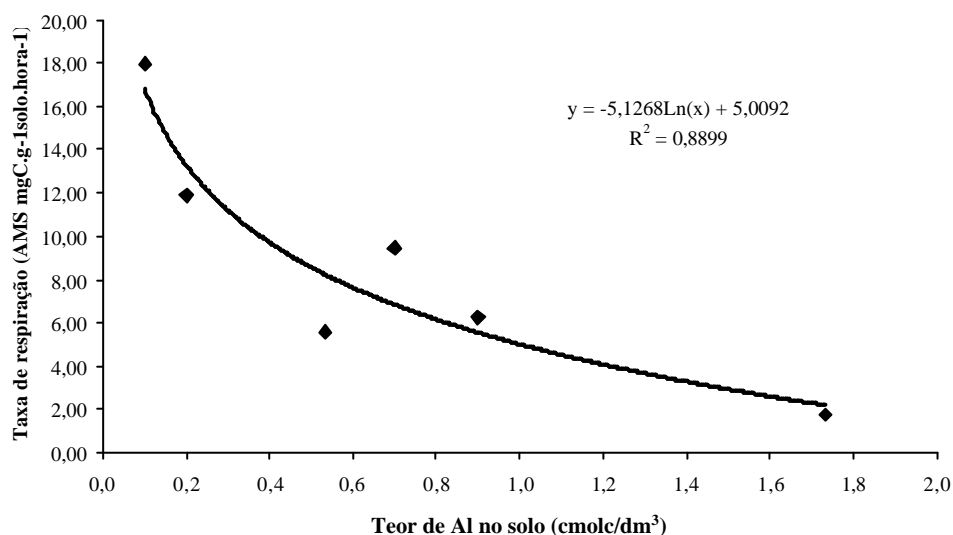


Figura 2: Correlação entre teores de Al no solo e atividade microbiana do solo (taxa de respiração), em solos sob floresta madura, plantio de espécies arbóreas nativas e pastagens abandonadas, em situações várzea e morrote na Reserva de Poço das Antas, RJ.

A Tabela 2 apresenta os dados de quociente metabólico (qCO_2), calculado a partir dos dados de C microbiano e taxa de respiração ($Cmic:AMS$), e da relação entre os estoques de C e N microbianos ($Cmic:Nmic$).

Para a relação C:N microbiana (Tabela 2.) não foi observada diferença entre os sistemas na situação de várzea, mas na área de morrote os sistemas plantio e pastagem apresentaram valores maiores dessa relação, sugerindo que a biomassa microbiana está menos instável nesses

tratamentos. Os valores da relação C:N microbiana também foram mais baixos para a situação de várzea para os três sistemas.

O quociente metabólico é um reflexo da capacidade de armazenamento de C. Nesse sentido, a pastagem na várzea seria mais instável que o seu similar no morrote, da mesma forma que o plantio de morrote teria menor estabilidade quando comparado aos outros sistemas nessa situação.

Tabela 2: Quociente metabólico e relação Cmicrobiano:Nmicrobiano para os sistemas de floresta madura (Floresta), plantio misto de espécies arbóreas nativas (Plantio) e pastagem abandonada (Pastagem) na Reserva Biológica de Poço das Antas, para as situações de várzea (V) e morrote (M).

| Sistema | Quociente metabólico (? C-CO ₂ .g ⁻¹ Cmic.h) | | Rel. Cmic:Nmic | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|---------|----------------|---------|
| | V | M | V | M |
| Floresta | 0,01 Aa | 0,05 Aa | 1,98 Aa | 2,53 Aa |
| Plantio | 0,03 Aa | 0,14 Ba | 2,47 Aa | 4,67 Bb |
| Pastagem | 0,12 Ab | 0,09 Aa | 2,48 Aa | 7,84 Bc |
| CV (%) | 68,09 | | 18,48 | |

Valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente, de acordo com o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$); Legenda: V = Várzea; M = Morrote; CV = coeficiente de variação.

O teor de argila no solo tem uma correlação positiva com a Cmic e negativa com o quociente metabólico, pois tem um efeito estabilizador muito grande sobre a biomassa microbiana (MÜLLER & HÖPER, 2004). Com exceção dos solos sob plantio e floresta na várzea, de textura arenosa/média, os demais solos do presente estudo têm textura argilosa.

O quociente metabólico do solo apresenta uma tendência de declínio conforme as florestas se tornam mais complexas em estrutura e composição, sugerindo que quanto maior a complexidade dos sistemas maior é a eficiência na renovação do C microbiano (MAO et al. 1992), com importantes implicações para o funcionamento do ecossistema, uma vez que uma pequena parte do C alocado no solo é perdida através da respiração, e fica retido como MOS ou biomassa vegetal.

Um estudo comparando áreas de florestas tropicais úmidas com plantios de espécies arbóreas em monocultura, na Índia, registrou valores maiores de quociente metabólico para os solos onde houve desmatamento, apontado como causa na redução da estabilidade do solo (DINESH et al., 2003).

Para solos de seis locais diferentes em florestas tropicais Filipinas com distintos históricos de uso do solo, a proporção média de Cmic para C orgânico total foi de 2,8%, superior à relação Nmic: Ntotal, que foi de 2%, o que significa que a relação C:N da BMS de 14:1 excedeu a relação C:N do solo, que foi de 10:1 (SALAMANCA et al., 2002).

A proporção Cmic:Corg (Figura 3) foi superior para a situação de morrote, mas não houve diferença entre os sistemas. Porém, quando a variação entre as situações foi analisada dentro de cada sistema, houve diferença entre os

plantios de morrote e de várzea, sendo que o primeiro apresentou um valor superior (0,033 e 0,014, respectivamente; $p < 0,01$). Em ecossistemas florestais bem conservados, a relação Cmic:Corg pode chegar a 0,02, sendo que o C na BMS possui uma ciclagem mais rápida e é considerada uma fração ativa do C no solo (MELE & CARTER, 1993).

A relação Cmic:Corg reflete a contribuição potencial da biomassa microbiana para o Corg do solo, além de indicar a disponibilidade de substrato para a microflora edáfica (MOSCATELLI et al., 2005). Quanto menor a relação Cmic:Corg, menor o teor de MOS.

A única diferença observada para a relação entre N microbiano e N total do solo foi entre os sistemas, onde as florestas maduras apresentaram valores superiores desta relação em comparação aos plantios de espécies arbóreas nativas e às pastagens abandonadas, por serem sistemas com baixo nível de estresse, que utilizam o N e o C orgânico mais plenamente (GAMA-RODRIGUES, 1999). Os resultados, entretanto, parecem contrariar a diminuição na proporção Nmic:Ntotal observada com o avanço da sucessão em solos formados por depósito de lavas vulcânicas (ROY & SINGH, 2003).

Os resultados desse estudo sugerem que a conversão do uso da terra (de florestas para pastagens, e de pastagens abandonadas para plantios de espécies arbóreas nativas) na Reserva de Poço das Antas não afetou, no longo prazo, os níveis de biomassa e atividade microbiana no solo. Como observado por GROFFMAN et al. (2001), solos cobertos por florestas em estágio sucessional avançado não apresentaram níveis mais elevados de BMS e AMS que as áreas perturbadas. Valores mais altos desses parâmetros observados nos plantios podem se

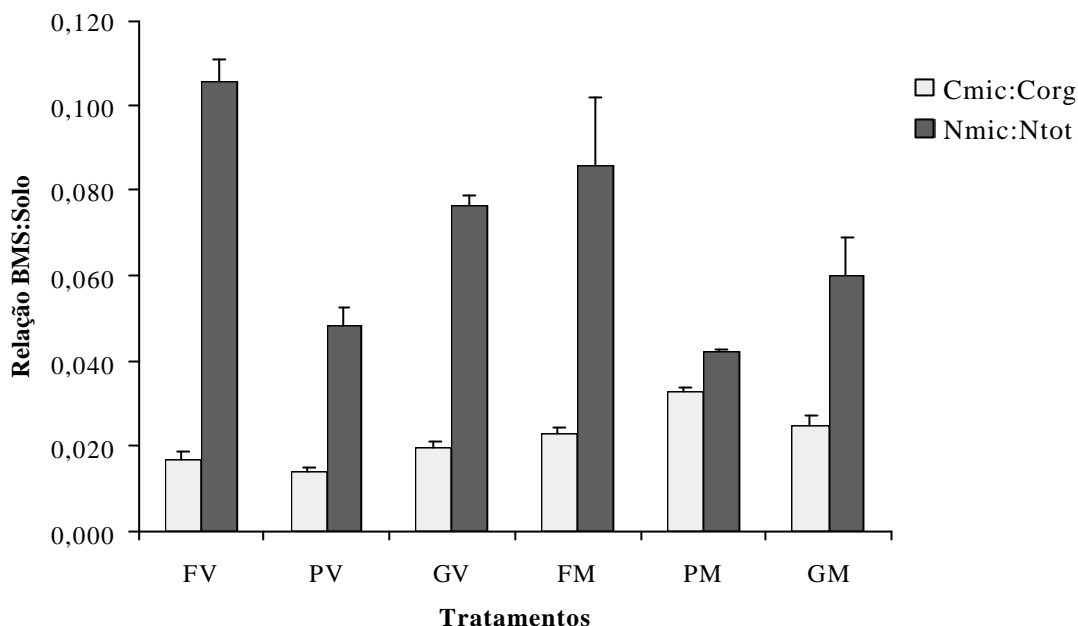


Figura 3: Proporção entre os teores de C e N da biomassa microbiana em relação aos teores de C orgânico e N total do solo, respectivamente, para os tratamentos de floresta madura (F), plantio de espécies arbóreas nativas (P) e pastagens abandonadas (G) na Reserva de Poço das Antas, para as situações de várzea (V) e morrote (M).

dever a um “efeito sucessional” (GROFFMAN et al., 2001), onde as áreas em início de regeneração têm uma vegetação em crescimento que disponibiliza matéria orgânica mais rapidamente para a comunidade microbiana. Esse efeito sugerido pode ser explicado pela alta relação entre o teor de matéria orgânica do solo e biomassa e atividade microbiana (GROFFMAN et al., 2001).

CONCLUSÕES

Os resultados mais expressivos obtidos nesse estudo foram os valores mais altos de quociente metabólico e da relação Cmic:Corg para sistema de pastagens abandonadas e para a situação de morrote, que sugerem uma menor estabilidade para essas condições.

A ausência de efeitos deletérios da conversão do uso do solo sobre a biomassa e atividade microbianas se deve provavelmente pelo fato de não ter havido uma diminuição efetiva na produção de matéria orgânica nos últimos 30 anos nessas áreas. À parte os incêndios freqüentes, todos de curta duração, nenhum outro evento ou atividade na Reserva Biológica de Poço das Antas resultou na retirada de matéria orgânica dos solos da unidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. A physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 10: 215-221. 1978.
- BARBOSA, J.H.C. **Dinâmica da serapilheira em estágios sucessionais da Floresta Atlântica (Reserva Biológica de Poço das Antas-RJ)**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2000. 195p. (Dissertação de Mestrado).
- BEHERA, N. & SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. *Forest Ecology and Management*, 174: 1-11. 2003.
- BLUME, E.; BISCHOFF, M.; REICHERT, J.M.; MOORMAN, T.; KONOPKA, A.; TURCO, R.F. Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. *Applied Soil Ecology*, 20: 171-181. 2002.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN,

- G.; JENKINSON, D.S.. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, 17: 837-842. 1985.
- COOKSON, W.R.; ABAYE, D.A.; MARSCHNER, P.; MURPHY, D.V.; STOCKDALE, E.A.; GOULDING, K.W.T.. The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure. **Soil Biology & Biochemistry**, 37: 1726-1737, 2005.
- DEGROOD, S.H.; CLAASSEN, V.P.; SCOW, K.M.. Microbial community composition on native and drastically disturbed serpentine soils. **Soil Biology & Biochemistry**, 37: 1427-1435, 2005.
- DINESH, R.; CHAUDHURI, S.G.; GANESHAMURTHY, A.N.; DEY, C.. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. **Applied Soil Ecology**, 24: 17-23. 2003.
- EATON, W.D.. Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America before and during the transition from dry to wet season. **Applied Soil Ecology**, 16: 219-227. 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed.atual. Rio de Janeiro, il (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1) 212p.
- FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia. In: Melo, I.S. & Azevedo, J.L. **Ecologia Microbiana**, Jaguariúna, p. 423-441. 1998.
- GALLARDO, A. & SCHLESINGER, W.H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction methods in a warm-temperate forest soil. **Soil Biology & Biochemistry**, 7: 927-932. 1990.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**, Porto Alegre, p. 227-243. 1999.
- GARCIA-OLIVA, F.; SANFORD JR.; R.L.; KELLY, E. Effect of burning of tropical deciduous forest soil in México on the microbial degradation of organic matter. **Plant and Soil**, 206: 29-36. 1999.
- GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology & Biochemistry**, 37: 877-887. 2005.
- GROFFMAN, P.M.; MCDOWELL, W.H.; MYERS, J.C; MERRIAM, J.L. Soil microbial biomass and activity in tropical riparian forests. **Soil Biology & Biochemistry**, 33: 1339-1348. 2001.
- HARGREAVES, P.R.; BROOKES, P.C.; ROSS, G.J.S.; POULTON, P.R. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change. **Soil Biology & Biochemistry**, 35: 401-407. 2003
- HENROT, J. & ROBERTSON, G.P. Vegetation removal in two soils of the humid tropics: effect on microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, 26: 111-116. 1994.
- LECKIE, S.E.; PRESCOTT, C.E.; GRAYSTON, S.J.; NEUFELD, J.D.; MOHN, W.M.. Comparison of chloroform fumigation-extraction, phospholipid fatty acid, and DNA methods to determine microbial biomass in forest humus. **Soil Biology & Biochemistry**, 36: 529-532. 2004.
- LI, Q.; ALLEN, H.L.; WOLLUM II, A.G.. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. **Soil Biology & Biochemistry**, 36: 571-579. 2004.
- LI, X.; FISK, M.C.; FAHEY, T.J.; BOHLEN, P.J.. Influence of earthworm invasion on soil microbial biomass and activity in a northern hardwood forest. **Soil Biology & Biochemistry**, 34: 1929-1937. 2002.
- LUIZÃO, R.C.C.; BONDE, T.A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – the effects of clear felling a tropical rainforest and establishment of pasture in Central Amazon. **Soil Biology & Biochemistry**, 24: 805-813. 1992.

- MAO, D.M.; MIN, W.M.; YU, L.L.; MARTENS, R.; INSAM, H. Effect of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China. **Soil Biology & Biochemistry**, 24: 865-872. 1992.
- MELE, P.M. & CARTER, M.R.. Effects of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K. & MERCKX, R. (eds.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**, West Sussex, UK. 1993. 392p.
- MERILÄ, P.; STRÖMMER; FRITZE, H. Soil microbial activity and community structure along a primary succession transect on the land-uplift coast in western Finland. **Soil Biology & Biochemistry**, 34: 1647-1654. 2002.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Editora UFLA, Lavras. 2002. 626p.
- MOSCATELLI, M.C.; LAGOMARSINO, A.; MARINARI, S.; DEANGELIS, P.; GREGO, S. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. **Ecological Indicators**, 5: 171-179. 2005.
- MÜLLER, T. & HÖPER, H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. **Soil Biology & Biochemistry**, 36: 877-888. 2004.
- MUMMEY, D.L.; STAHL, P.D.; BUYER, J.S. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. **Applied Soil Ecology**, 21: 251-259. 2002.
- NAEL, M.; KHADEMI, H.; HAJABBASI, M.A.. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. **Applied Soil Ecology**, 27: 221-232. 2004.
- RUAN, H.H.; ZOU, X.M.; SCATENA, F.N.; ZIMMERMAN, J.K. Asynchronous fluctuation of soil microbial biomass and plant litterfall in a tropical wet forest. **Plant and Soil**, 260: 147-154. 2004.
- SALAMANCA, E.F.; RAUBUCH, M.; JOERGENSEN, R.G. Relationships between soil microbial indices in secondary tropical forest soils. **Applied Soil Ecology**, 21: 211-219. 2002.
- SRIVASTAVA, S.C. & SINGH, J.S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-uses and nutrient flux. **Soil Biology & Biochemistry**, 23: 117-124. 1991.
- TEMPLER, P.H.; GROFFMAN, P.M.; FLECKER, A.S.; Power, A.G. Land use change and soil nutrient transformations in Los Haitises region of the Dominican Republic, **Soil Biology & Biochemistry**, 37: 215-225. 2005.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S.. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, 19: 703-707. 1987.
- WARDLE, D.A. & GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology & Biochemistry**, 27: 1601-1610. 1995.