

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SOLOS EM SISTEMAS DE FLORESTA
PRIMÁRIA-CAPOEIRA-PASTAGEM NA AMAZÔNIA ORIENTAL POR MEIO DE
INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE MICROBIOLÓGICOS E
BIOQUÍMICOS**

VÂNIA SILVA DE MELO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, como
parte das exigências do Curso de Doutorado em
Ciências Agrárias: área de concentração
Agroecossistemas Sustentáveis na Amazônia, para
obtenção do título de Doutora.

Orientadora:

Engenheira Agrônoma Prof^a. Dr^a. MARIA MARLY DE L. S. SANTOS.

Co-Orientadores:

Dr. Thierry Desjardins
Dr^a. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

BELÉM

2007

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SOLOS EM SISTEMAS DE FLORESTA
PRIMÁRIA-CAPOEIRA-PASTAGEM NA AMAZÔNIA ORIENTAL POR MEIO DE
INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE MICROBIOLÓGICOS E
BIOQUÍMICOS**

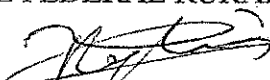
VÂNIA SILVA DE MELO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, como
parte das exigências do Curso de Doutorado em
Ciências Agrárias: área de concentração
Agroecossistemas Sustentáveis na Amazônia, para
obtenção do título de Doutora.

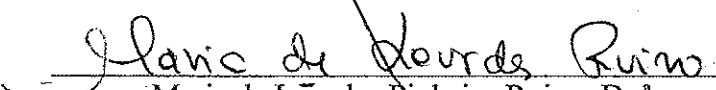
APROVADA em 30 de maio de 2007

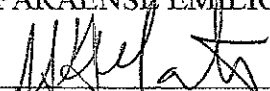
BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Maria Marly de L. S. Santos, Dr.^a - Orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA


Thierry Desjardins, Dr.
INSTITUT DE RECHERCHES POUR LE DÉVELOPPEMENT (IRD)


Jorge Piccinin, Dr.
Pesquisador visitante - MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI (MPEG)


Maria de Lóurdes Pinheiro Ruivo, Dr.^a.
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI (MPEG)


Ana Regina Araújo Martins, Dr.^a.
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

DEDICO

Aos meus filhos,
Lucas e Gabriel

A minha mãe,
Nazaré Damasceno

e

Ao Mário, meu companheiro
pelo grande apoio e incentivo

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao seu corpo docente, pela oportunidade da realização deste curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao IRD, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Professora Prof^a. Maria Marly de L. S. Santos pelo apoio e amizade.

Ao Mário Lopes da Silva Júnior (UFRA), pelas contribuições na realização do trabalho, seu apoio, amizade e incentivo.

Aos bolsistas de Iniciação Científica Elaine, Rosivaldo e Williellem pela ajuda imprescindível nas análises de laboratório.

Aos Pesquisadores Thierry Desjardins (IRD) Corinne Rouland-Lèvre (IRD) e ao Técnico Max Sarrazin (IRD) pela orientação, transmissão de conhecimento e pela oportunidade de realização do trabalho.

À Dra. Maria de Lourdes Ruivo (MPEG) que foi de fundamental importância para realização deste trabalho.

Ao Dr. Waldeney Travassos de Queioz (UFRA) pelo auxílio nas análises estatísticas.

À Natasha Soares, Sandra Andréa e Suzany Nery amigas de todas as horas, principalmente as mais difíceis.

Ao Sr. Dorival pela sua amizade e ajuda na coleta do solo

Às minhas colegas de curso, em especial Célia Braga e Waldirene Oliveira, pelo companheirismo e solidariedade.

À Comissão examinadora, aos funcionários e colegas do Laboratório de Química de Solos do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia e a todos os que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

p.

	LISTA DE TABELAS	
	LISTA DE FIGURAS	
	RESUMO	
	ABSTRACT	
		15
1.	INTRODUÇÃO GERAL	17
1.2.	Objetivo Geral	17
1.3.	Objetivos Específicos	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1.	Cobertura vegetal	18
2.1.1.	Floresta primária	18
2.1.2.	Capoeira	19
2.1.3	Pastagem	21
2.2.	Indicadores de sustentabilidade ambiental	21
2.2.1	Indicadores microbiológicos	25
2.2.2.	Indicadores bioquímicos	
2.3.	Variabilidade sazonal nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo	27
3.	METODOLOGIA	30
3.1.	Localização e características da área de estudo	30
3.2.	Clima	31
3.3.	Vegetação e solo	31
3.4	Histórico do Assentamento	34
3.5	Coleta e preparo das amostras de solo	34
3.6.	Determinação das características físicas do solo	35
3.7.	Determinação das características químicas do solo	35
3.8.	Determinação das características biológicas	38
3.9.	Determinação das características bioquímicas	40
3.10.	Análise estatística	

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1.	Influência da mudança de cobertura vegetal sobre as propriedades do solo	44
4.1.1.	Caracterização física e química dos solos estudados	44
4.1.2.	Carbono, nitrogênio e relação C/N	48
4.1.3.	Biomassa microbiana	53
4.1.4.	Atividade enzimática	64
4.2.	Variabilidade sazonal nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo	71
4.2.1	Atributos químicos	73
4.2.2	Atributos biológicos	76
4.2.3	Atributos bioquímicos	85
4.3.	Avaliação do grau de similaridade ou de dissimilaridade entre os sistemas de uso do solo	89
4.3.1.	Atributos químicos	89
4.3.2.	Atributos biológicos	90
4.3.3.	Atributos bioquímicos	92
4.4.	Associação entre os atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo, sob diferentes tipos de cobertura vegetal	93
4.4.1.	Correlação canônica entre variáveis químicas x biológicas	94
4.4.2.	Correlação canônica entre variáveis químicas x bioquímicas	95
4.4.3.	Correlação canônica entre variáveis biológicas x bioquímicas	97
5.	CONCLUSÕES	99
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

LISTA DE TABELAS

	p.
TABELA 1- Propriedades físicas do solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal e profundidade. Médias seguidas de $\pm$ erro padrão.	44
TABELA 2- Propriedades químicas do solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal e profundidade. Médias seguidas de $\pm$ erro padrão.	47
TABELA 3- Carbono orgânico (C) em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas.	73
TABELA 4- Nitrogênio total em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas.	74
TABELA 5- Relação C/N em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas.	75
TABELA 6- Análise de agrupamento dos atributos químicos, utilizando a distância euclidiana e o método de formação de grupos.	89
TABELA 7- Análise de agrupamento dos atributos biológicos, utilizando a distância euclidiana e o método de formação de grupos.	90
TABELA 8- Análise de agrupamento dos atributos bioquímicos, utilizando a distância euclidiana e o método de formação de grupos.	92
TABELA 9- Correlação canônica e pares canônicos entre características químicas e biológicas de solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	94
TABELA 10- Coeficiente da matriz estrutural entre as variáveis químicas e biológicas de solos sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	95
TABELA 11- Correlação canônica e pares canônicos entre características químicas e bioquímicas de solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	96
TABELA 12- Coeficiente da matriz estrutural entre as variáveis químicas e bioquímicas de solos sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	97
TABELA 13- Correlação canônica e pares canônicos entre características biológicas e bioquímicas de solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	97
TABELA 14- Coeficiente da matriz estrutural entre as variáveis biológicas e bioquímicas de solos sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	98

LISTA DE FIGURAS

	p.
FIGURA 1- Localização do assentamento Benfica na região de Marabá/Pará.	30
FIGURA 2- Precipitação mensal do assentamento Benfica-PA entre janeiro de 2004 e fevereiro de 2005.	31
FIGURA 3- Detalhe da derrubada e queima da floresta, no assentamento Benfica, em Itupiranga, PA.	32
FIGURA 4- Detalhe da utilização da área com o cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i>), após a derrubada e queima da floresta, no assentamento Benfica, em Itupiranga, PA.	33
FIGURA 5- Detalhe da área de pastagem do assentamento Benfica, em Itupiranga, PA.	34
FIGURA 6- Teor de carbono orgânico (C), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	49
FIGURA 7- Teor de nitrogênio (N), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	51
FIGURA 8- Relação carbono: nitrogênio (C/N), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	52
FIGURA 9- Teor de carbono da biomassa microbiana (CBM), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	53
FIGURA 10- Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	55
FIGURA 11- Relação carbono da biomassa microbiana (CBM): carbono (carbono orgânico), expresso em % em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	57
FIGURA 12- Relação nitrogênio da biomassa microbiana (NBM): nitrogênio total (N), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	58
FIGURA 13- Produção acumulada de CO ₂ , em 10 dias de incubação, em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	59
FIGURA 14- Quociente metabólico (qCO ₂), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.	62

- FIGURA 15-** Efeito da cobertura do solo na atividade da β -glucosidase em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA. 65
- FIGURA 16-** Efeito da cobertura do solo na atividade da urease em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA. 67
- FIGURA 17-** Efeito da cobertura do solo na atividade da fosfatase ácida em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA. 69
- FIGURA 18** Precipitação mensal do assentamento Benfica-PA entre janeiro de 2004 e fevereiro de 2005. 71
- FIGURA 19-** Variação da umidade gravimétrica do solo em floresta, capoeira, pastagem de 1-2 anos, pastagem de 5-7 anos e pastagem de 10-12 anos, nas profundidades de 0-2cm, 2-5 cm e 5-10 cm. 72
- FIGURA 20-** Carbono da biomassa microbiana (CBM) em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas. 78
- FIGURA 21-** Relação CBM/C em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas. 80
- FIGURA 22-** Respiração basal em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas. 82
- FIGURA 23-** Quociente metabólico (qCO_2) em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas. 84
- FIGURA 24-** β -glucosidase em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas. 87
- FIGURA 25-** Urease em floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10) em diferentes datas. 88

- FIGURA 26-** Dendrograma dos atributos químicos em solos sob floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10), pelo método de formação de grupos. 90
- FIGURA 27-** Dendrograma dos atributos biológicos em solos sob floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10), pelo método de formação de grupos. 91
- FIGURA 28-** Dendrograma dos atributos bioquímicos em solos sob floresta (FL), capoeira (CA), pastagem de 1-2 anos (P1), pastagem de 5-7 anos (P5), pastagem de 10-12 anos (P10), pelo método de formação de grupos. 92

RESUMO

MELO, Vânia Silva de Melo. **Avaliação da qualidade dos solos em sistemas de floresta primária-capoeira-pastagem na Amazônia Oriental por meio de indicadores de sustentabilidade microbiológicos e bioquímicos.**

O sistema de uso da terra mais comum na Amazônia é o da derruba e queima, seguida pela implantação de pastagem ou cultivos anuais. A remoção da floresta faz com que o ciclo do carbono seja modificado, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo e afetando a atividade dos organismos do solo responsáveis por inúmeros processos biológicos e bioquímicos essenciais à sustentação do ecossistema onde eles vivem. O presente trabalho teve por objetivos: a) avaliar as transformações ocorridas nos solos sob capoeira e pastagens de diferentes idades em relação ao ecossistema natural (floresta), por meio de indicadores químicos, biológicos e bioquímicos do solo; b) avaliar a variação sazonal, e principalmente o efeito da umidade, nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo; c) verificar por meio de análises multivariadas o grau de dissimilaridade entre os sistemas de uso do solo e a existência de relações entre os atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo. O estudo foi realizado em áreas de pequenos agricultores do Município de Itupiranga (PA), onde foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-2, 2-5 e 5-10 cm, nos meses de junho/2004, outubro/2004 e fevereiro/2005, sob diferentes tipos de cobertura vegetal: florestal nativa; capoeira de 8-10 anos; pastagens de *Brachiaria brizanta* de 1-2 anos, de 5-7 anos e de 10-12 anos. As variações nos teores de carbono e nitrogênio provocadas pela mudança da cobertura vegetal foram de pequena amplitude, mostrou uma leve tendência ao aumento à medida que a idade das pastagens aumentou. O desenvolvimento das capoeiras não provocou fortes modificações na quantidade e na atividade da biomassa microbiana. Ao contrário, a instalação de pastagens modificou consideravelmente o funcionamento microbiológico dos solos. O carbono da biomassa microbiana (CBM) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), assim como a respiração basal diminuíram fortemente desde a instalação das pastagens, e esse decréscimo se ampliou à medida que a idade das pastagens aumentou. O aumento do quociente metabólico nos primeiros anos das pastagens indicou uma perturbação do funcionamento do solo. As atividades antrópicas exerceram um forte impacto nos atributos bioquímicos do solo. As atividades da β -glucosidase e fosfatase ácida foram mais sensíveis à mudança de uso do solo, portanto podendo ser útil na avaliação da qualidade do mesmo. Os atributos biológicos se mostraram sensíveis às variações sazonais, e indicaram que a umidade

desempenhou papel fundamental na atividade e no crescimento da população microbiana do solo. A atividade das enzimas (β -glucosidase e urease) no solo mostraram uma resposta às flutuações sazonais das precipitações e da umidade do solo diferente daquela observada por parte da biomassa microbiana. Enquanto que os microorganismos tiveram sua biomassa e sua atividade reduzidas durante a estação seca, o mesmo não foi observado no caso da atividade da β -glucosidase e da urease. A análise de correlação canônica mostrou que existiu uma interdependência entre os atributos biológicos e químicos do solo nas áreas estudadas, com destaque para CBM e CO_2 , entre os atributos biológicos, e para C e N, entre os atributos químicos. Entretanto a análise de agrupamento confirmou que a instalação de pastagens provocou modificações nas propriedades biológicas e bioquímicas dos solos, em relação aos solos sob cobertura arbórea.

Termos para indexação: Uso do solo, matéria orgânica, biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico, enzimas do solo

ABSTRACT

MELO, V.S. de. **Assessment of soil quality in forest-follow-pasture systems by indicators of sustainability microbiological and biochemical in Eastern Amazonia.**

The most common land use in Amazonia is the slash and burn followed by pastures or annual cultivation. The forest substitution modifies the carbon cycle, changing amount and quality of soil organic matter and modifying the activity of soil microorganisms responsible for numerous biological and biochemical processes allowing the ecosystem sustainability. The aims of this work were: a) to assess the transformations occurring in soils under fallow and pastures of different ages, comparing with forest soil, using chemical, biological and biochemical indexes; b) to assess the seasonal variability, and mainly the soil water content effect on these characteristics; c) to verify, using multivariate analyses the similarity degree between the different land uses and the existence of relations between the chemical, biological and biochemical characteristics of soils. The study was conducted in smallholder properties in the Brazilian state of Pará. Soil samples were collected at 0-2, 2-5 e 5-10 cm depths, in July 2004, October 2004 and February 2005, under primary forest, fallows of 8-10 years and pastures of *Brachiaria brizanta* of 1-2 years, 5-7 years and 10-12 years. Changes in carbon and nitrogen contents induced by vegetation substitution were small, with a slight increase in the older pastures. The fallow spread does not induce appreciable changes in amount and activity of the microbial biomass. On the contrary, the installation of pastures largely modifies the microbiological functioning of soils. The CBM and NBM, as the basal respiration, decrease strongly soon after the pasture installation, and continue to lower as the age of pastures increases. The metabolic quotient increase in the young pastures points to a disturbance of soil functioning. The β -glycosidase and acid phosphatase activities were strongly affected by the land use changes, being therefore useful in the soil quality assessment. The biological characteristics exhibited seasonal variations, showing the importance of soil water content on the presence and activity of the microbial population in soils. The response of enzymes (β -glycosidase e urease) activity to seasonal variation of rain and soil water content was different, with a maintenance or even an increase during the dry season. The canonical correlation analysis showed an interdependency between biological, mainly CBM and basal respiration, and chemical characteristics, mainly C and N. The cluster analysis confirmed that conversion to pasture induced changes in biological and biochemical characteristics, comparing to soils with arboreal vegetation.

Index terms: Land use, soil organic matter, microbial biomass, soil basal respiration, metabolic quotient, soil enzymes.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SOLOS EM SISTEMAS DE FLORESTA PRIMÁRIA-CAPOEIRA-PASTAGEM NA AMAZÔNIA ORIENTAL POR MEIO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE MICROBIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS

1- INTRODUÇÃO

O grande incentivo proporcionado pelo Governo brasileiro, principalmente a partir da década de 1960, para ocupação intensiva da Amazônia resultou em grandes transformações em seu meio biofísico. A principal atividade financiada pelo Governo Federal foi a derrubada das florestas e a implantação de pastagens (ICHIHARA, 2003). Todavia a Amazônia, apesar da diversidade de seus ecossistemas e da exuberância da sua vegetação, tem como uma de suas características a baixa fertilidade de seus solos. Nessas condições, o equilíbrio nutricional só é possível através da existência de uma alta diversidade biológica e de mecanismos de conservação de nutrientes (JORDAN, 1985).

Nos ecossistemas florestais, as perdas de nutrientes são menores em relação aos solos sob pastagem, em consequência da maior diversidade florística, da melhor cobertura do solo, e da eficiência dos ciclos biogeoquímicos (FONSECA, 1984). Por outro lado, as gramíneas apresentam um efeito rizosférico intenso em virtude do seu abundante sistema radicular, o qual geralmente apresenta elevada taxa de reciclagem (ROVIRA, 1978). Entretanto, tem sido observada freqüentemente a degradação nos solos, em função do manejo inadequado, tanto no uso para produção de florestas energéticas, quanto para produção agrícola (RESENDE et al., 1996).

Diante disto, o uso do pousio é uma opção que merece destaque, pois esta se apresenta como uma alternativa de recuperar solos degradados pela agricultura, uma vez que pode trazer uma série de benefícios ao solo e ao meio ambiente, como a proteção contra a erosão e lixiviação, melhoria da reciclagem de nutrientes, absorção de nutrientes em camadas profundas do solo, aumento do teor de matéria orgânica do solo, pela deposição de folhas e galhos, contribuindo assim para a recuperação da fertilidade dos solos (EMBRAPA, 2003).

Neste contexto, o solo é um sistema aberto que concentra resíduos orgânicos de origem vegetal, animal e os produtos das transformações destes resíduos; sendo a vegetação a principal fonte de materiais orgânicos do solo. O tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que se deposita no solo. A decomposição destes materiais depende dos processos de transformação da matéria orgânica pelos microrganismos do solo, por meio dos quais pode-se avaliar a qualidade do solo (MIELNICZUK et al., 2003). Assim sendo, a matéria orgânica do solo representa o principal

reservatório de energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas. O declínio ou acréscimo da matéria orgânica do solo serve para avaliar a preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas; ou seja, é utilizado como critério na avaliação da sua sustentabilidade.

Os atributos químicos que avaliam a matéria orgânica do solo podem não ser suficientemente sensíveis para indicar as alterações ocorridas no solo em função da substituição da floresta por pastagem. Assim é necessário selecionar atributos, tais como biológicos e bioquímicos, que sejam sensíveis a pequenas alterações no sistema solo-planta.

A biomassa microbiana desempenha papel de destaque no cenário da sustentabilidade ambiental. A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (MARUMOTO et al., 1982; GALLARDO; SCHLESINGER, 1990). Entretanto, a determinação da biomassa microbiana não fornece indicação sobre os níveis de atividade das populações microbianas do solo, sendo importante também avaliar parâmetros que estimem a atividade microbiana, tais como: a respiração basal e a atividade enzimática, para verificar o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo (NANNIPIERI et al., 1983).

A atividade dos microrganismos do solo, detectada por meio da respiração basal é um indicador ecológico da ciclagem de nutrientes, visto que quanto mais elevada for a atividade dos microrganismos do solo, maior será a liberação de nutrientes e a mineralização da matéria orgânica (ANDERSON, 1982; PARKINSON; COLEMAN, 1991) e o quociente metabólico (qCO_2) é um outro parâmetro que pode ser utilizado para melhor entendimento da atividade da biomassa microbiana do solo, pois uma biomassa microbiana eficiente perde menos carbono como CO_2 pela respiração e incorpora maior proporção de carbono ao tecido (ANDERSON; DOMSCH, 1985; SANTRUCKOVA; STRASKRABA, 1991).

No que diz respeito às enzimas a determinação da atividade destas no solo é uma maneira de se medir a atividade microbiana, indicando mudanças ocorridas na microbiota do solo, sem, entretanto, relacioná-las a algum grupo específico de organismos: a atividade enzimática no solo proporciona catálise de inúmeras reações necessárias ao ciclo de vida dos microrganismos, e atuam na decomposição de resíduos orgânicos durante o ciclo de nutrientes (BANDICK; DICK, 1999).

As enzimas selecionadas para esta pesquisa são a β -glucosidase, a urease e a fosfatase ácida, visto que além de poderem ser consideradas indicadores biológicos do solo, a atividade

das mesmas é geralmente correlacionada com a biomassa microbiana (LYNCH, 1986; SILVEIRA et al., 2006).

Portanto a biomassa microbiana e a atividade enzimática podem ser utilizadas como indicadores biológicos ou como índices de adequação de sustentabilidade ambiental de sistemas de produção. Geralmente, elas apresentam forte correlação com a matéria orgânica do solo, ou seja, refletem mudanças na quantidade e qualidade da matéria orgânica, bem como reagem mais rapidamente que a matéria orgânica às alterações que acontecem em solos cultivados. Todavia ambas são influenciadas pelas variações sazonais de umidade e temperatura, pelo sistema de uso do solo, pelo cultivo e, também, pela qualidade dos resíduos vegetais e não devem ser estudadas isoladamente, em razão da complexa dinâmica de crescimento e atividade dos microrganismos no solo.

1.1- Objetivo Geral

Avaliar as transformações ocorridas nas propriedades químicas, biológicas e bioquímicas de um Latossolo Amarelo em função da mudança da cobertura vegetal e do sistema de uso do solo.

1.2- Objetivos Específicos

- Avaliar as transformações ocorridas nos sistemas de uso do solo (capoeira e pastagem de diferentes idades) em relação ao ecossistema natural (floresta), por meio dos indicadores químicos, biológicos e bioquímicos do solo;
- Avaliar a variação sazonal, e principalmente o efeito da umidade, nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo;
- Verificar o grau de similaridade ou de dissimilaridade entre os sistemas de uso do solo;
- Quantificar a associação entre os atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Cobertura vegetal

2.1.1- Floresta primária

As florestas tropicais continuam a desaparecer numa taxa acelerada, apesar do aumento da consciência e dos esforços dos países em desenvolvimento para a sua conservação. Na Amazônia brasileira, o desmatamento intenso começou no início da década de 70, e no fim dessa década, estima-se que 19 milhões de hectares de floresta tinham desaparecido (FEARNSIDE, 2005). No período 1981-1990 desapareceram aproximadamente 17 milhões de hectares de florestas (LANLY et al., 1991). Durante a década de 90 e os primeiros anos do século 21, as taxas anuais de desmatamento oscilaram entre 1,1 e 2,9 milhões de hectares por ano (INPE, 2004). Até 2003, 64,8 milhões de hectares de florestas tinham sido desmatadas, ou seja, 16,2 % do total da floresta da Amazônia brasileira (FEARNSIDE, 2005).

A floresta, apesar de ser a característica mais marcante da Amazônia, não esconde uma grande variedade de ecossistemas, dentre os quais se destacam: mata de terra firme, florestas inundadas, várzeas, campos abertos e cerrados. Conseqüentemente, a Amazônia abriga uma imensa diversidade biológica com aproximadamente 1,5 milhão de espécies vegetais catalogadas (INPE, 2005). A biodiversidade da região amazônica é considerada uma das maiores do mundo, o que a torna alvo de interesses diversificados. Dentre as coberturas vegetais citadas a mata de terra firme foi a cobertura vegetal selecionada para o presente estudo e se caracteriza por se situar em terras altas, distante dos rios. É formada por árvores altas e possui espécies de madeira de alto valor econômico.

A floresta Amazônica é um ecossistema auto-sustentável, ou seja, é um sistema que se mantém com seus próprios nutrientes num ciclo permanente. Tal fato implica uma ciclagem de nutrientes eficiente, que garante um estoque inalterado destes elementos no sistema ao longo do tempo, sendo isto de suma importância uma vez que os solos sob as florestas tropicais são altamente intemperizados e geralmente têm baixa disponibilidade de nutrientes (SIOLI, 1991). Existe um delicado equilíbrio nas relações das populações biológicas que conseqüentemente são sensíveis a interferências antrópicas.

2.1.2- Capoeira

Os sistemas de uso do solo que mais se assemelham com a floresta são os sistemas agroflorestais, haja visto que são sistemas diversificados e multiestratificados nos quais encontram-se associações de culturas perenes, anuais e espécies naturais. Além disto

apresentam diversos elementos de sustentabilidade ecológica, tais como reduzida erosão do solo, alto teor de matéria orgânica e umidade do solo, reduzida variação de temperatura. A capoeira, precedida ou seguida de cultivos, pode ser considerada um componente de um sistema agroflorestal.

Nos solos sob espécies arbóreas, como é o caso das capoeiras, pode-se aumentar a eficiência da reciclagem de nutrientes, em relação aos monocultivos de pastagens. Isto pode ocorrer através da complementaridade na absorção de nutrientes, em camadas do solo mais profundas, que as raízes das plantas anuais não alcançam, reduzindo as perdas por lixiviação (SEYFRIED; RAO, 1991). Nestes ecossistemas tanto o dossel das árvores quanto a espessa liteira protegem o solo da erosividade das chuvas, possibilitando fluxos de nutrientes mais rápidos e ciclagem mais eficiente. Acima do solo, as árvores absorvem maiores quantidades de energia, mantendo as taxas de evapotranspiração em níveis mais altos que nas pastagens (SALIMON, 2003).

Para que se garanta o uso continuado das áreas desmatadas, algumas condições devem ser satisfeitas, principalmente aquelas que dizem respeito à manutenção de altos teores de matéria orgânica do solo. Neste sentido a capoeira funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas, regulando as transformações da matéria orgânica, além de atuar na manutenção da estrutura do solo, dando sustentabilidade para os ecossistemas.

Além disto deve-se considerar que do ponto de vista ambiental o crescimento da capoeira contribui para absorção de carbono da atmosfera, recuperação da biodiversidade, redução das perdas potenciais de nutrientes pela erosão e lixiviação causadas pelas pastagens (NEPSTAD et al., 2000).

2.1.3- Pastagem

Antes da década de 50, a pecuária, praticamente sem expressão na Amazônia, desenvolvia-se nos campos de pastagens nativas e de várzeas inundáveis distribuídos em regiões do Pará, Tocantins, Mato Grosso, Amapá e Roraima. Com a necessidade de povoar grandes vazios demográficos da região Norte, o Governo Federal, nas décadas de 60 e 70, construiu as rodovias Belém-Brasília e a Transamazônica, além de estabelecer o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e fomentar outros organismos de colonização. Tais fatores beneficiaram o desenvolvimento local e a expansão da pecuária regional (ZEN et al., 2002).

No início da década de 70, alguns estudos e relatos jornalísticos sobre a construção da Transamazônica apontavam a fragilidade da floresta frente à ação antrópica e questionavam a validade do enorme empenho do governo para povoar as grandes áreas inóspitas da região (PEREIRA, 1971; GONTIJO, 1970). Desde aquela época, a atividade pecuária na região é apontada como predatória.

A atividade só se tornava lucrativa devido ao baixo preço de aquisição da terra, subsidiada pela SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia) atual ADA (Agência de Desenvolvimento da Amazônia). Além disso, a venda da madeira extraída da própria área gerava recursos suficientes para pagar os custos da terra, o desmatamento, a queimada, a plantação de pastagem e, ainda, a aquisição de todo gado necessário para iniciar o rebanho (ZEN et al., 2002). O proprietário então, usufruía a fertilidade proveniente das cinzas da queimada por alguns poucos anos e depois abandonava a terra (THAMER, 1970).

Os ganhos originados do excelente crescimento das forrageiras, proporcionados pelos nutrientes das cinzas, foram observados por Falesi; Veiga (1976). Mas os estudos realizados na década de 90 demonstraram que cerca da metade das áreas de pastagem cultivadas na região estavam degradadas ou em processo avançado de degradação (SERRÃO et al, 1993). A viabilidade da atividade pecuária sem os benefícios concedidos nas décadas anteriores passou então, a ser questionada.

Entretanto, há décadas o sistema de cultivo mais utilizado na Amazônia é o da agricultura itinerante, que começa com a derrubada e queimada da vegetação, após a remoção das árvores de interesse econômico. O solo, quase sempre, é cultivado com culturas de subsistência por um curto espaço de tempo, geralmente seguido de implantação de pastagens, ou sendo depois abandonado, porque a produtividade decresce e atinge limites inaceitáveis (CERRI et al., 1985).

Na região Amazônica é freqüente a utilização de áreas de floresta para o estabelecimento de pastagens. Via de regra, essas pastagens cultivadas são estabelecidas após a derrubada e queima da floresta, sem haver a preocupação por parte dos pecuaristas de manter alguma espécie arbórea (VEIGA; SERRÃO, 1990). Normalmente, nos primeiros anos, elas apresentam boa produtividade, aproveitando a adição de nutrientes, pela adubação inicial, ou na forma de cinzas, resultado da queima da vegetação nativa. No entanto, com o decorrer dos anos, observa-se um declínio gradual na produtividade destas pastagens, e o aparecimento de plantas invasoras, como consequência da utilização de práticas inadequadas, tanto de manejo dos solos, como das pastagens (TOLEDO; SERRÃO, 1982).

Nas pastagens tropicais, a ciclagem de nutrientes é de fundamental importância para a manutenção do equilíbrio do sistema após o desmatamento, dada a pobreza química e acidez original dos solos tropicais (SCHUBART; LUIZÃO, 1984). Ademais a redução ou eliminação da cobertura vegetal do solo acaba favorecendo o deflúvio superficial da água das chuvas, agravando o processo erosivo (SANTOS et al., 1992). Com o solo descoberto, o impacto das gotas de chuva ocasiona desagregação do mesmo, favorecendo o processo de selamento superficial com a redução da porosidade, e conseqüentemente, da infiltração da água para a subsuperfície.

2.2- Indicadores de sustentabilidade ambiental

Alguns estudos, desenvolvidos no sentido de avaliar as transformações ocorridas depois do desmatamento, como por exemplo os que avaliam as características físicas e químicas (MARTINS et al., 1990; LONGO; ESPÍNDOLA, 2000; CERRI et al., 2004; DESJARDINS, et al., 2004; MÜLLER et al., 2004) e a atividade dos microrganismos (MARCHIORI JÚNIOR, 1998; WICK et al., 2000; OLIVEIRA, 2000; D'ANDREA et al., 2002; BITTENCOURT, 2003) constataram a ocorrência de modificações após a retirada da cobertura vegetal. A manutenção do equilíbrio nutricional entre os diferentes componentes de um ecossistema parece só ser possível através da existência de uma alta diversidade biológica e de mecanismos de conservação de nutrientes normalmente encontrados em florestas primárias (ANJOS et al., 1994; YOUNG, 1997; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000).

Nas florestas e nas capoeiras, as perdas de nutrientes são menores em relação aos solos sob pastagem, em conseqüência da melhor cobertura do solo (LONGO; ESPÍNDOLA, 2000; JOHNSON et al., 2001). Por outro lado, as gramíneas apresentam um efeito rizosférico intenso em virtude do seu sistema radicular, o qual geralmente apresenta elevada taxa de reciclagem (ROVIRA, 1978). Entretanto, tem sido observada degradação nas propriedades físicas e biológicas dos solos, pois grande parte das pastagens na Amazônia sofre efeitos de queimas freqüentes, que além de destruir a vegetação e deixar o solo descoberto, favorece a erosão e afeta os organismos do solo (CERRI et al., 1985).

2.2.1- Indicadores microbiológicos

A microbiota atua não somente na formação e estabilização de agregados, mas também na ciclagem de nutrientes, sendo considerada bioindicadora da qualidade do solo (SILVEIRA et al., 2006; VARGAS; SCHOLLES, 2000). A qualidade dos resíduos influencia

a taxa de decomposição e a composição da comunidade microbiana (GUPTA; GERMIDA, 1988; CATTELAN; VIDOR, 1990; ANGERS et al., 1993). Portanto, a decomposição da matéria orgânica é uma das etapas mais importantes na ciclagem de nutrientes e é um processo essencialmente biológico (CORREA; ANDRADE, 1999). Dentre os organismos responsáveis por esse processo destacam-se os microrganismos que compõem a biomassa microbiana.

A biomassa microbiana atua como agente de transformação da matéria orgânica e como reservatório de nutrientes nos solos, contendo, em média, de 2 a 5% do C orgânico do solo (JENKINSON; LADD, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH; PAUL, 1990), podendo ser um parâmetro fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas. Assim sendo, sua estimativa pode fornecer informações úteis sobre a disponibilidade de nutrientes imobilizados, assim como no entendimento do funcionamento desses ecossistemas e na qualidade do solo, pois ela reage rapidamente às perturbações sofridas decorrentes do manejo e do uso do solo.

A quantificação da biomassa microbiana pode ser associada ao tamanho da população de microrganismos e sua dinâmica com a fertilidade e potencial de produtividade do solo, além de poder fornecer dados sobre suas alterações de acordo com diferentes práticas agrícolas. A biomassa microbiana é estreitamente influenciada pelo tipo de utilização do solo e a relevância de sua quantificação se deve, portanto, à conveniência de usá-la como índice mais sensível às mudanças ocorridas no sistema, comparado aos conteúdos de C orgânico e N total (GAMA-RODRIGUES et al., 2005). A biomassa microbiana nunca deve ser analisada isoladamente como uma única maneira de se estimar a situação das populações de microrganismos, devendo ser analisada juntamente com a atividade dos microrganismos (respiração basal), nas mesmas amostras de solo, face à extrema heterogeneidade do ambiente natural da microbiota e da sua biodiversidade (GRISI; GRAY, 1996).

A respiração basal é definida como a respiração sem adição de substratos orgânicos ao solo, e pode ser avaliada através da produção de CO_2 ou consumo de O_2 (ALEF, 1995). A respiração é o parâmetro mais antigo utilizado na quantificação da atividade metabólica nos solos. Assim como outras atividades metabólicas, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula e influenciada por diversos fatores no solo, tais como umidade, temperatura, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes (ALLEN; SCHLESINGER, 2004; GONÇALVES et al., 2002).

A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e,

em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN et al., 1996; DALAL, 1998).

Para definir mais claramente a atividade dos microrganismos do solo, Anderson; Domsch (1993) propuseram a determinação do quociente metabólico (qCO_2), que tem por definição a relação entre a quantidade de CO_2 produzida por unidade de carbono da biomassa microbiana (CBM) e por unidade de tempo, como componente relevante na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana do solo.

O qCO_2 pode ser usado como parâmetro de avaliação do empobrecimento dos solos em termos de matéria orgânica. Assim, 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 carbono é incorporado no tecido microbiano (ANDERSON; DOMSCH, 1985).

A determinação 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 (VASCONCELOS, 2002), ou seja, o qCO_2 se torna ferramenta fundamental na elucidação de fluxos de entrada de elementos ou energia através da biomassa microbiana, além de ser um indicador sensível de sucessões de um ecossistema (MELLONI et al., 2001). Assim sendo, um maior valor da respiração microbiana deve-se a uma maior reciclagem da população microbiana, necessitando um maior consumo de energia para sua sobrevivência.

Segundo Brookes et al. (1990), em solos sem adição de uma fonte energética a microbiota fica em estado de latência ou em repouso, com baixa taxa de respiração. No entanto, mudança na composição da biomassa, efeito do estresse ambiental, decréscimo de células ativas com aumento da biomassa microbiana e inibição decorrente da concentração de CO_2 são as principais causas para as alterações da taxa de respiração da biomassa (SANTRUCKOVA; STRASKRABA, 1991).

Outros índices utilizados são as relações CBM:C e NBM:N, as quais são parâmetros confiáveis para descrever alterações em ecossistemas com interferência antrópica (INSAM; HASELWANDTER, 1989; GAMA-RODRIGUES et al., 2005). As mudanças nessas relações refletem na dinâmica da matéria orgânica nos solos, podendo aumentar ou diminuir em um ecossistema. Solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional possuem menor relação CBM:C e NBM:N do que solos com matéria orgânica de boa qualidade, mesmo

quando os níveis de C orgânico e N total do solo permanecem inalterados (GAMA-RODRIGUES, 1992).

Como os microrganismos agem na decomposição da matéria orgânica, presume-se que para uma relação C:N entre 17 e 35 os processos de mineralização e imobilização seriam semelhantes; para uma relação acima de 35, o processo seria predominantemente de imobilização de nitrogênio e para uma relação abaixo de 17 seria o de mineralização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A relação C:N é um fator inerente à matéria orgânica que influencia a população microbiana já que os microrganismos necessitam de N para a fabricação de seus constituintes e de C para o mesmo fim e para oxidação, como fonte de energia. A atividade representada pelo teor de CO₂ liberado e pela mineralização do N orgânico pelos microrganismos do solo, é influenciada pela quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos adicionados, e pelo tipo de preparo do solo (VASCONCELOS, 2002).

A decomposição de resíduos de plantas e animais no solo constitui o processo biológico básico no qual o C é reciclado para a atmosfera como dióxido de carbono (CO₂), o N torna-se disponível principalmente como amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), e outros elementos associados como o P, S e vários nutrientes aparecem em formas assimiláveis pelas plantas superiores (VARGAS; HUNGRIA, 1997). Entretanto, a eficiência na rapidez com que os nutrientes passam do meio abiótico para o biótico e deste, através do processo de decomposição da matéria orgânica, de volta para o primeiro, é imprescindível à manutenção de ecossistemas como o da Amazônia (SANTOS; GRISI, 1981). Em virtude disso, a relação C:N microbiana também pode ser usada como índice para expressar a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar o N, refletindo a qualidade nutricional da matéria orgânica (DE-POLLI et al., 2000).

Embora as propriedades químicas e físicas dos solos sejam bastante investigadas na região Amazônica (CHONE et al, 1991; CERRI et al., 1992; MARTINS et al., 1990; DESJARDINS et al, 2004; MÜLLER et al., 2004, entre outros), apenas alguns trabalhos têm dado atenção aos parâmetros biológicos e bioquímicos do solo (PFENNIG et al., 1992; FEIGL et al., 1995; LUIZÃO; LUIZÃO, 1999; VASCONCELOS, 2002; BITENCOURT, 2003; MOREIRA; MALAVOLTA, 2004). Todavia estes parâmetros são de fundamental importância uma vez que a atividade biológica do solo transforma-o em um grande incinerador biológico, capaz de decompor, através da ação enzimática, os componentes da matéria orgânica depositados no solo, resultando em compostos mais simples assimiláveis pelas plantas (SIQUEIRA et al., 1994).

2.2.2- Indicadores bioquímicos

Parâmetros bioquímicos são sugeridos como um indicador sensível das alterações ecológicas do solo (DICK; TABATABAI, 1993; DICK, 1984). As enzimas desempenham papel chave na ciclagem de nutrientes. A origem das enzimas é principalmente de células microbianas (LADD, 1978), mas também podem se originar de resíduos de plantas e animais (TABATABAI, 1994), bem como podem ser liberadas pela morte e lise celular dos microrganismos, ou ainda, modificação da permeabilidade celular (BURNS, 1986).

A enzima β -glucosidase é amplamente distribuída na natureza, sendo detectada em microrganismos, animais e plantas (DEY; PRIDHAM, 1972; WALLENFELS; WEIL, 1972) e no solo (SKUJINS, 1976). A principal atuação da atividade da β -glucosidase está relacionada à degradação dos carboidratos no solo e o produto da hidrólise (da celobiose como também de oligossacarídeos) é importante fonte de energia para os microrganismos do solo (EIVAZI; TABATABAI, 1988). Além disto, a atividade desta enzima está diretamente relacionada com a quantidade de matéria orgânica do solo.

No que se refere a urease, pode-se destacar que o processo de mineralização do N no solo é resultante da degradação de formas orgânicas do N, decorrentes da atividade de microrganismos, sendo responsável pela hidrólise da uréia em íons de amônio e gás carbônico. Portanto, esta enzima desempenha um papel significativo no ciclo do nitrogênio, sendo responsável pela transformação do N orgânico presente no tecido vegetal para formas inorgânicas simples. O primeiro processo de transformação de N orgânico em N mineral é a amonificação, que produz íons NH_4^+ (amônio), e é considerado limitante no processo de mineralização. Dentre as formas de N orgânica encontradas, está a uréia, ocorrendo de forma natural por meio de excreções de animais e como produto de mineralização de ácidos nucléicos.

Através do processo de amonificação a uréia se transformará com auxílio da enzima urease em amônio que, por sua vez, terá vários destinos, de acordo com as condições ambientais, sendo possível ser imobilizado pelos microrganismos, absorvido pelos vegetais superiores, adsorvidos pelos minerais de argila, além de ser oxidado a nitrato (NO_3^-), iniciando assim o processo de nitrificação (VICTÓRIA et al., 1992). Dentre os microrganismos que hidrolisam a uréia estão as bactérias, os fungos e os actinomicetes (ROBERGE; KNOWLES, 1967). A mineralização do N é influenciada pelos fatores que controlam o crescimento e atividade microbiana no solo, como também pela qualidade da serrapilheira.

A quantificação da atividade da urease pode nos fornecer uma indicação do potencial do solo em converter N orgânico em mineral, dando início ao processo de mineralização do N, mas, deve-se ter cautela em afirmar quais os processos que podem estar acontecendo, já que estes dependem de vários fatores, como pH, temperatura, quantidade de substrato, além de outros (CARVALHO, 2005).

O ciclo do fósforo, diferentemente dos ciclos do carbono e do nitrogênio, envolve reações de equilíbrio entre os constituintes orgânicos e inorgânicos do solo (DUXBURY et al., 1989) e quando uma floresta tropical é convertida em pastagem, a ciclagem do fósforo é fortemente afetada (MAGID, 1993).

O manejo do solo e o tipo de vegetação afetam as formas de fósforo do solo, principalmente as orgânicas, por estarem diretamente relacionadas com a atividade biológica do solo (TATE, 1984), pois o fósforo orgânico é transformado em fósforo solúvel pela ação das fosfatases, enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando o fosfato solúvel. Estas enzimas são secretadas pelas raízes das plantas e pelos microrganismos (NAHAS et al., 1994). A fosfatase ácida é encontrada principalmente em solos ácidos e é principalmente produzida pelas plantas e animais.

Vários estudos têm sido realizados sobre o potencial da atividade enzimática como indicador da produtividade do solo ou atividade microbiana (WOLLUM, 1994; ALEF, 1995; DICK et al., 1996). A atividade de algumas enzimas tal como β -glucosidase e urease, mostram-se significativamente mais altas em solos com plantio direto do que em solos com plantio convencional (DORAN, 1980; DICK, 1984; GUPTA; GERMIDA, 1988). Estas enzimas também são significativamente mais altas em solos com rotação de culturas do que em monocultivos (DICK, 1984; MILLER; DICK, 1995).

De modo geral, o que se tem feito em termos de enzimologia do solo é a determinação da atividade e dos fatores que sobre elas podem influir. Para tal, aplica-se um inibidor da atividade microbiana nas amostras de solo, de modo que se eliminem as complicações do crescimento microbiano como contribuinte para a atividade, avaliando-se, em seguida, o desaparecimento do substrato ou aparecimento do produto (LYNCH, 1986).

Lynch (1986) indica que, em algumas investigações, foi demonstrada uma nítida correlação entre os números de microrganismos e atividade enzimática, embora às vezes a atividade pareça ser independente da proliferação microbiana. Entretanto, números de microrganismos raramente se correlacionam com a biomassa microbiana, havendo poucos esforços no sentido de se tentar correlacionar a biomassa microbiana com atividade enzimática. É bastante claro que uma parte da atividade enzimática é independente de células

vivas, uma vez que o tratamento de esterilização ou inibição dos microrganismos com agentes químicos e físicos, geralmente destroem os microrganismos sem abolir a atividade enzimática.

2.3- Variabilidade sazonal nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo.

O uso do solo na agricultura, depois da retirada da vegetação natural, tem freqüentemente provocado alterações nas propriedades químicas, biológicas e bioquímicas do solo, as quais são dependentes das características do solo, do clima e do tipo de vegetação. A interação destes fatores estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo.

A precipitação é a característica climática mais importante para o crescimento das plantas na região tropical. Ao contrário da temperatura que é relativamente constante, a precipitação pluviométrica é muito variável, constituindo-se no principal fator a determinar a produtividade biológica (BARROS; COMERFORD, 2002), pois é uma das variáveis mais importantes na produção de biomassa e conseqüentemente de matéria orgânica (VASCONCELOS, 2002).

Em regiões de clima tropical úmido, os fatores climáticos como temperatura e precipitação pluviométrica, tendem a estimular a proliferação e a atividade da população microbiana do solo, o que já não ocorre em regiões de clima temperado, por causa da periodicidade climática. As características de elevadas temperatura e umidade, observadas nos trópicos úmidos durante todo o ano, favorecem o desenvolvimento dos microrganismos que atuam diretamente na decomposição da matéria orgânica do solo.

Além disto, de acordo com KEENEY; SAHRAWAT (1986), a alternância de ciclos com maior e menor umidade no solo, é responsável pelo aumento na taxa de mineralização de nutrientes. Muitas vezes os teores de C orgânico e N total ao longo das diferentes estações passa a impressão de que a matéria orgânica do solo manteve-se estável ao longo do ano. No entanto, DE-POLLI; GUERRA (1996) destacam que nem sempre esses parâmetros se mostram índices sensíveis a mudanças sofridas no conteúdo da matéria orgânica do solo quando comparados à biomassa microbiana, pois a interpretação dos resultados observados em relação à variação sazonal da biomassa microbiana pode ser entendida a partir das condições climáticas dominantes no local e seus efeitos sobre a decomposição dos resíduos.

O aumento do CBM e do NBM pode ser entendido pela elevação da precipitação pluviométrica, o que acarreta condições favoráveis ao aumento da biomassa microbiana do solo, que segundo GAMA-RODRIGUES (1999), tais elevações conferem função de reserva à biomassa microbiana, acumulando grandes quantidades de nutrientes. A respiração e o

quociente metabólico do solo também costumam sofrer flutuações sazonais, mostrando-se intimamente associados com o teor de umidade do solo. Maiores níveis de atividade microbiana têm sido relatados com o aumento da umidade do Solo (SANTRUCKOVA; STRASKRAVA, 1991; ALVAREZ et al., 1995),

Geralmente considera-se que o padrão climático das regiões tropicais mantém as populações desses microrganismos praticamente estáveis em condições naturais, durante o ano todo. Assim, este equilíbrio só seria alterado quando há alguma intervenção no ecossistema, como é o caso do uso do solo para produção agrícola ou pecuária. Chen et al. (2005) verificaram que a população microbiana é grandemente influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo, a qual exerce importante papel na decomposição e mineralização da matéria orgânica (SILVEIRA et al., 2006), influenciando na liberação de nutrientes no solo (WARDLE, 1998), sendo a umidade do solo um dos principais fatores responsáveis por esse processo.

Entretanto, existem em varias regiões tropicais uma sazonalidade que se manifesta principalmente por variações na distribuição das chuvas. Porém, em condições tropicais, ainda são poucos os estudos que avaliam os efeitos da sazonalidade nas propriedades biológicas do solo. Isso se torna ainda mais acentuado no que diz respeito às propriedades bioquímicas do solo, principalmente em estudos relacionados com enzimas do solo, tais como a β -glucosidase e a urease, e os fatores que as afetam. No entanto, Carvalho (2005); Mendes et al. (1999) e Ross et al. (1984) verificaram que a umidade está entre os fatores que mais afetam a atividade enzimática.

O efeito sazonal nas atividades de das enzimas, alguns estudos relataram pouca variação sazonal na atividade das enzimas do solo. Por exemplo, Dick et al. (1988) observou pouca variação sazonal na atividade da β -glucosidase em áreas agrícolas no norte-americano e Bandick; Dick (1999) relatou que a atividade do β -glucosidase variou pouco em relação à umidade do solo em sistemas similares. Finalmente, Bergstrom et al. (1998) observou que as variações sazonais na atividade do β -glucosidase eram pequenas quando comparadas ano a ano.

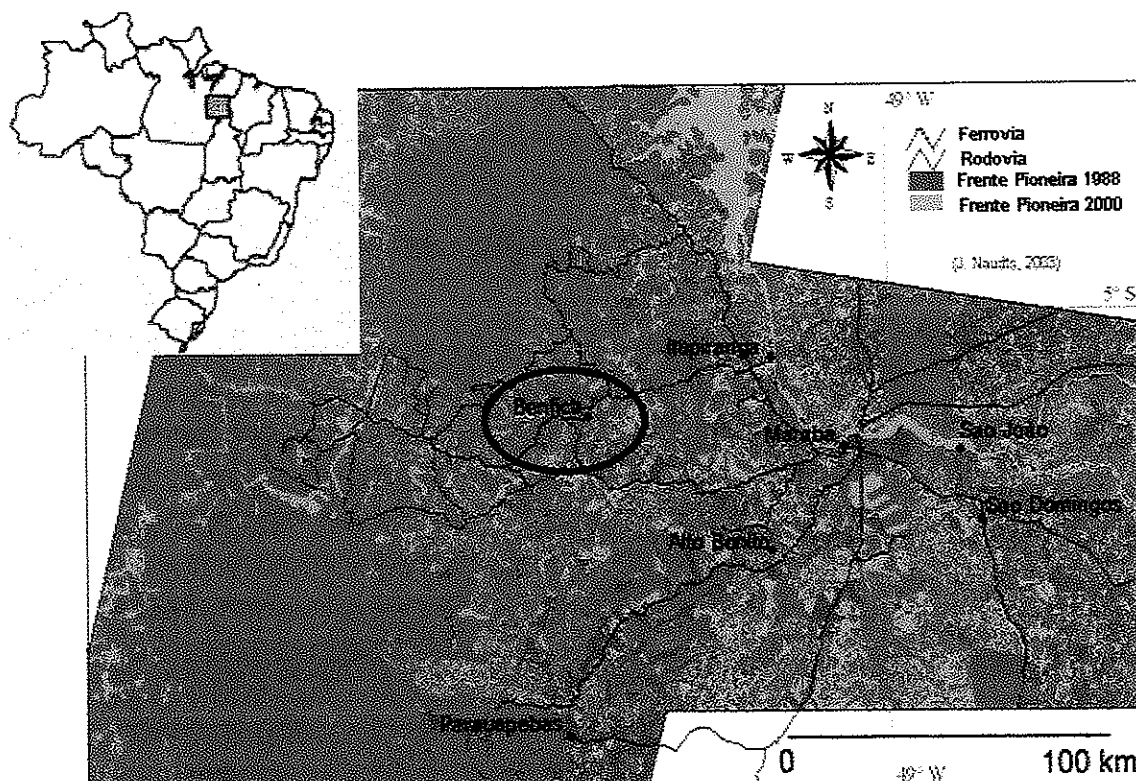
Quanto a atividade da urease Palma; Conti (1990) observaram um aumento na atividade enzimática durante o verão e decréscimo durante o inverno. Essas observações concordam com os resultados obtidos por Ross et al. (1984) que obtiveram baixa atividade da urease sob vegetação natural durante o inverno. Sttot; Hagedorn (1980) observaram aumento na atividade da urease durante a primavera e o verão e declínio durante o inverno.

Portanto dados relativos à biomassa microbiana, respiração e quociente metabólico do solo assumem importância dentro do contexto ambiental na medida que permitem uma melhor compreensão da ciclagem de nutrientes e de maneira geral, a avaliação da atividade enzimática é essencial para entender uma série de processos ocorridos no solo, todavia a revisão de literatura sobre atividade enzimática do solo em condições tropicais revelou um grande vazio de informações, principalmente no que diz respeito à variação sazonal.

3- METODOLOGIA

3.1- Localização e características da área de estudo

O estudo foi realizado em áreas de pequenos agricultores do Município de Itupiranga (PA), situadas no km 15 da vicinal do Rio da Esquerda e a 70 km da BR 230 (Rodovia Transamazônica), no projeto de assentamento de Benfica. A área pesquisada tem localização latitudinal de 5°16' S e longitudinal de 49°50' W (Figura 1).



Fonte: d'après Naudts, 2003

FIGURA 1- Localização do assentamento Benfica na região de Marabá/Pará.

3.2- Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw1 que corresponde a climas tropicais úmidos com estação seca definida. O índice pluviométrico é alto e a precipitação pode alcançar 2000 mm por ano, média obtida em 15 anos, entre 1973 e 1987 (DE REYNAL, 1995). A distribuição média da pluviosidade ao longo do ano é caracterizada por uma estação de chuva (dezembro a abril) com máximo em março e uma estação seca (maio a novembro) com um mínimo em outubro (Figura 2). A temperatura média se situa em torno de 26° C e varia muito pouco ao longo do ano (DE REYNAL, 1995).

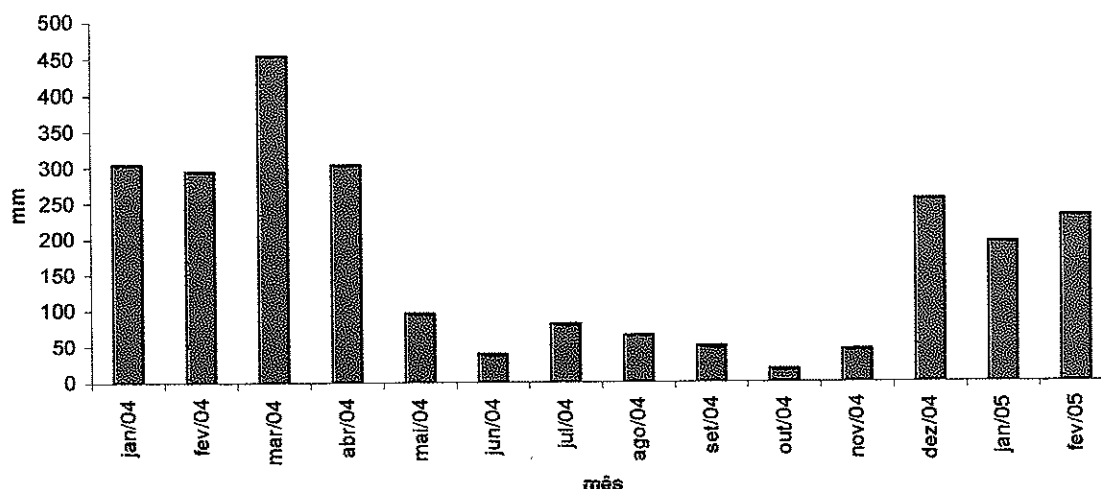


FIGURA 2- Precipitação mensal do assentamento Benfica-PA entre janeiro de 2004 e fevereiro de 2005.

3.3- Vegetação e solo

A cobertura vegetal primária da região de estudo é do tipo Floresta de Terra Firme, denominada de Floresta Ombrófila Densa (BIGARELLA et al., 1996).

Selecionou-se diferentes tipos de cobertura vegetal: floresta nativa; capoeira de 8 a 10 anos; pastagem de *Brachiaria brizanta* de 1 a 2 anos, pastagem de *B. brizanta* de 5 a 7 anos e pastagem de *B. brizanta* de 10 a 12 anos.

O tipo de solo de todas as áreas estudadas, localizadas nas partes mais altas do relevo foi classificado como Latossolo Amarelo, que caracterizou-se como profundo, ácido, álico, com baixa capacidade de troca catiônica e pouca diferença morfológica entre os horizontes.

3.4- Histórico do Assentamento

Em 1998 o Projeto de Assentamento “Benfica” foi implementado pelo INCRA. Segundo Biri Kassoum; Maître d’Hotel (2002), o assentamento conta com 183 lotes ocupando uma superfície de 124 km² e com uma população estimada em mil habitantes. Os colonos utilizam a queima para fazer a limpeza da área (Figura 3).



FIGURA 3- Detalhe da derrubada e queima da floresta, no assentamento Benfica, em Itupiranga, PA. (Foto: Mário Lopes, 2004)

Nas áreas de capoeira a trajetória de utilização foi floresta-cultivo de arroz-capoeira, sendo o cultivo de arroz feito por um curto período de tempo (no máximo dois anos), e depois abandonado, dando origem às capoeiras. O cultivo de arroz é praticado sem a utilização de adubos, sem mecanização agrícola e sem tratamentos contra doenças e parasitas. A colheita, realizada manualmente.

A vegetação que foi implantada pelos agricultores após o corte e a queima da floresta nas áreas de pastagem foi o cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) (Figura 4) seguida com a dispersão das sementes *Brachiaria brizanta*, sem, no entanto, a utilização de corretivos e adubos.



FIGURA 4- Detalhe da utilização da área com o cultivo de arroz (*Oryza sativa*), após a derrubada e queima da floresta, no assentamento Benfica, em Itupiranga, PA. (Foto: Michel Grimaldi, 2004).

Nas áreas de pastagem é feita a queima de manutenção, realizada após o início das primeiras chuvas: o fogo exerce uma pressão seletiva sobre as plantas daninhas, e influencia positivamente na fertilidade do solo pelo aporte das cinzas. Biri Kassoum; Maître D'Hotel (2002), constataram que a pecuária é a principal atividade econômica do assentamento Benfica, a qual é praticada pela quase totalidade dos agricultores daquela comunidade e ocupa uma importância variável nos lotes. A criação de gado está intimamente ligada à instalação de pastagens (Figura 5).



FIGURA 5- Detalhe da área de pastagem do assentamento Benfica, em Itupiranga, PA.
(Foto: Mário Lopes, 2004).

3.5- Coleta e preparo das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas em junho de 2004, outubro de 2004 e fevereiro de 2005 em um transecto de 8 x 50 m. Para cada tipo de cobertura vegetal, selecionou-se três áreas, dando um total de 15 áreas, onde foram coletadas 5 amostras simples, para formar 1 amostra composta, sendo feita 4 repetições por área. A coleta de solo foi realizada nas profundidades de 0-2, 2-5 e 5-10 cm, em trincheiras de 15 cm de profundidade, retirando-se fatias de solo nas profundidades citadas acima.

3.6- Determinação das características físicas do solo

A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta, na T.F.S.A. (Terra fina seca ao ar), adicionando-se pirofosfato de sódio, como dispersante químico. As frações foram separadas da seguinte maneira: argila ($< 0,002\text{mm}$), silte fino (entre $0,002$ a $0,02\text{mm}$), silte grosso ($0,02$ a $0,053\text{mm}$), areia fina ($0,053$ e $0,2\text{ mm}$) e areia grossa ($0,2$ a 2 mm).

A densidade do solo, das amostras das profundidades estudadas, foi determinada pelo método do anel volumétrico (BLAKE, 1965).

A umidade gravimétrica foi determinada segundo Embrapa (1997).

3.7- Determinação das características químicas do solo

As amostras de solo foram submetidas às análises químicas no Laboratório de Química de Solo do Instituto de Ciência Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia conforme Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1997).

O pH foi medido com potenciômetro na relação solo:água 1:2,5. O fósforo disponível, o potássio e o sódio trocáveis foram extraídos com uma solução Mehlich-1; sendo que o fósforo foi determinado por colorimetria (comprimento de onda 660nm); o potássio e o sódio foram determinados por fotometria de chama. O cálcio, o magnésio e o alumínio trocáveis foram extraídos por uma solução de KCl 1 M; o cálcio e o magnésio foram determinados por meio de titulação com EDTA 0,025 M e o alumínio por titulação com NaOH 0,025 M. O hidrogênio + o alumínio foram extraídos com $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{Ca}$ 1M pH 7,0 e determinado por titulação com NaOH 0,025 M (EMBRAPA, 1997).

A capacidade de troca de cátions (T) é calculada como a soma das bases trocáveis mais o alumínio trocável e os prótons; o V corresponde a saturação por bases; e o m saturação por alumínio.

O carbono e nitrogênio totais do solo foram determinados por combustão via seca com um autoanalisador, de alíquotas moídas e peneiradas à 0,2 mm.

3.8- Determinação das características biológicas

Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

Utilizou-se o método da fumigação-extração para estimar o carbono da biomassa microbiana (CBM) (VANCE et al, 1987; TATE et al, 1988) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) (BROOKES et al., 1985). Amostras de aproximadamente 12,5 g (peso fresco) foram acondicionadas em dessecador e submetidas à fumigação com clorofórmio livre de álcool por 24 horas, agitadas por 30 minutos em extratos de K_2SO_4 0,5M e posteriormente filtradas. Amostras não-fumigadas foram pesadas ao mesmo tempo das amostras fumigadas e posteriormente conservadas em geladeira até a retiradas das amostras fumigadas do dessecador para a extração no mesmo momento conforme citado anteriormente. Em seguidas os extratos foram armazenados em frascos plásticos sob congelamento até o início das análises químicas.

O CBM foi oxidado em meio ácido, com dicromato de potássio (0,4 N), sendo a determinação realizada por titulação de oxi-redução, com Sulfato de ferro ferroso amoniacal (0,4 N), e o NBM por meio de colorimetria em fluxo contínuo (marca Skalar).

Para o cálculo do CBM, foi utilizado o coeficiente K_c de 0,26 determinado especificamente para solos da Amazônia por Feigl et al. (1995). Esses autores o calcularam como a quantidade de ^{14}C adicionado (como glicose), menos o respirado, menos o extraído antes da fumigação, e a partir destes dados foi calculado a diferença entre ^{14}C extraído após e antes da fumigação, para finalmente ser obtido o K_c por meio da relação entre o fluxo de ^{14}C extraível e ^{14}C microbiano.

O fator utilizado para a determinação do NBM foi $K_n = 0,54$ (BROOKES et al, 1985; JOERGENSEN; MUELLER, 1996). O fator de correção (K_n) utilizado no cálculo de NBM exprime a fração deste nutriente recuperada pelo extrator após a fumigação.

Os resultados de CBM e NBM foram expressos em micrograma (μg) por grama de solo seco em estufa a 105° por 24 horas.

Para o cálculo do CBM, utilizou-se a seguinte equação:

$$CBM = (CF - CNF) / K_c$$

Onde:

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

CF = quantidade de C extraído na amostra fumigada em μg de C/g de solo seco;

CNF = quantidade de C extraído na amostra não fumigada em μg de C/g de solo seco; e

K_c = eficiência de extração de C;

A partir do mesmo extrato, foi determinado o NBM pela equação:

$$NBM = (NF - NNF) / K_n,$$

Onde:

NBM = N da biomassa microbiana μg de N por g de solo seco

NF = quantidade de N extraído na amostra fumigada em μg de N/g de solo seco

NNF = quantidade de N extraído na amostra não fumigada em μg de N/g de solo seco

K_n = fator de eficiência de extração de N.

Respiração basal do solo

Foi determinada fazendo-se a incubação do solo durante 10 dias, sendo quantificada a partir do CO₂ produzido pela respiração dos microrganismos, seguindo a metodologia proposta por GREGORICH et al. (1990).

O ensaio constou de um *kit* formado por um frasco plástico com capacidade de 2 L, fechado hermeticamente, contendo um copo com 30 g de solo na umidade de campo, juntamente com um béquer contendo 10 mL de NaOH 0,5 mol/L, sem entrar em contato direto com a amostra de solo. Fez-se necessária também uma unidade deste *kit* sem a adição de solo, para ser utilizada como prova em branco. O CO₂ capturado pelo hidróxido de sódio foi determinado por titulação, com solução de HCl 0,5 mol/L. Para isto, colocou-se uma alíquota de 4 mL de solução de BaCl₂ 1 mol/L e 5 gotas de fenolftaleína, como indicador. Todas as determinações foram feitas em duplicatas e os resultados expressos com base no solo seco.

A quantidade de CO₂ liberada foi calculada pela fórmula:

$$\mu\text{g CO}_2/\text{g de solo} = \frac{(B - T) \times N \times f \times V}{AT}$$

em que:

B = mL da titulação da prova em branco;

T = mL da titulação da amostra;

N = normalidade do ácido (eqg/L);

f = fator de correção do HCl 0,5 M;

V = mL de NaOH (0,5M) usado na captura do CO₂;

AT = mL da alíquota a ser titulada

Quociente metabólico

O quociente metabólico (*q*CO₂) foi determinado como proposto por Anderson; Domsch (1993): é a quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa microbiana pelo tempo.

Os resultados foram expressos em $\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g CBM}^{-1} \text{ h}^{-1}$

3.9- Determinação das características bioquímicas

Foram avaliadas as atividades de enzimas do solo, associadas ao ciclo do carbono (β -glucosidase), do nitrogênio (urease) e do fósforo (fosfatase ácida), utilizando os métodos descritos por Tabatabai (1994). Para cada amostra de solo, coletada no campo, foram realizadas três repetições analíticas no laboratório.

Determinação da atividade da β -glucosidase

Foi pesado 100 mg de solo de cada amostra em tubos de ensaio, em seguida foram adicionados 0,1 ml de Tampão Mac Ilvaine e 2 ml da solução de PNP (1%). Para a amostra controle foi pesado o solo na mesma quantidade e adicionado o Tampão Mac Ilvaine mais 0,2 ml de água.

Os frascos foram fechados e colocados em um agitador/incubadora por 2 horas a 37°C, com velocidade de 275 tr/min.

Após este período os frascos foram levados para a centrífuga por 5 minutos a 10000 t/min. e em seguida foi retirado o sobrenadante e colocado 3 ml de Na_2CO_3 (2%). Posteriormente as amostras foram colocadas no vortex e esperou-se 10 minutos para que se pudesse fazer a leitura em espectrofotômetro a 400 nm.

Soluções utilizadas:

- Mac Ilvaine: foram preparadas 2 soluções: A) $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ (0,1 M) e B) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (0,2 M). Da solução A foi pipetado 24,3 ml e da solução B 25,7 ml, posteriormente ajustado o pH a 5,0.
- PNP (P-nitrophenyl B-D-gluco-pyranoside)
- Na_2CO_3 (2%)

Determinação da atividade da urease

Foi pesado 100 mg de solo, depois adicionado 0,4 ml de tampão de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (0,1 M, pH = 9,0) em todas as amostras, inclusive na amostra controle e 0,05 ml de uréia em todas as amostras, menos na amostra controle. Em seguida foram colocadas no agitador/incubadora por 2 horas a 37°C e 275 Tr/min.

Decorrido este processo foi adicionado 0,05 ml de uréia somente nas amostras controle e 3 ml de KCl (1M) em todas as amostras.

Agitou-se por 30 min. e em seguidas foi feito a centrifugação a 10000 Tr/min. Após foi retirado 1 ml do sobrenadante e colocado em tubos de ensaio de 25 ml, onde adicionou-se 5 ml do reagente A (descrito abaixo), 2 ml de dichlorocyanurate de sódio e 9 ml de água.

Posteriormente as amostras foram agitadas no vortex e colocadas no agitador por 30 min., a 80 Tr/min., em temperatura ambiente e no escuro. Em seguidas as amostras foram passadas novamente no vortex e feita a leitura em espectrofotômetro a 660 nm.

Soluções utilizadas:

- Tampão de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: foram preparadas 2 soluções: A) HCl M/10 e B) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ M/10. Da solução A foi pipetada 15 ml e da solução B 85 ml, sendo o pH ajustado para 9,0.
- Ureia (720 mM)
- KCl (1M) + 5 ml de HCl (1M), completar para 500 ml de água
- Reagente A: 1,2 g de NaOH, 17 g de $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$ e 0,12 g de $\text{C}_5\text{FeN}_6\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; diluir em 300 ml de água
- Solução de dichlorocyanurate de sódio (39,1 mM)

Determinação da atividade da fosfatase ácida

Foi pesado 100 mg de solo e adicionado 0,4 ml de Tampão Mac ilvaine. O substrato utilizado foi o PNPP (1%) em todas as amostras, com exceção das amostras controle e nestas colocadas somente 0,1 ml de água.

Depois foi colocado para agitar e incubar por 1 hora, a 37°C e 275 Tr/min, decorrido este tempo foi colocado 0,1 ml de CaCl_2 (0,5 M), 0,4 ml de NaOH (1N) em todas as amostras. Nas amostras controle foi adicionado ainda 0,1 de PNPP (1%) e 0,1 ml de água nas outras amostras.

Em seguida todas as amostras foram centrifugadas a 10000 Tr/min durante 5 min., pipetado o sobrenadante e lido em espectrofotômetro a 400nm.

Soluções utilizadas:

- Mac Ilvaine: foram preparadas 2 soluções: A) $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ (0,1 M) e B) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (0,2 M). Da solução A foi pipetado 30,7 ml e da solução B 19,3 ml, posteriormente ajustado o pH a 4,0.
- PNPP (Nitrophenyl phosphate disodium salt hexahydrate $\geq 97\%$)
- CaCl_2 (0,5M)
- NaOH (1N)

3.10- Análise estatística dos dados

Efeito da cobertura vegetal nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo.

Os resultados obtidos para as propriedades químicas, biológicas e bioquímicas do solo a partir de amostras coletadas em maio/junho de 2004, no esquema fatorial 5×3 , referente a cinco tipos de coberturas vegetais (floresta, capoeira, pastagem de 1-2 anos, pastagem de 5-7 anos e pastagem de 10-12 anos), e três profundidades de amostragem (0-2, 2-5 e 5-10 cm), com três repetições, foram submetidas à análise de variância. A análise de variância foi feita para avaliar o efeito da cobertura vegetal e da profundidade nas variáveis estudadas e a comparação de média foi feita pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa estatístico SAEG 8.1.

Efeito do período de amostragem nos atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo.

Os resultados obtidos para as propriedades químicas (C, N e C/N), biológicas (CBM, CBM/C, CO_2 e qCO_2) e bioquímicas (β -glucosidase e urease) do solo, no esquema fatorial $5 \times 3 \times 3$, referente a cinco tipos de coberturas vegetais (floresta, capoeira, pastagem de 1 – 2 anos, pastagem de 5 – 7 anos e pastagem de 10 – 12 anos), três profundidades de amostragem (0 – 2 , 2 – 5 e 5 – 10 cm) e três datas de coleta (junho/2004, outubro/2004 e fevereiro/2005), com três repetições, foram submetidos à análise de variância e comparação de média pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAEG 8.1.

Avaliação do grau de similaridade ou de dissimilaridade entre os sistemas de uso do solo.

Efetua-se uma Análise de Agrupamento para as propriedades químicas, biológicas e bioquímicas do solo, para os três períodos de coleta, por meio do programa estatístico SAS, versão 9.0. A análise estatística de agrupamento ou *cluster analysis* tem objetivo de encontrar e separar objetos em grupos, similares dentro do grupo e dissimilares entre os grupos (BASSAD et al., 1990; VALENTIN, 2000).

Desse modo, a análise de agrupamento pretende, dada uma amostra de n objetos (ou indivíduos), cada um deles medidos segundo p variáveis, procurar um esquema de classificação que reúna os objetos em g grupos, exigindo conceitos científicos mais sofisticados de semelhança (BASSAD et al., 1990).

O princípio da análise de agrupamento consiste em que cada observação de uma amostra multivariada possa ser considerada como um ponto em um espaço euclidiano multidimensional.

Os processos de classificação objetivam agrupar esses pontos em conjuntos que evidenciem aspectos marcantes da amostra. Assim, dado um conjunto de observações conhecidas somente por uma listagem de suas características, objetiva-se encontrar a melhor maneira de descrever seus padrões de similaridade mútuos.

Em termos gerais, a classificação pode ser entendida como um processo para localizar entidades em classes inicialmente indefinidas, de modo que as entidades da mesma classe sejam similares entre si em algum sentido definido pelas variáveis consideradas. Essas classes de entidades similares são os agrupamentos.

Os diversos métodos de agrupamento objetivam transformar um conjunto heterogêneo de unidades não separadas, a princípio, em grupos que reflitam aspectos considerados importantes das relações originais entre as mesmas unidades. Para isso, são propostas muitas técnicas, não se estruturando ainda uma teoria geral e amplamente aceita.

A análise de agrupamento é interessante, principalmente sob o aspecto descritivo, pois seu resultado final, nos métodos, é um gráfico de esquemas hierárquicos denominado “dendrograma”. Esse representa uma síntese dos resultados, o que ocasiona certa perda de informações. Ainda assim, e no caso de essa perda ser pequena, o resumo da informação torna-se mais fácil de ser manipulado e armazenado, sendo importante para a comparação, classificação e discussão do material estudado.

Após a escolha das variáveis que serão utilizadas como critério de semelhança, uma das questões vitais das técnicas de análise de agrupamento é a definição do coeficiente de

similaridade ou dissimilaridade. Apresentam-se os critérios de escolha de similaridade e dissimilaridade entre elementos e o algoritmo de formação dos agrupamentos.

A formação de agrupamentos fundamenta-se em dois princípios básicos, sugeridos por Bassad et al. (1990): coesão interna dos objetos e isolamento externo entre os grupos. Na literatura, existem maneiras diferentes para medir os dois princípios, razão da existência de grande número de algoritmos para formar grupos, como apresentam Bassad et al. (1990), Mardia et al. (1989) e Johnson; Wichern (1982).

As técnicas de agrupar podem ser classificadas em categorias, nas quais as técnicas hierárquicas são as mais utilizadas na literatura. Por meio dessas técnicas hierárquicas, os objetos são classificados em grupos, em diferentes etapas, de modo hierárquico, produzindo uma árvore de classificação. Para essa análise utilizou-se o algoritmo hierárquico que é definido como:

$$d_{(kl)j} = \frac{(d_{kl} + d_{lj})}{2}$$

em que:

$d(kl)j$ = é a distância entre o agrupamento (kl) e o agrupamento j ;

d_{kl} e d_{lj} = são as distâncias entre a maior distância dos membros dos agrupamentos k e j e dos agrupamentos l e j .

Associação entre os atributos químicos, biológicos e bioquímicos do solo, sob diferentes tipos de cobertura vegetal.

Efetua-se uma Análise de Correlação Canônica entre as propriedades químicas e biológicas do solo; químicas e bioquímicas do solo e biológicas e bioquímicas do solo, para os três períodos de coleta. A análise de Correlação Canônica é um procedimento estatístico multivariado que permite medir a existência da associação entre dois grupos de variáveis, encontrando um pequeno número de combinações lineares, para cada um dos conjuntos de variáveis, de modo a maximizar as correlações possíveis entre os grupos (HAIR et al., 1995; JOHNSON; WICHERN, 1992; VALENTIN, 2000).

Neste trabalho objetivou-se estimar a máxima correlação entre as combinações lineares das propriedades químicas do solo (C, N e C/N) e propriedades biológicas (CBM, CBM/C, CO₂, qCO₂) e, supondo-se que o primeiro conjunto de variáveis (químicas) seja

definido por a_1C , a_2N e a_3C/N e as inerentes ao segundo conjunto de variáveis (biológicas) seja denominado de b_1CBM , b_8qCO_2 . A técnica consiste em determinar as combinações lineares v e w , ou seja, obter $V = a_1C, a_2N, a_3C/N$ e $W = b_1CBM, b_8 qCO_2$, de tal maneira, que a correlação r_{zw} entre essas combinações lineares de v e w atinja o máximo valor possível.

Sendo V_1, V_2, V_3 e W_1, W_2, W_3 as combinações lineares pertencentes as variáveis químicas e biológicas do solo, respectivamente, foram definidas as seguintes funções:

$$V_1 = a_{11}C + a_{12}N + a_{13}C/N;$$

$$V_2 = a_{21}C + a_{22}N + a_{23}C/N;$$

$$V_3 = a_{31}C + a_{32}N + a_{33}C/N;$$

$$W_1 = b_{11}CBM + + b_{18} qCO_2;$$

$$W_2 = b_{21}CBM + + b_{28} qCO_2;$$

$$W_3 = b_{31}CBM + + b_{38} qCO_2;$$

Onde:

(V_1, W_1) : Primeiro par de variável canônica;

(V_2, W_2) : Segundo par de variável canônica;

(V_3, W_3) : Terceiro par de variável canônica.

Para verificar a significância da correlação canônica nos pares canônicos, foi utilizado o teste da razão da máxima verossimilhança, cuja estatística é a Lambda (λ) de Wilks, analisada através do programa estatístico SAS, versão 9.0. O coeficiente de correlação canônica (r), para cada par canônico, mede a intensidade da correlação.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Influência da mudança de cobertura vegetal sobre as propriedades do solo

4.1.1- Caracterização física e química dos solos estudados

Análise Física

As características físicas dos solos estudados, referentes a resultados de uma amostra composta formada a partir de três amostras simples, para cada cobertura vegetal, são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1- Propriedades físicas do solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas de $\pm$ erro padrão.

Cobertura vegetal	PROF (cm)	Ds g.cm^{-3}	Argila	Silte g.kg^{-1}	Areia
Floresta	0 - 2	$1,05 \pm 0,06$	367 ± 57	46 ± 4	587 ± 58
	2 - 5	$1,13 \pm 0,07$	443 ± 54	49 ± 3	580 ± 56
	5 - 10	$1,29 \pm 0,06$	504 ± 57	50 ± 7	447 ± 52
Capoeira	0 - 2	$1,09 \pm 0,06$	332 ± 82	51 ± 3	618 ± 83
	2 - 5	$1,21 \pm 0,06$	391 ± 88	48 ± 2	561 ± 89
	5 - 10	$1,32 \pm 0,05$	440 ± 83	54 ± 4	506 ± 80
Pastagem 1-2 anos	0 - 2	$1,27 \pm 0,03$	344 ± 80	68 ± 12	588 ± 68
	2 - 5	$1,27 \pm 0,04$	442 ± 78	47 ± 2	511 ± 79
	5 - 10	$1,35 \pm 0,03$	499 ± 63	53 ± 2	448 ± 63
Pastagem 5-7 anos	0 - 2	$1,38 \pm 0,07$	353 ± 59	74 ± 8	573 ± 67
	2 - 5	$1,45 \pm 0,06$	443 ± 70	19 ± 3	408 ± 72
	5 - 10	$1,40 \pm 0,04$	504 ± 67	50 ± 3	447 ± 69
Pastagem 10-12 anos	0 - 2	$1,36 \pm 0,04$	444 ± 61	70 ± 10	486 ± 55
	2 - 5	$1,40 \pm 0,05$	476 ± 58	69 ± 10	456 ± 51
	5 - 10	$1,44 \pm 0,08$	507 ± 61	66 ± 10	428 ± 53

PROF = profundidade, Ds = densidade do solo

Os valores de densidade do solo (Ds) variaram de 1,05 a 1,45 g.cm^{-3} (Tabela 1). Na camada superficial (0-2 cm), os menores valores correspondem à floresta, seguindo-se a capoeira e a pastagem recém-instalada. As pastagens mais velhas apresentaram os maiores valores (1,36 e 1,38 g.cm^{-3}), em comparação às áreas de floresta e capoeira. Na profundidade de 2-5 cm, a densidade do solo da área sob floresta só diferiu, também, das áreas de pastagens mais velhas, as quais apresentaram valores de 1,45 g.cm^{-3} e 1,40 g.cm^{-3} para pastagem 5-7

anos e pastagem 10-12 anos, respectivamente. Na profundidade de 5-10 cm a Ds variou de $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$, em área sob floresta, a $1,44 \text{ g.cm}^{-3}$ em área de pastagem de 10-12 anos.

Verifica-se também, que, após o desmatamento, ocorre aumento da Ds com o aumento da idade das pastagens em todas as profundidades estudadas. Este aumento é maior na camada de 0-2 cm, provavelmente, por ser esta a que recebe os efeitos diretos das chuvas e do pisoteio dos animais. Como era esperado, os maiores aumentos entre as camadas de 0-2 cm e 5-10 cm ocorreram em área de floresta e capoeira – 23% e 21%, respectivamente, o menor aumento ocorreu em pastagem de 5-7 anos (1,5%).

Os resultados mostram que a substituição da floresta por pastagem, expondo o solo aos impactos diretos da chuva, e o pisoteio dos animais levam ao aumento da densidade, principalmente na camada superficial, causando desestruturação do solo, o que pode favorecer a migração de partículas de argila para as profundidades maiores e a ocupação dos macroporos do solo (KIEHL, 1979). Araújo et al (2004) verificaram aumento significativo em Ds da camada superficial de um Argissolo Amarelo distrófico da Amazônia Ocidental (AC) após a substituição da mata nativa ($1,40 \text{ g.cm}^{-3}$) por pastagem ($1,73 \text{ g.cm}^{-3}$), atribuindo tal aumento ao pisoteio do gado e à maior predisposição do solo a ciclos de umedecimento e secagem em relação a mata nativa.

Aumento da densidade do solo em função do aumento da idade de pastagens já foi observado por outros autores. Desjardins et al (2004), estudando duas cronossequências formadas pelas florestas nativas e três pastagens, com idade entre 3 e 15 anos, sobre solos, arenosos em Marabá (PA), e argilosos em Manaus (AM), verificaram aumento em Ds após a substituição da floresta por pastagens. Os autores verificaram que o maior aumento ocorreu no Latossolo argiloso de Manaus (AM), com elevação de 28% em Ds da camada de 0-5 cm entre a mata nativa e a pastagem de 15 anos.

A Tabela 1 mostra textura argilosa para quase todos os solos analisados, com exceção do solo de capoeira e de pastagem de 1-2 anos na profundidade de 0-2 cm, que se apresentam como solo de textura média. Observa-se aumento no conteúdo de argila com a profundidade, o que está de acordo com os resultados obtidos por Moraes et al. (1996). A fração argila regula muitas propriedades químicas do solo: esta apresenta grande superfície específica e numerosas cargas elétricas, sendo predominantemente encontradas cargas negativas (LOPES; GUILHERME, 1992). Ela interage com os microrganismos, afetando aspectos importantes da ecologia microbiana, como sobrevivência, sucessão e interação entre os organismos, além de sua atividade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Análise química

A análise química é referente a resultado de três amostras compostas e apresentou os seguintes resultados (Tabela 2).

O valor de pH (H_2O) dos solos variou entre 4,2 a 6,4, típicos em Latossolos da Amazônia que são solos ácidos, e de um modo geral não houve variação em função da profundidade. Estes valores estão dentro da faixa dos observados por Rodrigues (2006) em Aruora do Pará (PA) e por Moraes (1995), em floresta e pastagens de diferentes idades na Amazônia Sul-Occidental em Rondônia.

O pH foi maior nas áreas de pastagem que nas áreas de floresta e capoeira. Islam et al. (2000), estudando os efeitos do uso da terra na qualidade do solo em uma floresta tropical em Bangladesh, encontraram maiores valores de pH em solos sob cobertura de gramíneas e cultivados (cerca de 5,6) em relação a solos sob floresta nativa (cerca de 4,9). Na Reserva Biológica La Selva (Costa Rica), Reiniers et al. (1994) também encontraram valores menores de pH, tanto reais quanto potenciais, em uma área de floresta primária e em três áreas de florestas secundárias comparadas à áreas de pastagens, sendo três ativamente pastoreados (10-36 anos) e três pastagens abandonadas (4-10 anos). Em trabalho realizado por Longo; Espíndola (2000), em Rondônia foi evidenciado forte acidez nos solos de floresta (3,6 até 3,9), porém, nas pastagens (*Brachiaria brizanta*) os valores de pH foram mais elevados (4,1 a 4,5).

Alguns fatores podem ser responsáveis pela menor acidez do solo nestas áreas, tais como: os efeitos decorrentes da deposição de cinzas ricas em bases trocáveis, a rápida decomposição da matéria orgânica e ciclagem de cátions, realizadas pelas gramíneas, que mantêm alta a saturação de bases no solo, gerando ácidos orgânicos menos persistentes e em menor quantidade que em florestas.

A capacidade de troca de cátions (CTC) tem grande importância na fertilidade do solo, entretanto esta praticamente não variou em função do tipo de cobertura vegetal, mas variou em função da profundidade de amostragem, decrescendo com o aumento da profundidade para todos os tipos de cobertura vegetal. Segundo Brady; Weil (1999) a magnitude da CTC de um solo resulta da natureza dos colóides minerais e orgânicos e do pH do solo. A fração argila dos Latossolos tem baixa quantidade de cargas negativas e, portanto a maior parte da CTC desses solos é devido aos colóides orgânicos, cuja quantidade diminui rapidamente com a profundidade, nas áreas estudadas.

TABELA 2- Propriedades químicas do solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas de $\pm$ erro padrão.

Cobertura	PROF	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺	CTC	V	m	P
vegetal	(cm)	H ₂ O	cmolc. kg ⁻¹ de TFSA				(%)			mg.dm ⁻³	
Floresta	0-2	4,4	0,6	0,2	0,1	1,7	6,6	9,3	12,2	56,9	9,4
		$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,7$	$\pm 1,7$	$\pm 2,5$	$\pm 3,7$	$\pm 13,7$	$\pm 0,7$
	2-5	4,3	0,2	0,6	0,1	1,9	5,4	8,2	12,4	63,1	6,4
		$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,7$	$\pm 1,1$	$\pm 1,7$	$\pm 4,0$	$\pm 12,1$	$\pm 0,4$
	5-10	4,2	0,1	0,4	0,1	1,9	4,4	6,9	9,5	74,1	3,9
		$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,9$	$\pm 1,4$	$\pm 2,8$	$\pm 7,1$	$\pm 0,5$
Capoeira	0-2	5,2	2,4	1,1	0,7	0,7	4,6	9,5	23,4	20,0	12,7
		$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 1,1$	$\pm 0,7$	$\pm 8,2$	$\pm 11,1$	$\pm 5,5$
	2-5	5,0	1,3	0,9	0,4	0,9	3,9	6,5	37,0	32,3	5,1
		$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 15,7$	$\pm 13,9$	$\pm 1,2$
	5-10	4,8	0,7	0,6	0,3	1,1	3,6	6,2	29,9	46,2	2,9
		$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 0,7$	$\pm 15,6$	$\pm 16,1$	$\pm 0,5$
Past. 1-2 anos	0-2	6,3	4,2	1,8	0,4	0,2	3,5	9,9	65,4	3,2	15,6
		$\pm 0,4$	$\pm 0,9$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 1,3$	$\pm 1,3$	$\pm 11,7$	$\pm 1,5$	$\pm 4,6$
	2-5	5,2	1,4	0,6	0,2	1,2	4,4	7,8	34,8	33,2	4,9
		$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,5$	$\pm 1,5$	$\pm 1,7$	$\pm 15,1$	$\pm 14,4$	$\pm 0,8$
	5-10	4,7	0,7	0,6	0,1	1,7	4,0	7,0	23,0	54,7	3,4
		$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,0$	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$	$\pm 1,3$	$\pm 13,0$	$\pm 18,9$	$\pm 0,6$
Past. 5-7 anos	0-2	6,4	3,7	2,0	1,2	0,2	2,8	9,8	69,7	2,7	9,2
		$\pm 0,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,7$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 1,1$	$\pm 1,8$	$\pm 0,9$	$\pm 2,4$
	2-5	5,6	1,7	0,9	0,6	0,4	3,0	6,5	48,8	10,1	3,5
		$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 1,2$
	5-10	5,2	1,3	0,7	0,4	0,6	3,0	5,9	39,4	21,9	2,2
		$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 4,2$	$\pm 5,9$	$\pm 1,0$
Past. 10-12 anos	0-2	5,1	2,1	1,5	0,3	0,4	5,4	9,8	40,8	13,2	5,2
		$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 1,1$	$\pm 0,9$	$\pm 10,5$	$\pm 7,2$	$\pm 0,9$
	2-5	5,0	1,5	1,2	0,2	0,8	4,7	8,4	36,4	25,5	3,0
		$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 1,2$	$\pm 0,6$	$\pm 14,7$	$\pm 11,0$	$\pm 0,1$
	5-10	4,8	1,2	0,8	0,1	1,1	4,3	7,4	31,0	36,1	2,3
		$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,4$	$\pm 1,1$	$\pm 0,8$	$\pm 13,5$	$\pm 14,0$	$\pm 0,3$

PROF. = profundidade; pH = potencial hidrogênico; Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺ trocáveis; Al⁺³ = alumínio trocável; H⁺ = hidrogênio; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; P = fósforo disponível

O sistema de uso do solo que apresentou os valores mais baixos de saturação por bases (V) foi a floresta, a explicação para isto é que estes ecossistemas dependem da ciclagem interna, pois estão estabelecidos em solos fortemente ácidos e lixiviados. Entretanto, apesar de estarem estabelecidas no mesmo tipo de solo, as pastagens apresentam maiores valores de pH que estão diretamente ligados à menor saturação por alumínio (m) e à presença de cátions provenientes da deposição de cinzas, pois estes sistemas são queimados, aproximadamente de 2 em 2 anos. Verifica-se também que houve aumento no valor de V com a implantação das pastagens, e dentre estas pastagens de diferentes idades, o menor valor foi encontrado em solo sob pastagens de 10-12 anos. De acordo com Teixeira et al. (1996), as pastagens apresentam maior produtividade nos primeiros anos em decorrência da fertilidade do solo pela deposição de nutrientes minerais, por meio das cinzas, que se encontravam estocados na biomassa florestal.

A disponibilidade de fósforo, um dos elementos chave em solos amazônicos, ficou entre 2,3 e 15,6 mg.dm⁻³. Nas pastagens jovens os teores de P disponível foram levemente superiores aos teores dos solos de floresta. Conforme o aumento da idade das pastagens, os teores de P diminuíram, sendo os menores valores encontrados em solos sob pastagem de 10-12 anos. Resultados semelhantes foram obtidos por Teixeira et al. (1996) que observaram uma diminuição acentuada na produtividade das pastagens em decorrência da diminuição da fertilidade do solo, principalmente diminuição do P disponível. Segundo Corazza (2002), o P é reconhecido como um fator limitante, principalmente em pastagem, devido à sua baixa disponibilidade, tanto pelo nível de reserva, como pela elevada capacidade de fixação do P no solo.

Independentemente do tipo de cobertura houve decréscimo do P com o aumento da profundidade, provavelmente, devido a presença de P orgânico, o qual é mineralizado e adicionado ao solo. Este fato foi também comprovado por Rodrigues et al. (1991), trabalhando com solos do Estado do Amapá.

4.1.2- Carbono, nitrogênio e relação C/N

Carbono orgânico (C)

A Figura 6 mostra que o teor de C nos diferentes tipos de cobertura vegetal foi semelhantes nas profundidades de 2-5 cm e 5-10 cm. Foi somente na profundidade de 0-2 cm que houve diferença estatística significativa, sendo os maiores valores encontrados em solos sob pastagens de 5-7 anos (29,0 g C.kg⁻¹ solo), de 10-12 anos (29,9 g.C.kg⁻¹ solo) e capoeira

(30,9 g C.kg⁻¹ solo), os quais não diferiram estatisticamente entre si. Sendo importante ressaltar que a capoeira foi o sistema de uso do solo que apresentou maiores teores de C e nas pastagens o C aumentou conforme o aumento da idade das pastagens.

Uma das explicações para este fato é que em solo sob pastagem há uma entrada contínua de C, proveniente da decomposição da liteira e principalmente das raízes, que são de rápida ciclagem (ROBERTSON et al., 1993), o que promove um aumento no teor de carbono do solo, como foi verificado por Cerri et al. (1992); Choné et al. (1991), Bernoux et al. (1999) e Desjardins et al. (2004). Estes autores relataram que a implantação de pastagem pode não só recuperar os teores de C do solo, como em alguns casos superar os teores de carbono de uma área de floresta.

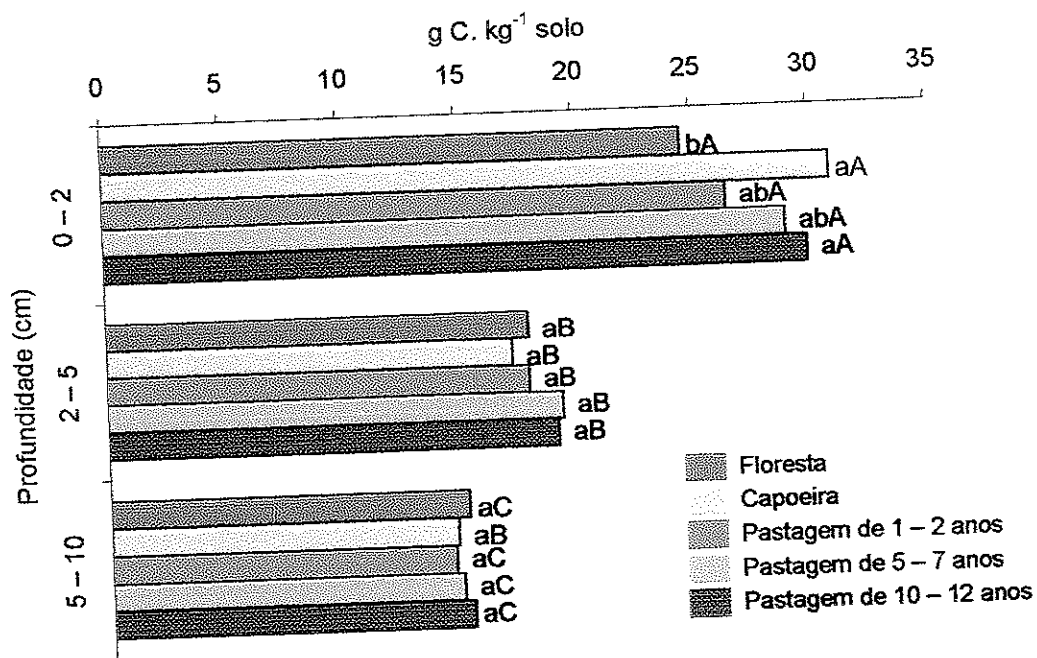


FIGURA 6- Teor de carbono orgânico (C), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas da mesma letra, minúscula, na mesma profundidade; maiúscula, entre profundidades, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Em estudo da dinâmica da matéria orgânica em solo sob pastagem após dois e oito anos de implantação, em comparação com a mata natural, Cerri (1989) verificou que após oito anos sob pastagem, o solo recuperou os teores totais originais de carbono. Desjardins et al. (2004) em estudo realizado em Manaus (AM) e Marabá (PA) em floresta e pastagens de 3-4

anos, 8-9 anos e 15 anos, também encontraram menores valores de C em floresta e maiores valores em pastagem de 15 anos. Feigl et al. (1995) estudando o conteúdo de C sob 6 pastagens de *Panicum maximum* e *Brachiaria brizantha*, com idades de 2 a 80 anos, em Rondônia, verificaram que na camada superficial (0 a 10 cm) do solo sob estas pastagens em comparação com a floresta nativa adjacente a concentração do C no solo aumentou de 12 g kg⁻¹ de C, sob a floresta, para 12, 17, 15, 14, 16 e 21 g.kg⁻¹ de C sob as pastagens com idades de 2, 4, 8, 11, 19 e 80 anos, respectivamente.

No entanto outros estudos realizados na região Amazônica relataram que o conteúdo de C pode diminuir ao substituir a floresta por pastagem (FALESI, 1976; FEARNSIDE; BARBOSA, 1998; LONGO; ESPÍNDOLA, 2000). Essas divergências na evolução dos teores de carbono após o desmatamento e a instalação de pastagens ressaltam a importância das práticas de manejo do solo.

No caso das capoeiras, os altos valores de C orgânico encontrados podem ser atribuído ao novo equilíbrio atingido após 8 anos, pois há o aumento da produção de matéria orgânica bruta com a evolução da sucessão da vegetação. Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira (1996), ao verificar estoques crescentes de C em uma cronosequência sobre solo amazônico e por Vasconcelos (2002) em estudos sobre sucessões de capoeiras na Amazônia Oriental, onde o C apresentou maiores valores em capoeiras de 6 e 14 anos de idades, comparando com uma capoeira de 2 anos. Johnson et al. (2001) em estudos realizados na região Bragantina (PA) em capoeiras de diferentes idades e em floresta primária encontraram maiores valores de C em capoeira de 10 anos em comparação a floresta primária na profundidade de 0-5 cm.

A Figura 6 mostra que houve diminuição no teor de carbono do solo (C) com o aumento da profundidade de coleta, com os maiores valores ocorrendo na camada de 0-2 cm para todos os tipos de cobertura vegetal, os quais diferiram significativamente das demais profundidades, evidenciando o efeito do maior aporte de resíduos orgânicos na superfície do solo. Somente na capoeira não se verificou diferença significativa entre as profundidades de 2-5 cm e a de 5-10 cm. Longo (1999) observou que os maiores conteúdos de C estão concentrados na camada superficial do solo o qual atribuiu a influência da serrapilheira. O aumento do conteúdo de C na superfície do solo é freqüentemente relatado em áreas de pastagem (CHONÉ et al., 1991; TRUMBORE et al., 1995; NEILL et al., 1998; OLIVEIRA et al., 2004).

Nitrogênio total (N)

Nos solos sob floresta e sob capoeira os teores de N são de 1,69 e 2,17 g.kg⁻¹, respectivamente, na camada superficial e decrescem significativamente com a profundidade. Nas pastagens, os teores estão da mesma ordem de grandeza, variando de 1,87 a 2,10 g.kg⁻¹, na camada superficial e os valores não variam significativamente com a idade das pastagens. Verificou-se também uma diminuição significativa com o aumento da profundidade.

Os teores encontrados tanto nas áreas de floresta como de pastagem foram semelhantes aos resultados encontrados por Piccolo (1994). Entretanto, Brady (1989); Longo; Espíndola (2000) e Moraes (1991) comparando vegetação natural com pastagem verificaram uma queda no teor de N-total do solo, que de maneira geral, foi bastante vulnerável ao cultivo, por estar concentrado na camada superficial do solo.

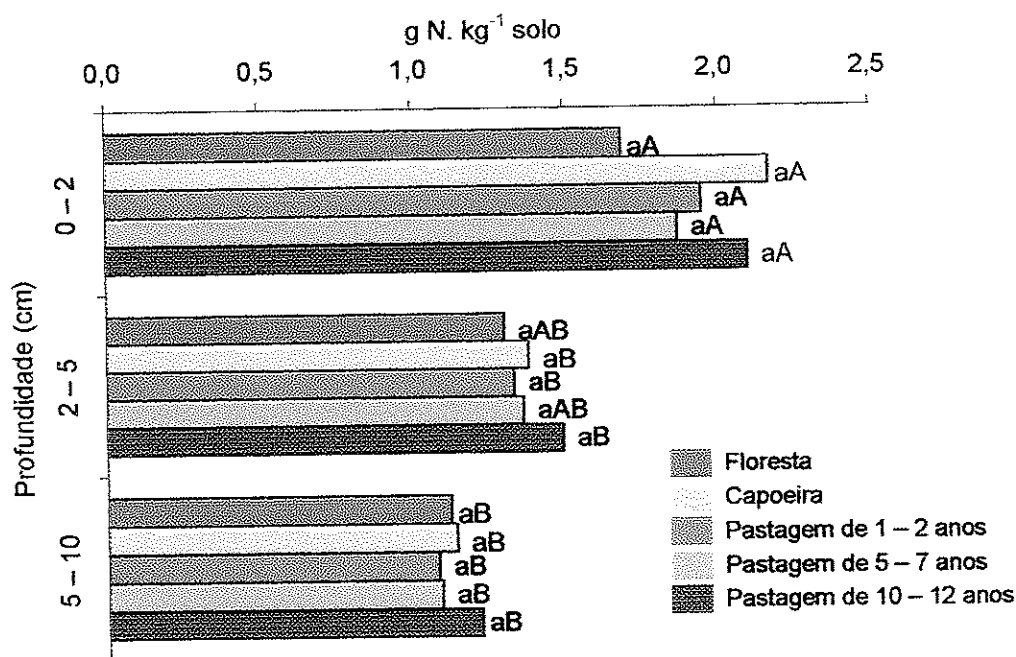


FIGURA 7- Teor de nitrogênio (N), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas da mesma letra, minúscula, na mesma profundidade; maiúscula, entre profundidades, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

A maior concentração de N na profundidade de 0-2 cm se deve ao maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, decorrente da decomposição de detritos vegetais (CERRI et al., 1985). D'Andréa et al. (2004), estudando solos sob diferentes sistemas de

manejo, e Hernandez-Hernandez; López-Hernández (2002) observaram também decréscimo do nitrogênio conforme o aumento da profundidade em solos de savana.

Relação carbono/nitrogênio (C/N)

Os resultados da Figura 8 mostram que a relação C/N na camada de 0-2 cm foi maior em área de pastagem de 5-7 anos, seguida da área de floresta; na profundidade de 2-5 cm não houve diferença estatística entre a floresta, pastagem de 1-2 anos, de 5-7 anos e de 10-12 anos, sendo os menores valores encontrados na área de capoeira. Não ocorreu diferença estatística significativa entre os sistemas de uso do solo na profundidade 5-10 cm.

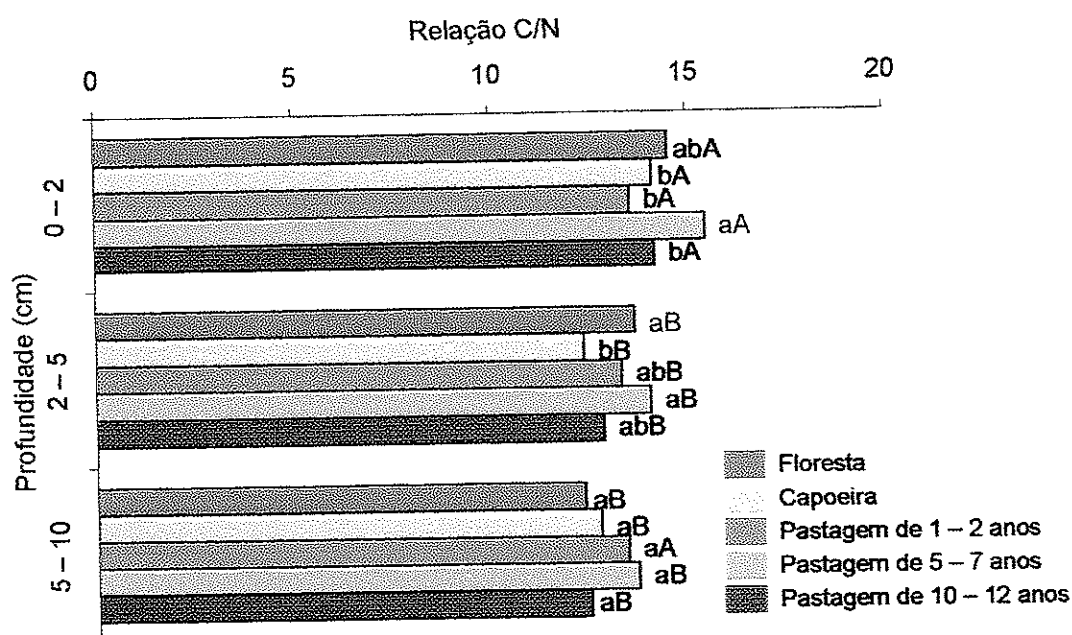


FIGURA 8- Relação carbono: nitrogênio (C/N), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas da mesma letra, minúscula, na mesma profundidade; maiúscula, entre profundidades, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Na comparação entre as profundidades percebe-se que houve diferença estatística da profundidade de 0-2 cm para as demais profundidades, sendo que nesta profundidade foram encontrados os maiores valores, com exceção da área de pastagem de 1-2 anos onde foi igual estatisticamente para todas as profundidades de coleta.

Entretanto, a amplitude de variação dos valores da relação C/N foi muito pequena (12,4 a 15,5) e todos os valores encontrados foram inferiores a 16, o que significa dizer que a

taxa de mineralização está sendo maior que a de imobilização, com os valores encontrados ocorrendo próximos a uma situação de equilíbrio dinâmico da matéria orgânica do solo (COLOZZI-FILHO et al., 2001).

4.1.3- Biomassa microbiana

Carbono da biomassa microbiana (CBM)

A Figura 9 mostra que o CBM variou significativamente em função da vegetação em todas as profundidades estudadas. Nos solos sob floresta o CBM é de $389 \mu\text{g.g}^{-1}$ na camada superficial e decresce levemente com a profundidade. Sob capoeira, os solos apresentam valores de CBM da mesma ordem de grandeza, mas sempre um pouco inferiores aos valores observados sob floresta (entre 250 e $353 \mu\text{g.g}^{-1}$). Nas pastagens, ao contrário, os valores de CBM são, para as três profundidades estudadas, muito inferiores aos valores dos solos florestas, variando de 99 a $156 \mu\text{g.g}^{-1}$ solo. Esses valores não variam significativamente com a idade das pastagens, e diminuem levemente com a profundidade.

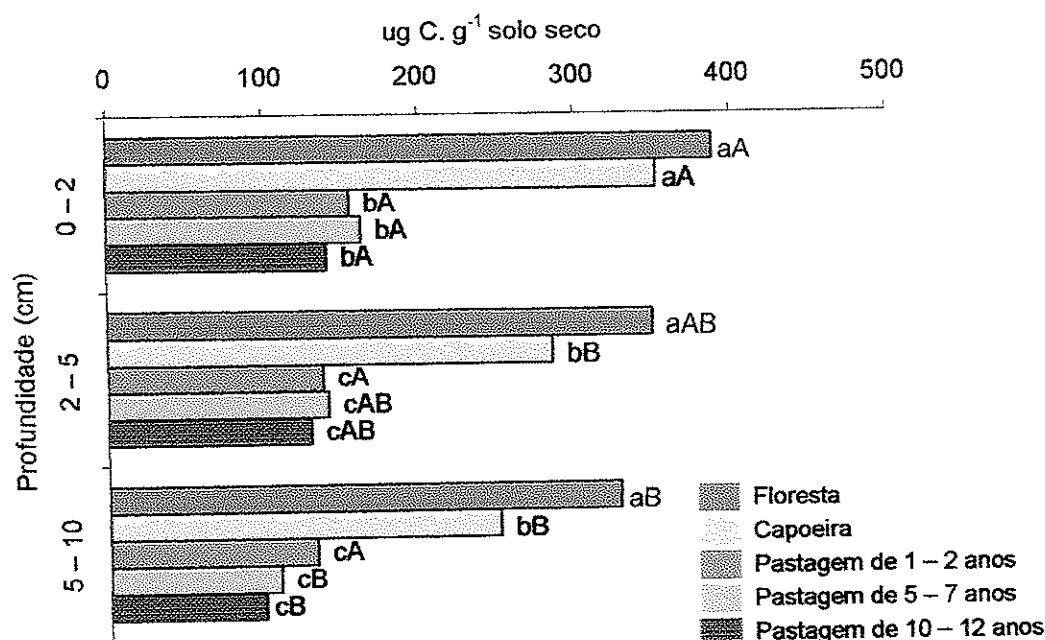


FIGURA 9- Teor de carbono da biomassa microbiana (CBM), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas da mesma letra, minúscula, na mesma profundidade; maiúscula, entre profundidades, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Os teores de CBM obtidos nas áreas estudadas (Figura 9) estão, portanto, dentro dos valores descritos na literatura que em floresta nativa variam de 252 a $1314 \mu\text{g.g}^{-1}$ de solo

(CERRI et al, 1985; PFENNING et al, 1992; FEIGL et al, 1995; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; BITTENCOURT, 2003; XAVIER et al, 2006); em capoeira de 79 a 770 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo (GAMA-RODRIGUES, 1997; VASCONCELOS, 2002; RODRIGUES, 2006; SENA, 2006) e em pastagem 213 a 2510 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo (ALVARENGA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2001; BITTENCOURT, 2003; RODRIGUES, 2006).

Esta larga faixa de valores do CBM está vinculada à heterogeneidade existente nos diversos ecossistemas. Portanto, o valor isolado da biomassa microbiana não seria um indicador tão preciso e confiável para qualquer tipo de alteração, a não ser eventualmente e quando ocorre monitoramento do comportamento desta biomassa por vários anos em uma mesma localidade. Assim é importante comparar os valores obtidos com as demais variáveis analisadas para poder compreender o comportamento da comunidade microbiana nos ecossistemas. Todavia é importante destacar que os resultados obtidos no presente estudo, ou seja, para este tipo de solo, nas mesmas condições climáticas, mostram variações nítidas e coerentes em função do sistema de uso do solo.

Os resultados de CBM em solo sob floresta e de capoeira foram iguais estatisticamente, para a profundidade de 0-2 cm. A possível explicação, é que se trata de capoeiras de mais de 8 anos, com grande aporte de resíduos orgânicos, como confirmam os dados de Vasconcelos (2002) obtidos em Castanhal (PA), que evidenciam aumento do conteúdo de CBM de acordo com o aumento da idade da capoeira.

Em áreas de pastagem, independentemente da idade, o CBM apresentou sensibilidade em indicar alterações na comunidade microbiana do solo decorrentes de atividades antrópicas, pois foram encontrados valores bastante inferiores de CBM em comparação a floresta e a capoeira (Tabela 9). Viana (2002), em Brasília (DF) também encontrou menores valores de CBM em pastagem (*Brachiaria brizantha*) em comparação a floresta nativa. Isto pode ser atribuído ao fato de que em solo sob florestas, a diversificação dos resíduos orgânicos ser bem maior em comparação às pastagens. Outro fato que deve ser levado em consideração são as queimadas realizadas de 2 em 2 anos nas áreas de pastagem, pois alguns estudos reportam que há redução na biomassa microbiana do solo, devido às queimadas (LUIZÃO et al., 1999; DUMONTET et al, 1996).

Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

A Figura 9 mostra que, como o CBM, o NBM (Figura 10) variou significativamente em função da vegetação para as profundidades estudadas. Os valores de NBM nos solos de floresta e sob capoeira são semelhantes, variam de 20,5 a 24,3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo, e não evoluem significativamente com a profundidade. Os sistemas com maior diversidade de espécies, tal como floresta e capoeira, têm intensa acumulação de resíduos vegetais na superfície, aumentando desta forma a disponibilidade de substratos e possibilitando maior concentração de nutrientes na biomassa microbiana (SALINAS-GARCIA et al., 1997).

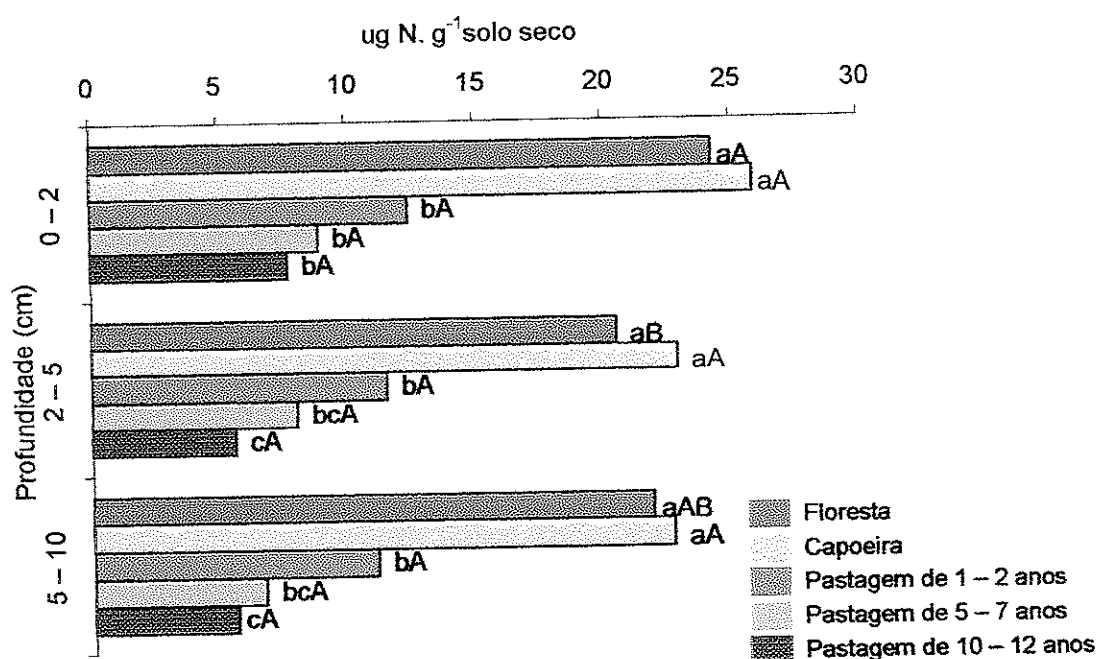


FIGURA 10- Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), em Latossolo Amarelo de Itupiranga/PA, sob diferentes tipos de cobertura vegetal. Médias seguidas da mesma letra, minúscula, na mesma profundidade; maiúscula, entre profundidades, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Os valores de NBM encontrados sob floresta e capoeira estão próximos aos encontrados por Luizão et al. (1999) em áreas sob floresta e capoeira de 5 anos, 35 e 26 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo, respectivamente, porém menores comparados a outros trabalhos, tal como o de Feigl et al. (1995) que encontraram valores entre 35 a 74 $\mu\text{g N.g}^{-1}$ solo em floresta primária na Amazônia brasileira e Vasconcelos (2002) em estudo realizado em capoeira de diferentes idades em Castanhal (PA) que encontrou valores entre 33 a 63 $\mu\text{g N.g}^{-1}$ solo.

Nas pastagens, houve uma redução dos valores de NBM em relação aos encontrados nos solos florestais variando de 44 a 75 % em função da profundidade estudada e aumentando com a idade da pastagem, embora não significativamente na camada superficial. Esses valores baixos sob pastagens estão de acordo com Xavier et al. (2006) em estudo realizado na Chapada da Ibiapaba (CE) e por Gama-Rodrigues et al. (1997), em Viçosa (MG), onde foram obtidos valores em áreas de pastagem em torno de $8 \mu\text{g N.g}^{-1}$ solo. No entanto Luizão et al. (1999), em Manaus (AM), verificaram valores em torno de $24 \mu\text{g.N g}^{-1}$ solo, em área de pastagem abandonada.

Sendo importante destacar que a substituição da floresta para o estabelecimento de pastagens seguiu a mesma tendência de diminuição tanto para os teores de CBM quanto de NBM, e a capoeira apresenta sinais de recuperação para estes atributos. A determinação de NBM assume grande importância, pois permite o monitoramento do N durante determinado período e, conseqüentemente, estima a quantidade de N que poderá ser reabsorvido pelas plantas, garantindo melhor compreensão do ciclo do elemento nesses sistemas de uso do solo.

Relação Carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico (CBM:C)

A relação CBM:C variou de 0,4 a 2,4 % (Figura 11), enquanto que em estudo realizado por Barreta et al. (2005) em Lages (SC), em solos sob pastagem e sob mata nativa esta relação foi de 1,3 e 2,2%, respectivamente; os valores encontrados no presente estudo estão de acordo com os propostos por Anderson; Domsch (1989), que consideram normal os valores desta relação variar entre 0,3 a 7%.

Em solos amazônicos, Cerri et al. (1985) encontraram valores de relação CBM/C de 1,3 % em camadas superficiais 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%.

MORAES, J.F.L. **Propriedades do solo e dinâmica da matéria orgânica associada às mudanças do solo da terra em Rondônia (RO)/ Brasil**. 1995. 69 p. Tese (Doutorado)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Soil properties under Amazon Forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brasil. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1103-1110, 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p.

MOSCATELLI, M.C.; LAGOMARSINO, A.; ANGELIS, P. DE; GREGO, S. Seasonality of soil biological properties in a poplar plantation growing under elevated atmospheric CO₂. **Applied Soil Ecology**, v. 30, p. 162-173, 2005.

MÜLLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M.F.; DESJARDINS, T.; MITJA, D. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian amazon: a case study. **Agriculture, Ecosystems and environment**, v. 103, p. 279-288, 2004.

NAHAS, E.; TERENCE, H.F.; ROSSI, A. Effect of carbon source and pH on the production and secretion of acid phosphatase in *Neurospora crassa*. **Journal of General Microbiology**, v. 128, n. 9, p. 2017-2021, 1982.

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

NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass and enzyme activities: production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 15, p. 679-685, 1983.

NEILL, C.; MELILLO, J.M.; FEIGL, B.J.; STEUDLER, P.A.; MORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C. In: LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLETT, R.F., STEWART, B.A. (Ed.). **Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondônia. Soil Processes and the Carbon Cycle**. CRC Press, Boca Raton, New York, 1998, p. 9-28.

NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R. de; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v. 372, p. 666-669, 1994.

NEPSTAD, D.; CAPOBIANCO, J.P.; BARROS, A.C.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES, U.; LEFEBVRE, P. "Avança Brasil, The Environmental Costs for Amazônia". 2000. <http://www.ipam.org.br/avanca/participen.htm>.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystems development. *Science*, v. 164, p. 262-270, 1969.

OLIVEIRA, J.R.A. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado**. 2000. 115p. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

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 Ciência do Solo*, v. 25, p. 863-871, 2001.

OLIVEIRA, O.C.; OLIVEIRA, I.P. de; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 103, p. 289-300, 2004.

PALMA, M.P.; CONTI, M.E. Urease activity in Argentine soils: field studies and influence of sample treatment. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 22, p.105-107, 1990.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of América, 1996. p. 231-245.

PARKINSONS, D.; COLEMAN, D.C. Methods for assessing soil microbial populations, activity and biomass-microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 34, p. 3-33, 1991.

PEREIRA, O.D. **A Transamazônica: pros e contras**. 2 ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1971. 429 p.

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 Ciência do Solo*, v. 16, p. 31-37, 1992.

PICCOLO, M.C. **Comportamento do nitrogênio do solo em cronosseqüências de floresta-pastagem em Rondônia**. 1994. 69p. Tese (Doutorado)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1994.

- PULLEMAN, M., TIETEMA, A. Microbial C and N transformations during drying and rewetting of coniferous forest floor material. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 275-285, 1999.
- REINERS, W.A.; BOUWMAN, A.F.; PARSONS W.F.J. Tropical rain forest conversion to pasture: changes in vegetation and soil properties. **Ecological Applications**, 4, 363-377, 1994.
- RESENDE, M.; KER, J.; BAHIA FILHO, A.F.C. Desenvolvimento sustentado no cerrado. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfo climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV/DPS, 1996. p. 169-199.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, J.C.P.; FERNANDES, V.B.B.; MAFRA, A.L.; ALMEIDA, J.A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. 33, p. 49-55, 2003.
- ROBERGE, M.R.; KNOWLES, R. The ureolitic microflora in a black spruce (*Picea mariana* Mill) húmus. **Soil Science Society American Proceedings**. Melbourne: CSIRO, 1978. p. 76-79, 1967.
- ROBERTSON, F.A.; MYERS, R.J.K.; SAFFIGNA, P.G. Carbon and nitrogen mineralization in cultivated and glassland soils in subtropical Queensland, Australian. **Journal Soil Research**, v. 31, p. 611-619, 1993.
- RODRIGUES, S.E.G.; VIEIRA, L.S.; QUEIROZ, W.T. **Formas de fósforo em Latossolos do Estado do Amapá**. Boletim da FCAP, N.20, P.15-25, 1991.
- RODRIGUES, R.C. **Biomassa microbiana e acúmulo de liteira em sistemas agroflorestais composto por *meliceas* utilizadas como indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2006. 105 p. Tese (Doutorado)- Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.
- ROSS, D.J.; SPEIR, T.W.; JANINE, C.; COWLING, C.; WHALE, K.N. Temporal fluctuations in biochemical properties of soil under pasture. II Nitrogen mineration and enzyme activities. **Australian Journal Soil Research**, v. 22, p. 303-317, 1984.
- ROVIRA, A.D. Microbiology of pasture soil and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J.R. (Ed.). **Plant relation in pasture**. Melbourne: CSIRO, 1978, p. 95-110.

VASCONCELOS, L.G.T.R. **Biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária na Amazônia Oriental**. 2002. 80p. Dissertação (Mestrado em agronomia – Solos e Nutrição de Plantas)- Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2002.

VEIGA, J.B.; SERRÃO, J. A. Sistemas silvopastoris e produção animal: a experiência da Amazônia brasileira. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA/ PASTAGENS, n. 27, 1990, Campinas. **Anais...** Campinas: FEALQ, p. 37-68, 1990.

VIANA, L.T. **Comparação das dinâmicas de mineralização de nitrogênio, biomassa e estrutura das comunidades microbianas do solo em áreas de cerrado nativo e pastagem**. 2002. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia)- Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

VICTÓRIA, R.L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.A.T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1992, p. 105-121.

VIEIRA, I.C.G. **Forest succession after shifting cultivation in Eastern Amazonia. Scotland: University of Stirling**. 1996. 205p. Tese (Doutorado)- University of Stirling, Scotland, 1996.

WALLENFELS K.; WEIL R. p-Galactosidase. In: **The Enzymes** (BOYER, P.D. (Ed.), 3rd edn. v. 7. p. 617-663. Academic Press, New York. 1972.

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

WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 13, p.1627-1637, 1998.

WEST, A.W., SPARLING, G.P., FELTHAM, G.W., REYNOLDS, J. Microbial activity and survival in soil dried at different rates. **Australian Journal Soil Research**, v. 30, p. 209-222, 1992.

WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 58, p. 38-42, 2000.

WICK, B.; TIESSEN, H.; MENEZES, R.S.C. Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. **Plant and Soil**, v. 222, n. 1-2, p. 59-70, 2000.

WOLLUM, G.A. Soil sampling for microbiological analysis. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. pt. 2, p.2-13.

XAVIER, F.A. da S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S. de; MENDONÇA, E.de S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba (CE). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006.

YOUNG, A. Effects of trees on soils. In: YOUNG A. (Ed.). **Agroforestry for Soil Management**, 1997. p 23-136. CAB International, 2nd edn.

ZEN, S.; BACCHI, M.R.P.; ICHIHARA, S.M.; OSAKI, M.; PONCHIO, L.A. Economia da pecuária de corte na região norte do Brasil. In: **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada CEPEA**. 2002. 76 p. ESALQ/USP.