

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ

**BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

LÍVIA GABRIG TURBAY RANGEL VASCONCELOS

BELÉM
2002

17

LÍVIA GABRIG TURBAY RANGEL VASCONCELOS

**BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias do Pará como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em Agronomia, área
de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientadora

MARIA MARLY DE L. S. SANTOS

1028
1698
99.2

Biblioteca



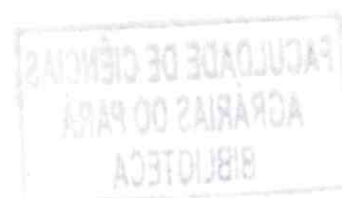
10980029

BELEM

2002

FACULDADE DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS DO PARÁ
BIBLIOTECA

VASCONCELOS, Livia Gabrig Turbay
Rangel. Biomassa microbiana de um solo sob
vegetação secundária na Amazônia Oriental.
2002. 80p. Dissertação (Mestrado em
agronomia – Solos e Nutrição de plantas)
Faculdade e Ciências Agrárias do Pará,
Belém, 2002.
CDD – 576 – 1909488115
CDU – 631-461 (811-5)



LÍVIA GABRIG TURBAY RANGEL VASCONCELOS

**BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias do Pará como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de
concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

APROVADA em 14 de junho de 2002

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Maria Marly de L. S. Santos (FCAP) Maria Marly S Santos
(Orientadora)

Dr. Ricardo de Oliveira Figueirêdo (IPAM) Ricardo de O Figueirêdo

Dra. Maria de Lourdes P. Ruivo (MPEG) Maria de Lourdes P. Ruivo

Prof. PhD. Francisco Ilton de O. Moraes (FCAP) Francisco Ilton de O. Moraes

Dedico,

À Cárita, Luz da minha vida e Steel meu companheiro.

Aos meus pais Marcus e Rita, e irmãos Caio, Lavínia,
Marquinhos e Vinícius.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade do trabalho e aprendizado.

À professora Maria Marly de Lourdes Santos pela oportunidade do trabalho e por toda tranquilidade transmitida no decorrer do curso.

Ao professor Daniel Jacob Zarin pela oportunidade de trabalho no projeto Manflora, e por todo o apoio e atenção durante todas as fases do trabalho.

Ao Dr. Cláudio José Reis de Carvalho pela orientação metodológica, pela transmissão de grande conhecimento e pela oportunidade de realização das análises no Laboratório de Ecofisiologia da Embrapa - Amazônia Oriental.

Ao coordenador brasileiro do Projeto Manflora, professor Francisco de Assis Oliveira, por todo o apoio e incentivo à realização do mestrado.

Aos Doutores Ricardo de Oliveira Figueiredo e Eric Davidson pelo apoio e oportunidade de realização das análises no laboratório de Ecofisiologia da Embrapa - Amazônia Oriental, base onde são realizados os estudos do projeto LBA.

Ao professor Marcos Gervásio (Departamento de Solos, UFRRJ), Dr. Charles Kenneth Smith (Universidade de Sewanee, EUA) e a Dra. Maria de Lourdes P. Ruivo (Museu Paraense Emílio Goeldi) pela ajuda e orientações iniciais para realização desse trabalho.

Às Doutoradas Brigitte Josefine Feigl (CENA, USP) e Regina C. Luizão (INPA) e pelo esclarecimento de diversas dúvidas que surgiram com o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Mário Lopes e a amiga Vânia Melo pelo auxílio e apoio em diversas fases do trabalho.

A Glebson Antônio Souza e Sr. Osório Lameira pelo auxílio na realização das coletas de solo.

À amiga Joanna Marie Tucker pela ajuda na obtenção de material e o sorriso sempre amigo e animador.

Leandra Aragão (Universidade da Flórida) pela ajuda na obtenção de trabalhos científicos de difícil acesso; David Nolletti que realizou as análises de C e N e James Bartos e sua equipe da Analytical Research Laboratory pelas análises químicas de solo realizadas na Universidade da Flórida.

À equipe do laboratório de análises químicas Embrapa/LBA em especial à Tereza Primo pela colaboração nas análises químicas, Karina de Fátima Pantoja, Geórgia Silva Freire e Ronaldo Adriano de Oliveira pelo auxílio no preparo das amostras em laboratório.

As estudantes Aline e Beatriz pelo auxílio nos experimentos.

À amigas Maristela Machado Araújo e Rosa Márcia Figueiredo, pelo apoio e incentivo a realização dessa dissertação.

Às amigas e colegas de pós-graduação Roberta de Fátima Pantoja e Jocilene Sousa, pelo apoio e pelas horas de alegria e descontração.

Aos colegas de pós-graduação pela troca de energia e informações.

Aos queridos amigos que estiveram sempre ao meu lado, nas melhores e piores horas.

E finalmente a todos aqueles que aqui não foram citados, mas que foram peças fundamentais para a realização deste trabalho.

A ciência é obra do gênio humano; só pelo trabalho deve ser adquirida, pois só pelo trabalho é que o homem se adianta no seu caminho.

Allan Kardec

SUMÁRIO

	p.
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	
1.1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	14
1.2.1 - Biomassa microbiana do solo (BMS)	14
1.2.1.1 – Definição.....	14
1.2.1.2 - Importância da BMS.....	14
1.2.2 - BMS e ecossistemas florestais.....	15
1.2.3 - Determinação da BMS.....	18
1.2.4 - Fatores que afetam a BMS.....	19
1.2.4.1 - Fatores químicos.....	19
1.2.4.1.1 - C e N do solo.....	19
1.2.4.1.2 – Vegetação.....	21
1.2.4.2 - Fatores físicos.....	22
1.2.4.2.1 - Umidade e temperatura do solo.....	22
1.2.4.2.2 - Textura e estrutura do solo.....	23
1.2.5 - Atividade da BMS.....	23
1.2.6 - Índices derivados das estimativas da BMS.....	24
1.2.6.1 - Quociente metabólico (qCO_2)	24
1.2.6.2 - Relação entre o C-BMS e o C-orgânico ($C_{MIC}:C_{ORG}$)	25
1.3 - METODOLOGIA GERAL.....	26
1.3.1 - Caracterização da área.....	26
1.3.1.1 – Localização.....	26
1.3.1.2 – Clima.....	26
1.3.1.3 - Vegetação e solo.....	27
1.3.2 - Material e métodos.....	27
1.3.2.1 - Coleta e preparo das amostras.....	27
1.3.2.1.1 - Diferenças de procedimentos entre as coletas e preparo do solo.....	28
1.3.2.3 - Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....	29
1.3.2.4 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo.....	30
1.3.2.5 - Umidade do solo.....	30
1.3.2.6 - Determinação das características químicas do solo.....	30
1.3.2.7 - Índices e relações calculados.....	31
1.3.2.8 - Análise estatística.....	31
1.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
 CAPÍTULO 2 - CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA DE DIFERENTES IDADES NA AMAZÔNIA ORIENTAL	
2.1 – INTRODUÇÃO.....	41
2.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
2.4 – CONCLUSÃO.....	57
2.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
 CAPÍTULO 3 - CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA SUBMETIDO À MANIPULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NA AMAZÔNIA ORIENTAL	
3.1 – INTRODUÇÃO.....	64

3.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	64
3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
3.4 - CONCLUSÃO.....	76
3.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

	p.
Tabela 1 - Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana obtidos para diferentes tipos de solo sob florestas.....	16
Tabela 2 - Características granulométricas do solo.....	27
Tabela 3 - Umidade volumétrica (Uv %) e umidade gravimétrica (Ug %) do solo sob vegetações secundárias de 2, 6 e 14 anos.....	31
Tabela 4 - Propriedades químicas do solo sob vegetação secundária de 2, 6 e 14 anos.....	32

Capítulo 2

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo sob vegetações secundárias de 14 anos.....	44
Tabela 2 - Carbono orgânico do solo (%) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	46
Tabela 3 - Carbono orgânico (%) em solo sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	47
Tabela 4 - Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa	49
Tabela 5 - Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	49
Tabela 6 - Nitrogênio da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$ solo seco) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	50
Tabela 7 - Nitrogênio da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$ solo seco) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	51
Tabela 8 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1}) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	52
Tabela 9 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1}) sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	52
Tabela 10 - Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) da biomassa microbiana do solo sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	54
Tabela 11 - Quociente metabólico($q\text{CO}_2$) da biomassa microbiana do solo sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	54
Tabela 12 - Relação C microbiano:Orgânico (%) da biomassa microbiana do solo sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	56
Tabela 13 - Relação C microbiano:Orgânico (%) da biomassa microbiana do solo sob cronosequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa.....	56

Capítulo 3

Tabela 1 - Caracterização química do solo sob vegetação secundária de 14 anos.....	67
--	----

Tabela 2 -	Valores F da análise de variância das variáveis estudadas para experimento de irrigação	70
Tabela 3 -	Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.....	70
Tabela 4 -	Nitrogênio da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.....	71
Tabela 5 -	Relação C/N da biomassa microbiana do solo sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.....	72
Tabela 6 -	Respiração basal da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coletas	74
Tabela 7 -	Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) da biomassa microbiana do solo sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta	74
Tabela 8 -	Carbono orgânico do solo sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta	75
Tabela 9 -	Relação C microbiano:C orgânico (%) do solo sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.....	75

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 -	Médias mensais de precipitação pluviométrica da região de Apeú, Pará.....	p. 14
------------	---	----------

Capítulo 2

Figura 1 -	Variação da umidade gravimétrica (profundidade de 0-10 cm) do solo sob uma cronossequência de vegetação secundária	45
Figura 2 -	Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) em função do qCO ₂ (quociente metabólico).....	55

Capítulo 3

Figura 1 -	Mapa esquemático das parcelas experimentais do Projeto Manflora.....	67
Figura 2 -	Umidade gravimétrica do solo sob vegetação secundária de 14 anos (n=12) em diferentes datas de coleta.....	69
Figura 3 -	Precipitação pluviométrica (mm) diária ocorrida nos 30 dias anteriores à coleta realizada na estação seca de 2000 (em 02 de novembro de 2000)	72
Figura 4 -	Precipitação pluviométrica (mm) diária ocorrida nos 30 dias anteriores à coleta realizada na estação seca de 2001 (em 20 de outubro de 2001)	73

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 – INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia brasileira está situada dentro da região geográfica denominada “trópico úmido” onde as atividades biológicas são mais intensas e a produtividade primária dos ecossistemas alcança seus valores mais elevados em função de fatores como radiação solar e água, abundantes na região (Rodrigues, 1996). A sustentabilidade dos ecossistemas naturais dessa região depende principalmente da ciclagem dos nutrientes contidos na serapilheira e na matéria orgânica do solo, formando um ciclo de nutrientes onde as perdas são mínimas. O processo fundamental de ciclagem é a decomposição da matéria orgânica realizada pelos microrganismos do solo que compõem a biomassa microbiana do solo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) é fonte potencial de nutrientes para plantas por ser o compartimento de mais rápida ciclagem que ocorre na matéria orgânica. A sua quantificação é essencial para estudos da dinâmica de nutrientes e da matéria orgânica, facilitando o entendimento dos processos biológicos em solos. A biomassa microbiana do solo permite aferir o acúmulo ou perda de carbono (C) e nitrogênio (N), assim como de outros nutrientes contidos na sua biomassa que constitui uma parte significativa e potencialmente disponível para as plantas (Marumoto et al, 1982; Gallardo & Schlesinger, 1990). Estimativas de C e N da biomassa microbiana do solo (C-BMS e N-BMS) juntamente ao carbono orgânico e nitrogênio total do solo e respiração basal da biomassa microbiana, fornecem índices que podem funcionar como parâmetros cinéticos para o estudo da dinâmica do C e N do solo.

Um parâmetro que avalia a atuação da BMS na matéria orgânica do solo é a relação C microbiano: C orgânico, que classifica a biomassa microbiana quanto ao seu grau e potencial de decomposição no solo. Um outro parâmetro cinético utilizado para avaliar e classificar a biomassa microbiana quanto à sua eficiência em decompor a matéria orgânica do solo é o quociente metabólico (qCO_2), que representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo (Santruckova & Straskraba, 1991). Essa variável geralmente diminui com o tempo de sucessão (Insam & Haselwandter, 1989), pois, na medida em que o ecossistema se desenvolve, ocorrem maiores condições de sobrevivência para os microrganismos, reduzindo e estabilizando a energia de manutenção dos microrganismos.

Estudos têm mostrado variação sazonal no estoque de nutrientes do solo e conseqüentemente na BMS sob florestas em clima tropical (Lodge et al, 1994). A umidade do solo é um importante controlador dessa variação (Wardle, 1998). Em alguns solos, a umidade do solo tem mostrado correlação negativa com a BMS (Ross, 1987; Sirivastava, 1992) enquanto outros apresentaram correlação positiva entre a umidade e a BMS (Santruckova, 1992; Wick et al, 2002). Para solos da Amazônia, Luizão (1989) encontrou relação entre o aumento da população microbiana com a disponibilidade de nutrientes. Estudos evidenciam a relação direta entre o aumento da população microbiana com a disponibilidade de nutrientes e o aumento da umidade do solo (Luizão, 1989).

A natureza da comunidade vegetal aliada a umidade do solo são muito importantes na definição da dinâmica dos microrganismos no solo. A cobertura vegetal é responsável pelo aporte de matéria orgânica ao solo e favorece a atividade dos microrganismos que mineralizando a matéria orgânica disponibiliza nutrientes para as plantas. Estudos sobre sucessão de plantas e desenvolvimento de ecossistemas normalmente mostram padrões previsíveis de acúmulo de biomassa (Halvorson et al, 1991), relacionando a distribuição de energia e nutrientes disponíveis entre os microrganismos do solo e plantas colonizadoras. A energia geralmente é limitante durante o desenvolvimento de uma comunidade, em estágios iniciais da sucessão, a diversidade e produção são baixas, porém em estágios mais tardios o teor de matéria orgânica aumenta, aumentando os teores de C, N e nutrientes. Assim a fitomassa funciona como acumuladoras de nutrientes. Na região do nordeste paraense são encontrados vários estágios de vegetação secundária (capoeiras) caracterizadas por grande variabilidade na densidade de plantas, dependendo do manejo e da fertilidade do solo, como os capoeirões que se assemelham à floresta primária e as macegas, que são estágios de menor estoque de fitomassa e de baixa diversidade de espécies (Teixeira & Oliveira, 1999). Essas vegetações secundárias são representativas para ecossistemas que sofreram alteração antrópica e tem representado importante oportunidade para estudos de sucessão. Para uma melhor compreensão de padrões de sucessão, alguns autores utilizam o estudo de cronosequência, que tem a vantagem de substituir o tempo por espaço, quando se tem mesmo tipo de solo, clima e história de uso da terra.

Este trabalho teve com objetivo estimar e comparar o conteúdo de C e N contidos na biomassa microbiana do solo e sua atividade em uma cronosequência (2, 6, 14 anos) de vegetação secundária em coletas realizadas nas estações seca e chuvosa na região do nordeste paraense, Amazônia Oriental.

1.2 - REVISÃO DA LITERATURA

1.2.1 - Biomassa microbiana do solo (BMS)

1.2.1.1 - Definição

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte viva da matéria orgânica, excluindo-se raízes e animais maiores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$, e é composta de bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, microfauna e algas. A BMS é geralmente expressa em μg de C, N, P ou S por grama de solo seco (em estufa a 105°C por 24 h) e contém, em média, de 2 a 5 % do C orgânico do solo e de 1 a 5 % do N total do solo (Jenkinson & Ladd, 1981¹, citados por Gama-Rodrigues, 1999).

1.2.1.2 – Importância da BMS

Os microrganismos do solo são componentes importantes da biosfera e destacam-se, dentre outros organismos, como componentes do processo fundamental para a ciclagem de elementos em ecossistemas: a decomposição da matéria orgânica. Eles atuam em diversos outros processos no solo, tais como: fixação do N atmosférico, disponibilidade de nutrientes no solo, etc.

A biomassa microbiana atua como agente de transformação da matéria orgânica, regulando sua taxa de decomposição e como reservatório dinâmico de nutrientes, mineralizando substratos orgânicos e liberando nutrientes para a solução do solo, atuando, assim, como fonte e dreno dos nutrientes necessários às plantas (Wardle & Hungria, 1994). Dessa forma, a BMS é um importante parâmetro para o entendimento da ciclagem do C e N e nutrientes do solo, pois é um compartimento da matéria orgânica de rápida ciclagem. Sua estimativa permite avaliar os impactos sofridos pelo solo devido a um determinado manejo, pois é muito influenciada pelo tipo de utilização do solo, e permite também acompanhar perturbações causadas por fatores naturais, como entrada de matéria orgânica no sistema e alterações na umidade do solo. Qualquer modificação nas condições ecológicas afeta a dinâmica dos microrganismos do solo. Logo a BMS é um componente crítico de ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem.

A estimativa da biomassa microbiana e a sua atividade são importantes para o entendimento da ciclagem da matéria orgânica e nutrientes no solo. Atualmente, a ciência do solo tem o desafio de demonstrar a relação entre níveis de atividade biológica do solo e o seu funcionamento sustentável.

¹ JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Soil Biochemistry. PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Eds.), New York: Marcel Dekker, 1981.

1.2.2 - BMS e ecossistemas florestais

A sustentabilidade de ecossistemas florestais depende, em grande parte, do processo de decomposição da matéria orgânica, ou ainda, da liberação de nutrientes contidos na matéria orgânica depositada sobre o solo (serapilheira) promovido pela BMS. O compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio onde ocorrem todas as etapas de decomposição e da ciclagem de nutrientes (Correa & Andrade, 1999). Esse compartimento está situado nas camadas mais superficiais do solo, com declínio ao longo do perfil podendo se tornar nulo ou insignificante nas camadas mais profundas.

A determinação de elementos como C e N da biomassa microbiana em solos de florestas é de grande importância, pois permite o monitoramento desses elementos durante determinado período e conseqüentemente, estima a quantidade que estará disponível para as plantas (Yang & Insam, 1991; Anderson & Domsh, 1980; Marumoto et al, 1982; Gallardo & Schlesinger, 1990), proporcionando melhor compreensão de seu ciclo neste tipo de ecossistema. Díaz-Ravina et al (1993) encontraram altas quantidades de nutrientes imobilizados na BMS em solos de florestas na Espanha, com significativa contribuição na concentração de N disponível para as plantas e ainda do P, K e Mg, porém não significativa para Na e sem conclusões para o Ca. Particularmente na Amazônia, caracterizada por solos de baixa fertilidade, a BMS se torna mais importante, visto que sustentabilidade dos ecossistemas dessa região depende principalmente da ciclagem de nutrientes contidos na serapilheira e na matéria orgânica do solo, formando um ciclo de nutrientes onde as perdas são mínimas. Segundo Feigl et al (1998) a biomassa microbiana do solo pode ser fonte potencial de nutrientes.

Para Gama-Rodrigues et al (1994), os resultados de biomassa microbiana devem estar associados aos teores de C-orgânico, N-total e à taxa de respiração (liberação de CO₂), para que forneçam índices que possam avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo. Gama-Rodrigues et al (1997) avaliaram o C, N e atividade microbiana de solos sob diferentes coberturas florestais no sudoeste da Bahia e demonstraram que esses parâmetros microbiológicos são melhores indicadores para aferir a dinâmica do N e do C em diferentes coberturas florestais do que o C orgânico e o N total do solo.

Na Tabela 1 encontram-se resultados de C e N-BMS obtido por diversos autores, em diferentes tipos de solo sob florestas.

Tabela 1 - Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana obtidos para diferentes tipos de solo sob florestas.

cobertura vegetal	tipo de solo	profundidade (cm)	Método	C-BM (μg C.g ⁻¹ solo seco)	N-BM (μg N.g ⁻¹ solo seco)	Local	Autores
FTAp	Laa	0-8	_a FI	189	-	Capitão Poço-PA	Cerri et al (1985)
Ft-200		0-10	_g FE	-	41	-	Gallardo & Schlesinger (1990)
			_g FI		30		
			_g FE		48		
			_g FI		36		
Fd	C	0-10	FI	460	-	Bohemia do Sul	Santrucková & Straskraba (1991)
Fn	LAd	0-5	_b FI	822	-	Manaus –AM	Pfenning et al (1992)
	LAd		_c FE	817		Capitão-Poço-PA	
			_b FI	412		Piracicaba-SP	
	_c FE		429				
	LVA		_b FI	1314			
			_c FE	798			
FTAp	LAa	0-5	FI	1287	-	Manaus-AM	Luizão et al (1992)
Fn	LVAda	0-10	_{f h} FE	476	35	Paragominas-PA	Geraldes et al (1995)
			_a FI	314	-		
FTAp	L	0-10	_a FI	596	* _f 102	Manaus-AM	Feigl et al (1995)
			_d FE	659			
			_e FE	889			
FTAp	L	0-10	_a FI	695	* _f 111	Paragominas-PA	
			_d FE	823			
			_e FE	1108			
FTAp	Ar	0-10	_a FI	522-884	* _f 63-50	Ariquemes-RO	
			_d FE	349-290			
			_e FE	470-389			

FTAp	G	0-10	^a FI	454	* _f 74	Ouro-Preto doeste-RO	
			^d FE	429			
			^e FE	578			
C-25	LVA a	0-10	FE	79	-	Viçosa-MG	Gama- Rodrigues et al (1997)
E-25	LVA a	0-10	FE	224	8	Viçosa-MG	
Mn	Ter	0-10	FE	428	-	S.P.	Marchiori & Melo (1999)
Mn	Lr	0-10	FI	390	-	São Paulo	Marchiori et al (2000)
FN	LAar	0-5	^e FE	1020	-	Almeirim-PA	Basante et al (2001)
	LAa			2055			
MG	P e Gpu	0-5	^d FE	1372	-	Planaltina-DF	Oliveira et al (2001)
			^b FI	1252			
Fdp	LA	0 – 2,5	^{eh} FE	141	42	Porto Trombetas (PA)	Ruivo et al (2001)
RN-14				117	42		
P-14				80	42		

Ft-200: floresta temperada de 200 anos

Fd: Floresta decídua

Fn: Floresta nativa

Fdp: Floresta densa perturbada

FT: Floresta tropical úmida

Mn: Mata nativa

Mg: Mata de galeria

C-25: Vegetação secundária de 25 anos

E-25: plantio de eucalipto de 25 anos

RN-14: Regeneração natural de 14 anos

P-14: Plantio com espécies nativas

FTAp: Floresta tropical amazônica primária

A: Argissolo

C: Cambissolo

L: Latossolo

LA: Latossolo Amarelo

LAa: Latossolo Amarelo textura argiloso

LAar: latossolo Amarelo textura arenosa

LAd: Latossolo Amarelo distrófico

LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo

LVA a: Latossolo Vermelho Amarelo argiloso

LVAda: Latossolo Vermelho Amarelo distrófico muito argiloso

G: Gley

Gpu: Gley pouco húmico

Ter: Terra roxa estruturada

Lr: Latossolo roxo

P: Podzólico

FE: Fumigação-extração

FI: Fumigação-incubação

a) $K_C = 0.45$

b) $K_C = 0.41$

c) $K_{EC} = 0.38$

d) $K_{EC} = 0.35$

e) $K_{EC} = 0.26$

f) $K_{EC} = 0.33$

g) $K_N = 0.68$

h) $K_{EN} = 0.54$

*calculado a partir do fluxo de N obtido pela subtração das amostras fumigadas pelas não fumigadas.

1.2.3 - Determinação da BMS

Os métodos mais utilizados para a determinação da BMS são: observação direta, através da microscopia, fumigação-incubação (Jenkinson & Powlson, 1976 b, 1976c), taxa de respiração em resposta à adição de glicose (Anderson & Domsh, 1978), índice de ATP (Oades & Jenkinson, 1979), e fumigação-extração (Brookes et al, 1985, Vance et al, 1987, Tate et al, 1988.). O método da fumigação-extração é o mais indicado para solos ácidos (pH abaixo de 5,0) e para muitos solos florestais (Coleman & Crossley, 1996), porque permite a quantificação de C e N a partir do mesmo extrato de solo e também é menos laborioso que outros métodos. Foi proposto para superar limitações do método da fumigação-incubação em solos ácidos, com recente adição de matéria orgânica e sob encharcamento e seca (Tate et al, 1988).

Pfennig et al (1992) concluíram que a fumigação-extração foi mais eficiente que a fumigação-incubação em solos de duas áreas da região amazônica (PA e AM). Gama-Rodrigues (1992) também testou esses dois métodos para estimar o C da BMS em solos Podzólico Vermelho-Amarelo e em Planossolo em Itaguaí (RJ) e ambos apresentaram boa correlação, embora a precisão dos métodos tenha caído com o decréscimo do C-total dos solos, tendo a fumigação-extração apresentado maior precisão para estes solos. Em solos sob floresta de 200 anos na Carolina do Norte, EUA, Gallardo & Schlesinger (1990) encontraram correlação significativa entre os dois métodos, porém a fumigação-extração também apresentou melhores resultados por ter apresentado melhor correlação com o carbono orgânico do solo e matéria orgânica.

1.2.4 - Fatores que afetam a BMS

Em geral, o meio ambiente influi diretamente no número de indivíduos e tipo de uma comunidade. O solo é um ambiente estressante fortemente limitado por nutrientes para os microrganismos, mas é capaz de sustentar uma população microbiana extremamente diversa e adaptada a diversos microhabitats (Siqueira et al, 1994). A biomassa microbiana do solo é influenciada pela disponibilidade de nutrientes no solo como C e N, adição de resíduos, fertilizantes e poluentes e por fatores físicos e climáticos. Os principais fatores físicos e químicos que influenciam a BMS são discutidos por Wardle & Hungria (1994). Porém, pouco se sabe sobre os impactos que as alterações ambientais podem ter sobre a microbiota do solo (Siqueira et al, 1994). Ainda faltam muitos estudos para o entendimento da influência desses fatores no tamanho e na natureza de comunidades microbianas, principalmente para solos tropicais. Esse conhecimento é essencial para o entendimento do funcionamento desses ecossistemas e para o manejo e conservação de seus solos.

1.2.4.1 - Fatores químicos

1.2.4.1.1 - C e N do solo

Os ecossistemas são limitados por nutrientes, assim como a dinâmica dos microrganismos no solo. O C é a principal fonte de nutrientes da célula microbiana, participando com 47 % da sua matéria seca (Jenkinson & Ladd, 1981). A principal e mais importante fonte de C do solo de florestas é a serapilheira. Segundo Cerri et al (1996), o aporte anual desse elemento em solos amazônicos é estimado entre 0,35 e 0,40 kg m⁻². Os microrganismos regulam a acumulação de C no solo dependendo de fatores como o pH, drenagem e, principalmente, textura do solo. Luizão et al (2000 a) verificaram variações no tamanho da

BMS entre solos sob sistemas agrossilviculturais originados de floresta e capoeiras e observaram que as variações estavam mais fortemente relacionadas às concentrações de H^+ do que aos teores de C e N no solo.

A biomassa microbiana geralmente apresenta alta correlação com a matéria orgânica do solo (Gallardo & Schlesinger, 1990; Gregorich et al, 1990) conseqüentemente com o C orgânico do solo (Schnürer, 1995). A BMS responde rapidamente à adição de C e N prontamente disponíveis, porém está mais relacionada ao C e N do solo. Alguns estudos mostram a relação entre a biomassa microbiana e o C e N do solo, como Gama-Rodrigues (1992) que indicou que os resultados de C da biomassa microbiana associados aos de C-total e N-total do solo funcionam como parâmetro cinético para avaliar a dinâmica da matéria orgânica e seu grau e potencial de decomposição no solo, quando integrados a outros dados relacionados em um mesmo estudo. Em solos sob coberturas florestais em Minas Gerais, Gama-Rodrigues et al (1997) encontraram correlação negativa e significativa entre o N da biomassa microbiana e o N mineral do solo, indicando que, quanto maior for a mineralização do N do solo, menor será o seu acúmulo na biomassa microbiana. O N é geralmente o nutriente de maior demanda pelas plantas e a sua imobilização tem sido muito estudada. Em solos com baixo teor de N, o N da biomassa microbiana é utilizado pelos microrganismos no seu metabolismo para a decomposição da matéria orgânica (Gama-Rodrigues, 1994).

Solos de clima tropical úmido são caracterizados por pulsos de nutrientes que resultam da matéria orgânica do solo e dos nutrientes imobilizados na BMS, causados por fatores climáticos (Lodge et al., 1994.). Recentes trabalhos mostram que flutuações na disponibilidade de nutrientes no solo está altamente correlacionado à épocas secas sazonais. Luizão et al (1992), encontraram que o umidecimento do solo seco ou o início das chuvas resulta tanto na imobilização de N ou num grande aumento de mineralização de N, dependendo de como as condições anteriores afetam a BMS e os teores de matéria orgânica no solo.

Bardgett et al (1999) fizeram uma avaliação crítica dos fatores que controlam as mudanças da comunidade microbiana de solos de pastagem em clima temperado, mostrando que o C e N da biomassa microbiana assim como a atividade microbiana foram mais baixos em solos manejados com fertilizantes. Os resultados indicaram ainda que a comunidade de fungos se sobressai em relação à de bactérias em solos que não foram fertilizados, apoiando a hipótese de que os fungos desempenham papel mais significativo em processos biológicos de solos não manejados, do que em sistemas intensivamente manejados com o uso de fertilizantes, por exemplo. Os resultados indicaram que o alto valor de BMS se deu devido ao maior crescimento de fungos em relação às bactérias.

1.2.4.1.2 - Vegetação

As plantas podem estimular ou inibir a BMS. A rizosfera está constantemente exudando formas de C e N prontamente disponíveis (Smith & Paul, 1990² citados por Wardle & Hungria, 1994) podendo haver competição entre a BMS e raízes pelos nutrientes (Okano et al, 1991³ citado por Wardle, 1994)). Entretanto, os microrganismos do solo são mais tolerantes que as plantas a baixos níveis de nutrientes no solo (Dommergues et al, 1978).

A cobertura vegetal favorece a atividade dos organismos através do aporte de matéria orgânica ao solo na forma de "litterfall" e exsudados radiculares. A incorporação da matéria orgânica ao solo aumenta sensivelmente a BMS (Powlson et al, 1987), enquanto que o desmatamento reduz em mais de 50% a BMS (Pfenning et al., 1992). Assim, as plantas contribuem qualitativa e quantitativamente para o acúmulo de matéria orgânica e regulam a fonte de nutrientes para os microrganismos. A mineralização da matéria orgânica do solo torna os nutrientes disponíveis para as plantas, logo, a natureza da comunidade vegetal é muito importante para a definição da dinâmica dos microrganismos no solo. Gama-Rodrigues et al. (1997) abordaram o uso do N do solo, relacionando com a cobertura vegetal, pela biomassa microbiana, demonstrando que em solos de baixa fertilidade, quando a cobertura vegetal é pobre em N (possuindo alta relação C/N), a biomassa microbiana pode representar um compartimento de reserva desse nutriente, já que imobiliza o N em sua biomassa para realizar a decomposição. Enquanto que em um mesmo solo, mas com cobertura vegetal rica em N (com baixa relação C/N), a biomassa microbiana funciona exclusivamente como catalisador na decomposição da matéria orgânica, pois possuiria quantidade suficiente do elemento para atender às suas atividades metabólicas e atuar na decomposição da matéria orgânica.

Estudos sobre sucessão de plantas normalmente mostram padrões previsíveis de acúmulo de biomassa (Halvorson et al, 1991; Wardle & Hungria, 1994). Com o desenvolvimento do ecossistema, variações temporais da biomassa microbiana diminuem (Santruckova, 1992), ou seja, a dinâmica da biomassa microbiana estabiliza à medida que o ecossistema desenvolve. O padrão de acúmulo e estabilização da biomassa microbiana do solo provavelmente está relacionado à limitação de C e nutrientes como N e P contidos na fitomassa.

A quantidade de biomassa dos ecossistemas é consequência do uso da terra. Na região do nordeste paraense são encontrados vários estágios de vegetação secundária com densidades de plantas variando em função do manejo e da fertilidade do solo, como os capoeirões que se assemelham à floresta primária e as

² SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil biomass estimates. In: **Soil Biochemistry**. BOLLAG, J. M.; STOTZKY, G. (Eds.), New York, Marcell Dekker, 1990.

³ OKANO, S.; SATO, K.; INOUE, K. Negative relationship between microbial biomass and root amount in topsoil of a grassland. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 37, p. 47 – 53, 1991.

macegas, que são um estágio de menor estoque de fitomassa e de baixa diversidade de espécies (Teixeira & Oliveira, 1999). Essas vegetações funcionam como acumuladoras de nutrientes durante o período de regeneração e, além do mais, a biomassa microbiana é fonte potencial de nutrientes para os solos sob essa vegetação.

Em geral, a matéria orgânica de solos de terra firme na Amazônia é formada a partir da decomposição de resíduos vegetais originários da floresta tropical, possuindo as mesmas características. Entretanto em função de diversidades estruturais da vegetação e diferenças climáticas e pedológicas, surgem diferenças na qualidade e quantidade da matéria orgânica (Cerri et al, 1996) e, conseqüentemente, na biomassa microbiana do solo. Segundo Luizão et al (2000 b) a espécie da serapilheira influencia no tamanho da BMS, quando em condições de isolamento durante determinado tempo.

Um outro fator que influencia a BMS relacionado à vegetação, é a queima. Esse procedimento é muito utilizado na região e inibe a BMS (Cerri et al, 1985) devido à falta do aporte de nutrientes proveniente da vegetação e da serapilheira, e às mudanças nas propriedades físico-químicas do solo causadas pelo fogo.

1.2.4.2 - Fatores Físicos

1.2.4.2.1 - Umidade e temperatura do solo

Flutuações temporais na BMS são normalmente associadas com atributos climáticos (Cattelan & Vidor, 1990). Dentre outros fatores que controlam a dinâmica do C orgânico, a precipitação pluviométrica e temperatura são variáveis importantes na formação da matéria orgânica do solo e influenciam direta ou indiretamente a biomassa microbiana do solo e a liberação de nutrientes no solo. Entretanto em área de florestas tropicais úmidas onde ocorre períodos de seca sazonal, a umidade do solo pode ter influência preponderante na BMS.

A umidade do solo possui alta correlação com a BMS (West et al, 1988), proporcionando condições a decomposição e, conseqüentemente, a liberação de nutrientes no solo. Alguns estudos mostram correlação negativa entre a umidade e a BMS (Ross, 1987; Srivastava, 1992; Srivastava & Singh, 1998), outros mostraram correlação positiva entre a BMS e a umidade do solo (Santruckova, 1992; Wick et al, 2002). Em estudo da variação sazonal da BMS em florestas na Amazônia, Luizão (1989) evidenciou relação direta entre o aumento da população da BMS com a disponibilidade de nutrientes advindos da serapilheira e o aumento da umidade do solo, no início da estação chuvosa. Nos meses mais secos do ano, embora haja serapilheira acumulada, a população microbiana declina bruscamente. Na estação chuvosa, os microrganismos atuam mais, aumentam a sua biomassa e sua participação na decomposição é aumentada

devido à ação muito intensa dos artrópodos que incorporam a matéria orgânica ao solo para posterior decomposição pelos microrganismos.

1.2.4.2.2 - Textura e estrutura do solo

A BMS é fortemente correlacionada com o teor de argila no solo (Wardle & Hungria 1994). A argila aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes e proporciona maior capacidade tampão, além de proporcionar proteção física nos microsítios contra os pedradores (Smith & Paul⁴, 1990 citados por Wardle & Hungria, 1994).

Pfening et al (1992), estudando solos florestais da Amazônia, encontraram valores de C da biomassa microbiana 76 % maiores em solos com elevado teor de argila (817 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo) do que em solos com teores mais baixos (463 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo). Gama-Rodrigues (1997) encontrou correlação positiva entre o C-BM e a respiração basal da BM com o teor de argila em solos sob plantios de eucaliptos.

Gupta & Germida (1988) estudaram a relação da BMS de solos cultivados e de vegetação nativa com a agregação do solo. Os macroagregados apresentaram maiores quantidades de C, N e S-BMS e também maior mineralização de C, N e S comparados com os microagregados. Concluíram também que os fungos possuem um importante papel na formação dos macroagregados e na matéria orgânica lábil que serve de fonte de C e nutrientes liberados para o cultivo. Hendrix et al⁵. (1986), citados por Wardle & Hungria (1991), encontraram maior desenvolvimento de hifas de fungos em condições de plantio direto e observaram um mecanismo de retroalimentação entre a estrutura do solo e a formação de cadeias de hifas de fungos.

1.2.5 - Atividade da BMS

Biomassa microbiana e atividade microbiana são atributos distintos dos microrganismos do solo. A BMS é uma estimativa da massa microbiana viva total do solo, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular ou por mensurações em microscopia direta (De-Polli & Guerra, 1999). A atividade é medida em termos metabólicos e representa o CO_2 respirado pela BMS. A BMS é um parâmetro altamente dinâmico que se modifica rapidamente no solo, devendo sempre ser analisada juntamente com a atividade, das mesmas amostras de solo, face à extrema heterogeneidade do ambiente natural da microbiota e sua diversidade (Grisi & Gray, 1985).

⁴ SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil biomass estimates. In: Soil Biochemistry. BOLLAG, J. M.; STOTZKY, G. (eds.), New York, Marcell Dekker, 1990.

⁵ HENDRIX, P. F.; PARMELE, R. W.; CROSSLEY, D. A.; COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; GROFFMAN, P. M. Detritus food-webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bioscience*, 6: 374-380, 1986.

1.2.6 - Índices derivados das estimativas da BMS

1.2.6.1 - Quociente metabólico (qCO_2)

Para definir e quantificar mais claramente a atividade microbiana do solo, alguns autores relacionam a quantidade de CO_2 liberado pela biomassa microbiana em uma mesma amostra de solo obtendo-se a respiração específica (Insan & Haselwanter, 1989), também denominada quociente metabólico (qCO_2) (Santruckova & Straskraba, 1991) e taxa respiratória da biomassa microbiana (TRBM), Gama-Rodrigues, 1999). O qCO_2 representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo. Odum (1969) propôs que a relação respiração/biomassa total diminui com o tempo ou com a sucessão em um ecossistema. Essa relação foi modificada para respiração microbiana/biomassa microbiana, e avalia o efeito das condições de estresse sobre a biomassa microbiana do solo, como adição de matéria orgânica, diminuição do pH ou de nutrientes.

De acordo com a eficiência da BMS em decompor a matéria orgânica do solo, o qCO_2 diminui com o aumento da maturidade do solo, ou seja, quanto menor o qCO_2 mais eficiente se torna a biomassa microbiana do solo, ou ainda menos C é perdido pela respiração e uma fração significativa de C é incorporada ao tecido microbiano (Anderson & Domsch, 1985.).

A aplicação do qCO_2 tem grande potencial nos estudos sobre estrutura da comunidade microbiana e de como ela se relaciona com sua função, possibilitando o entendimento das mudanças na composição de populações dentro de uma comunidade, em termos de fluxo de energia nos ecossistemas. Em estudos realizados no Brasil, esse parâmetro tem sido pouco utilizado.

O qCO_2 geralmente é relacionado com a sucessão de ecossistemas. Em estágios iniciais da sucessão primária, a diversidade e produção são baixas. A energia geralmente é limitante durante o desenvolvimento de uma comunidade, mas em estágios mais tardios, o teor de matéria orgânica do solo aumenta, aumentando os teores de C e N. Insan & Haselwandter (1989) propuseram que, durante a sucessão do ecossistema, as comunidades microbianas tornam-se mais eficientes no seu uso de energia, incorporando grandes proporções de C na BMS. Em estágios iniciais, o C perdido pela respiração é significativo e essa perda diminui com o tempo. Wardle & Ghani (1995) e Ohtonen et al (1999) relacionaram a diminuição do qCO_2 com alterações da estrutura da comunidade microbiana do solo para comunidades microbianas mais eficientes no uso da energia como incorporar mais carbono na sua biomassa do que perde pela respiração.

1.2.6.2 - Relação entre o C-BMS e o C orgânico (C_{MIC} : C_{ORG})

A relação C_{MIC} : C_{ORG} funciona como um parâmetro cinético para avaliar a dinâmica da matéria orgânica e seu grau e potencial de decomposição no solo, assim como alterações sofridas pela BMS no espaço e no tempo. A relação C_{MIC} : C_{ORG} aumenta ou diminui conforme o aumento ou a diminuição da matéria orgânica do solo em um ecossistema (Anderson & Domsh, 1986⁶, citados por Insam et al, 1989). Solos com matéria orgânica de baixa qualidade possuem menor relação C_{MIC} : C_{ORG} do que solos com matéria orgânica de boa qualidade nutricional, mesmo quando os níveis do C orgânico do solo permanecem inalterados (Gama-Rodrigues et al, 1992). Em uma região climática ou em um ecossistema, a relação C_{MIC} : C_{ORG} pode ser uma constante em equilíbrio com o tempo. Desvios nessa relação podem indicar se está havendo perda ou acúmulo de C no solo e quanto o solo está distante do seu estado de equilíbrio (Anderson & Domsh, 1986⁷, citados por Insam et al, 1989).

Em solos sob diferentes coberturas vegetais, Gama-Rodrigues et al (1992) observaram que a relação C_{MIC} : C_{ORG} foi maior em solos com maiores teores de N total. Em solos amazônicos, Cerri et al (1985) encontraram valores de relação C_{MIC} : C_{ORG} de 1,3 % em camadas superiores de um solo de floresta primária, 0,04 a 0,21 % em mata queimada recentemente e 1,42 % em solos de uma capoeira sob pousio de três anos. Também para solos amazônicos sob floresta, Pfenning et al (1992) obtiveram relação de 1,08 %.

⁶ ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Microbial Ecology MEGUASR, F.; GANTAR, M. (Eds). Ljubljana, Yugoslavia, Slovene Society for Microbiology, p. 471-476, 1986.

⁷ ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Microbial Ecology MEGUASR, F.; GANTAR, M. (Eds). Ljubljana, Yugoslavia, Slovene Society for Microbiology, p. 471-476, 1986.

1.3 - METODOLOGIA GERAL

1.3.1 - Caracterização da área

1.3.1.1 - Localização

A área de pesquisa está localizada na área do projeto MANFLORA, localizado na Estação de Piscicultura da FCAP, à margem da BR 316, Km 63, região de Apeú, Castanhal, na microbacia do Rio Praiquara, Baixo Guamá (1°19' S, 47°57' W).

1.3.1.2 - Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Am3, com precipitação pluviométrica média anual entre 2000 e 2500 mm. A época mais chuvosa ocorre no verão e outono (dezembro a maio), enquanto que a época mais seca ocorre no inverno e primavera (junho a novembro) (Figura 1). A temperatura do ar tem pouca variação anual, com valores médios oscilando entre 24,7 e 27,3 °C, com máxima de 30,1 e 32,7 °C e mínima entre 19,2 a 24,2 °C. A umidade relativa do ar tem valores médios anuais que variam de 78 a 90 % (Martorano & Pereira, 1993). A figura 1 mostra médias de precipitação mensal obtida em diferentes fontes da região.

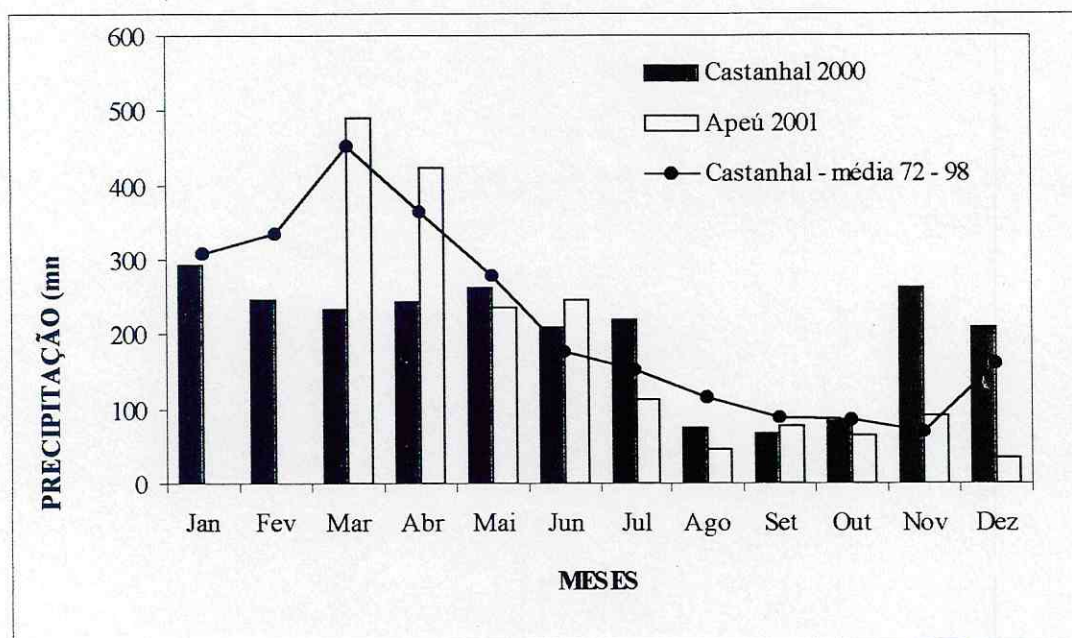


Figura 1 –Médias mensais de precipitação pluviométrica da região de Apeú, Pará.

1.3.1.3 - Vegetação e solo

Na área há predominância de vegetação secundária latifoliada em geral com número reduzido de espécies, e maior ocorrência de Latossolo Amarelo Distrófico Concrecionário, A moderado. Os solos são derivados, principalmente, da evolução diagenética dos sedimentos argilo-arenosos pertencentes à formação Barreiras, Terciário. O relevo da região é constituído em sua maior parte por uma superfície aplainada, dissecada em colinas de topo plano, com pequena variação altimétrica. (Tenório et al, 1999). Na Tabela 2 encontram-se as principais características morfológicas e granulométricas do solo ocorrente nos horizontes superficiais dos sítios estudados.

Tabela 2 – Características granulométricas do solo .

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia	Silte	Argila
		-----g kg ⁻¹ -----		
A ₁ (CN)	0-20	735,9	A ₁ (CN)	0-20
A ₂ (CN)	20-40	681,2	A ₂ (CN)	20-40
AB _(CN)	40-60	677,8	AB _(CN)	40-60

Fonte: Tenório et al (1999).

1.3.2 - Material e métodos

1.3.2.1 - Coleta e preparo das amostras.

As amostras de solo foram coletadas nas épocas seca (novembro de 2000 e outubro de 2001) e chuvosa (abril de 2001). As amostras foram destorroadas, passadas em peneira de 2,00 mm de malha, e homogeneizadas. Em seguida foram retiradas as raízes e resíduos visíveis de plantas e animais e armazenadas em sacos plásticos sob temperatura de aproximadamente 4 °C. Esses procedimentos foram realizados em todas as coletas, salvo algumas modificações, relacionadas às condições de umidade do solo.

O peneiramento e o ajuste da umidade auxiliam na padronização das amostras, reduzindo assim o coeficiente de variação, que para o tipo de determinação geralmente é alto.

A área de vegetação secundária de 14 anos, onde está situado o projeto Manflora, possui 12 parcelas de 20 x 20 m, enquanto que as áreas de vegetação secundária de 2 e 6 anos possuem 4 parcelas de 20 x 20 m cada uma.

1.3.2.1.1 - Diferenças de procedimentos entre as coletas realizadas e preparo do solo.

Primeira coleta (novembro de 2000)

A coleta foi realizada através de mini-trincheiras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Na área de vegetação secundária de 14 anos, foram coletadas uma amostra composta de 5 amostras simples em cada parcela, totalizando 12 amostras compostas, e, nas áreas de vegetação secundária de 2 e 6 anos, 4 amostras compostas de 5 amostras simples em cada parcela totalizando 4 amostras compostas para cada área. Após o procedimento de preparo das amostras, foram adicionados a cada amostra (de aproximadamente 20g) 3mL de água destilada em cada amostra de aproximadamente 20g.

Após verificação da capacidade máxima de retenção de água do solo em laboratório, verificou-se que o volume de água adicionado elevou a umidade das amostras em aproximadamente 60 a 70% da capacidade máxima de retenção de água desse solo em laboratório.

Segunda coleta (abril de 2001)

A coleta foi realizada através de mini-trincheiras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Na área de vegetação secundária de 14 anos, foram coletadas uma amostra composta de 5 amostras simples em cada parcela, totalizando 12 amostras compostas, e, nas áreas de vegetação secundária de 2 e 6 anos, 4 amostras compostas de 5 amostras simples em cada parcela totalizando 4 amostras compostas para cada área.

Para facilitar o processo de peneiramento para o preparo da amostra, deixou-se o solo à temperatura ambiente por uma noite. Não foi adicionada água às amostras.

A umidade das amostras após a secagem parcial por uma noite se aproximou de 60% da capacidade máxima de retenção de água desse solo em laboratório, após homogeneização e peneiramento.

Terceira coleta (outubro de 2001)

As amostras foram coletadas através de trado na profundidade de 0-10 cm apenas na área do Projeto Manflora (vegetação secundária de 14 anos) quando já haviam iniciados os tratamentos de

irrigação. Foi coletada 1 amostra composta e 5 simples por parcela, totalizando 4 amostras compostas para o controle e 4 amostras compostas para o tratamento de irrigação.

Após o preparo das amostras foi feita a padronização da umidade para 60% da capacidade máxima de retenção de água desse solo (determinada em laboratório).

1.3.2.3 - Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

Utilizou-se o método da fumigação-extração para estimar o C (Vance et al, 1987; Tate et al, 1988) e o N da biomassa microbiana (Brookes, 1985). Amostras de aproximadamente 20g (peso fresco) foram acondicionadas em dessecador e submetidas à fumigação com clorofórmio livre de álcool por 48 horas, agitadas por 1 hora em extratos (K_2SO_4 0,5 M) e filtradas em filtro Whatman 42. Imediatamente após o início da fumigação, as amostras não fumigadas foram submetidas à extração conforme citada anteriormente. Os extratos foram armazenados em frascos plásticos sob congelamento até o início das análises químicas.

A determinação do C microbiano foi realizada por método colorimétrico (absorbância de 590 nm) a partir de uma alíquota do extrato juntamente com solução sulfocrômica e aquecimento (Anderson & Ingram, 1993). Para o cálculo do C microbiano, utilizou-se a seguinte equação:

$$C-BM = (F - NF) / K_{EC},$$

onde:

C-BM = C da biomassa microbiana em μg de C por g de solo seco;

F = quantidade de C extraído na amostra fumigada em μg ;

NF = quantidade de C extraído na amostra não fumigada em μg ; e

K_{EC} = fator de eficiência de extração de C;

A partir do mesmo extrato, em Kjeldahl por destilação a vapor, foi determinado o N da biomassa microbiana pela equação:

$$N-BM = (F - NF) / K_{EN},$$

onde:

N-BM = N da biomassa microbiana μg de N por g de solo seco

F = quantidade de N extraído na amostra fumigada em μg

NF = quantidade de N extraído na amostra não fumigada em μg

K_{EN} = fator de eficiência de extração de N.

Para a determinação do C-BM, foi utilizado K_{EC} de 0,26 determinado especificamente para solos da Amazônia (Feigl et al, 1995). O fator utilizado para a determinação do N microbiano foi $K_{EN} = 0,54$

(Brookes et al, 1985; Joergensen & Mueller, 1996), que não muda muito de um solo para outro (Feigl, comunicação pessoal).

Os resultados de C e N-BMS foram expressos em micrograma (μg) de C e N por grama de solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas.

1.3.2.4 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo

A respiração basal da biomassa microbiana (CO_2 -BMS) foi estimada em condições de laboratório, por um sistema estático de medição do CO_2 , em amostras livres de raízes e possíveis insetos, submetidas à incubação no escuro por 10 dias, sem haver troca de ar, em recipiente contendo NaOH 0,5 M à temperatura de cerca de 25° C (Jenkinson & Powlson, 1976a).

1.3.2.5 - Umidade do solo

Foram determinadas as umidades gravimétrica e volumétrica do solo de cada sítio estudado. A umidade volumétrica foi estimada através de um sensor de umidade do solo, Theta-Probe do tipo ML1 (Delta-T Devices LTD, Cambridge, England UK) (Tabela 3). A umidade gravimétrica foi determinada segundo Embrapa (1997).

1.3.2.6 - Determinação das características químicas do solo

O C e N totais do solo foram determinados pelo analisador de C e N (marca Carlo Erba, modelo NCS 2500). O C orgânico foi determinado por colorimetria (absorbância de 600 nm) a partir da oxidação da matéria orgânica com solução sulfocrômica e aquecimento (Baker, 1976⁸, citado por Anderson e Ingram, 1993).

P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Al, Fé e Na foram analisados no laboratório de Solos do Instituto de Florestas da Universidade da Flórida. Foi utilizado o extrator Mehlich-1 e os elementos foram determinados pelo equipamento ICP (Espectroscópio de plasma de argônio induzidamente acoplado) (Tabela 4)

O pH foi medido com potenciômetro na relação solo:água 1: 2,5 conforme Embrapa (1997).

⁸ BAKER, K. F. The determination of organic carbon in soil using a probe-colorimeter. Laboratory practice, v. 25, p. 82-83, 1976.

1.3.2.7 - Índices e relações calculados

Foram determinados as seguintes relações a partir dos resultados de BMS:

Relação C microbiano: C total do solo - indica a fração de carbono orgânico que está incorporado na BMS (expresso em porcentagem); e

Quociente metabólico (qCO_2) - representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de biomassa por tempo (μg de CO_2 μg C-BM⁻¹ h⁻¹). O qCO_2 também é denominado de taxa respiratória específica da biomassa microbiana -TRBM (Gama-Rodrigues, 1999).

1.3.2.8 - Análise estatística

O programa estatístico utilizado foi o Sigma Stat versão 2.0 (Jandel Scientific Software, 1994).

No capítulo 2, os dados da cronossequência foram submetidos à análise de variância de medidas repetidas com o auxílio do programa estatístico Sigma Stat versão 2,0 (Jandel Scientific Software, 1994). Foram analisados os dados de umidade gravimétrica, C-orgânico, C, N da biomassa microbiana do solo, respiração basal, e relações $C_{MIC}:C_{ORG}$ e qCO_2 relativos a BMS para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm para as coletas de novembro de 2000 e abril de 2001.

O Capítulo três aborda a resposta da BMS ao tratamento de irrigação durante a época seca. A análise de variância e teste de médias inclui os resultados obtidos em novembro de 2000 e abril de 2001 (Capítulo 2), na profundidade de 0-10 cm, permitindo uma avaliação mais acurada do efeito do tratamento.

Tabela 3 - Umidade volumétrica (Uv %) e umidade gravimétrica (Ug %) do solo das vegetações secundárias de 2, 6 e 14 anos.

Idade (anos)	Época de coleta			
	Seca		Chuva	
	Uv (%)	Ug (%)	Uv (%)	Ug (%)
2	0,065 ± 0,010	7 ± 0,3	0,217 ± 0,02	13 ± 5,0
6	0,044 ± 0,005	8 ± 0,3	0,270 ± 0,03	24 ± 1,0
14	0,114 ± 0,02	13 ± 0,3	0,322 ± 0,07	28 ± 1,0

Tabela 4. Propriedades químicas do solo sob vegetação secundária de 2, 6 e 14 anos.

Idade da vegetação secundária (anos)	Profundidade (cm)	pH em água	C-	N-	P	Ca	Mg	K	Al	Zn	Cu	Mn	Fe	Na
			total	total										
			— g kg ⁻¹ —	— g kg ⁻¹ —	mg dm ⁻³	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —	— Cmol _c kg ⁻¹ —
2	0-5	5.4	15,20	0,90	2.20	2,4	0,3	0,06	0,6	1.70	0.35	7.50	38	9
	5-10	4.9	17,20	1,10	1.53	1,4	0,3	0,05	1,0	1.09	0.45	3.28	73	8
6	0-5	5.2	18,40	1,40	1.80	2,0	0,4	0,05	1,0	1.60	0.20	7.89	44	10
	5-10	5.0	15,20	1,10	1.60	1,7	0,3	0,04	1,4	1.38	0.34	4.81	74	11
14	0-5	5.0	28,90	1,70	1.56	1,7	0,5	0,05	2,3	1.45	0.37	5.29	57	15
	5-10	5.1	19,80	1,40	5.13	1,4	0,4	0,05	3,2	1.38	0.44	3.47	66	14

1.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, I. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, UK, 1993.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, v. 130, p. 211-216, 1980.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, p. 215-221, 1978.
- BARDGETT, R. D.; LOVEL, R. D.; HOBBS, P. J.; JARVINS, S. C. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperature grasslands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1021-1030, 1999.
- 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 I soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.
- CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J. L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento**

- sustentado.** ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.), Viçosa : SBCS; UFV, DPS, 1996. 930 p.
- CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 1-4, 1985.
- COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. Academic Press, London, 1996. 201 p.
- CORREA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.), Porto Alegre: Genesis, 1999. 508 p.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C. N e P na biomassa microbiana do solo. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.), Porto Alegre: Genesis, 1999. 508 p.
- DIAZ-RAVIÑA, M.; CARBALLAS, T.; ACEA, M. J. Microbial biomass and metabolic activity in four acid soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 817-823, 1988.
- DOMMERGUES, Y. R.; BELSER, L. W.; SCHMIDT, E. L. Limiting factors for microbial growth and activity in soil. **Advances in Microbial Ecology**, v. 2, p. 49-104, 1978.
- EMBRAPA **Manual de métodos de análise de solo** / CNPS.-2. ed. atual.- Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia. In: **Ecologia Microbiana**. MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. de (Eds.), Jaguariúna: Embrapa - CNPMA, 1998. 488 p.
- FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.
- GALLARDO, A.; SCHLESINGER, W. H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction method in a warm-temperate forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 927-932, 1990.
- GAMA RODRIGUES, E. F. **Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí: comparação entre os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração**. Tese de mestrado. Departamento de Solos - Instituto de Agronomia - UFRRJ. Seropédica, RJ, 1992. 108p.
- GAMA RODRIGUES, E. F.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono em solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 427-432, 1994.



- GAMA RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.), Porto Alegre: Genesis, 1999. 508 p.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 361 - 365, 1997.
- GERALDES, P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 55-60, 1995.
- GREGORICH, E. G.; WEN, G.; VORONEY, R. P.; KACHANOSKI, R. G. Calibration of rapid direct chloroform extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 1009-1011, 1990.
- GRISI, B. M.; GRAY, T. R. G. Biomassa microbiana de solo estimada do biovolume com uso da microscopia de fluorescência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 131-138, 1985.
- GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 777-786, 1988.
- HALVORSON, J. J.; SMITH, J. L.; FRANZ, E. H. Lupine influences on soil carbon nitrogen and microbial activity in developing ecosystems at Mount St. Helen. **Oecologia**, v. 87, p. 162-170, 1991.
- INSAM, H.; HASELWANDTER, K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. **Oecologia**, v. 79, p. 174-178, 1989.
- INSAM, H.; PARKINSON, D.; DOMSCH, K. H. Influence of macroclimate on soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, p. 211-221, 1989.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: **Soil Biochemistry**. PAUL, E. A.; LADD, J. N. Vol. 5, New York, Marcel Dekker, 1981.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. Residual effects of soil fumigation on soil respiration and mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 2, p. 99-108, 1976a.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 167-177, 1976b.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976c.
- JOERGENSEN, R. G.; MUELLER, T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EN} value. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 33-37, 1996.
- LODGE, D. J.; McDOWELL, W. H.; McSWINEY, C. P. The importance of nutrient pulses in tropical forests. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 384-387, 1994.

- LUIZÃO, R. C. C. **Variações temporais da biomassa microbiana e aspectos da ciclagem do nitrogênio em solos de floresta natural e de sistemas manejados na Amazônia Central.** Dissertação de mestrado. PPG INPA/FUA. 1989. 67p.
- LUIZÃO, F. J.; LUIZÃO, R. C. C.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; PALHETA, C. Qualidades do solo sob sistemas agroflorestais instalados em áreas de floresta e capoeira na Amazônia Central. **III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais.** Manaus, AM. Resumos, p. 271-273, 2000 a.
- LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; SILVA, G. C. da; SOUSA, L. de S. Manipulação da liteira em vegetação secundária e seu efeito sobre a biomassa microbiana do solo. In: **Simpósio Brasileiro de Microbiologia do solo**, 6, FertBio, Santa Maria, RS, 2000.
- LUIZÃO, R. C. 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 Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 805-813, 1992.
- LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; SILVA, G. C. da; SOUSA, L. de S. Manipulação da liteira em vegetação secundária e seu efeito sobre a biomassa microbiana do solo. In: **Simpósio Brasileiro de Microbiologia do solo**, 6, FertBio 2000, Santa Maria, RS, 2000.
- MARCHIORI Jr., M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 257-263, 1999.
- MARCHIORI Jr., M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, p. 1177-1182, 2000.
- MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (THORNTON, MATHER). **Sudam/Embrapa**. 1993.
- MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, p. 469-475, 1982.
- OADES, J. M.; JENKINSON, D. S. Adenosine triphosphate content of the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 11, p. 201-204, 1979.
- ODUM, E. P. The strategy of ecosystems development. **Science**, v. 164, p. 262-270, 1969.
- OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 863-871, 2001.
- OHTONEN, R.; FRITZE, H.; PENNANEN, T.; JUMPPONEN, J.; TRAPPE, J. ecosystem properties and microbial community changes in primary succession on a glacier forefront. **Oecologia**, v.119, p. 239-246, 1999.

- PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 31-37, 1992.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 159-164, 1987.
- RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado**. ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). Viçosa : SBCS, UFV, DPS, 1996. 930 p.
- ROSS, D. J. Soil microbial biomass estimate by the FI procedure: Seasonal fluctuations and influence of soil moisture content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 397-404, 1987.
- SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Carbon and phosphorus in the soil biomass of some tropical soils of Índia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 743-747, 1998.
- SANTRUCKOVA, H. Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. **Pedobiology**, v. 36, p. 341-350, 1992.
- SANTRUCKOVA, H.; STRASKRABA, M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, p. 525-532, 1991.
- SCHNÜRER, J.; CLARHOLM, M.; ROSSWALL, M. Microbial biomass and activity in agricultural soil with different organic matter contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, p. 611-618, 1995.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e Perspectivas**. Brasília: MEC, ABEAS, Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236 p.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. EMBRAPA-SPI, Brasília DF, 1994. 142 p.
- SRIVASTAVA, S. C. Microbial C, N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 711-714, 1992.
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.
- TENÓRIO, A. R. M.; GRAÇA, J. J. C.; GOES, J. E. M.; MENDEZ, J. G. R.; GAMA, J. R. N. F.; SILVA, P. R. O.; CHAGAS, P. S. M.; SILVA, R. N. P.; AMERICO, R. R.; PEREIRA, W. L. M. Mapeamento dos solos da Estação de Piscicultura de Castanhal. Belém, FCAP. Serviço de documentação e Informação, **Informe técnico 25**, p. 1-27, 1999.

- TEIXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. de. **Biomassa vegetal e carbono orgânico em capoeiras e agroecossistemas no nordeste do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 21p.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987a.
- WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: **Avanços obtidos nos estudos sobre microrganismos de importância agrícola**. ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Eds.), Brasília : Embrapa. SPI, 1994. 236 p.
- WARDLE, D. A; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: **Avanços obtidos nos estudos sobre microrganismos de importância agrícola**. ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Eds.), Brasília : Embrapa. SPI, 1994. 236 p.
- WARDLE, D. A.; GHANI, A. Why is the strength of relationships between pairs of methods for estimating soil microbial biomass often so variable? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 821-828, 1995.
- WEST, A. W.; SPARLING, G. P.; SPEIR, F. W.; WOOD, J. M. Dynamics of microbial C, N-flush and ATP, and enzyme activities of gradually dried soils from climosequence. **Australian Journal of Soil Research**, v. 26, p. 519-530, 1988.
- YANG, J. C.; INSAM, H. Microbial biomass and relative contributions of bacteria and fungi in soil beneath tropical rain forest, Hainan Island, China. **Journal of Tropical Ecology**, v. 7, p. 385-393, 1991.
- WICK, B.; KÜHNER, R. F.; VIELHAUER, K.; VLEK, P. L. G.; Temporal variability of selected soil microbiological and biochemical indicators under different soil quality conditions in south-wester Nigeria. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 155-167, 2002.

CAPÍTULO 2

CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA DE DIFERENTES IDADES NA AMAZÔNIA ORIENTAL

CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA DE DIFERENTES IDADES NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO: A biomassa microbiana do solo (BMS) é um importante componente em ecossistemas de florestas, sua estimativa avalia o tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo, pois disponibiliza nutrientes para as plantas e é responsável pela decomposição da matéria orgânica. O trabalho teve como objetivo estimar a BMS de um Latossolo Amarelo Concrecionário sob vegetações secundárias de idades de 2, 6 e 14 anos em duas estações climáticas na Amazônia Oriental. Foi utilizado o método da Fumigação-extração para estimar o carbono (C-BMS) e o nitrogênio (N-BMS) contidos na biomassa microbiana e índices como o quociente metabólico (qCO_2) e relação Cmicrobiano:Corgânico ($C_{MIC}:C_{ORG}$) obtidos através de resultados da BMS e respiração basal da BMS, para serem utilizados como parâmetros cinéticos. A umidade do solo foi significativamente menor na estação seca (12,9 %) do que na estação chuvosa (28,5 %). O C-BMS foi estatisticamente maior na época seca (469 - 1033 $\mu g\ g^{-1}$ solo) em relação à época chuvosa (174 - 368 $\mu g\ g^{-1}$ solo), apresentando a vegetação secundária de 14 anos os maiores valores durante a época seca. Durante a estação chuvosa não houve diferença significativa entre os valores de C-BM das vegetações secundárias de diferentes idades. Os valores médios do N-BMS foi significativamente maior durante a estação seca (33 - 63 $\mu g\ g^{-1}$ solo) em relação à chuvosa (26 - 55 $\mu g\ g^{-1}$ solo) e a vegetação secundária de 14 anos também apresentou valor significativamente maior em relação às demais vegetações secundárias que não diferiram entre si. A respiração basal apresentou valores estatisticamente maiores na estação chuvosa (1,93 - 2,98 $\mu g\ C-CO_2\ g^{-1}$ solo h^{-1}) e na vegetação secundária de 14 anos em relação às demais que não diferiram entre si. Durante a época seca não houve diferença entre as idades (1,98 - 2,15 $\mu g\ C-CO_2\ g^{-1}$ solo h^{-1}). O qCO_2 foi estatisticamente superior durante a estação chuvosa (0,008 a 0,019) comparados à estação seca (0,002 a 0,005) e as vegetações secundárias de 2 e 6 anos apresentaram valores estatisticamente maiores em relação à vegetação secundária de 14 anos. A relação $C_{MIC}:C_{ORG}$ foi maior durante a época seca (valores médios 10,32 %) em relação à época chuvosa (2,19 %). Os resultados sugerem mudança na comunidade microbiana do solo e indicaram maior eficiência da BMS em imobilizar um considerável teor de C durante a época seca.

Palavras-Chave: biomassa microbiana, fumigação-extração, C-microbiano, N-microbiano, vegetação secundária.

CARBON, NITROGEN AND MICROBIAL BIOMASS ACTIVITY IN A SECONDARY VEGETATIONS IN EASTERN AMAZÔNIA

ABSTRACT: Soil microbial biomass is an important component of forest ecosystems and its measurement provides an estimate of the size of the most dynamic fraction of soil organic matter and associated nutrients. We measured soil microbial biomass in a fourteen-year-old regrowth forest in eastern Amazonia (Pará, Brazil) during early November 2000 (dry season) and late April 2001 (wet season). Microbial biomass carbon (C_{mic}), microbial biomass nitrogen (N_{mic}) were determined using the fumigation-extraction method and respiration an adaptation of the fumigation-incubation method. I was also calculated the metabolic quotient (respiration: C_{mic} ratio, qCO_2) and the soil microbial carbon:soil organic carbon ratio ($C_{mic}:C_{org}$). During the dry season, soil moisture was significantly lower (12.9 %) than in the wet season (28.5 %). C_{mic} was significantly higher in the dry (469 - 1033 $\mu g\ g^{-1}$) than in the rainy season (174 - 368 $\mu g\ g^{-1}$). N_{mic} as C_{mic} , was significantly higher in the dry season (33 - 63 v. 26 - 55 $\mu g\ g^{-1}$); $C_{mic}:C_{org}$ showed the same pattern (10.32 v. 2.19 %). However, microbial respiration was significantly higher in the rainy than in the dry season (1.93 - 2.98 v. 1.98 - 2.15 $\mu g\ C-CO_2\ g^{-1}\ soil\ hr^{-1}$), and rainy season qCO_2 values (0.008 - 0.019) were also significantly higher than dry season values (0.002 - 0.005). Our results indicate that soil moisture influences soil microbial biomass that was more efficient during the dry season due to substantial carbon immobilization during this period. The increase in qCO_2 in the rainy season suggests a higher carbon mineralization by the soil microbial biomass, which became less efficient in this period

2.1 - INTRODUÇÃO

A biomassa microbiana do solo é um importante componente de ecossistemas florestais, pois é fonte potencial de nutrientes para as plantas e é o compartimento de mais rápida ciclagem que ocorre na matéria orgânica. A sua quantificação é essencial para estudos da dinâmica de nutrientes e da matéria orgânica, facilitando o entendimento dos processos biológicos em solos. Estimativas da biomassa microbiana do solo permite aferir o acúmulo ou perda de carbono (C) e nitrogênio (N), assim como de nutrientes como o nitrogênio contido na sua biomassa que constitui uma parte significativa e potencialmente disponível para as plantas (Marumoto et al, 1982; Gallardo & Schlesinger, 1990). Estimativas de C e N da biomassa microbiana do solo (C-BMS e N-BMS) juntamente ao carbono orgânico e nitrogênio total do solo e respiração basal da biomassa microbiana, fornecem índices que podem funcionar como parâmetros cinéticos para o estudo da dinâmica do C e N do solo.

A relação C microbiano: C orgânico do solo classifica a biomassa microbiana quanto ao seu grau e potencial de decomposição da matéria orgânica no solo, quando integrada a outros dados relacionados em um mesmo estudo. Um outro parâmetro cinético utilizado para avaliar e classificar a biomassa microbiana quanto à sua eficiência em decompor a matéria orgânica do solo é o quociente metabólico (qCO_2), que representa a quantidade de CO_2 liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo (Santruckova & Straskraba, 1991). Essa variável geralmente diminui com o tempo de sucessão (Insam & Haselwandter, 1989), pois, na medida em que o ecossistema se desenvolve, ocorrem melhores condições de sobrevivência para os microrganismos, reduzindo e estabilizando a energia requerida para a manutenção da comunidade microbiana.

O presente trabalho tem o objetivo de determinar e comparar a quantidade de C e N contidos na BMS e sua atividade em uma cronossequência (2, 6 e 14 anos) de vegetações secundárias nas estações climáticas seca e chuvosa na Amazônia Oriental, assim como sua eficiência em utilizar a energia do solo durante essas épocas. Esperam-se encontrar quantidades crescentes de C e N da BMS de acordo com o acúmulo de fitomassa e maior tamanho e atividade de BMS durante estação chuvosa.

2.1 - MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1- Coleta e preparo das amostras.

Foram coletadas amostras de um Latossolo Amarelo distrófico Concrecionário sob vegetações secundárias de diferentes idades (2, 6 e 14 anos após abandono), localizadas na Estação Experimental da FCAP, em Castanhal (PA), nas épocas seca (novembro de 2000) e chuvosa (abril de 2001). Nas vegetações secundárias de 2 e 6 anos, foram estabelecidas 4 parcelas de 10 x 10 m e, na vegetação secundária de 14 anos, 12 parcelas de 20 x 20 m. Foi coletada uma amostra composta de 5 amostras simples por parcela. A coleta foi realizada através de trincheiras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Após a coleta, as amostras foram destorroadas manualmente, passadas em peneira de 2,00 mm de malha e homogeneizadas. Foram retirados resíduos visíveis de plantas e animais antes do acondicionamento das amostras em sacos plásticos sob refrigeração (4 °C) até o momento da extração para análise.

A umidade das amostras coletadas na época seca foi elevada para 60-70 % da capacidade máxima de retenção de água com a adição de 3 mL de água após homogeneização e peneiramento. As amostras da estação chuvosa foram secas ao ar por uma noite para facilitar o peneiramento e apresentavam umidade próxima a 60% da capacidade máxima de retenção após homogeneização e peneiramento. A umidade gravimétrica do solo foi determinada segundo Embrapa (1997).

2.2.2 - Determinação das características do solo

As características químicas do solo das três áreas estudadas encontram-se na Tabela 1. O C e N totais do solo foram determinados pelo analisador de C e N (marca Carlo Erba, modelo NCS 2500). O C orgânico foi determinado por colorimetria (absorbância de 600 nm) a partir da oxidação da matéria orgânica por solução sulfocrômica e aquecimento (Baker, 1976⁹, citado por Anderson e Ingram, 1993). As análises de P, K, Ca, Mg e Al foram determinadas pelo extrator Mehlich-1 e ICP (Espectroscópio de plasma de argônio induzidamente acoplado). O pH foi determinado em potenciômetro na relação solo:água de 1:2,5, conforme Embrapa (1997).

⁹ BAKER, K. F. The determination of organic carbon in soil using a probe-colorimeter. **Laboratory practice**, v. 25, p. 82-83, 1976.

2.2.3 - Determinação do carbono e nitrogênio da BMS

Foi utilizado o método da fumigação-extração para a determinação do C (Vance et al, 1987; Tate et al, 1988) e N (Brookes et al, 1985) da BMS. A extração foi realizada com K_2SO_4 (0,5 M) em amostras não fumigadas e fumigadas em clorofórmio livre de álcool (a vácuo) por 48 horas.

O C microbiano foi determinado pelo método colorimétrico conforme citado anteriormente e o N microbiano pelo método Kjeldahl (Capítulo 1, Item 1.3.2.3). O K_{EC} utilizado foi igual a 0,26 (Feigl et al, 1995) e o K_{EN} igual a 0,54 (Brookes et al, 1985; Joergensen & Mueller, 1996). Os resultados de C e N-BMS foram expressos em micrograma (μg) de C e N por grama de solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas.

2.2.4 - Determinação da respiração basal da biomassa microbiana

A respiração basal da biomassa microbiana ($\mu g \text{ C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) foi estimada em laboratório por um sistema estático de medição de CO_2 . Amostras de 20 g foram incubadas no escuro por 10 dias, sem aeração, em recipiente contendo NaOH 0,5M à temperatura de cerca de 25° C (Jenkinson & Powlson, 1976).

2.2.5 - Índices e relações calculados

O quociente metabólico (qCO_2) (Santruckova & Straskraba, 1991), também denominado taxa respiratória da biomassa microbiana (TRBM), conforme Gama-Rodrigues (1999), foi calculado a partir da respiração basal da biomassa microbiana e do C da biomassa microbiana. O qCO_2 representa a quantidade de CO_2 liberado pela BMS por unidade de biomassa por tempo ($\mu g \text{ de } CO_2 \mu g \text{ C-BM}^{-1} \text{ h}^{-1}$). A relação $C_{MIC}:C_{ORG}$, expressa em porcentagem, indica a fração de carbono orgânico que está incorporado na BMS.

2.2.6 - Análise estatística

Foram realizados análise de variância de medições repetidas e teste de médias (Tukey) para o C-BM, N-BM, CO_2 -BM, qCO_2 e relação $C_{MIC}:C_{ORG}$, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm separadamente, para os fatores idade de vegetação secundária e estações climáticas. Foi utilizado o programa estatístico Sigma Stat versão 2.0 (Jandel Scientific Software, 1994).

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo sob vegetações secundárias de 14 anos.

Idade da vegetação secundária (anos)	Profundidade (cm)	pH em água	C-total -----g kg ⁻¹ -----	N-total	P mg dm ⁻³	Ca	Mg	K	Al
2	0 - 5	5,4	15,20	0,90	2,20	2,4	0,3	0,06	0,6
	5 - 10	4,9	17,20	1,10	1,53	1,4	0,3	0,05	1,0
6	0 - 5	5,2	18,40	1,40	1,80	2,0	0,4	0,05	1,0
	5 - 10	5,0	15,20	1,10	1,60	1,7	0,3	0,04	1,4
14	0 - 5	5,0	28,90	1,70	1,56	1,7	0,5	0,05	2,3
	5 - 10	5,1	19,80	1,40	5,13	1,4	0,4	0,05	3,2

2.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 - Umidade do solo

A análise de variância da umidade gravimétrica do solo revelou diferenças significativas entre as idades ($P < 0,001$), estações climáticas ($P < 0,001$) e interação entre idade e estações climáticas ($P < 0,01$). O solo sob vegetação secundária de 14 anos apresentou maior teor de umidade durante a época chuvosa (28%), enquanto que o solo sob vegetação secundária de dois anos apresentou menores teores na estação seca (7,5%), mostrando a influência da chuva e da cobertura vegetal sobre a manutenção da umidade do solo (Figura 1).

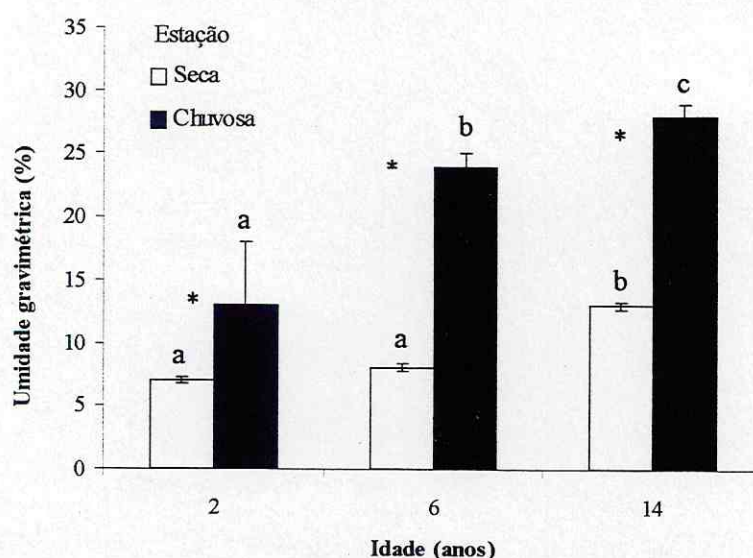


Figura 1. Variação da umidade gravimétrica (profundidade de 0-10 cm) do solo sob uma cronossequência de vegetação secundária ($n = 12$ para a vegetação secundária de 14 anos e $n = 4$ para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos) * mostra que houve diferença significativa dos resultados obtidos entre as épocas de coleta; médias seguidas por letras iguais dentro de cada estação não diferem estatisticamente entre si (teste Tukey 5%). Barras verticais representam \pm o erro padrão.

2.3.2 - Carbono orgânico do solo

O carbono orgânico do solo (C-org) apresentou diferença significativa apenas entre as idades de vegetação secundária e entre as estações climáticas ($P < 0,05$) na profundidade de 0-5 cm, não apresentando interação entre idade e época de coleta (Tabela 2). Para a profundidade de 5-10 cm, o C-org do solo não foi afetado significativamente pelas fontes de variação, porém seguiu a mesma tendência dos resultados da profundidade de 0-5 cm (Tabela 3).

Os maiores valores foram encontrados nas vegetações secundárias de 6 e 14 anos. Esses valores de C-org não diferiram estatisticamente entre si, mas apresentaram tendência crescente de acordo com a idade. Vieira (1996) encontrou estoques crescentes em uma cronossequência sob solo amazônico, e atribuiu esses resultados ao aumento da fitomassa e produção de matéria orgânica bruta com a sucessão.

Em relação às épocas de coleta, as maiores médias de C-org foram encontradas durante a época chuvosa (1,0 a 1,8 %), os menores teores foram encontrados na coleta realizada na estação seca (0,7 a 1,2 %) (Tabela 2). O aumento no teor de C orgânico com a elevação da precipitação pluviométrica em solos amazônicos também foi constatado por Demattê & Demattê (1993).

Tabela 2 - Carbono orgânico do solo (%) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa ($n = 12$ para a vegetação secundária de 14 anos e $n = 4$ para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação		Média
	Seca	Chuvosa	
2	0,7 \pm 0,3	1,0 \pm 0,1	0,8 a
6	0,9 \pm 0,1	1,5 \pm 0,3	1,2 b
14	1,2 \pm 0,1	1,8 \pm 0,2	1,5 b
Média	0,93 A	1,46 B	

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

Tabela 3 - Carbono orgânico (%) em solo sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa. (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	0,6 ± 0,2	1,0 ± 0,4
6	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,2
14	1,0 ± 0,1	1,5 ± 0,1

Médias seguidas de ± erro padrão.

2.3.3 - Carbono da biomassa microbiana do solo

A ANOVA revelou efeito significativo entre idades de vegetação secundária ($P < 0,01$), estações climáticas ($P < 0,001$) e interação entre idades e estações climáticas ($P < 0,05$) sobre o C-BMS, para ambas as profundidades estudadas. Os resultados apresentaram tendência de aumento do conteúdo de C-BMS de acordo com o aumento da idade da vegetação secundária. Para a coleta realizada na época chuvosa, não houve diferença estatística entre as idades nas duas profundidades estudadas, não apresentando a influência da vegetação neste período (tabelas 4 e 5).

Os resultados de C-BM variaram de 504 a 1033 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo na profundidade de 0-5 cm (Tabela 4) e de 469 a 841 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo na profundidade 5-10 cm (Tabela 5) durante a estação seca. Na estação chuvosa, os valores ficaram entre 265 e 368 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo e 174 e 254 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Tais conteúdos de C-BMS estão de acordo com valores encontrados na literatura. Em solos sob florestas primárias na Amazônia, Pfenning et al (1992) encontraram valores de 429 a 817 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo (profundidade de 0-5 cm), Geraldtes et al (1992) relataram valor médio de 476 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo (profundidade de 0-10 cm) e Feigl et al (1995) encontraram valores de 823 a 1108 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo (profundidade de 0-10 cm). Davidson et al. (no prelo) encontraram valores de 280 a 1500 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo para solos sob vegetação secundária em Paragominas, Pará.

Geralmente, o C-BM se correlaciona positivamente com a umidade do solo, pois se sugere que com o aumento da disponibilidade de água aumentaria a atividade microbiana, por proporcionar condições favoráveis ao crescimento microbiano. Entretanto, no presente estudo, o C-BMS foi maior durante a estação seca. Ross (1987), Srivastava & Singh (1988) e Srivastava (1992) também encontraram correlação negativa entre C-BMS e a umidade do solo. Esses resultados podem estar relacionados à ocorrência de

nutrientes prontamente disponíveis da BMS morta e a intensificação da queda de folhas que ocorre durante a época seca aliados a eventos de chuva proporcionando umidade adequada para o aumento da biomassa microbiana e variação na comunidade microbiana do solo. Bardgett et al (1999) relataram que, em solos de pastagem, a BMS apresentou alto grau de sazonalidade, com valores máximos no verão, onde a umidade do solo foi mais baixa e valores mínimos no inverno, onde a umidade do solo foi mais alta. Entretanto esses resultados podem estar relacionados mais à temperatura do que à própria umidade do solo, visto que se trata de clima temperado. Luizão et al (1992) não encontraram variação sazonal significativa no tamanho da BMS na Amazônia. O ritmo sazonal da disponibilidade de nutrientes associado à decomposição ocorrente em florestas tropicais caracterizados por altas taxas de "litterfall" e baixas taxas de decomposição, causam um acúmulo de matéria orgânica bruta do solo durante a estação seca (Cornejo et al, 1994). Além disso, com o estresse hídrico do solo, ocorre a morte de microrganismos que acentuam a quantidade de nutrientes prontamente disponíveis para a BMS (Lodge et al, 1998). A ocorrência desses dois fatores e uma eventual chuva ocorrida dias antes do momento de amostragem no período seco pode ter causado estímulo ao crescimento da BMS.

Uma maior densidade de fungos e esporos de fungos em relação à densidade de bactérias durante o período seco pode ser uma explicação coerente para os elevados valores de BMS. O tecido bacteriano é mais rico em proteínas que o de fungos e, conseqüentemente, maior densidade de bactérias mostra uma relação C/N microbiana mais reduzida (Anderson & Domsch, 1980; Brady, 1989). Ross (1987) caracterizou a composição de C e N de microrganismos do solo e encontrou teores de 53,7 e 2,44 % de C e N totais respectivamente para *Penicillium novae-zeelandiae*, enquanto que *Pseudomonas* sp. apresentou teores de 43,8 % de C e 12,9 % de N. Estudando os efeitos da irrigação durante a época seca na estrutura da comunidade microbiana de solos tropicais, Cornejo et al (1994) relataram que a densidade de fungos diminuiu com a irrigação, assim como a população de 3 das 8 espécies estudadas separadamente.

Os altos valores de C da BMS encontrados na estação seca podem decorrer de um aumento na população de fungos ou de uma alta densidade de esporos de fungos (Dommergues et. al, 1978). Na região do Nordeste paraense normalmente ocorre maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares durante a época seca (Elizabeth Ying Chu, comunicação pessoal). Condições de seca aumentam a comunidade fúngica, reforçando a idéia de que durante a época seca houve um aumento na densidade de fungos na comunidade microbiana do solo.

Tabela 4 - Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	504 \pm 109 Aa	265 \pm 19 B
6	604 \pm 110 Aa	263 \pm 30 B
14	1033 \pm 88 Ab	368 \pm 33 B

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

Tabela 5 - Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	469 \pm 32 Aa	207 \pm 38 B
6	556 \pm 107 Aa	174 \pm 28 B
14	841 \pm 55 Ab	254 \pm 20 B

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

2.3.4 - Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

A ANOVA revelou efeitos significativos de idade ($P < 0,001$) para as duas profundidades e estação ($P < 0,05$) para a profundidade de 0-5 cm e $P < 0,01$ para profundidade 5-10 cm na época chuvosa). Não houve efeito significativo da interação idade x estação. Os valores encontrados na estação seca foram significativamente maiores e variaram de 33 a 59 $\mu\text{g N g}^{-1}$ solo e de 38 a 63 $\mu\text{g N g}^{-1}$ solo para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente e, durante a época chuvosa, os resultados encontrados variaram de 26 a 55 $\mu\text{g N g}^{-1}$ solo para a profundidade de 0-5 cm (Tabela 6) e 27 a 52 $\mu\text{g N g}^{-1}$ para a

profundidade de 5-10 cm (Tabela 7). Tais resultados sugerem a mesma tendência do C microbiano (Tabelas 4 e 5) e estão de acordo com Gallardo & Schlesinger (1990) que encontraram valores médios de $41 \mu\text{g N g}^{-1}$ (para profundidade de 0-10 cm) em solo sob floresta de 200 anos na Carolina do Norte. Estudos realizados em solos sob floresta primária na Amazônia brasileira mostraram variação de N-BMS entre 35 e $74 \mu\text{g N g}^{-1}$ de solo (Gerald et al, 1990; Feigl et al, 1995). Davidson et al. (no prelo) encontraram valores de 50 a $80 \mu\text{g N g}^{-1}$ de solo para solos sob vegetação secundária em Paragominas, Pará.

A diminuição do N-BM com o aumento da umidade do solo pode resultar na elevação das taxas de mineralização de N durante a estação chuvosa, como mostrado por Gorhan & Zarin (2001) nas mesmas áreas de estudo do presente trabalho. Gama-Rodrigues et al (1997a) encontraram correlação negativa e significativa entre o N-BM e o N mineral do solo, indicando que, quanto maior for a mineralização de N no solo, menor será o seu acúmulo na BMS. Assim, sugere-se que durante a época seca o N-BMS estava sendo mais imobilizado do que mineralizado. Em florestas tropicais úmidas estudos mostraram que flutuações na disponibilidade de nutrientes no solo são determinadas por secas sazonais (Lodge et al, 1994). Luizão et al (1992) encontraram que a reumidificação do solo por eventos de chuva em épocas secas resultam tanto na imobilização do N ou em um grande aumento de mineralização deste elemento, dependendo de como se encontram as condições da BMS e o estoque de carbono orgânico do solo.

Tabela 6. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$ solo seco) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação		Média
	Seca	Chuvosa	
2	33 ± 5	26 ± 2	30 a
6	48 ± 3	32 ± 4	40 a
14	59 ± 3	55 ± 4	57 b
Média	47 A	38 B	

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

Tabela 7 - Nitrogênio da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$ solo seco) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação		Média
	Seca	Chuvosa	
2	38 ± 4	27 ± 2	33 a
6	42 ± 5	27 ± 2	34 a
14	63 ± 4	52 ± 5	57 b
Média	48 A	35 B	

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

2.3.5 - Respiração basal

A ANOVA não apresentou efeito significativo de idades de vegetação secundária, havendo efeitos de estações climáticas ($P < 0,05$ para profundidade de 0-5 cm e $P < 0,01$ para profundidade de 0-10 cm) e de interação idades de vegetação x estações climáticas ($P < 0,05$).

Os maiores valores de respiração basal foram encontrados na época chuvosa e variaram de 1,93 a 2,99 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1} de 0-5 cm (Tabela 8) e de 1,93 a 2,67 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1} de 5-10 cm (Tabela 9). Na época seca, os valores encontrados variaram de 1,79 a 2,04 e 1,42 a 2,15 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1} para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Os valores obtidos nas duas estações foram superiores ao valor médio 0,81 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1} encontrado por Luizão et al (1992) para solo sob floresta e aos valores que Gama-Rodrigues et al (1994) relataram (0,35 a 0,70 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo h^{-1}) para diversos solos de Itaguaí (RJ). As diferenças encontradas em relação aos valores citados na literatura podem decorrer de diferenças nas condições edafo-climáticas e também dos métodos de análise da respiração basal entre os diversos estudos.

A respiração basal durante a estação chuvosa foi superior a da estação seca, de acordo com Luizão et al. (1992), sugerindo que a atividade microbiana foi estimulada pelo aumento da disponibilidade de água no solo. Por outro lado, menor atividade microbiana e elevada BMS durante o período seco indicam que, no momento da amostragem da época seca, a BMS estava imobilizando mais nutrientes em seu tecido do que mineralizando.

Tabela 8 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	$1,98 \pm 0,3 \text{ Aa}$	$1,93 \pm 0,2 \text{ Aa}$
6	$2,04 \pm 0,3 \text{ Aa}$	$2,40 \pm 0,1 \text{ Aab}$
14	$1,79 \pm 0,1 \text{ Aa}$	$2,99 \pm 0,2 \text{ Bb}$

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

Tabela 9 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	$2,15 \pm 0,3 \text{ A}$	$1,93 \pm 0,3 \text{ Aa}$
6	$1,84 \pm 0,3 \text{ A}$	$2,67 \pm 0,6 \text{ Ba}$
14	$1,42 \pm 0,1 \text{ A}$	$2,42 \pm 0,2 \text{ Ba}$

Médias seguidas de \pm erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

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

A ANOVA do $q\text{CO}_2$ revelou efeito significativo apenas da estação ($P < 0,001$) e da interação entre área x estação ($P < 0,05$, profundidade de 0-5 cm) (Tabela 10). Para a profundidade de 5-10 cm, houve diferença significativa entre as idades ($P < 0,001$) e entre estações ($P < 0,001$) (Tabela 11). Os valores de $q\text{CO}_2$ encontrados na estação seca variaram de 0,002 a 0,004 e 0,002 a 0,005 para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, e foram significativamente menores do que na estação chuvosa ($P < 0,001$),

onde os valores variaram de 0,008 a 0,010 entre 0 e 5 cm e 0,011 a 0,019 entre 5 e 10 cm de profundidade, evidenciando maior eficiência de BMS durante a época seca. Tais resultados evidenciam que a BMS foi mais eficiente em imobilizar C durante a época seca.

A BMS sob as vegetações secundárias de 2 e 6 anos apresentaram qCO_2 estatisticamente maiores em relação à da BMS sob vegetação secundária de 14 anos ($P < 0,05$) durante a época seca, porém, na época chuvosa, apenas a BMS sob vegetação secundária de 6 anos, na profundidade de 5-10 cm, apresentou qCO_2 significativamente maior em relação às outras, ou seja menor eficiência no seu uso de energia. Anderson & Domsh (1989) encontraram qCO_2 maior e mais variado em sítios novos do que em sítios maduros. Segundo Insan & Haselwandter (1989), o qCO_2 decresce com o tempo de sucessão em um ecossistema, pois, na medida em que o ecossistema se desenvolve, ocorrem mais condições para a sobrevivência dos microrganismos no solo, reduzindo a energia de manutenção requerida. Entretanto, mudanças na estrutura da comunidade microbiana (Ohtonen et al, 1999) e competição ou outras interações entre plantas e microrganismos (Kaye & Hart, 1997) podem contribuir substancialmente para os padrões de utilização da energia pela comunidade microbiana, sem estar diretamente relacionado com a sucessão, e sim a outros fatores como clima.

No presente estudo, os resultados de qCO_2 não foram suficientes para se obter alguma conclusão sobre a sucessão, apenas evidencia a diferença entre estações climáticas (estações). Os baixos valores de qCO_2 durante a época seca, confirmam a eficiência da BMS em imobilizar C e nutrientes neste período. Na época chuvosa, os elevados valores de qCO_2 sugerem que a BMS está mineralizando mais C do que imobilizando. A modificação na eficiência da BMS pode estar relacionada a mudanças na estrutura da comunidade microbiana do solo. Essa mudança está relacionada a sucessão com o tempo e com alterações no ambiente como mudanças sazonais do clima.

Mudanças no qCO_2 podem estar relacionadas com alterações na estrutura da comunidade microbiana (relação fungo/bactéria). Fungos são mais efetivos no uso de sua energia que bactérias, desenvolvendo uma grande biomassa inativa (Ohtonen et al, 1999). Assim, o aumento na eficiência no uso da energia promovida por fungos, e a sucessão ou desenvolvimento do ecossistema, resulta em um decréscimo do qCO_2 . Assim, os elevados conteúdos de C-BMS aliados ao baixo qCO_2 encontrados na época seca, sugerem também que durante a época seca havia maior densidade de fungos em relação a de bactérias. Entretanto é necessário o estudo de identificação das comunidades microbianas aliado ao qCO_2 para se tirar qualquer conclusão (Insam & Haselwandter, 1989).

Considerando a correlação negativa entre qCO_2 e C-BMS (Figura 2), sugere-se que, quanto mais eficiente a biomassa microbiana, menos carbono é perdido, portanto, maior proporção de C é incorporado ao tecido microbiano. Santruckova & Straskaba (1991) encontraram uma relação hiperbólica negativa da BMS com qCO_2 e concluíram que a respiração microbiana pode ter produzido níveis de carbono como

CO₂ que inibiram seu acúmulo na BMS. Gama-Rodrigues (1997b) também encontrou correlação negativa significativa entre o C-BM e o qCO₂ em solos de povoamentos de eucalipto de várias idades.

Tabela 10 - Quociente metabólico (qCO₂) da biomassa microbiana do solo sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa (n = 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	0,004 ± 0,0010 Aa	0,008 ± 0,0010 Ba
6	0,004 ± 0,0040 Aa	0,010 ± 0,0040 Ba
14	0,002 ± 0,0001 Ab	0,009 ± 0,0010 Ba

Médias seguidas de ± erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

Tabela 11 - Quociente metabólico (qCO₂) da biomassa microbiana do solo sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa (n= 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação		Média
	Seca	Chuvosa	
2	0,005 ± 0,002	0,011 ± 0,003	0,008 a
6	0,004 ± 0,002	0,019 ± 0,008	0,011 a
14	0,002 ± 0,001	0,011 ± 0,002	0,006 b
Média	0,003 A	0,014 B	

Médias seguidas de ± erro padrão. Letras minúsculas comparam médias entre idades de vegetação secundária (linhas) e letras maiúsculas comparam médias entre épocas de coleta (colunas). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

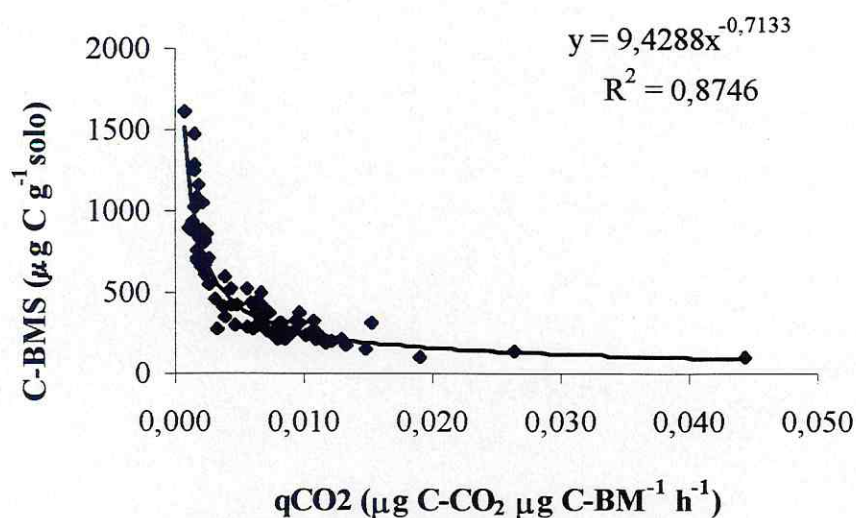


Figura 2- Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) em função do qCO2 (quociente metabólico).

2.3.7 - Relação carbono da biomassa microbiana: carbono orgânico ($C_{MIC}:C_{ORG}$)

A ANOVA revelou efeito significativo apenas da estação ($P < 0,01$) para ambas as profundidades estudadas. Os resultados da relação $C_{MIC}:C_{ORG}$ variaram de 2,19 % na época chuvosa (média das áreas) a 10,3 % na época seca, indicando uma maior imobilização de C pela BMS durante a época seca devido ao percentual elevado de C-org imobilizado na BMS. Entretanto, a atividade microbiana no período chuvoso foi mais baixa, principalmente na vegetação secundária de 14 anos (Tabela 12) de acordo com a hipótese de maior eficiência da BMS no uso da energia, fato que caracteriza a presença de elevada biomassa microbiana inativa devido, possivelmente, a uma grande densidade de esporos fúngicos.

A relação $C_{MIC}:C_{ORG}$ do solo sob vegetação secundária de 2 anos, na época seca foi superior as encontradas na literatura. Segundo Powlson & Jenkinson (1981)¹⁰, citados por Balota et al (1998), a BMS representa de 1 a até 5 % do C-orgânico total do solo. Porém, segundo Anderson & Domsch (1989), a relação $C_{MIC}:C_{ORG}$ varia de 0,3 a 7% e Andrade et al (1995), por sua vez, encontraram valores entre 1,7 a 8,9 % em cultura de café conforme níveis de calagem. Essas variações podem estar relacionadas ao manejo do solo. No caso de florestas, Basante et al (2002) encontraram valores que variaram de 3 a 11%

¹⁰ POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *Journal Agricultural Science*, v. 97, p. 713 – 724, 1981.

em floresta nativa e 3,2 a 10% em solos sob plantio de eucalipto. Esses elevados valores indicam que uma grande parte do C orgânico do solo está sob a forma de BMS.

Tabela 12 - Relação C microbiano:Corgânico (%) da biomassa microbiana do solo sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 0-5 cm, nas épocas seca e chuvosa (n= 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	18,7 ± 2,1	3,1 ± 0,7
6	7,0 ± 0,9	2,3 ± 0,1
14	8,0 ± 1,0	2,3 ± 0,4
Média	11,2 A	2,6 B

Médias seguidas de ± erro padrão. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

Figura 13 - Relação C microbiano:Corgânico (%) da biomassa microbiana do solo sob cronossequência de vegetação secundária na profundidade de 5-10 cm, nas épocas seca e chuvosa (n= 12 para a vegetação secundária de 14 anos e n = 4 para as vegetações secundárias de 2 e 6 anos).

Idade (anos)	Estação	
	Seca	Chuvosa
2	12,4 ± 5,4	3,2 ± 0,7
6	6,9 ± 2,1	2,5 ± 0,9
14	9,8 ± 1,6	1,9 ± 0,2
Média	9,7 A	2,5 B

Médias seguidas de ± erro padrão. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si (pelo teste de Tukey a 5%).

2.4 - CONCLUSÃO

Os estoques de C e N da biomassa microbiana do solo são crescentes de acordo com o aumento da idade ($2 < 6 < 14$ anos).

A BMS foi mais eficiente, armazenando maior teor de carbono e nitrogênio, durante a época seca.

Os resultados sugerem mudanças sazonais na estrutura da comunidade microbiana com a mudança da umidade do solo.

Estudos de BMS utilizando o quociente metabólico (qCO_2) como parâmetro de avaliação, devem incluir estudos de caracterização da estrutura da comunidade microbiana do solo.

2.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D. S.; PAVAN, M. A.; COLLOZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Relações entre microbiota e calagem em solo cultivado com caféiro. In: **Simpósio brasileiro sobre microbiologia do solo**, 3, 1994, Londrina. Resumos. Londrina: IAPAR, 1994. 150p.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, I. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, UK, 1993.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, v. 130, p. 211-216, 1980.
- ANDERSON, T. H.; DOMSH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, p. 471-479, 1989.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.
- BARDGETT, R. D.; LOVEL, R. D.; HOBBS, P. J.; JARVINS, S. C. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperature grasslands **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1021-1030, 1999.
- BASANTE, F. T.; SILVA Jr., M. L. da; MELO, V. S.; COSTA, L. G. da S.; MCNABB, K. L. Atividade, carbono da biomassa microbiana de latossolo amarelo com diferentes texturas sob floresta nativa e floresta plantada com eucalipto. **Seminário de iniciação científica da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**, 3, FCAP, Belém, PA. Resumos p. 52-54. 2001.

- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Livraria Freitas Bastos. 7ª. Edição. Rio de Janeiro, 1989. 898p.
- 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 nitrogen microbial biomass soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.
- CORNEJO, F. H.; VARELA, A.; WRIGHT, J. S. Tropical forest litter decomposition under seasonal drought: nutrient release, fungi and bacteria. **Oikos**, v. 70, p. 183-190, 1994.
- DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA, I. C. G.; FIGUEIREDO, R. de O.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, F. Y.; SANTOS, M. T. dos S.; GUERRERO, J. B.; KALIF, K.; SABÁ, R. T. Nutrient limitation of biomass growth in a tropical secondary Forest: Early results of a nitrogen and phosphorus amendment experiment, **no prelo**.
- DEMATTÊ, J. A. M.; DEMATTÊ, J. L. J.; TOGNON, A. A.; ALOISI, R. R. Teor de matéria orgânica dos latossolos das regiões amazônica e dos cerrados. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, 26, Rio de Janeiro, 20 a 26 de julho de 1997, Resumos expandidos, CD-ROM. 1997.
- DOMMERGUES, Y. R.; BELSER, L. W.; SCHMIDT, E. L. Limiting factors for microbial growth and activity in soil. **Advances in Microbial Ecology**, v. 2, p. 49-104, 1978.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / EMBRAPA – CNPS. Documentos: 1. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.
- GALLARDO, A.; SCHLESINGER, W. H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction method in a warm-temperate forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 927-932, 1990.
- GAMA RODRIGUES, E. F.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono em solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 427-432, 1994.
- GAMA RODRIGUES, E. F.; GAMA RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 361-365, 1997 a.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. SANTOS, G. A. CAMARGO, F. A. de O. (Eds.), Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p.

- GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto. Tese Doutorado. Departamento de Solos - IA Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 1997 b. 108p.
- GERALDES, P.A, CERRI, C.C, FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, p.55-60, 1995.
- GORHAN, A. M.; ZARIN, D.J. Seasonal changes C:N ratios and mineralization in young secondary forests in Eastern Amazonia, **LBA Meeting**, Atlanta, 2000.
- INSAM, H.; HASELWANDTER, K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. **Oecologia**, v. 79, p. 174-178, 1989.
- JANDEL SCIENTIFIC SOFTWARE. 1994.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. Residual effects of soil fumigation on soil respiration and mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 2, p. 99-108, 1976.
- JOERGENSEN, R. G.; MUELLER, T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EN} value. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 33-37, 1996.
- KAYE, J. P.; HART, S. C. Competition for N between plants and microorganisms. **Trends in Ecology and Evolution**, 12: 311-326, 1997.
- LODGE, D. J.; McDOWELL, W. H.; McSWINEY, C. P. The importance of nutrient pulses in tropical forests. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 384-387, 1994.
- 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 Biology and Biochemistry**, 24, p. 805-813, 1992.
- MARUMOTO, T., ANDERSON, J.P.E., DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, 14: 469-475, 1982.
- OHTONEN, R.; FRITZE, H.; PENNANEN, T.; JUMPPONEN, A.; TRAPPE, J. Ecosystem properties and microbial community changes in primary succession on glacier forefront. **Oecologia**, v. 119, p. 239-246, 1999.
- PFENING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 31-37, 1992.
- ROSS, D. J. Soil microbial biomass estimate by the FI procedure: seasonal fluctuations and influence of soil moisture content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 397-404, 1987.
- SANTRUCKOVA, H.; STRASKRABA, M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, p. 525-532, 1991.

- SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Carbon and phosphorus in the soil biomass of some tropical soils of Índia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 743-747, 1998.
- SRIVASTAVA, S. C. Microbial C, N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 711-714, 1992.
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.
- VIEIRA, I. C. G. **Forest succession after shifting cultivation in Eastern Amazônia. Scotland:** University of Stirling, 1996. 205p. (Tese doutorado)

CAPÍTULO 3

CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB FLORESTA SECUNDÁRIA SUBMETIDO À MANIPULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA DE UM SOLO SOB VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA SUBMETIDO À MANIPULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO: A biomassa microbiana do solo (BMS) é o componente da matéria orgânica de mais rápida ciclagem, sua dinâmica é determinada por fatores bióticos e abióticos variando em termos temporais e espaciais em ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem. O trabalho verificou o efeito da manipulação da água sobre a BMS e sua variação com o tempo em um Latossolo Amarelo Concrecionário sob vegetação secundária de 14 anos no Nordeste paraense, Amazônia Oriental. Foi utilizado o método da fumigação-extração para estimar o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo (C-BMS e N-BMS) e adaptação da fumigação-incubação para determinar a respiração basal. Foram calculados o quociente metabólico (qCO_2) e a relação C microbiano : C orgânico ($C_{MIC}:C_{ORG}$) a partir desses resultados. A umidade do solo foi significativamente menor durante a estação seca e nas parcelas de controle. A irrigação elevou a umidade do solo a níveis próximos dos valores encontrados na época chuvosa, entretanto não causou efeito significativo nas demais variáveis estudadas. Não foi observado sazonalidade das variáveis exceto da relação C/N microbiana, sugerindo mudança sazonal na estrutura da comunidade microbiana com a estação.

Palavras-Chave: biomassa microbiana, fumigação-extração, C-microbiano, N-microbiano, relação C/N microbiana.

SOIL CARBON, NITROGEN AND MICROBIAL BIOMASS ACTIVITY IN A SECONDARY FOREST UNDER WATER AVAILABILITY MANIPULATION IN EASTERN AMAZÔNIA

SUMMARY: Soil microbial biomass is the organic matter component of faster turnover and its dynamics is influenced by biotic and abiotic factors varying temporarily and spatially in natural or human-altered ecosystems. This work studied the effect of water manipulation on the soil microbial biomass and its temporal variation in a Sombriustox under 14 years old secondary forest in the Northeast Pará, Eastern Amazônia. The fumigation-extraction method was used to determine microbial carbon (C) and nitrogen (N) and an adaptation of the fumigation-incubation method was used to determine microbial basal respiration. It was also calculated the metabolic quotient (qCO_2) and the microbial C : organic C relation. Soil moisture was significantly lower during the dry season and in the control plots. Irrigation raised soil moisture to levels similar to those found during the rainy season, although irrigation plots did not show significant differences in any of the other studied variables in relation to control plots. There was no seasonal effect on the studied variables except on the microbial C/N relation, suggesting a change in the microbial community structure from the wet to the dry season.

3.1 - INTRODUÇÃO

A biomassa microbiana do solo é um importante parâmetro para o entendimento da ciclagem da matéria orgânica do solo, pois é o compartimento da matéria orgânica de mais rápida ciclagem. É um componente crítico de ecossistemas, pois sua dinâmica é determinada por fatores bióticos e abióticos variando em termos temporais e espaciais em ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem. Sua estimativa permite avaliar os impactos causados pelo manejo e acompanhar perturbações causadas por fatores naturais, como a umidade do solo e disponibilidade de nutrientes, que assumem destaque em solos tropicais onde ocorrem padrões sazonais do estoque de nutrientes controlados por mudanças na umidade do solo (Lodge et al, 1994; Wardle, 1998). Para ecossistemas de florestais a biomassa microbiana do solo assume grande importância devido a sua rápida ciclagem e por ser fonte potencial de nutrientes.

Em solos de clima tropical úmido com ocorrência de secas sazonais, a umidade do solo pode ter influência preponderante na BMS (Lodge et al, 1994). Em solos da Amazônia, Luizão (1989) encontrou relação direta entre o aumento da população microbiana e sua atividade com o aumento da disponibilidade de água e nutrientes do solo, entretanto a BMS em ambientes tropicais geralmente não apresenta mudanças sazonais significantes (Wardle, 1998). Em geral, alguns solos têm mostrado correlação positiva entre a biomassa microbiana e a umidade do solo (Santruckova, 1992; Wick et al, 2002), enquanto outros mostram correlação negativa (Ross, 1987; Srivastava, 1992; Srivastava & Singh, 1998, capítulo 2).

Os resultados do capítulo 2 sugeriram que a umidade do solo influenciou a biomassa microbiana do solo. Dessa forma, foi instalado um experimento de manipulação da disponibilidade de água sobre a do solo sob a floresta secundária de 14 anos para verificar sua influência na biomassa microbiana do solo. Esse trabalho também permitiu verificar a variação sazonal da biomassa microbiana desse solo.

3.2 - MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1- Área experimental e amostragem

A área de estudo situa-se em floresta secundária desenvolvida após o abandono de área usada para a agricultura de derruba-e-queima em 1987 (14 anos). O solo é caracterizado como Latossolo Amarelo distrófico Concrecionário e a vegetação é classificada como secundária latifoliada. Nesta área são desenvolvidos os estudos do Projeto MANFLORA (Manipulação da disponibilidade de água e nutrientes em floresta secundária na Amazônia Oriental - Convênio entre a Faculdade de Ciências Agrárias do Pará e a Universidade da Flórida). A área experimental possui 12 parcelas de 20 x 20 m divididas em tratamentos

de irrigação na estação seca, remoção de serapilheira e controle. A irrigação por microaspersão foi realizada durante a estação seca (a partir de agosto de 2001) tentando reproduzir eventos naturais de chuva. É realizada aplicando-se 5 mm de água por dia na parte da tarde (150 mm mensais). O delineamento estatístico foi de blocos ao acaso com quatro repetições (Figura 1).

As duas primeiras coletas foram realizadas através de mini trincheiras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, sendo a primeira em novembro de 2000, durante a estação seca e a segunda em abril de 2001, durante a estação chuvosa. A terceira coleta foi realizada através de trado na profundidade de 0-10 cm, em outubro de 2001, durante a época seca, quando já havia sido iniciado há 3 meses o tratamento de irrigação.

3.2.2- Preparo das amostras e procedimentos laboratoriais

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob temperatura de 4° C até o processamento. Foram destorroadas, passadas em peneira de 2,00 mm de malha, homogeneizadas e retirados todos os resíduos visíveis de plantas e animais. Foram mantidas sob temperatura de cerca de 4 °C até a extração. Esses procedimentos foram realizados para todas as coletas, salvo algumas modificações relacionadas às condições de umidade do solo.

A umidade das amostras coletadas em novembro de 2000 foi elevada a 60-70 % da capacidade máxima de retenção de água com a adição de 3 mL de água em cada amostra, após homogeneização e peneiramento. As amostras coletadas em abril de 2001, que estavam muito úmidas, foram secas ao ar por uma noite para facilitar o peneiramento e apresentavam umidade próxima a 60% da capacidade máxima de retenção de água. E finalmente, as amostras coletadas em outubro de 2001, foram padronizadas a umidade de 60% da capacidade máxima de retenção de água. O peneiramento e o ajuste da umidade auxiliam na padronização das amostras, reduzindo assim o coeficiente de variação, que para a determinação da BMS geralmente é alto. A umidade gravimétrica do solo foi determinada segundo Embrapa (1997).

3.2.3 - Determinação das características químicas do solo

O C e N totais do solo foram determinados pelo analisador de C e N (marca Carlo Erba, modelo NCS 2500). O C orgânico foi determinado por colorimetria (absorbância de 600 nm) a partir da oxidação da matéria orgânica por solução sulfocrômica e aquecimento (Baker, 1976¹¹, citado por Anderson e Ingram, 1993) (tabela 7). As análises de P, K, Ca, Mg e Al foram determinados pelo extrator Mehlich-1 e

¹¹ BAKER, K. F. The determination of organic carbon in soil using a probe-colorimeter. **Labory practice**, v. 25, p. 82-83, 1976.

ICP (espectroscópio de plasma de argônio induzidamente acoplado). O pH foi determinado em potenciômetro na relação solo:água de 1:2,5, conforme Embrapa (1997).

3.2.4 - Determinação do carbono e nitrogênio da BMS

Foi utilizado o método da fumigação-extração para a determinação do C (Vance et al, 1987; Tate et al, 1988) e N (Brookes et al, 1985) da BMS. A extração foi realizada com K_2SO_4 (0,5 M) em amostras não fumigadas e fumigadas em clorofórmio livre de álcool (a vácuo) por 48 horas.

O C microbiano foi determinado pelo método colorimétrico conforme citado anteriormente (capítulo 1 item 1.2.3) e o N microbiano pelo método Kjeldahl. O K_{EC} utilizado foi igual a 0,26 (Feigl et al, 1995) e o K_{EN} igual a 0,54 (Brookes et al, 1985; Joergensen e Mueller, 1996). Os resultados de C e N-BMS foram expressos em micrograma (μg) de C e N por grama de solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas.

3.2.5 - Determinação da respiração basal da biomassa microbiana

A respiração basal da biomassa microbiana (μg C-CO₂ g⁻¹ solo h⁻¹) foi estimada em laboratório por um sistema estático de medição de CO₂. Amostras de 20 g foram submetidas à incubação no escuro por 10 dias, sem aeração, em recipiente contendo 4 mL de NaOH 0,5 M a temperatura de aproximadamente 25° C (Jekinson & Powlson, 1976). As amostras foram padronizadas para 75% da capacidade máxima de retenção de água.

3.2.6 - Índices e relações calculados

O quociente metabólico (qCO_2) (Santruckova e Straskraba, 1991) também denominado taxa respiratória da biomassa microbiana (TRBM), conforme Gama-Rodrigues (1999), foi calculado a partir da respiração basal da biomassa microbiana e do C da biomassa microbiana, representando a quantidade de CO₂ liberado pela BMS por unidade de biomassa por tempo (μg de CO₂ μg C-BM⁻¹ h⁻¹). O qCO_2 avalia o potencial de mineralização de C do solo e sua relação com o C-BMS.

A relação C microbiano: C total do solo, expressa em porcentagem, indica a fração de carbono orgânico que está imobilizado na BMS .

3.2.7- Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância de medições repetidas através de valores médios obtidos das profundidades de 0-5 e 5-10 cm nas duas primeiras coletas realizadas em novembro de 2000 e abril de 2001, a fim de facilitar comparações com os resultados obtidos na última coleta realizada na profundidade de 0-10 cm. O programa estatístico utilizado foi o Sigma Stat versão 2.0 (Jandel Scientific Software, 1994).

Tabela 1. Caracterização química do solo sob vegetação secundária de 14 anos.

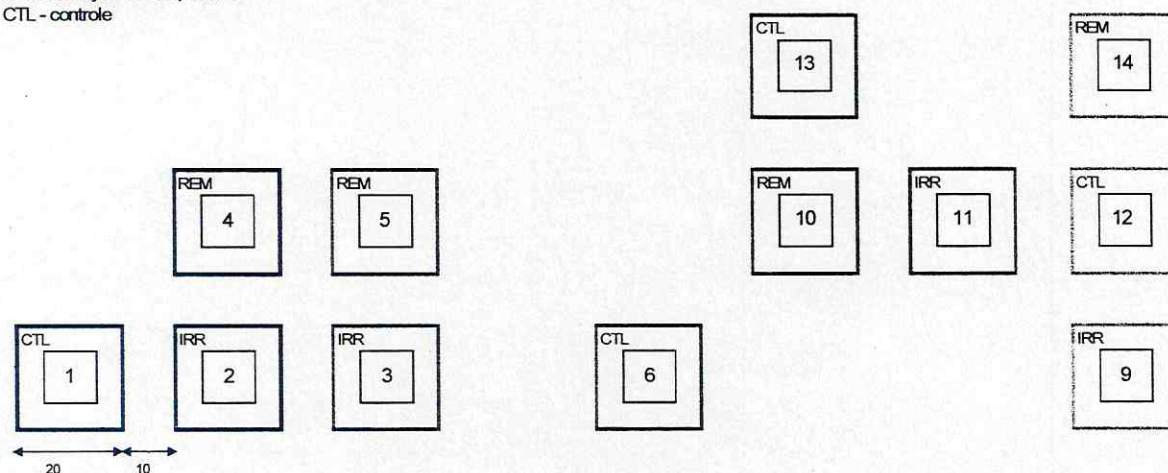
Profundidade (cm)	pH em água	C total -----g kg ⁻¹ -----	N total	Ca	Mg -----Cmol _c kg ⁻¹ -----	K	Al	P Mg dm ⁻³
0-5	5,0	28,90	1,70	1,7	0,5	0,05	2,3	1,60
5-10	5,1	19,80	1,40	1,4	0,4	0,05	3,2	1,56

LEGENDA:

IRR - irrigação

REM - remoção de serapilheira

CTL - controle



E S T R A D A

Figura 1. Mapa esquemático das parcelas experimentais do Projeto MANFLORA.

3.2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade gravimétrica diferiu significativamente entre as datas de coleta. Os maiores valores de umidade gravimétrica (27 %) foram durante a época chuvosa e os menores valores (12%) encontrados nas duas coletas realizadas na época seca. A irrigação elevou a umidade do solo a 81% dos valores encontrados na época chuvosa (Figura 2). Para todas as demais variáveis estudadas, a Anova apresentou apenas efeito de data de coleta (Tabela 2).

O C-BMS foi significativamente maior em novembro de 2000 com valor de $924 \mu\text{g C g}^{-1}$ solo. Os valores de abril e outubro de 2001 foram respectivamente de 469 e $538 \mu\text{g C g}^{-1}$ solo, porém não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

A partir dos resultados encontrados nas diferentes épocas de coleta, sugere-se que a BMS não apresentou sazonalidade. Durante o período seco, o tamanho da BMS pode ter sido controlado pela disponibilidade de nutrientes provenientes da BMS morta e a intensificação de queda de folhas neste período, aliados a eventos de chuva dias antes da coleta. As Figuras 3 e 4 mostram a ocorrência e a quantidade de chuvas diárias ocorridas 30 dias antes das duas datas de coletas realizadas no período seco (novembro de 2000 e outubro de 2001). Na primeira coleta choveram 77 mm nos 30 dias antecedentes a data de coleta, sendo 17 mm na semana antecedente à coleta. Já na coleta de outubro de 2001, choveram 24 mm nos 30 dias antecedentes, sendo que nos 15 dias anteriores a realização da coleta não houve chuva. Embora possa ter ocorrido um estresse maior na “3ª coleta”, não foi observado um aumento na BMS nas parcelas irrigadas. Portanto tais resultados sugerem que a BMS foi influenciada por outros fatores que não puderam ser detectados no presente estudo.

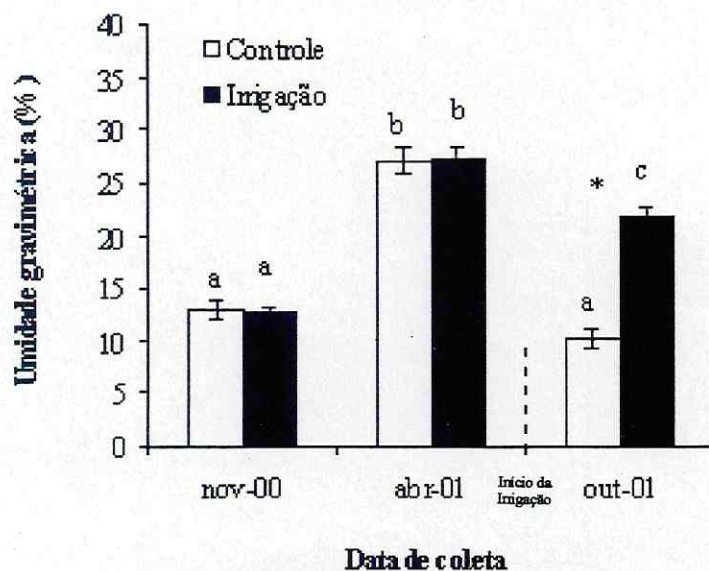


Figura 2 - Umidade gravimétrica do solo sob vegetação secundária de 14 anos (n=12) em diferentes datas de coleta (letras minúsculas comparam médias entre diferentes datas de coleta de solo; * mostra diferença significativa entre os tratamentos; médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Barras verticais representam \pm o erro padrão).

Tabela 2- Valores F da análise de variância das variáveis estudadas para experimento de irrigação.

FV	Ug%	C-BM	N-BM	CO ₂ -BM	qCO ₂	C-org	C _{MIC} :C _{ORG}
T	0,005**	0,529	0,909	0,684	0,532	0,113	0,399
D	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***
T x D	<0,001***	0,829	0,460	0,797	0,712	0,448	0,807

T = tratamentos, D = datas de coleta e D x T = interação entre tratamentos e datas de coleta.

Segundo Wardle (1994), a umidade do solo causa efeitos imprevisíveis na BMS. Existem evidências de que a BMS de uma dada zona climática é bem adaptada a tolerar extremos climáticos. Assim, a umidade não seria preponderante para o tamanho e atividade da BMS, mas uma combinação única de fatores presentes, ou seja, dependendo da situação, vai haver uma combinação única de fatores que estarão atuando diretamente na BMS. A disponibilidade de nutrientes e fauna do solo são exemplos de fatores que podem atuar diretamente na BMS. Srivastava (1992) relatou a relação íntima entre as taxas de crescimento e a demanda por nutrientes pelas plantas e a BMS em solos de floresta tropical de Monções, na Índia. Durante a época seca, quando as taxas de crescimento e demanda por nutrientes das plantas são mínimas, a atividade microbiana continua na mesma intensidade. Os resíduos vegetais são decompostos e os nutrientes disponibilizados nesses processos são imobilizados pela BMS, aumentando assim a BMS, enquanto que na época chuvosa a atuação da fauna do solo sobre os microrganismos aumenta, acelerando o “turnover” dos microrganismos e, conseqüentemente, reduzindo a BMS neste período (Singh et al, 1989).

Tabela 3 - Carbono da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g g}^{-1}$ solo) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.

	Data de coleta		
	Pré-tratamento		Tratamento
	Novembro de 2000	Abril de 2001	Outubro de 2001
Controle	925 \pm 60	425 \pm 59	532 \pm 77
Irrigação	924 \pm 134	513 \pm 26	544 \pm 46
Média	924 \pm 68 a	469 \pm 34 b	538 \pm 42 b

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 5 – relação C/N da biomassa microbiana do solo sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.

	Data de coleta		
	Pré-tratamento		Tratamento
	Novembro de 2000	Abril de 2001	Outubro de 2001
Controle	15 ± 1	9 ± 2	17 ± 4
Irrigação	15 ± 1	9 ± 2	21 ± 4
Média	15 ± 1 ab	9 ± 1 b	19 ± 4 a

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

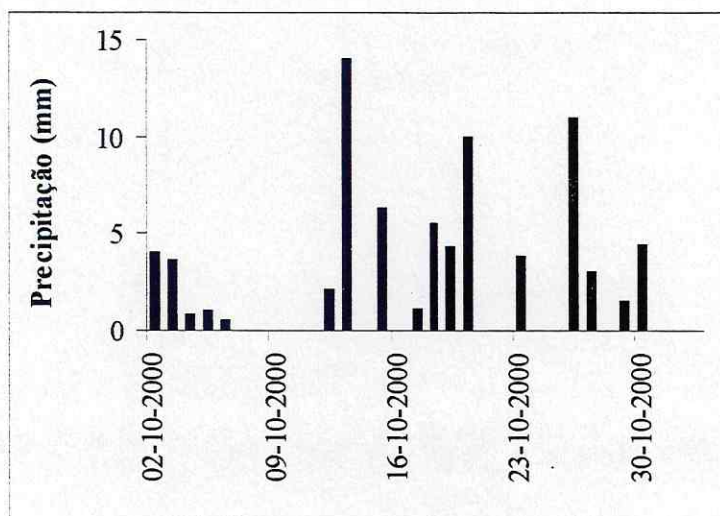


Figura 3 - Precipitação pluviométrica (mm) diária ocorrida nos 30 dias anteriores à coleta realizada na estação seca de 2000 (em 02 de novembro de 2000).

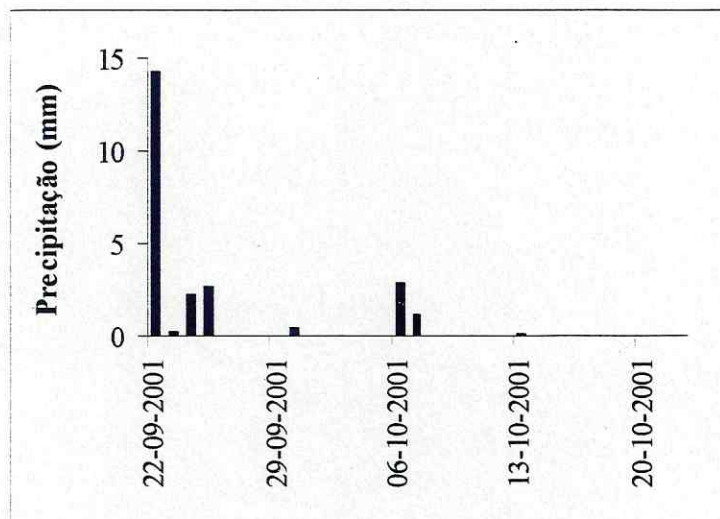


Figura 4 - Precipitação pluviométrica (mm) diária ocorrida nos 30 dias anteriores à coleta realizada na estação seca de 2001 (em 20 de outubro de 2001).

A respiração basal foi significativamente diferente em todas as coletas realizadas, havendo aumento com o tempo, em contraste com a diminuição da BMS (Tabela 6). Os valores foram superiores aos encontrados na literatura: $0,81 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (Luizão et al, 1992) e $0,35$ a $0,70 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (Gama-Rodrigues et al, 1994), e podem estar relacionados às diferenças edafoclimáticas e utilização de métodos entre os diversos estudos. De qualquer forma esses resultados mostram elevada mineralização de C em contraste com a quantidade de C-BMS e sugerem que quanto maior a quantidade de C na BMS menor é a mineralização de C e vice-versa. Ao contrário do que se esperava, a elevada respiração encontrada na 3ª coleta indica elevada atividade microbiana, porém não estimulada pela disponibilidade de água no solo.

Tabela 6 - Respiração basal da biomassa microbiana do solo ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coletas.

	Data de coleta		
	Pré-tratamento		Tratamento
	Novembro de 2000	Abril de 2001	Outubro de 2001
Controle	$1,69 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,4$
Irrigação	$1,65 \pm 0,1$	$2,9 \pm 0,4$	$4,0 \pm 0,5$
Média	$1,6 \pm 0,1 \text{ a}$	$2,8 \pm 0,2 \text{ b}$	$3,9 \pm 0,3 \text{ c}$

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi significativamente maior em abril 2001 (época chuvosa) e outubro 2001 (época seca), e não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 7). O aumento do $q\text{CO}_2$ com o tempo, mostra que não houve sazonalidade e indica que a BMS tornou-se pouco eficiente com o tempo, mineralizando mais C do que imobilizando.

Tabela 7 - Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) da biomassa microbiana do solo sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.

	Data de coleta		
	Pré-tratamento		Tratamento
	Novembro de 2000	Abril de 2001	Outubro de 2001
Controle	$0,002 \pm 0,0001$	$0,007 \pm 0,0009$	$0,008 \pm 0,0011$
Irrigação	$0,002 \pm 0,0001$	$0,006 \pm 0,0009$	$0,008 \pm 0,0012$
Média	$0,002 \pm 0,0001 \text{ a}$	$0,006 \pm 0,0006 \text{ b}$	$0,008 \pm 0,0008 \text{ b}$

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

O C-orgânico foi maior em outubro de 2001, mostrando uma tendência de aumento da matéria orgânica com o tempo. A relação $C_{\text{MIC}}:C_{\text{ORG}}$ foi estatisticamente maior em novembro de 2000 (estação seca) em relação a abril de 2001 (estação chuvosa) e outubro de 2001 (seca), cujos resultados não diferiram entre si (Tabela 8). A BMS representa de 1 a 5 % do C-orgânico total do solo (Powlson e

Jenkinson, 1981¹², citados por Balota et al, 1998). Enquanto que para Anderson e Domsch (1989) a relação $C_{MIC}:C_{ORG}$ varia de 0,3 a 7 %. Basante et al (2002) encontraram valores que variaram de 3 a 11 % em florestas nativa e de eucaliptus na Amazônia. Os valores encontrados no presente trabalho indicam que uma grande parte do C-org do solo está sob a forma de BMS, representando um compartimento potencialmente mais rápido de ciclagem deste elemento no solo.

Tabela 8 - Carbono orgânico do solo (%) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.

	Data de coleta		
	Pré-tratamento		Tratamento
	Novembro de 2000	Abril de 2001	Outubro de 2001
Controle	1,17 ± 0,10	1,25 ± 0,23	1,67 ± 0,17
Irrigação	1,12 ± 0,04	1,73 ± 0,17	1,94 ± 0,31
Média	1,15 ± 0,1 a	1,49 ± 0,2 ab	1,81 ± 0,2 b

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 9 - Relação C microbiano : C orgânico do solo (%) sob vegetação secundária de 14 anos em diferentes datas de coleta.

	Data de coleta		
	Pré-tratamento		Tratamento
	Novembro de 2000	Abril de 2001	Outubro de 2001
Controle	8,0 ± 0,8	3,6 ± 0,5	3,4 ± 0,7
Irrigação	8,3 ± 1,1	3,0 ± 0,2	3,0 ± 0,5
Média	8,1 ± 1,0 a	3,1 ± 0,3 b	3,1 ± 0,4 b

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

¹² POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. Journal Agricultural Science, v. 97, p. 713 – 724, 1981.

CONCLUSÃO

O carbono, nitrogênio e a atividade da biomassa microbiana do solo não foram afetados pelo aumento da disponibilidade de água no solo pela irrigação.

O carbono, nitrogênio e atividade microbiana não apresentaram sazonalidade de acordo com as estações seca e chuvosa.

A relação C/N microbiana não apresentou sazonalidade, entretanto sugere mudança na comunidade microbiana da estação chuvosa para a seca.

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, TH; DOMSH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils.

Soil Biology and biochemistry, n. 21, p. 471-479, 1989.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, I. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**.

CAB International, Wallingford, UK, 1993.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, v. 130, p. 211-216, 1980.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BASANTE, F. T.; SILVA Jr., M. L. da; MELO, V. S.; COSTA, L. G. da S.; MCNABB, K. L. Atividade, carbono da biomassa microbiana de latossolo amarelo com diferentes texturas sob floresta nativa e floresta plantada com eucalipto. **Seminário de iniciação científica da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**, 3, FCAP, Belém, PA. Resumos p. 52-54. 2001.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Livraria Freitas Bastos. 7ª. Edição. Rio de Janeiro, 1989. 898p.

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 soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17 p. 837-842, 1985.

CORNEJO, F. H.; VARELA, A.; WRIGHT, J. S. Tropical forest litter decomposition under seasonal drought: nutrient release, fungi and bacteria. **Oikos**, v. 70, p. 183-190, 1994.

- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo/EMBRAPA-CNPq. Documentos: 1. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p.1467-1472, 1995.
- GAMA RODRIGUES, E. F., GUERRA, J. G. M., ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono em solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 427-432, 1994.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. *In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.), Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 361-365, 1997.
- GORHAN, A. M.; ZARIN, D.J. Seasonal changes C:N ratios and mineralization in young secondary forests in Eastern Amazonia, **LBA Meeting**, Atlanta, 2000
- JANDEL SCIENTIFIC SOFTWARE. 1994.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. Residual effects of soil fumigation on soil respiration and mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.2, p. 99-108, 1976.
- JOERGENSEN, R. G.; MUELLER, T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EN} value. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 33-37, 1996.
- LODGE, D. J.; McDOWELL, W. H.; McSWINEY, C. P. The importance of nutrient pulses in tropical forests. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 384-387, 1994.
- LUIZÃO, R. C. **Variações temporais da biomassa microbiana e aspectos da ciclagem do nitrogênio em solos de floresta natural e de sistemas manejados na Amazônia Central**. Dissertação de mestrado. PPG INPA/FUA. 1989. 67 p.
- LUIZÃO, R. C. 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 Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 805-813, 1992.
- ROSS, D. J. Soil microbial biomass estimate by the FI procedure: Seasonal fluctuations and influence of soil moisture content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 397-404, 1987.
- SANTRUCKOVA, H. Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. **Pedobiology**, v. 36, p. 341-350, 1992.

- SANTRUCKOVA, H.; STRSKARABA, M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, p. 525-532, 1991.
- SINGH, J. S.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, R. S.; SRIVASTAVA S. C. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, v. 338, p. 499-500; 1992.
- SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Carbon and phosphorus in the soil biomass of some tropical soils of Índia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 743-747, 1998.
- SRIVASTAVA, S. C. Microbial C, N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 711-714, 1992.
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20 p.329-335, 1988.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p. 703-707, 1987.
- WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1627-1637, 1998
- WARDLE, D. A. Links between the soil microbial biomass and climate and biotic factors. In: **Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do Solo**, 3, Resumos, Londrina: IAPAR, 1994.
- WICK, B.; KÜHNER, R. F.; VIELHAUER, K.; VLEK, P. L. G.; Temporal variability of selected soil microbiological and biochemical indicators under different soil quality conditions in south-western Nigeria. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 155-167, 2002.





Este livro deve ser devolvido na última data carimbada

[illegible]

Se você for pontual conosco poderemos atendê-lo com maior pontualidade.