



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI – MPEG  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA/  
AMAZÔNIA ORIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA

QUÊZIA LEANDRO DE MOURA

**INFLUENCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E  
BIOLÓGICOS DO SOLO NOS SÍTIOS DO LBA E PPBIO EM CAXIUANÃ/PA,  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM-PA  
2012

QUÊZIA LEANDRO DE MOURA

**INFLUENCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL SOBRE OS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS  
DO SOLO NOS SÍTIOS DO LBA E PPBIO EM CAXIUANÃ/PA, AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre na Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica sócio-ambiental.

**Orientadora:** Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo.

**Co-orientador:** Dr. Edson José Paulino da Rocha.

BELÉM-PA  
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

M929i Moura, Quêzia Leandro de

Influência da variação sazonal, sobre os atributos químicos e biológicos do solo nos sítios do LBA e PPBIO em Caxiuanã/PA / Quêzia Leandro de Moura; Orientador: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo; Coorientador: Edson José Paulino da Rocha - 2012.

82 fl.: il.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2012.

1. Biologia do solo – Caxiuanã (PA). 2. Nutrientes do solo. 3. Estresse hídrico. 4. Variações sazonais. I. Ruivo, Maria de Lourdes Pinheiro, *orient.* II. Rocha, Edson José Paulino da, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará IV. Título.

CDD 22° ed.: 631.46098115

---

QUÊZIA LEANDRO DE MOURA

**INFLUENCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL SOBRE OS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS  
DO SOLO NOS SÍTIOS DO LBA E PPBIO EM CAXIUANÃ/PA, AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre na Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica sócio-ambiental.

Data de Aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo  
Membro

---

Dr. Edson José Paulino da Rocha.  
Membro

---

Dr. Steel Silva Vasconcelos  
Membro

---

Dr. Jose Henrique Cattânio  
Membro

---

Dra. Maria Eloisa Cardoso da Rosa  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

**À Deus, por seu amor incondicional e pelo dom da vida;  
À meu vô paterno e minha mãe (in memoriam);  
Às minhas irmãs (Paula, Lidiane e Fernanda);  
Ao meu pai José de Moura filho;  
Aos meu sobrinhos (Marcela e Marcelinho);  
À minha vó Genésia;  
À minha família;  
Aos meus amigos;  
Aos mestres.**

## AGRADECIMENTOS

Ao único Deus, criador de todas as coisas, pela força, coragem e sabedoria. Por me conduzir pelo caminho certo quando tudo parecia não ter saída;

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental (Embrapa – Amazônia Oriental) por fornecerem infraestrutura e profissionais que contribuem para o nosso crescimento intelectual e que viabilizam nossos anseios no âmbito do curso de Pós Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) do Instituto de Geociências;

Aos professores do PPGCA (UFPA/MPEG/Embrapa) pelo conhecimento transmitido;

À professora Dra. Aurora, que muitas vezes além de coordenadora do PPGCA, foi mãe e amiga;

Ao Centro Nacional de Pesquisa (CNPq) pela cessão da bolsa de estudos;

À Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo, pela confiança, conselhos, atenção e paciência cedidos desde a Iniciação Científica;

Ao Dr. Edson José Paulino da Rocha, pela co-orientação;

Aos Projetos BIOCLIMA (UNIVERSAL/CNPq) e PRONEX (CNPq/FAPESPA), por viabilizarem o presente estudo;

Aos Programas do MCT: LBA e PPBio, por colocar a disposição as áreas experimentais;

Ao Dr Hernani Rodrigues (UFPA), por sua atenção nos momentos de dúvidas e por viabilizar a realização desse trabalho.

Ao Dr Steel Vasconcelos (Embrapa – Amazônia Oriental), por viabilizar as análises de nitrato e amônio;

Ao Dr. José Henrique Cattanio pelas longas conversas que auxiliaram a interpretação dos resultados;

À Dra. Maria de Fátima Pinheiro (UFPA), Dra. Maria Marly Santos (UFRA) e Dra. Maria Lourdes Oliveira (UEPA), pelo auxílio nas análises de fungos e bactérias do solo;

Ao técnico do laboratório de solo da UFRA, Júlio, pelas dúvidas sanadas e pela a viabilização das análises de cálcio e magnésio;

À professora e amiga Marisethe, estatística do CESUPA, pelas madrugadas realizando teste de médias, análise de variância, correlação...;

Ao amigo Francinaldo Matos, pela ajuda no laboratório, pelas conversas na sala do PCI/CCTE/MEEG, pela parceria nos artigos e trabalhos completos, por acreditar e torcer pelos meus sonhos;

Aos amigos e profissionais: Paulo Sarmento, Dr. Francisco Berrêdo, Dra. Cristine Amarante e Álvaro Santana;

A todos os colegas do mestrado em Ciências Ambientais (UFPA/EMBRAPA/MPEG) por compartilharem conhecimentos, dificuldades e muitas alegrias;

À Marcinha (secretária da Coordenação de Ciência da Terra e Ecologia - CCTE) do MPEG e à Glades (secretária do curso de Pós Graduação em Ciências Ambientais da UFPA), por serem sempre solícitas nos momentos em que a vocês recorreremos;

As amigos do MPEG: Carlos Alberto, Rosana Nascimento, Diego Nascimento, Uibirá Sena, Celita Moreira, Sandra Andréa, Antônio Pereira Júnior, Gleice Contente, Paulo Panarra, Nayara, Posidônio, Raphael Leoncio, Dona Maria;

Aos amigos da Pós Graduação em Agronomia da UFRA: Renato, Samuel, Adriane da Costa, Augusto, Gleyce Mascarenha e Willem.

Aos companheiros de campo: Rommel Benício, Adriano (chefe), Sérgio, Nilde, Ronaldo, Garibalde, Adriano e Gaivota;

Em especial quero agradecer as minhas irmãs (Lidiane e Paula) e sobrinhos (Marcela e Marcelinho) pelo tempo, muitas vezes não compreendido que destinei ao mestrado;

Aos coordenadores do Curso de Bacharelado em Ciências ambientais do Centro Universitário do Estado do Pará (CESUPA);

À amiga Márcia Souza e Lana Carolina, pelos conselhos imprescindíveis, momentos de alegria e por sempre me ouvir e me ajudar nos momentos críticos;

Ao meu namorado Thiago Guerreiro e à sua mãe (Ana Lúcia da Costa Guerreiro), pela compreensão e apoio e por me acolherem em sua residência nos momentos necessários,;

Aos funcionários da biblioteca, em especial às amigas Denize Silveira e Lígia Monteiro;

A **todos**, que de forma direta e indireta, me oportunizaram levar adiante minhas ações e me encorajaram nos momentos de dificuldades. **Obrigada!**

“Há sempre uma oportunidade disponível para quem acredita que tudo é possível”  
(desconhecido)

“Tudo posso naquele que me fortalece.”  
(Filipenses 4.13)



## RESUMO

Diversos fatores ambientais, como pH, temperatura e umidade do solo influenciam a densidade e a atividade dos microorganismos. É possível que o equilíbrio da biosfera esteja sendo modificado pelas mudanças globais de origem natural e/ou antrópica e influenciando os fatores ambientais que determinam o comportamento da microbiota edáfica. Afim de verificar a influencia dessas alterações, foi desenvolvido o presente estudo na área do experimento ESECAFLOR, que simula a ocorrência de fenômenos extremos, como o evento *El Niño* e na área do Programa PPBio (área de Floresta Primária), que visa estudar a Biodiversidade da Amazônia, sendo esta última usada para fins comparativos (Testemunha). As amostras de solo para as análises químicas, física e biológicas foram coletadas nas profundidades: 00 – 05, 05 - 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, nos períodos sazonais Chuvoso, Transição e Menos Chuvoso. Também foi determinado a Temperatura do solo nas mesmas profundidades. Os métodos utilizados foram os descritos por Embrapa (1997), Clark (1965), Gerhardt (1994), Yang et al. (1998) e Keeney (1982). O tratamento dos dados e os testes estatísticos (ANOVA: dois critério, Teste de Tukey e Correlação Linear Simples) foram realizados por meio do programa estatísticos Bioestat 5.0. Os maiores teores de macro e micro nutrientes foram encontrados na área de floresta primária natural (PPBio). Os maiores valores de Unidades Formadoras de Colônias ( $196 \times 10^4$  UFC/g de solo e  $124 \times 10^2$  UFC/g de solo) para a população de Bactérias e Fungos, respectivamente, foram identificados também na área do PPBio e nos períodos chuvoso e intermediário, respectivamente. Foi identificado diferença significativa entre os dados obtidos para ambas as áreas e também houve diferença significativa dos dados de cada área em relação aos períodos sazonais e as profundidades estudados. A área que sofreu alteração antrópica (ESECAFLOR) apresentou os menores teores para os macro e micronutrientes, evidenciando a influência do processo de exclusão das águas pluviais na disponibilidade desses elementos no solo.

**Palavras-chave:** Biologia do solo. Nutrientes do solo. Estresse hídrico. Variações sazonais.

## ABSTRACT

Several environmental factors, such as pH, temperature and soil moisture influence the density and the activity of microorganisms. It is possible that the balance of the biosphere is being changed by global changes of natural origin and influencing of human activities environmental factors that determine the behavior of the soil phase microbiota. In order to verify the influence of these changes, the present study has been developed in the area of the ESECAFLOR experiment, which simulates the occurrence of extreme phenomena such as the *El Niño* and the area of the PPBio Programme (Primary Forest area), which aims to study the biodiversity of the Amazon, being last used for comparative purposes (witness). The soil samples for chemical analysis, physical and biological properties were collected into the depths: 00 – 05, 05 -10, 10-20 and 20 – 30 cm in seasonal Transition periods, Rainy and Less rainy. It was also determined the temperature of the soil under the same depths. The methods used were described by Embrapa (1997), Clark (1965), Gerhardt (1994), Yang et al. (1998) and Keeney (1982). The treatment of data and the statistical tests (ANOVA: two criterion, Tukey test and simple Linear Correlation) were performed by means of statistical programme Bioestat 5.0. The highest levels of macro and micro nutrients were found in natural primary forest area (PPBio). The greatest values of colony-forming units of Colonies ( $196 \times 10^4$  UFC/g the soil and  $124 \times 10^2$  UFC/g the soil) for the population of bacteria and fungi, respectively, were also identified in the area of PPBio and rainy and the intermediary periods, respectively. Was identified significant differences between the data obtained for both areas and also significant difference of each area in relation to seasonal periods and the depths studied. The area that changed human (ESECAFLOR) presented the lowest levels for macro and micronutrients, demonstrating the influence of the deletion process of rainwater in the availability of these elements in the soil.

**Keywords:** Soil biology. Nutrients the soil. Water stress. Seasonal variations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã-PA e dos sítios experimentais do PPBio e ESECAFLOR.....	18
Figura 2: Totais mensais da precipitação pluvial no ano de 2005 (Estação Científica Ferreira Penna/MPEG) e as médias mensais entre 1980 – 2007 (IBAMA), com os respectivos desvios padrão.....	20
Figura 3: Parcela B do experimento Esecaflor, Caxiuanã-PA.....	21
Figura 4: Croqui da grade do PPBio instalado na Flona de Caxiuanã-PA (destaque para a parcela CI).....	22
Figura 5: Valores médio de precipitação dos meses de março, julho e setembro registrados entre 1980 – 2007 e totais mensais da precipitação pluvial no ano de 2009, obtidos nas áreas do PPBio e ESECAFLOR, nos mesmos meses. ....	25
Figura 6: Mini-trincheiras de 30 x 50 cm na área do experimento Esecaflor.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ocorrência dos fenômenos <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> desde 1983.....	22
Tabela 2: Atributos químicos do solo da Parcela A do ESECAFLOR e da Parcela CI do PPBio.....	38
Tabela 3: Composição química dos meios de cultura Agar-nutriente e Martin.....	41
Tabela 4: Valores médios do conteúdo de água no solo (CVAS) da profundidade 0-30 cm, temperatura (T) do solo a 5, 10, 20 e 30 cm de profundidade e precipitação (PRP), seguidos do teste Tukey a 5% de significância. ....	45
Tabela 5: Valores médios de pH e teores médios de carbono, nitrogênio e C/N obtidos na área de floresta primária (parcela CI/PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (parcela B/ESECAFLOR) nos períodos chuvoso (CH), transição (TR) e menos chuvoso (MC). ....	47
Tabela 6: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de C e N e dos valores de pH e C/N nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.....	48
Tabela 7: Valores médios dos teores de alumínio, $H^+$ e $Al^{+++}$ (acidez potencial), CTC (capacidade de troca catiônica) e V (saturação por bases) obtidos na área de floresta primária (Parcela CI - PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (Parcela B –ESECAFLOR) nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso.....	51
Tabela 8: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de Al e dos valores de $H^+ + Al^{+++}$ , CTC e V nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância. ....	52
Tabela 9: Valores médios dos teores de fósforo, sódio, potássio, cálcio, magnésio e S (soma de bases) obtidos na área de floresta primária (parcela CI - PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (Parcela B - ESECAFLOR) nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso.....	54
Tabela 10: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de P, Na, K, Ca e Mg e dos valores de S nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.....	55
Tabela 11: Valores médios dos teores de ferro, manganês e zinco obtidos na área de floresta primária (PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (ESECAFLOR) nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso da FLONA de Caxiuanã-PA. ....	58

Tabela 12: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de Fe, Mn e Zn nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.....	59
Tabela 13: Valores médio das UFCs (Unidades Formadoras de Colônias) obtidos para a população de bactérias e fungos do solo sob floresta primária (PPBio) e do solo submetido ao estresse hídrico (ESECAFLOR), em diferentes profundidades e regimes pluviométrico. ....	61
Tabela 14: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos valores de UFC de fungos e bactérias nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.....	61
Tabela 15: Valores médio dos teores de Nitrato, Amônio e Umidade obtidos para o solo sob floresta primária (PPBio) e para o solo submetido ao estresse hídrico (ESECAFLOR), em diferentes profundidades e regimes pluviométrico. ....	63
Tabela 16: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de nitrato e amônio e dos valores de umidade nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.....	64
Tabela 17: Valores de $r$ (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de bactérias e as demais variáveis analisadas na área do PPBio.....	67
Tabela 18: Valores de $r$ (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de fungos e as demais variáveis analisadas na área do PPBio.....	67
Tabela 19; Valores de $r$ (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de bactérias e as demais variáveis analisadas na área do ESECAFLOR.....	68
Tabela 20: Valores de $r$ (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de fungos e as demais variáveis analisadas na área do ESECAFLOR.....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS

AB - Alta da Bolívia

CCTE - Coordenação de Ciência da Terra e Ecologia

CTC - Capacidade de Troca de Cátions

CVAS – Conteúdo volumétrico de água no solo

ENOS -

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FLONA - Floresta Nacional

INPA - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

LBA - Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia

LI - Linhas de Instabilidade

MO - Matéria orgânica

MPEG - Museu Paraense Emílio Goeldi

pH - Potencial hidrogeniônico

PP - Precipitação

QS - Qualidade do solo

T – Temperatura

UEPA – Universidade Estadual do Pará

UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
2 OBJETIVOS.....	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	21
3.1 CLIMA DA AMAZÔNIA .....	21
3.2 OS SOLOS DA AMAZÔNIA.....	23
3.3 POPULAÇÃO DE FUNGOS E BACTÉRIAS DO SOLO.....	26
3.4 FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM A POPULAÇÃO DE FUNGOS E BACTÉRIAS.....	30
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	32
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DOS SÍTIOS EXPERIMENTAIS .....	32
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA FLONA DE CAXIUANÃ-PA .....	33
4.3 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS .....	34
4.3.1 Sítio do ESECAFLOR .....	34
4.3.2 Sítio do PPBio/Amazônia Oriental .....	36
4.3.3 Estudo preliminar da parcela CI/PPBio e da parcela A/ESECAFLOR .....	37
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PERÍODOS AMOSTRAIS .....	38
4.5 COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS.....	39
4.6 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO .....	40
4.7.1.1 Identificação das bactérias e fungos.....	42
4.7.2 Análises químicas.....	42
4.7.2.1 pH, carbono e nitrogênio.....	43
4.7.2.2 Acidez potencial, alumínio trocável, cálcio e magnésio .....	43
4.7.2.3 Fósforo, sódio, potássio e micronutrientes.....	43
4.7.2.4 Nitrato e amônio.....	44
4.7.2.5 Umidade atual do solo.....	44
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1 ASPECTOS METEOROLÓGICOS DOS SÍTIO PPBIO E ESECAFLOR .....	45
5.2 COMPORTAMENTO SAZONAL DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO .....	46
5.2.1 pH, carbono, nitrogênio e C/N .....	46
5.2.2 Alumínio, acidez potencial, capacidade de troca catiônica e saturação por bases.....	50
5.2.3 Fósforo, sódio, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases .....	53

5.3 VARIAÇÃO INTRA ANUAL.....	60
5.3.1 Bactérias e fungos .....	60
5.3.2 Amônio e nitrato.....	63
5. 4 INTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS CLIMÁTICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS .....	65
6 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS .....	71



## 1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica detém boa parte da riqueza natural do Brasil e é considerada a floresta tropical com maior diversidade biológica do mundo. Estima-se que ela abrigue mais de 50 mil espécies de plantas superiores, 60 mil espécies de fungos, um quinto de todos os pássaros da Terra, no mínimo 3 mil espécies de peixes, e um número ainda não determinado de espécies de insetos (SHIVA, 1993; RICARDO; CAMPANILLI, 2007). Em apenas 1 hectare é possível identificar cerca de 300 espécies de árvores diâmetro maior que 10 cm (ABRANTES, 2002; RICARDO; CAMPANILLI, 2007).

Em geral, os solos da Amazônia são profundos, bem drenados, ácidos e apresentam baixa fertilidade, devido às elevadas temperaturas e ao alto índice pluviométrico da região. Sendo assim, a floresta é mantida pelo processo de ciclagem de nutrientes oriundo da decomposição dos produtos vegetais e animais da própria floresta que é realizado, principalmente, pelos microorganismos do solo, que por sua vez representam a biomassa microbiana diretamente influenciada por fatores bióticos e abióticos da floresta (FERREIRA; BOTELHO, 1999; FERREIRA et al., 2006; LUIZÃO, 2007).

A disponibilidade potencial dos nutrientes no solo é influenciada pela ação da população e atividade microbiana, uma vez que esta devolve para o ambiente os elementos como nitrogênio, potássio, fósforo que estavam retidos na matéria orgânica e que são essenciais para o desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, a atividade microbiana é considerada uma fertilidade potencial (KIEHL, 1979; LUIZÃO, 1989; NOVAIS; BARROS, 1997; FURTINI NETO et al., 2005). As diferentes composições do material orgânico influenciam na densidade e diversidade dos microorganismos, bem como no tempo requerido para total decomposição do mesmo (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Sendo assim, o conhecimento da microbiota do solo se torna relevante, uma vez que esses seres são sensíveis às mudanças ambientais, e a presença ou ausência de determinados indivíduos refletem a qualidade do ecossistema, sendo, portanto, ótimos indicadores ambientais.

É possível que o equilíbrio da biosfera esteja sendo modificado pelas mudanças globais de origem natural e/ou antrópica, já que os elementos meteorológicos interferem em todos os componentes do ecossistema. As variáveis como precipitação, temperatura e umidade do solo, são as mais relevantes no que concerne às mudanças metabólicas dos

microorganismos (GUERRA; CUNHA, 2003; GOBERNA et al., 2005; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

O regime pluviométrico da Amazônia, principalmente nos meses mais chuvosos, é fortemente influenciado pelo ciclo ENOS que ocorre sobre o Oceano Pacífico. Nos anos de *El Niño*, os índices pluviométricos da região são menores e as condições climatológicas são alteradas, podendo ocorrer perturbações nos diversos componentes da floresta. Já nos anos de “*La Niña*”, o índice de precipitação é mais elevado (SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2005; MARENGO; DIAS 2006, MARENGO et al., 2009; FEARNSSIDE, 2009). Tais alterações hídricas podem influenciar a ciclagem e a dinâmica dos nutrientes dentro do ecossistema (FEARNSSIDE, 2009; RODRIGUES et al., 2011).

Os estudos realizados por Ruivo et al. (2002; 2006), Amarante et al (2010), Vianal et al. (2010), Silva et al. (2010) e Rodrigues et al. (2011) identificaram alterações da atividade microbiana do solo conforme as mudanças dos fatores ambientais na região amazônica. Porém, ainda existem muitas perguntas a serem respondidas e a quantidade de trabalhos que analisam a natureza, multiplicação, quantidade e atividade microbiana em função dos fatores abióticos do ambiente são incipientes diante da diversidade e dinâmica microbiológica, estimada para os solos amazônicos.

A Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã apresenta diferentes tipos de solos (SIMÕES et al. 2009) e possui muitas espécies da flora (TRINDADE; SECCO, 2009) e fauna (MACAMBIRA, 2009) amazônica. Com base em tais estudos constata-se a alta biodiversidade da área e a necessidade de estudos a médio e longo prazo em busca de melhor compreensão da dinâmica dos ecossistemas dessa região. Alguns estudos já estão sendo desenvolvidos, dentre eles destaca-se o experimento “O impacto da seca prolongada nos fluxos de água e dióxido de carbono em uma floresta tropical (ESECAFLOR)” que está ligado ao Programa em Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) e visa avaliar as perturbações ocasionadas por períodos de estiagem prolongada em uma floresta tropical amazônica. As principais parcelas experimentais são especificadas como “A” (parcela testemunha) e “B” (parcela onde foram instalados cerca de 6000 painéis de plástico a fim de excluir as águas pluviais).

O ESECAFLOR busca replicar as alterações causadas pelos eventos extremos de estiagem que podem atingir a região como é o caso do “*El Niño*” (CARSWELL et al., 2002; MEIR et al., 2003; COSTA et al., 2003; RUIVO et al., 2006; SOTTA et al., 2007; FISHER et al., 2007; RUIVO et al., 2007; SILVA et al., 2009). Estudos como os de Ruivo et al. (2006) e Rodrigues et al. (2011), que investigaram alterações da microbiota do solo decorrentes de

eventos extremos, ainda são escassos, sendo importante o desenvolvimento de trabalhos que analisem a resposta dos microorganismos às mudanças climáticas.

Outro projeto de grande relevância no âmbito das pesquisas é o Programa de Pesquisa em Biodiversidade – PPBio, que tem abrangência nacional e objetiva estudar a biodiversidade da Amazônia e formar uma rede de informações integradas com o intuito de contribuir para a gestão do patrimônio natural e para o desenvolvimento sustentável. O plote do PPBio, localizado na FLONA de Caxiuanã, possui 25 km<sup>2</sup> de floresta primária divididos em parcelas amostrais de 1 km<sup>2</sup> cada (SIMÕES et al., 2009).

A presente pesquisa fez parte do Projeto Bioclima – CNPq/Universal (2009-2010), que estudou a interação entre os diferentes microclima da FLONA de Caxiuanã e a atividade microbiana de solo na área dos experimentos PPBio e do ESECAFLORE e também integra o Projeto PRONEX/FAPESPA/CNPq “Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: uma perspectiva de estudos integrados”.

O presente trabalho visou testar as seguintes hipóteses: a) As variáveis pH, temperatura e umidade do solo são os principais fatores ambientais que influenciam a população microbiana do solo; b) Os solos submetidos ao estresse hídrico apresentam diferentes quantidade de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) de fungos e bactérias; e c) A diferenças sazonais da precipitação pluviométrica podem alterar a densidade populacional da microbiota do solo.

Com base na contextualização e hipótese apresentados anteriormente e considerando o importante papel desempenhado pelos microrganismos, bem como a influência das alterações climáticas no desenvolvimento dos processos naturais que ocorrem no ambiente solo, foi realizado o presente estudo que verificou o comportamento da população microbiana em diferentes períodos sazonais, em solo sob floresta primária (área do Programa PPBio) e em solo submetido a experimento de simulação de seca em floresta tropical úmida (área do Experimento ESECAFLORE), ambos localizados na FLONA de Caxiuanã-PA.

## 2 OBJETIVOS

### Geral

Analisar a população de bactérias e fungos, a temperatura, a umidade, o pH, os teores de nitrato e amônio e os atributos químicos em Latossolo Amarelo sob dois tratamentos: floresta tropical úmida e floresta tropical submetida ao estresse hídrico, em diferentes períodos sazonais (chuvoso, transição e menos chuvoso) do ano de 2009.

### Específicos

- Analisar a população de bactérias e fungos dos solos sob floresta primária natural e submetido ao estresse hídrico nos períodos chuvoso, de transição e menos chuvoso;
- Determinar os valores de pH e os teores de amônio, nitrato e dos nutrientes do solo nas duas áreas de estudos e nos diferentes períodos sazonais;
- Identificar a variação sazonal da temperatura e umidade do solo nas diferentes área de pesquisa (PPBio e ESECAFLOR);
- Correlacionar a população de bactérias e fungos com os teores de nitrato e amônio e com os valores de temperatura, umidade e pH do solo.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CLIMA DA AMAZÔNIA

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região Amazônica pertence ao grupo de clima tropical chuvoso Am (clima megatérmico com temperatura média do mês mais frio do ano maior que 18 °C, sem estação de inverno e com precipitação anual sempre superior a evapotranspiração), pois as temperaturas médias dos meses são inferiores a 28°C e não oscilam mais que 5°C (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

O clima da região Amazônica é influenciado por vários fatores, sendo a disponibilidade de energia solar o mais importante, pois determina o balanço de energia. A constante energia que incide na superfície contribui para que os valores de temperatura do ar apresentem pequena variação ao longo do ano, salvo algumas localidades da parte mais ao sul dos estados de Rondônia e Mato Grosso (MARENGO, 2007).

Os principais mecanismos de precipitação atuantes na Amazônia são: a) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), resultante da circulação global com a convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste próximo à linha de Equador; b) Aglomerados Convectivos associados a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ou a frentes frias que avançam pelo sudeste, atingindo o nordeste brasileiro; c) a Alta da Bolívia (AB), formada pela convergência do ar em baixos e altos níveis de pressão; d) Linhas de Instabilidade (LI), formadas entre os estados do Pará e Amapá; e) Brisa fluvial, oriunda do contraste térmico entre água-terra e responsável pelas precipitações no continente durante o dia ou a noite; e e) convecção noturna (FISCH et al., 1996; FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; SANTOS DO NASCIMENTO; MASCARENHAS JÚNIOR, 2009).

O índice pluviométrico da região apresenta variabilidade espacial e temporal, sendo o valor da média anual entre 1400 mm e 3000 mm; os maiores valores são registrados na área ocidental e oriental (SOUZA; AMBRIZZI, 2006; SOUZA et al, 2009). Em algumas épocas as médias anuais podem ultrapassar 3000 mm (FIGUEROA; NOBRE, 1990; BISCARO, 2007). A maior parte da precipitação anual, ocorrente na Amazônia entre dezembro a maio, é influenciada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (SOUZA; AMBRIZZI, 2003; SOUZA et al., 2004, SOUZA; ROCHA, 2006).

Para Marengo e Nobre (2009) a variabilidade climática na Amazônia é influenciada, principalmente, pelos ciclos ENOS (*El Niño* / Oscilação Sul) que ocorrem no Oceano Pacífico

Equatorial e pelo gradiente térmico do Atlântico Norte e Sul. O primeiro é proveniente das alterações térmicas que ocorrem no Oceano Pacífico, associado ao enfraquecimento dos ventos alísios da região equatorial. O segundo refere-se ao gradiente meridional interhemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (aTSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (OLIVEIRA et al., 2008). Ambos os fenômenos influenciam as células de Walker e de Hadley e interferem na posição e intensidade das bandas de nebulosidade convectiva da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) (SOUZA; AMBRIZZI, 2002; SOUZA et al., 2004).

Conforme Fearnside (2009), o ciclo ENOS produz um padrão de inundações e secas ao redor do mundo. De acordo com Souza e Ambrizzi (2002), os anos de *La Niña* favorecem a precipitação e os de *El Niño* tendem a inibir a precipitação em algumas regiões da Amazônia. Para Williams et al. (2005), os impactos do *El Niño* na Amazônia são mais intensos na região norte e central. Os eventos ocorridos em 1982, 1997 e 2003 causaram seca na parte norte da Amazônia. Nicholls et al. (1996) observaram que a frequência de eventos “*El Niño*” foi muito mais alta desde 1976 em comparação com os anos anteriores. OLIVEIRA et al. (2008) ressaltaram que o ciclo ENOS ainda não possui causa e variabilidade bem conhecida. Os anos de “*La Niña*” e “*El Niño*” desde 1886 até 2010 e sua intensidade estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Ocorrência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* desde 1983.

ANO	<i>La Niña</i>	<i>El Niño</i>
	Intensidade	
1983 - 1984	Moderado	-
1984 - 1985	Forte	-
1986 - 1988	-	Moderado
1988 - 1989	Moderado	-
1994 - 1995	-	Moderado
1990 - 1993	-	Forte
1995 - 1996	Moderado	-
1997 - 1998	-	Forte
1998 - 2001	Forte	-
2002 - 2003	-	Moderado
2004 - 2005	-	Fraco
2006 - 2007	-	Fraco
2007 - 2008	Moderado	-
2009 - 2010	-	Fraco

**Fonte:** Adaptado de INPE (2010).

O oceano Atlântico também causa variabilidade climática interanual na Amazônia. O Gradiente de anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar), também conhecido como Padrão de Dipolo, ocorrente na região intertropical deste oceano, influencia no comportamento da ZCIT, que por sua vez, é um dos principais sistemas meteorológicos atuantes sobre a precipitação da região amazônica. O Padrão de Dipolo caracteriza-se pela manifestação simultânea de sinais opostos das bacias do Atlântico Norte e do Atlântico Sul (SOUZA; NOBRE, 1998; SOUZA; KAYANO, AMBRIZI, 2005).

Outro evento extremo na região amazônica ocorreu em 2005 e foi causado pela inversão do gradiente de temperatura do Atlântico Norte e do Atlântico Sul que influenciou no comportamento da ZCIT, ao passo que, o ar seco do ramo descendente desta atingiu as nascentes dos afluentes do lado sul do rio Amazonas (FEARNSIDE, 2006; MARENGO et al., 2008). Conforme Fearnside (2009), resultados de simulação indicam que a probabilidade de uma seca tão intensa como a de 2005 foi de 5% (1 ano em 20), mas isso pode aumentar para 50% (1 ano em 2) até 2025 e 90% (9 anos em 10) até 2060 devido as atividades antrópicas.

No estado do Pará, Moraes et al. (2005) estudaram a variação espacial e temporal da precipitação com base em dados de 23 anos coletados em 31 localidades distribuídas no território paraense. A precipitação média anual variou de 1349 mm em Rio Maria no Sudeste do Estado a 3330 mm no município de Almeirim, no Norte do estado. Aproximadamente 50% do estado apresenta precipitação anual entre 1900 e 2400 mm e 10% possui totais pluviométricos anuais entre 2400 e 3330 mm. Os menores valores de precipitação anual, entre 1350 e 1900 mm, são registrados em uma ampla faixa distribuída à Sudeste e que corresponde a 40% do total da área do estado. A temperatura média do estado é de 26 °C.

A região da FLONA de Caxiuanã-Pará, localizada no leste da Amazônia, é influenciada pelos sistemas atmosféricos: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Tropical, ventos provenientes da baía de Caxiuanã, convecção causada pelo aquecimento local e os fenômenos “*El Niño*” e “*La Niña*” (COSTA; MORAES, 2002; MORAES et al., 2009).

### 3.2 OS SOLOS DA AMAZÔNIA

O território brasileiro possui uma grande diversidade de tipos de solos relacionados as diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados. A região Norte do Brasil ocupa cerca da metade do território brasileiro e no geral,

apresenta solos profundos, ácidos, bem drenados, muito intemperizados e de baixa fertilidade natural (COELHO et al., 2002).

Os solos amazônicos, não raro apresentam valores de pH abaixo de 5,0 (SILVA; SILVA; MELO, 2006; LUIZÃO, 2007, FAJARDO; SOUZA; ALFAIA, 2009; OLIVEIRA; FLOR; OLIVEIRA, 2010). O pH influencia a disponibilidade de nutrientes, a solubilidade de elementos tóxicos e a atividade microbiana, altera as reações de dessorção e precipitação que ocorrem no solo (MALAVOLTA, 2006).

A textura do solo representa a distribuição quantitativa das partículas minerais, menores que 2 mm de diâmetro as quais correspondem as frações de areia, argila e silte. Os solos arenosos, geralmente possuem baixa capacidade de retenção de cátions (moléculas de carga positiva como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) e favorecem o processo de lixiviação. Também apresentam baixa capacidade de retenção de água. Já os solos argilosos retém os cátions e possuem maior capacidade de conter a água nos poros existentes na matriz do solo (FEARNSIDE, 2002).

Para Chaves et al. (2004), a capacidade de troca catiônica (CTC) é importante pois indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas. A CTC dos solos ricos em ferro e óxidos de alumínio, como é o caso dos solos amazônicos, depende do pH. Além disso, o pH baixo eleva as concentrações de íons que são tóxicos as plantas e que ocupam um número significativo dos poucos sítios de ligação que existem nos componentes do solo (NOVAIS, et al., 2007).

O nitrogênio (N) possui uma dinâmica complexa no ambiente e apresenta diversas formas químicas, reações e processos que envolvem o sistema solo-planta-atmosfera. É um elemento limitante pois participa da estrutura das proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e outros componentes celulares das plantas (SOUZA; FERNANDES, 2006; ROCHA et al., 2008). Junto com o fósforo (P), é o elemento que mais limita a produtividade nas regiões tropicais (FEANRSIDE, 2002).

A disponibilidade de fósforo nos solos brasileiros é influenciada pela textura e pelo grau de evolução do solo, além do teor de matéria orgânica. A presença desse elemento em formas lábeis ou não, está relacionada ao processo de precipitação em solução com formas iônicas de ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca) (MALAVOLTA, 2006; NOVAIS et al, 2007). O nível de fósforo é baixo em praticamente todos os solos na Amazônia brasileira, incluindo os solos férteis que ocorrem ao longo de partes da rodovia Transamazônica no Pará e da rodovia BR-364 em Rondônia (FEARNSIDE, 1986). A disponibilidade de fósforo em



Latossolos geralmente é muito baixa, porque a maior parte deste elemento se encontra em compostos altamente insolúveis de Fe e de Al.

Os micronutrientes do solo apesar de requeridos em pequenas quantidades, são essenciais para o crescimento das plantas. O Fe e o Mn estão entre os 12 elementos mais abundantes; os demais elementos ocorrem em concentrações menores que 0,1% na litosfera. Na solução do solo, os micronutrientes aparecem na forma de íons livres ou complexados com ligantes orgânicos e inorgânicos e estão em fluxo constante. Suas concentrações são influenciadas pela força iônica da solução, pela concentração dos outros íons, pelo fatores como pH, umidade, temperatura, reações de oxirredução e outros (ABREU; BERTON, 2002).

O cobre (Cu) está mais disponível na faixa de pH 5,0 a 6,5. Nos solos orgânicos é comum a deficiência de Cu, pois apesar de apresentarem altos teores, esse micronutriente forma complexos estáveis com a matéria orgânica e apenas pequenas quantidades ficam disponíveis para a cultura. Os solos arenosos podem apresentar deficiências em Cu devido o processo de lixiviação, já nos solos argilosos a ocorrência desse fenômeno é menor. A presença excessiva de íons metálicos, como Fe, Mn e Al, reduzem a disponibilidade de Cu, independente do tipo de solo (SODRÉ; LENZI, 2001).

O ferro (Fe) apresenta maior disponibilidade na faixa de pH 4,0 a 6,0. Sua ausência é muitas vezes causada por desequilíbrio em relação a outros metais. O excesso de fósforo no solo, o pH alcalino e baixas temperaturas podem contribuir para limitar esse elemento (CAMARGO; ALLEONI; CASAGRANDE, 2001).

O zinco (Zn) e o manganês (Mn) possuem maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5. Os solos arenosos, com baixa CTC e sujeitos a altos índices pluviométricos são propensos a apresentar deficiências desse micronutriente (BORKERT et al., 2001). Os solos orgânicos e úmidos apresentam deficiência de manganês (MALAVOLTA, 2006). A deficiência de zinco pode representar um problema para crescimento das plantas e pode ser causada pela fixação do zinco em sesquióxidos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) característicos dos Latossolos (OLIVEIRA, 2002).

Em geral, os solos tropicais são altamente intemperizados e apresentam predominância de óxidos e hidróxidos de Fe e Al na fração argila. Isso ocorre devido a presença dos minerais como a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), a goethita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e a gibbsita ( $\text{Al}_3\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) que possuem baixa capacidade de adsorção de cátions e elevada capacidade de adsorção de ânions (JACKSON, 1973; BUCKMAN; BRADY, 1989; RAIJ, 1991; CANTARUTT et al., 2007). A rápida ciclagem dos nutrientes, que ocorre devido as condições abióticas da região, é o principal fator que contribui para a manutenção da floresta e de seus ecossistemas (NOVAIS;

BARROS, 1997; RUIVO et al., 2002; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007, SILVA, et al., 2005).

A Amazônia pode ser dividida em dois ecossistemas distintos: o de terra firme e o de várzea. Os solos de várzea, no geral, são ricos em C, Ca, Mg, K, Fe, e pobres em N; apresentam pH em torno de 5,5 e baixa saturação de alumínio. No caso dos solos de terra firme, a maioria representados pelos Latossolos e Argissolos, apresentam acidez elevada e alta saturação de alumínio e os nutrientes como Ca, Mg, P, K estão em concentrações bem inferiores aos requeridos pela maioria dos vegetais (RUIVO et al., 2002; NOVAIS et al., 2007; MOREIRA; SIQUEIRA; BRUSSAARD, 2008).

Os solos da FLONA de Caxiuanã já foram estudados por Kern (1996), Ruivo et al. (2002), Costa et al. (2005) e Simões et al. (2009). Para Kern (1996), a maioria da área é representada pela classe Latossolos, no entanto, também foram identificados Plintossolos e Terra preta arqueológica. Ruivo et al. (2002), estudando os solos da área do experimento ESECAFLOR, encontraram Latossolo Amarelo com sequência de horizontes A, B e C, variando de bem (parcelas A e B) a moderadamente drenados (parcela T), e cor bruno amarelo escuro a vermelho amarelado. A textura dos solos (parcelas A e B) é franco arenosa na superfície, passando para franco argilosa conforme o aumento da profundidade. Alguns nutrientes como o fósforo e o nitrogênio são mais concentrados nas camadas superficiais do solo e tendem a diminuir ao longo do perfil. Simões et al. (2009), estudando os solos da área do experimento PPBio, identificaram Latossolo Amarelo com textura variando de arenosa a muito argilosa, altos valores para alumínio, baixos valores de CTC e efetiva soma de bases.

### 3.3 POPULAÇÃO DE FUNGOS E BACTÉRIAS DO SOLO

O uso de parâmetros microbiológicos, para avaliar a qualidade do solo tem sido adotado com frequência, uma vez que eles apresentam maior sensibilidade às alterações ambientais do que os parâmetros químicos e físicos (TÓTOLA; CHAER, 2002; FRANCHINI et al., 2007; DE-POLLI; GUERRA, 2008). Os microrganismos que vivem nos primeiros centímetros do solo são os principais responsáveis pela formação do solo, pelo ciclo biogeoquímico dos nutrientes e pela regulação do fluxo da água (GOBERNA et al., 2005; BAYER; MIELNICZUK, 2008; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Protozoários, actinomicetos, bactérias, fungos, algas e vírus - principais representantes da microbiota edáfica - desempenham serviços e se distribuem de forma distinta no ambiente. Influenciam na decomposição da matéria orgânica e na mineralização de diversos compostos

orgânicos, uma vez que atuam como reguladores nas transformações de orgânicas para inorgânicas do N, P e S e de outros elementos, na produção de metabólitos, na degradação de agroquímicos e de elementos físicos do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Alguns gêneros possuem capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, otimizar a nutrição fosfatada das plantas e proporcionam resistência contra agentes patogênicos (ESPINDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 2005; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

De acordo com Selle (2007), parte do CO<sub>2</sub> retirado anualmente da atmosfera, retorna a mesma por meio da respiração microbiana edáfica. Este processo está diretamente relacionado à decomposição da matéria orgânica e a mineralização do húmus que é determinada, principalmente, pelas características intrínsecas do substrato (ex: relação C/N, fenóis e lignina), pelas características do solo (ex: pH, teores de nutrientes e umidade) e pelas características do ambiente (ex: temperatura, fluxo de calor e precipitação). Principalmente as bactérias e os fungos do solo são os responsáveis pela degradação da matéria orgânica e consequentemente a liberação do carbono para a atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUTO et al., 2008).

No âmbito dos micronutrientes essenciais as plantas, a comunidade microbiana do solo participa dos processos de imobilização, mobilização e transformação desses elementos através das reações de precipitação extracelular, acumulação intracelular, reações de oxidação e redução, metilação e demetilação (SANTINI et al., 2000). Altas concentrações de metais pesados podem interferir de forma negativa nos processos biológicos que acontecem naturalmente no solo. Para Mora et al. (2006), a acumulação de metais traços reduz a biomassa microbiana e a atividade de várias enzimas. O pH e as características físico-químicas do solo influenciam nos efeitos dos metais traços sobre os microrganismos.

A densidade populacional dos microorganismos do solo é maior na primeira camada do solo (0 – 10 cm de profundidade) e tende a declinar com o aumento da profundidade, pois estes organismos são fortemente correlacionados com a concentração de matéria orgânica. Os indivíduos alojados nos primeiros horizontes são os que mais contribuem para a formação do solo, regulação do fluxo da água e para o ciclo biogeoquímico (GOBERNA et al., 2005; PAUL, 2007).

Conforme Paul (2007) e Souto et al. (2008), as bactérias e os fungos são responsáveis por grande parte da biomassa e pelo metabolismo respiratório do solo, uma vez que uma flora variada desses grupos permite a degradação quase que total dos restos de plantas e animais. Os processos de agregação do solo, decomposição de resíduos orgânicos, mineralização de

nutrientes, controle de pragas e estabelecimento de relações simbióticas são realizados com a participação efetiva desses microorganismos.

As bactérias são organismos procariontes, com tamanho variando entre 0,2 e 2,0  $\mu\text{m}$  de diâmetro e 2,0 a 8,0  $\mu\text{m}$  de comprimento. As formas mais encontradas no solo são *cocos*, *espirilos* e *bacilus*. É o grupo mais freqüente no solo e são classificadas como gram-Positivas quando apresentam na sua parede celular peptidoglicano, polissacarídeos e ácido teiólico. Também podem ser aeróbicas, anaeróbicas, autotróficas, heterotróficas e alguns gêneros possuem propriedades que permitem a colonização de ambientes em condições adversas (TORTORA et al., 2005; SANTOS, 2006). É comum a quantidade de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias ser maior que a de fungos, porém elas representam de 25 a 30% da biomassa microbiana do solo (ARAÚJO; HUNGRIA, 1994; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As bactérias do gênero *Rhizobium* residem no sistema radicular das leguminosas jovens e tecido corticais das raízes, onde se desenvolvem, fixando  $\text{N}_2$  atmosférico e realizando a sua transformação para sais utilizados pelas plantas. Os fungos mineralizam frações nitrogenadas orgânicas, produzindo amônio ou outros compostos nitrogenados simples, ao mesmo tempo que liberam C para a síntese celular, já as bactérias são responsáveis pelos processos de desnitrificação e nitrificação (MALAVOLTA, 2006).

As bactérias de maior ocorrência no solo pertencem aos gêneros: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Xanthomonas* e *Micrococcus*, além dos menos representativos, mas de grande importância ao ecossistema: *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Ferrobacillus*, *Thiobacillus*, *Hidrogenomas*, *Dessulfovibrio*, *Methanobacillus*, *Carboxidomonas*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Prospania*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Azotomonas*, *Derxia* e outros gêneros de vida livre no solo (BRANDÃO, 1992). Os *Bacillus* (aeróbico) e os *Clostridium* (anaeróbico) podem resistir a condições adversas do ambiente; em ocasiões de altas temperaturas e irradiação, formam uma estrutura de resistência denominada endosporo, que é mais resistente do que a célula vegetativa (GRAY; WILLIANS, 1975).

As bactérias representam 1/3 da biomassa microbiana e possuem a relação C/N média de 4, convertendo 32% de carbono (C) em biomassa (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os estudos de Anderson e Domisch (1980), no entanto, identificaram que a contribuição das bactérias para a biomassa total variou de 10 a 40 %, sendo a média de 25%.

Os fungos são microorganismos cosmopolitas e podem ser dispersos através do ar atmosférico, da água, dos insetos e outros animais. Possuem alta variabilidade enzimática e

podem abrigar os mais diversos ambientes (TORTORA et al., 2005; TRABULSI; ALTERTHUM, 2005). Podem ser saprófitos, se apenas transformam a matéria orgânica em inorgânica; parasitas, caso dependam de outro ser autotrófico; e simbióticos, se proporcionam benefício mútuo (TOLEDO; PEREIRA, 2004; LEJON et al., 2005). Também podem organizar seu material genético dentro do núcleo, apresentam organelas citoplasmáticas e divisão do corpo por mitose (TORTORA et al., 2005). Alguns gêneros usam compostos inorgânicos e fixam nitrogênio atmosférico. No geral representam cerca de 70% da biomassa microbiana do solo e sua ocorrência está condicionada a fatores como pH, umidade e qualidade do substrato (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os fungos têm redes de hifas que lhes permitem crescer em novos substratos mesmo a distâncias de centímetros a metros, produzem secreções de enzimas capazes de quebrar o material proveniente de quase todas as classes de plantas e penetram na cutícula das folhas, promovendo o acesso ao interior de um órgão e se proliferam dentro e entre as células mortas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). Também participam da formação dos agregados das partículas do solo, melhorando suas condições físicas, sobretudo devido a ação mecânica agregadora dos filamentos do micélio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os fungos podem se desenvolver em solos mais secos do que o necessário para as bactérias (BURGES; RAW, 1971) e são encontrados, no geral, em densidades populacionais abaixo das bactérias (DIONÍSIO, 1996). Eles preferem solos ácidos, pois há menor concentração de bactérias, uma vez que estas tem preferência por ambientes neutros a alcalinos; sendo assim, a competição por espaço é menor. No geral, são aeróbios e resistentes a altas pressões de CO<sub>2</sub> (BRANDÃO, 1992) e possuem diversas funções no solo como decomposição de resíduos orgânicos, agentes de controle biológico e formação de simbioses mutualísticas com plantas e algas verdes ou cianobactérias (OSAKI; NETTO, 2009).

De acordo com Santos (2006), os fungos podem ser classificados na Divisão *Chytridiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota*, *Basidiomycota* e *Deuteromycota*, sendo os gêneros *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Pythium*, *Verticillium* e *Alternaria* os mais encontrados no solo.

Ruivo et al. (2002) realizaram os primeiros estudos microbiológicos do solo do experimento ESECAFLOR/Caxiuana-PA. Para esses autores, o maior e menor valor (50,8 x 10<sup>6</sup> e 18,3 x 10<sup>6</sup> UFC/g) foram registrados para a população de bactérias na parcela A (parcela que não sofreu exclusão das águas pluviais) e na parcela B (parcela que teve cerca de 80% da

precipitação pluviométrica retida com o auxílio de painéis de plástico e calhas de madeira), respectivamente. Amarante et al (2010) estudaram a população microbiana em solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) que ocorrem na FLONA de Caxiuanã e identificaram que a população de fungos foi maior que a população de bactérias, sendo também concluído pelo estudo a elevada densidade e diversidade microbiana desses solos em comparação com outros solos naturais e alterados da região norte do país.

### 3.4 FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM A POPULAÇÃO DE FUNGOS E BACTÉRIAS

A população e atividade microbiana são sensíveis as variações físicas, químicas e biológicas que ocorrem no ambiente; por isso, podem ser considerados bioindicadores da qualidade do solo (DE-POLLI; GUERRA, 1997; TIEDJE et al., 2001; ZILLI et al., 2003; RODRIGUES et al., 2011). Sendo assim, faz-se necessário entender a resposta dos diferentes microorganismos diante das variáveis ambientais para, então, promover o manejo sustentável dos ecossistemas.

De acordo com Tortora, Funke e Case (2005), a parcela microbiana do solo é muito influenciada pelo pH do solo e pode ser classificada quanto ao seu nível de tolerância. São considerados insensíveis quando a alta variação de pH não altera seu metabolismo, neutrófilos quando se desenvolvem apenas na faixa neutra, acidófilos quando apresentam crescimento ótimo em condições ácidas e basófilos quando desempenham melhor suas atividades em pH acima de 8,0.

Poucas bactérias se desenvolvem em pH abaixo de 4,0 sendo a maioria mais adaptada à faixa de 6 a 8 (BRANDÃO, 1992). As acidófilas, que resistem a solos ácidos e as quimioautotróficas, que são capazes de oxidar o enxofre formando o ácido sulfúrico, podem crescer em ambiente com pH 1,0. Os fungos filamentosos são adaptados a ambiente ácidos, podendo sobreviver na faixa entre 5 e 6 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A temperatura do solo influencia nas reações fisiológicas e metabólicas das células e nas características químicas e físicas do solo. Quando a temperatura está alta, ocorrem modificações na estrutura das moléculas e no comportamento das enzimas, no entanto, diante de temperaturas baixas, pode ocorrer alterações nos mecanismos de ligação que orientam as estruturas terciárias das proteínas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). As diferentes condições climáticas ao longo do ano alteram as relações que ocorrem no solo, principalmente nas regiões subtropicais, onde as estações do ano são bem definidas. Também é comum a

atividade microbiana do solo apresentar flutuação intra-anual, principalmente nos primeiros centímetros do solo, devido a alta variação da umidade e da temperatura nos primeiros centímetros do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUTO et al., 2008).

O solo exposto tem suas propriedades hídricas e térmicas alteradas, uma vez que as funções das raízes e folhagens da vegetação foram suprimidas, criando um ambiente de estresse e condições inviáveis para a sobrevivência de determinados microorganismos. Estudos com bactérias indicam um aumento na densidade dos indivíduos conforme o aumento da umidade do solo (SANTOS, 2006; SILVA et al., 2007; TRANINN, MOREIRA; SIQUEIRA, 2007; AMARANTE et al., 2010).

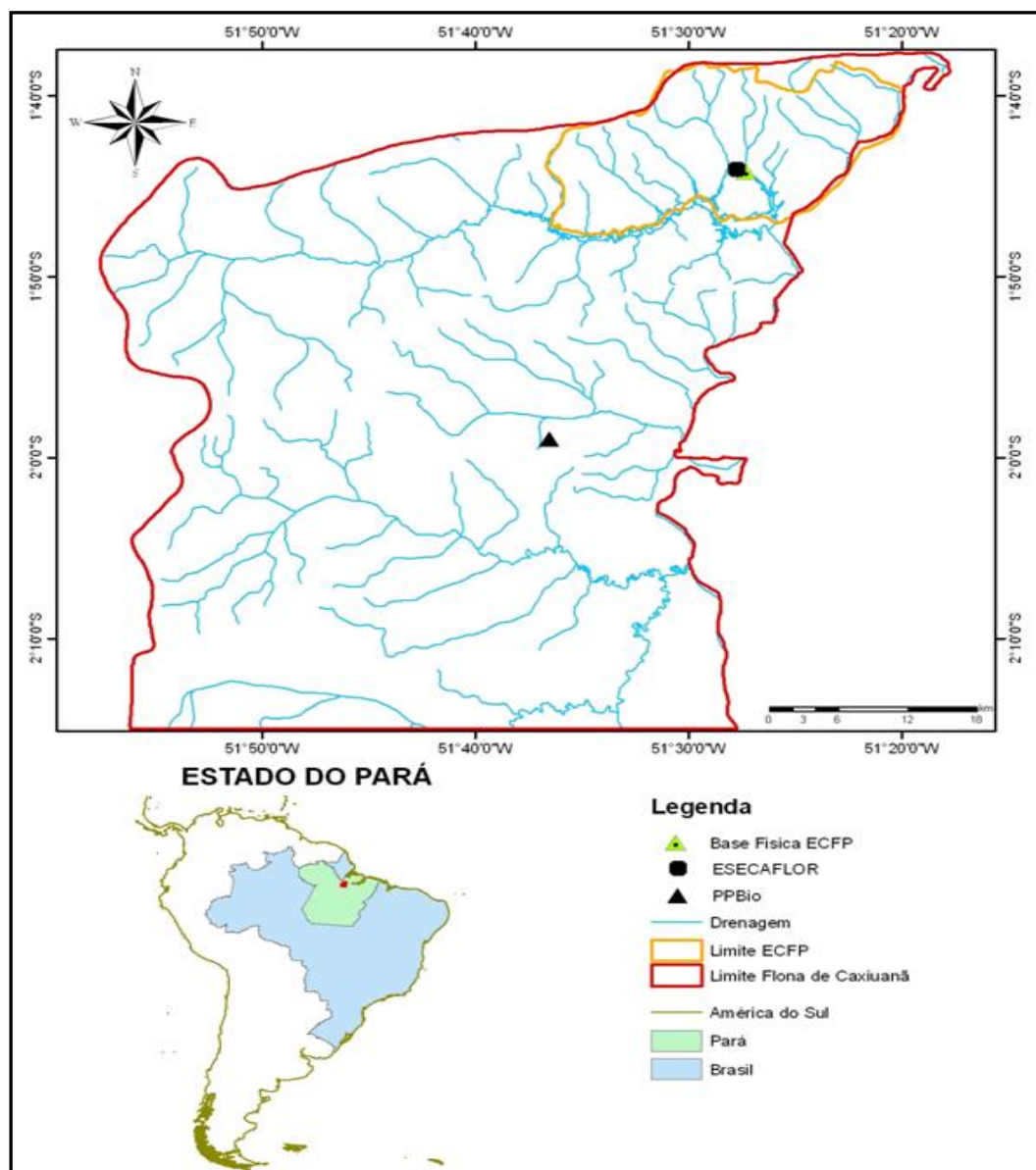
As necessidades alimentares dos microorganismos variam conforme a espécie e os nutrientes extraídos da matéria orgânica são utilizados para a formação dos seus constituintes celulares. O C, por exemplo, atua na síntese dos compostos orgânicos fundamentais, uma vez que é denominado o elemento celular básico da estrutura de todos os seres vivos; o P e o N influenciam na síntese da ATP e do DNA, e o S compõem as proteínas. Os demais elementos, como o Fe, Zn e Cu são necessários em pequenas concentrações e influenciam na atividade de algumas enzimas (TORTORA; FUNKE, CASE, 2005; TRABULSI; ALTERTHUM, 2005).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DOS SÍTIOS EXPERIMENTAIS

A Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã (Figura 1), criada pelo decreto nº 239 de 28 de novembro de 1961, ocupa cerca de 70% do município de Melgaço-PA e 30% do município de Portel-PA, Amazônia Oriental, distando 400 km à Oeste de Belém (SOARES; LISBOA, 2009). Na FLONA foram selecionados duas áreas experimentais, parcela B e parcela CI, dos projetos ESECAFLOR e PPBio, respectivamente.

Figura 1: Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã-PA e dos sítios experimentais do ESECAFLOR e PPBio.



Fonte: Banco de dados da Unidade de sensoriamento remoto (UAS/MPEG).



#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA FLONA DE CAXIUANÃ-PA

A FLONA de Caxiuanã abriga ecossistemas que são típicos da Amazônia, como Terra Firme, Várzea e Igapó, os quais são riquíssimos em espécies vegetais (ALMEIDA; LISBOA; SILVA, 1993). A região foi desenvolvida em um baixo planalto formado durante o período Cretáceo e apresenta sedimentos quartzo-caoliníticos correlacionados a Formação Alter do Chão. O tipo de solo que ocorre com mais frequência são os Latossolos porém, Planossolos, Gleissolos e Terra Preta Arqueológica (TPA) já foram registrados para algumas áreas (KERN, 1996; COSTA et al., 2005).

Os solos da FLONA vão de bem drenados a moderadamente drenados, são pobres em nutrientes e vão de muito ácido (pH 3,5) a moderadamente ácido (pH 5,5). Também apresentam cor variando de bruno amarelo-escuro (10YR, 3/6) a vermelho amarelado (7,5YR, 6/6) (RUIVO et al., 2002).

Cerca de 80% da área é coberta por Floresta Ombrófila Densa de terras baixas; as demais áreas são representadas por igapó, várzea e manchas de vegetação aberta. Até 2007 foram registrados 1.010 espécies de plantas, 134 espécies de líquens, 33 espécies de fungos macroscópicos e 746 espécies de animais (INPA, 2007). Conforme Lisboa (1997), Caxiuanã possui uma das áreas de Terra Firme de maior riqueza de espécies na região da Amazônia Oriental. No geral, a vegetação é densa, com árvores em torno de trinta e cinco metros de altura.

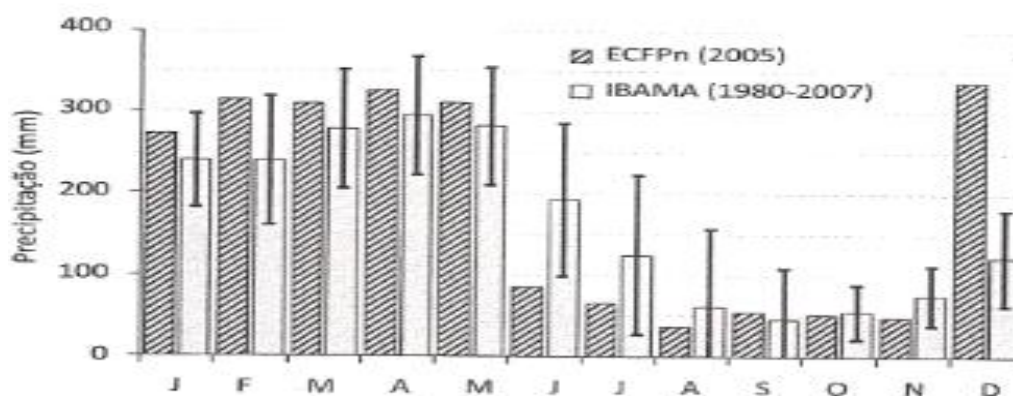
A região de Caxiuanã possui relevo plano e ondulado, porém não apresenta altas elevações. A bacia hidrográfica da região é bem ramificada e as águas da baía de Caxiuanã possuem cor escura e são ricas em material algal e ilhas de vegetais flutuantes, sendo contornada por vegetação densa de terra firme e ambientes alagados (MORAES et al., 2009).

De acordo com Costa e Moraes (2002), os principais sistemas atmosféricos que modelam o clima da região de Caxiuanã são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ventos leves provenientes da baía de Caxiuanã, convecção causada pelo aquecimento local e período de ocorrência de fenômenos como “*El Niño*” e “*La Niña*”. Eventos como ondas de leste, linhas de instabilidade e sistemas frontais podem interferir de forma esporádica e não muito significativa. Segundo a classificação de Koppen, o clima da FLONA é do tipo Am, ou seja, a área possui clima tropical quente, com curto período de estiagem entre agosto e novembro (Figura 3). Costa et al. (2009), com base na média da série de dados coletados

durante 28 anos (1980-2007) pelo IBAMA, constataram que os períodos chuvoso e seco representam 72,5% e 27,5% da precipitação da FLONA, respectivamente.

A temperatura média anual da região é de 26°C e a umidade relativa média do ar é cerca de 85%. Os menores valores de temperatura são registrados, em geral, durante os meses de janeiro a março (LISBOA, 1997).

**Figura 2:** Totais mensais da precipitação pluvial no ano de 2005 da ECFPn (Estação Científica Ferreira Penna/MPEG) e as médias mensais entre 1980 – 2007 elencadas pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).



Fonte: Costa et al. (2009).

## 4.3 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

### 4.3.1 Sítio do ESECAFLOR

O LBA - Experimento em Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, é um programa multinacional e interdisciplinar que visa estudar as interfaces entre o clima, o solo, os gases atmosféricos e os impactos do uso da terra na Amazônia. Ele também busca investigar quais e como diferentes fatores antrópicos podem ocasionar transformação no equilíbrio da floresta amazônica. No âmbito desse programa é desenvolvido o experimento ESECAFLOR – O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e de CO<sub>2</sub> em uma Floresta Tropical Amazônica, que consiste na indução de um período de seca na floresta para investigar os seus impactos nos diversos subsistemas de um ecossistema de Terra Firme da floresta amazônica a longo prazo (MEIR, 2003; COSTA et al., 2009).

O ESECAFLOR é dividido em duas parcelas (A e B) de 1 ha cada. A parcela A é usada como testemunha para os experimentos implantados na parcela B, onde há a exclusão de aproximadamente 80% das águas pluviais. Uma faixa de 20 metros separa as duas parcelas que também são cercadas por trincheiras de 0,5 m de largura e profundidade entre 0,5 e 1,5 m, para drenar a água da chuva. A infiltração lateral da parcela B foi minimizada por meio de um revestimento da trincheira com lona plástica preta. As parcelas possuem duas torres metálicas de 30 m de altura para a medição dos elementos meteorológicos.

Em novembro de 2001 foram instalados, na parcela B, cerca de 6.000 painéis de madeira e revestidos com plástico transparente a uma altura variando de 1,5 a 4 m acima do solo. Foram implantadas 20 calhas de madeira com 0,3 x 0,3 m de largura e profundidade, também revestidas com lona plástica preta, para o escoamento da água da chuva para as trincheiras laterais (Figura 3).

Figura 3: A) Painéis de plásticos que interceptam as águas pluviais e B) trincheiras revestidas de lonas que drenam as águas provenientes das canaletas.



Ruivo et al. (2002) classificaram os solos das parcelas A e B como Latossolo Amarelo, com Horizontes A, B e C bem drenados, cor bruno amarelo escuro a vermelho amarelado; a base do perfil de ambas as parcelas são constituídas de um horizonte de areia ou de argila caulínica intercalada com um horizonte laterítico. Os solos são ácidos, sendo registrados valores de pH entre 3,5 e 5,5.

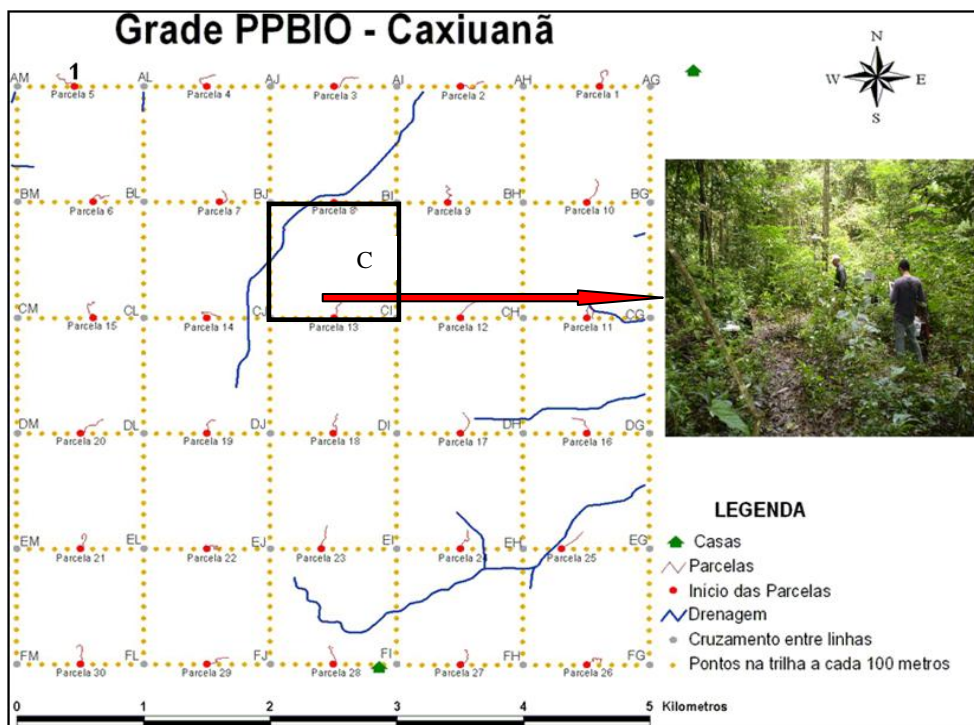
Conforme o estudo de Viana et al. (2003), a floresta de Terra Firme que se encontra próximo ao experimento ESECAFLOR é constituída de árvores emergentes (40 a 50 m), dossel (30 a 35 m), subdossel (20 a 25 m) e piso (5 m); a diversidade varia entre 150 a 160

espécies  $ha^{-1}$  e a densidade de indivíduos é de 450 a 550 árvores  $ha^{-1}$ . Ilkiu-Borges e Lisboa (2004) realizaram inventário florístico em 9 ha de Terra Firme na mesma área e identificaram 644 espécies, dentre elas a *Lecythis idatimon*, a *Eschweilera grandiflora*, a *Cuepia guianensis* spp *guianensis*, a *Bocageopsis multiflora* e a *Vouacapoua americana*; as árvores possuíam altura entre 10 – 49 m e DAP (Diâmetro na Altura do Peito) entre 10 – 20 cm, salvo algumas exceções.

#### 4.3.2 Sítio do PPBio/Amazônia Oriental

O Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) do Ministério de Ciência e Tecnologia, foi criado em 2004 (Portaria MCT nº 268, de 18/06/2004, modificada pela Portaria MCT nº 383, de 15/06/2005), e objetiva gerar, integrar e disseminar informações sobre biodiversidade que possam ser utilizadas para diferentes finalidades, em especial a conservação dos ecossistemas amazônicos (INPA, 2007). O sítio de pesquisa de Caxiuanã foi instalado em 2004 e possui 25 km<sup>2</sup> divididos em 30 parcelas permanentes de 250 m x 40 m. O acesso às parcelas é realizado por 12 trilhas de 5 km de comprimento, sendo 6 no sentido norte-sul e 6 no sentido leste-oeste (Figura 4).

Figura 4: Croqui da grade do PPBio instalado na Flona de Caxiuanã-PA (destaque para a parcela CI).



Fonte: PEREIRA (2010).

Simões et al. (2009) classificaram os solos da grade do PPBio como Latossolo Amarelo e registraram valores de pH entre 4,2 e 6,4, textura variando de arenosa a muito argilosa, altos valores para saturação por alumínio (acima de 50%), baixos valores (4 a 12  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) de CTC, valores de soma de bases entre 0,15 e 1,15  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  e teores de matéria orgânica oscilando de baixos a médios. Nutrientes como cálcio, magnésio, potássio e fósforo apresentaram valores relativamente baixos nas primeiras profundidades do solo, fato que implica na baixa fertilidade desses Latossolos e corrobora para justificar a auto-sustentabilidade desse ecossistema.

Félix-da-Silva, Trindade e Bastos (2009) estudaram a flora fanerogâmica da grade do PPBio, identificando 200 indivíduos (distribuídos de maneira dispersa dentro das parcelas do plote), totalizando 47 famílias, 102 gêneros e 158 espécies. As famílias mais representativas em número de espécies foram: Leguminosae (12%; 19 spp.), Euphorbiaceae, Rubiaceae e Sapotaceae (10 spp. cada), Annonaceae e Violaceae (8 spp. cada), Lecythidaceae (7 spp.), Burseraceae, Chrysobalanaceae e Lauraceae (6 spp. cada), Myrtaceae, Flacourtiaceae e Sapindaceae (5 spp. cada) e Boraginaceae (4 spp.). As parcelas do plote PPBio, ilustradas na figura 5, mais representativas em número de espécies foram, em ordem decrescente: 15, 01, 11, 14, 13, 08, 10 e 07.

#### **4.3.3 Estudo preliminar da parcela CI/PPBio e da parcela A/ESECAFLOR**

Foi realizado um estudo preliminar para verificar se o substrato da parcela A do ESECAFLOR (sem exclusão de água) é semelhante a parcela CI do PPBio. As amostras de solo de ambas as parcelas foram coletadas no período menos chuvoso do ano de 2009 por meio de trincheiras de 30 x 50 cm (três trincheiras em cada área), sendo coletadas amostras nas profundidades 00-05, 05-10, 10-20 e 20-30 cm. As amostras foram armazenadas, preparadas e analisadas conforme determinações do manual de análise química de solo da Embrapa (1997).

No geral, os teores dos atributos químicos obtidos para a parcela A do ESECAFLOR não apresentaram diferença significativa pelo teste Tukey a 5% quando comparados com os teores obtidos para a parcela CI do PPBio (Tabela 2). Neste sentido, foi escolhida a parcela CI do PPBio para ser a área testemunha.

**Tabela 2:** Atributos químicos do solo da parcela A do ESECAFLOR e da parcela CI do PPBio.

Área	Prof.	pH	C (g/Kg)	N (g/Kg)	Al (cmolc/kg)	H+ e Al+ (cmolc/kg)	P (mg/kg)
<b>Parcela CI - PPBio</b>	00 - 05	4,07 <b>a</b>	25,39 <b>a</b>	2,10 <b>a</b>	1,83 <b>a</b>	4,19 <b>a</b>	10,83 <b>a</b>
	05 - 10	4,26 <b>A</b>	14,29 <b>B</b>	1,14 <b>A</b>	1,74 <b>A</b>	3,32 <b>B</b>	4,89 <b>B</b>
<b>Parcela A - ESECAFLOR</b>	00 - 05	4,29 <b>a</b>	25,42 <b>a</b>	1,71 <b>a</b>	1,03 <b>a</b>	4,74 <b>a</b>	4,63 <b>b</b>
	05 - 10	4,30 <b>A</b>	21,18 <b>A</b>	0,58 <b>A</b>	0,92 <b>A</b>	4,64 <b>A</b>	4,94 <b>A</b>
		Ca (cmolc/kg)	Mg (cmolc/kg)	Na (cmolc/kg)	K (cmolc/kg)	S (cmolc/kg)	CTC
<b>Parcela CI - PPBio</b>	00 - 05	0,325 <b>a</b>	0,447 <b>a</b>	0,68 <b>a</b>	0,13 <b>a</b>	1,59 <b>a</b>	5,77 <b>a</b>
	05 - 10	0,227 <b>A</b>	0,227 <b>A</b>	0,59 <b>A</b>	0,07 <b>A</b>	1,11 <b>A</b>	4,43 <b>A</b>
<b>Parcela A - ESECAFLOR</b>	00 - 05	0,38 <b>a</b>	0,56 <b>a</b>	0,61 <b>a</b>	0,07 <b>b</b>	1,62 <b>a</b>	6,36 <b>a</b>
	05 - 10	0,17 <b>A</b>	0,18 <b>B</b>	0,50 <b>A</b>	0,05 <b>B</b>	0,81 <b>A</b>	5,44 <b>A</b>
		V	Fe (g/kg)	Zn (g/kg)	Mn (g/kg)	Nitrato (µg/g)	Amônio (µg/g)
<b>Parcela CI - PPBio</b>	00 - 05	27,80 <b>a</b>	89,07 <b>a</b>	0,22 <b>a</b>	1,18 <b>a</b>	39,56 <b>a</b>	15,70 <b>a</b>
	05 - 10	24,77 <b>A</b>	115,13 <b>A</b>	0,14 <b>A</b>	0,61 <b>A</b>	17,80 <b>A</b>	5,74 <b>A</b>
<b>Parcela A - ESECAFLOR</b>	00 - 05	25,30 <b>a</b>	62,00 <b>b</b>	0,12 <b>a</b>	0,73 <b>a</b>	20,15 <b>a</b>	12,76 <b>a</b>
	05 - 10	14,82 <b>A</b>	88,20 <b>B</b>	0,11 <b>A</b>	0,18 <b>B</b>	12,46 <b>A</b>	4,74 <b>A</b>

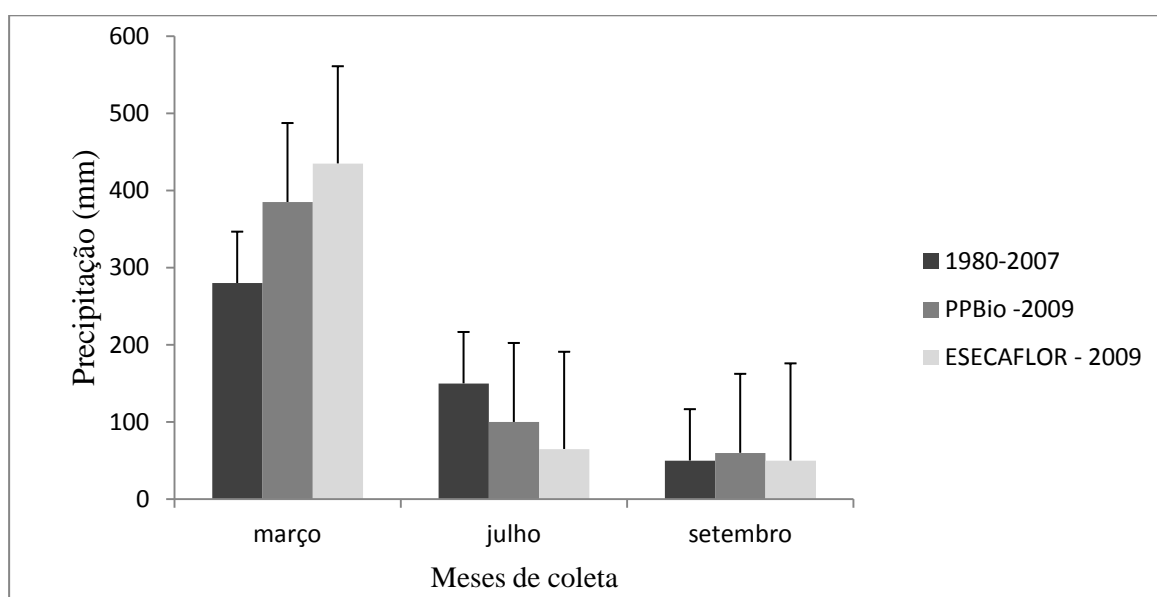
**OBS:** Letras diferentes, minúsculas referente a profundidade 00 - 05 cm e máúsculas referente a profundidade 05 - 10 cm, informam a ocorrência de variação significativa pelo teste Tukey a 5%.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PERÍODOS AMOSTRAIS

Levando em consideração que o objetivo principal do estudo é analisar a resposta da população de fungos e bactérias do solo às alterações ambientais, os pontos de coleta das amostras de solo foram influenciados pela localização dos sensores eletrônicos destinados a leitura da temperatura e do conteúdo volumétrico de água do solo instalados em cada área experimental. Neste sentido, foram determinados 3 pontos amostrais dentro da parcela CI (Experimento PPBio) e 3 pontos dentro parcela B (Experimento ESECAFLOR) para a coleta de amostras de solo. Os pontos foram selecionados conforme a localização dos sensores eletrônicos destinados a coleta das variáveis supracitadas, que estavam instalados apenas nessas parcelas. A distância entre os pontos de amostragem, dentro de cada parcela ficou entre 15 a 20 metros.

Para determinar os períodos de amostragem de solo, foi considerada a sazonalidade pluviométrica da região, que, de forma geral, apresenta os maiores valores pluviométricos no mês de março, os menores no mês de setembro e valores intermediários no mês de julho. Os valores médios de precipitação desde 1980 a 2007 registrados nos meses da amostragem (março, julho e setembro) e a soma dos valores de precipitação registrados para os mesmos meses no ano de 2009 (período de coleta das amostras de solo) estão na Figura 5.

Figura 5: Valores médios de precipitação dos meses de março, julho e setembro registrados pelo IBAMA durante os anos de 1980 a 2007 e totais mensais da precipitação pluvial no ano de 2009, obtidos nas áreas do PPBio e ESECAFLOR, nos mesmos meses.



Fonte: Costa et al (2009) e banco de dados do PPBio e LBA/MPEG.

#### 4.5 COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de temperatura do solo nas profundidades 5cm, 10cm, 20cm e 30cm, foram obtidos com o auxílio de sensores de temperatura, modelo 107-L50 (-35 a 55°C) e os valores do conteúdo volumétrico de água foram registrados por sensores de água no solo (CSI), modelo C566-L50 que abrangeram as profundidades 00-30 cm. Os dados eram registrados diariamente, a cada meia hora, e armazenados em datalogger, em ambos os sítios experimentais, de forma simultânea e com as mesmas especificações supracitadas. Os sensores permaneceram instalados desde o dia 02 de março de 2009 até 30 de março de 2010.

Os valores de precipitação pluviométrica e temperatura do solo, referentes à área do PPBio, foram obtidos através de estação meteorológica montada em área de clareira próxima

a parcela CI e administrada pela Grupo Bioclima do PPBio; já os dados representativos da área onde está implantado o experimento ESECAFLOR, foram coletados por meio de estação meteorológica montada na torre do Programa LBA localizada próximo a área do ESECAFLOR.

#### 4.6 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO

Em cada área (parcela CI/PPBio e na parcela B/ESECAFLOR) foram selecionados 3 pontos para a abertura de 3 mini-trincheiras de 30 x 50 cm em cada um deles, de onde foram coletado amostras de solo nas profundidades: 0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 (Figura 6). Foram coletados cerca de 800g de solo em cada profundidade, dos quais separou-se uma parte para a quantificação de UFC de bactérias e fungos, para a determinação dos teores de nitrato e amônia, e para a análise de umidade; a outra parte foi destinada para a realização das análises físico-químicas. No primeiro caso, as amostras foram armazenadas em geladeiras e no segundo à temperatura ambiente. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos estéreis identificados conforme o ponto de coleta, profundidade e período sazonal.

Figura 6: Mini-trincheiras de 30 x 50 cm na área do experimento ESECAFLOR.



Antes dos procedimentos analíticos, exceto para a análise de umidade e quantificação de bactérias e fungos, foi feita a retirada das raízes e o peneiramento das amostras em malha de 2 mm. No caso das análises químicas, antes desse processo, as amostras também foram secas ao ar em galpão ventilado, destorroadas com rolo de madeira e só depois passadas em peneira com malha de 2 mm.



## 4.7 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

### 4.7.1 Quantificação da população de bactérias e fungos

A quantificação das população de bactérias e fungos foi realizada no Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual do Pará (UEPA). Para determinar a quantidade de Unidades Formadoras de Colônias – UFC de fungos e bactérias nas amostras de solo foi utilizado o método “Por Plate” descrito por Clark (1965), que consistiu basicamente na deposição da alíquota (solo e água) no interior da parte basal de uma placa de Petri estéril e posterior adição de meio de cultura. Após solidificação do meio, as placas foram incubadas por 2 dias no caso das bactérias e 5 dias para os fungos.

Antes do processo de inoculação, foi diluído 10 g de cada amostra de solo em erlenmeyers com 90 ml de água destilada e esterilizada. Logo após houve a diluição em série até a 4º ordem, em que foi transferido assepticamente com uma pipeta estéril, 1 ml da solução para um tubo de ensaio devidamente identificado (diluição 1) com 9 ml de água e depois, com os mesmos cuidados, foi transferido 1ml da diluição 1 para outro tubo de ensaio também com 9 ml de água destilada e esterilizada, obtendo-se então a diluição de ordem 2. A diluição em série foi realizada até a 4º ordem (Figura 8).

Para determinar as UFCs de fungos, foi transferido 1 ml da diluição de 2º ordem para placas de Petri esterilizadas e adicionado 15 ml do meio de cultura Martin (Quadro 1) com temperatura em torno de 45°C, conforme determinações de Clark (1965). Para o crescimento das colônias de bactérias, adotou-se a diluição de 4º ordem e o meio de cultura Agar Nutriente (Tabela 3) (Figura 9 A e B). As amostras foram analisadas em triplicata e todas as placas foram homogeneizadas com movimentos em forma de “8” logo após ser acrescentado o meio de cultura.

Tabela 3: Composição química dos meios de cultura Agar-nutriente e Martin.

AGAR-NUTRIENTE		MARTIN	
COMPONENTE	QUANTIDADE	COMPONENTE	QUANTIDADE
Extrato de carne	1,0 g	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,0 g
Extrato de levedura	2,0 g	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0,5g
Peptona	5,0 g	Peptona	5,0g
Cloreto de sódio	5,0 g	Glicose	10,0g
Agar	15,0 g	Rosa Bengala	0,06g
Água destilada	1.000 ml	Ágar	15,0 g
		Água destilada	1000,0 ml

As placas para crescimento de fungos foram incubadas em geladeiras com temperatura de 25°C, e as de bactérias foram armazenadas em estufa com temperatura de 35°C, ambas na posição invertida. As UFCs de bactérias foram contadas após 24 e 48 horas de incubação, já as de fungos foram quantificadas após 5 dias (Figura 10 A). A contagem das colônias foi realizada com o auxílio do contador de colônias modelo CP-602, em contraste com o meio opaco de cultura (Figura 10 B). Os valores obtidos foram expressos em  $10^2$  UFC/g de solo para fungos e  $10^4$  UFC/g de solo para bactérias.

#### **4.7.1.1 Identificação das bactérias e fungos**

As bactérias foram classificadas quanto ao tipo, gram-positiva e gram-negativa, por meio de microscopia óptica conforme o método da coloração de Gram descrito por Gerhardt (1994). Para tanto, uma pequena amostra da colônia de bactéria sofreu um esfregaço em lâmina com água destilada, que em seguida foi flambada até total evaporação da água e, logo após, foram adicionados os reagentes: cristal-violeta (1 minuto), lugol (1 minuto), álcool, safranina (30 segundos) e, após a secagem, foi feita a observação do fragmento da colônia no microscópio óptico.

As colônias dos fungos predominantes foram isoladas para a obtenção da cultura pura, onde uma amostra da colônia foi transferida, separadamente, para uma nova placa de Petri contendo o meio de cultura Martim e novamente incubada por mais 5 dias. Para a identificação dos isolados com microscópio óptico seguiu-se a metodologia descrita por Menzies (1965), que resumidamente consiste na retirada de uma pequena amostra da colônia que em seguida, é colocada entre a lâmina e a lamínula com o corante azul de lactofenol, só então é realizada a análise dos caracteres morfológicos e a identificação dos gêneros de fungos.

#### **4.7.2 Análises químicas**

As análises químicas foram realizadas com base nos métodos descritos pelo manual de análise do solo da Embrapa (1997), exceto os métodos para determinar os teores de nitrato e amônia, que foram descritos por Yang et al. (1998), e Keeney (1982)<sup>1</sup>, respectivamente.

---

<sup>1</sup> Método adaptado pelo Laboratório de Ecofisiologia da Embrapa – Amazônia Oriental. A maior diferença consiste na substituição do fenol por salicilato (responsável pela formação da cor), justificado pelo fato do salicilato de sódio ser em pó, não ser tóxico e nem cáustico.

Os atributos químicos bem como o pH e a umidade foram determinados no Laboratório de Análises Químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), já os teores de nitrato e amônio foram obtidos no Laboratório de Ecofisiologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa-Amazônia Oriental).

#### **4.7.2.1 pH, carbono e nitrogênio**

O pH foi determinado por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão de solo:água com relação de 1:2,5. Para determinar o carbono orgânico das amostras de solo foi adotado o método Walkley-Black (volumetria de oxi-redução) que tem como princípio a ação oxidante do dicromato de potássio quando em contato com a matéria orgânica do sol. Para tanto foi utilizado ácido sulfúrico e a titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal. Já o nitrogênio foi determinado por digestão sulfúrica, destilação Kjeldhal e titulação.

#### **4.7.2.2 Acidez potencial, alumínio trocável, cálcio e magnésio**

A acidez potencial foi determinada por meio do método de volumetria de neutralização, em que foi utilizado como extrator a solução de acetato de cálcio, pH 7,0. A solução de cloreto de potássio, pH 7,0 foi utilizada para a extração do cálcio, do magnésio e do alumínio trocável. Os valores de Ca e Mg foram obtidos por meio do espectrofotômetro de absorção atômica, modelo AA240 FS, marca Varian e o alumínio foi determinado por volumetria utilizando NaOH 0,025N.

#### **4.7.2.3 Fósforo, sódio, potássio e micronutrientes**

O fósforo, o potássio, o sódio e os micro nutrientes (cobre, zinco, ferro e manganês) foram analisados utilizando solução extratora Mehlich<sup>-1</sup>. O primeiro foi determinado por colorimetria, já a leitura do sódio e do potássio foram efetuadas no espectrofotômetro de chama. A leitura dos micronutrientes será realizada no Espectrofotômetro de absorção atômica.

Os valores da capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (s), saturação por alumínio (m) e da saturação por bases (v), foram obtidos por meio de cálculos a partir dos resultados da acidez potencial, do alumínio trocável e das bases trocáveis.

#### 4.7.2.4 Nitrato e amônio

O extrato do solo para a determinação dos teores de nitrato e amônio foram obtidos com solução 2M KCl. Para a leitura do nitrato, após pipetar 1 ml de amostra em tubo de ensaio, realizou-se os seguintes procedimentos: a) Adição de 0,5ml de Reagente TRI; b) Exposição da amostra em placa quente até a evaporação do material; c) Adição de 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (5 minutos de repouso); d) Adição de 5 ml de água destilada e deionizada; e) Adição de 5 ml de NaOH 40%; e f) Leitura da absorvância da amostra no espectrofotômetro a 410 nm. No caso do amônio, utilizou-se 3 ml de extrato, para em seguida realizar a sequência das seguintes etapas: a) Adição 1 ml de EDTA; b) Adição de 4 ml da solução de salicilato+nitroprussiato e elevação do volume para 15 ml usando água deionizada; c) Adição de 2 ml de hipoclorito tamponado completando o volume para 25 ml com água destilada; e d) Leitura da absorvância das amostras a 667 nm.

#### 4.7.2.5 Umidade atual do solo

A determinação do teor de umidade foi realizada conforme os procedimentos descritos por Embrapa (1997). Foram pesados 10 g de solo úmido (no laboratório) que posteriormente foi seco em estufa a 110°C por 24 horas. As amostras retiradas da estufa foram armazenadas em dessecador até apresentarem temperatura ambiente e serem pesadas novamente.

### 4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizado a ANOVA: dois critérios para verificar as diferenças entre as áreas comparadas, as profundidades e os períodos sazonais estudados. Quando encontrada significância (5 %), as médias de cada parâmetro eram testadas pelo teste Tukey a 5% ( $p < 0,05$ ). A fim de identificar a correlação da população de bactérias e fungos com a temperatura, umidade e as variáveis químicas do solo foi realizado o teste de correlação linear simples, em que foi obtido o coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ). Ambos os testes foram realizados com o auxílio do programa BioEstat 5.0. Em todos os testes estatísticos foram utilizado 3 repetições, as quais correspondem os três pontos de coleta de amostras e dados de cada área experimental.

Sabendo-se que o período de evolução da população de bactérias e fungos, varia de 2 a 5 dias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) respectivamente, determinou-se utilizar, para efeitos comparativos, apenas os dados meteorológicos dos 7 dias que antecederam a data da amostragem do solo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ASPECTOS METEOROLÓGICOS DAS ÁREAS PPBIO E ESECAFLOR

A tabela 4 apresenta as médias dos valores registrados durante os períodos sazonais chuvoso (março), transição (julho) e menos chuvoso (setembro), para as variáveis conteúdo volumétrico de água no solo, temperatura do solo e precipitação pluviométrica para os sítios PPBio e ESECAFLOR, situados na FLONA de Caxiuanã-PA.

**Tabela 4:** Valores médios do conteúdo de água no solo (CVAS) da profundidade 0-30 cm, temperatura (T) do solo a 5, 10, 20 e 30 cm de profundidade e precipitação (PRP), seguidos do teste Tukey a 5% de significância.

VARIÁVEIS	Área	Chuvoso	Transição	Menos chuvoso
<b>CVAS</b> (ml.m <sup>-2</sup> )	PPBio	0,38 <b>aA</b>	0,38 <b>aA</b>	0,25 <b>bA</b>
	ESECAFLOR	0,10 <b>aB</b>	0,08 <b>bB</b>	0,06 <b>cB</b>
<b>T 5 cm</b> (°C)	PPBio	25,5 <b>aB</b>	25,2 <b>aB</b>	25,4 <b>aB</b>
	ESECAFLOR	26,5 <b>bA</b>	26,2 <b>bA</b>	27,2 <b>aA</b>
<b>T 10 cm</b> (°C)	PPBio	25,5 <b>aB</b>	25,2 <b>cB</b>	25,4 <b>abB</b>
	ESECAFLOR	26,5 <b>aA</b>	26,1 <b>bA</b>	27,1 <b>cA</b>
<b>T 20 cm</b> (°C)	PPBio	25,5 <b>aB</b>	25,1 <b>cB</b>	25,5 <b>abB</b>
	ESECAFLOR	26,5 <b>aA</b>	26,5 <b>aA</b>	27,3 <b>bA</b>
<b>T 30 cm</b> (°C)	PPBio	25,6 <b>aB</b>	25,2 <b>bB</b>	25,5 <b>abB</b>
	ESECAFLOR	26,5 <b>aA</b>	26,2 <b>bA</b>	27,1 <b>cA</b>
<b>PRP</b> (mm)	PPBio	14,2 <b>aA</b>	1,3 <b>bA</b>	1,9 <b>bA</b>
	ESECAFLOR	16,8 <b>aA</b>	2,9 <b>bA</b>	1,9 <b>bA</b>

**OBS:** Médias com letras iguais, minúscula na horizontal e maiúscula na vertical, não diferem entre si.

O maior e o menor valores médios dos setes dias anteriores a coleta de solo (0,38 e 0,06 ml.m<sup>-2</sup>) para o conteúdo volumétrico de água no solo foram registrados no período chuvoso, na parcela CI do experimento PPBio e no período menos chuvoso da parcela B do experimento ESECAFLOR, respectivamente (Tabela 4). De forma geral os valores obtidos para essa variável confirmam a eficiência do processo de exclusão das águas pluviais realizado neste experimento e corroboram com os encontrados por Rodrigues et al. (2011).

Costa et al. (2006), estudando o CVAS na área do experimento ESECAFLOR, também encontraram menores valores para a parcela de exclusão quando comparados com os

valores obtidos para a área controle nos períodos chuvoso e menos chuvoso. Este comportamento evidencia a forte influência da estrutura de exclusão da água no efeito da seca na floresta.

Santos et al. (2011), estudando o comportamento da umidade nos anos de *La Niña* (2008) e *El Niño* (2006) em solos da FLONA de Caxiuanã, verificaram que no primeiro os valores para a umidade foram maiores quando comparados com o ano *El Niño*.

O maior valor médio (27,3 °C) para a temperatura do solo foi registrado no período menos chuvoso, na área do ESECAFLOR e a 20 cm de profundidade. As temperaturas médias obtidas na área do PPBio foram sempre menores que as obtidas para a área do ESECAFLOR, porém a variação da temperatura com a profundidade do solo teve o mesmo padrão de comportamento (Tabela 4). Santos et al. (2011) estudando o comportamento da temperatura do solo da FLONA de Caxiuanã em anos de *La Niña* e *El Niño*, registrou os maiores valores para a temperatura no ano de *El Niño*.

Apesar da diferença, relativamente acentuada, da variável precipitação (PRP), não foi encontrado resultado significativo entre as áreas, somente entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. Os valores médios obtidos para a precipitação no mês de março de 2009 foram maiores que a média climatológica (Figura 6), já no período de transição (julho) ocorreu o inverso. Conforme Rodrigues et al. (2011), durante o ano de 2009, choveu mais do que a média climatológica no mês de março, enquanto nos meses de julho, a precipitação ficou abaixo da média histórica. A estação chuvosa de 2009, estava sob a influência do fenômeno *La Niña*, que iniciou-se no segundo semestre de 2008. E na época seca do ano de 2009, as condições termais das águas do Pacífico central apontavam para o início de mais um evento de *El Niño*, que atingiu seu pico em dezembro de 2009, influenciando nas reduções de chuvas na Amazônia Oriental.

## 5.2 COMPORTAMENTO SAZONAL DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO

### 5.2.1 pH, carbono, nitrogênio e C/N

Os valores médios obtidos para cada área experimental, das variáveis: pH, carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N), nas diferentes profundidades (00-05, 05 – 10, 10 – 20 e 20 -30 cm) estão na tabela 5. Também são apresentados os resultados obtidos para o teste Tukey a 5%.

Tabela 5: Valores médios de pH e teores médios de carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) obtidos na área de floresta primária (parcela CI/PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (parcela B/ESECAFLOR) nos períodos chuvoso (CH), transição (TR) e menos chuvoso (MC).

Períodos	Sítios	00 – 05 cm		05 – 10 cm		10 – 20 cm		20 - 30 cm	
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>									
CH	PPBio	3,94 a		3,77 a		3,91 a		4,27 a	
	ESECAFLOR	4,93 A	<b>0,04</b>	4,16 A	NS	3,97 A	NS	4,07 A	NS
TR	PPBio	4,06 a		3,95 a		4,09 a		4,11 a	
	ESECAFLOR	4,34 A	NS	4,08 A	NS	4,02 A	NS	4,16 A	NS
MC	PPBio	4,07 a		4,26 a		4,27 a		4,34 a	
	ESECAFLOR	4,58 A	NS	4,28 A	NS	4,40 A	NS	4,23 A	NS
<b>C (g/Kg)</b>									
CH	PPBio	26,8 a		15,2 ab		10,9 a		8,5 a	
	ESECAFLOR	14,3 A	< <b>0,01</b>	9,9 A	<b>0,03</b>	10,2 A	NS	9,2 A	NS
TR	PPBio	27,4 a		18,5 a		12,1 a		8,7 a	
	ESECAFLOR	14,9 A	< <b>0,01</b>	7,1 A	< <b>0,01</b>	9,0 A	NS	6,5 A	NS
MC	PPBio	25,4 a		14,3 b		10,1 a		6,1 a	
	ESECAFLOR	13,6 A	< <b>0,01</b>	9,0 A	<b>0,04</b>	8,4 A	NS	6,8 A	NS
<b>N (g/Kg)</b>									
CH	PPBio	1,5 ab		1,31 a		0,96 a		0,81 a	
	ESECAFLOR	0,69 A	< <b>0,01</b>	0,46 A	< <b>0,01</b>	0,52 A	<b>0,03</b>	0,43 A	NS
TR	PPBio	1,24 b		1,36 a		1,17 a		0,88 a	
	ESECAFLOR	0,75 A	< <b>0,01</b>	0,55 A	< <b>0,01</b>	0,59 A	< <b>0,01</b>	0,43 A	NS
MC	PPBio	2,10 a		1,14 a		0,95 a		0,74 a	
	ESECAFLOR	0,67 A	< <b>0,01</b>	0,38 A	< <b>0,01</b>	0,50 A	<b>0,04</b>	0,43 A	NS
<b>C/N</b>									
CH	PPBio	18,2 a		11,6 a		11,3 a		10,7 a	
	ESECAFLOR	21 A	NS	26,0 A	< <b>0,01</b>	20 A	< <b>0,01</b>	29,2 A	< <b>0,01</b>
TR	PPBio	15,8 ab		13,4 a		10,1 a		10,8 a	
	ESECAFLOR	19,7 A	NS	13,2 B	NS	16,6 A	NS	15,4 B	NS
MC	PPBio	12,2 b		13,2 a		10,7 a		8,3 a	
	ESECAFLOR	20,2 A	<b>0,04</b>	15,7 B	NS	16,9 A	NS	15,9 B	< <b>0,01</b>

**OBS:** As letras minúsculas (PPBio) e maiúscula (ESECAFLOR) informam se houve diferença significativa entre os períodos sazonais estudados. Os números centrais informam se houve diferença significativa entre os sítios estudados. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%. NS – diferença não significativa ( $p > 0,05$ ), CH – período chuvoso, TR – período de transição e MC – período menos chuvoso.

O valor de pH dos solos variou entre 3,91 a 4,95 na área do PPBio e de 3,97 a 4,93 na área do ESECAFLOR (Tabela 5). Os baixos valores para o pH, obtidos em ambas as áreas, evidenciam o caráter ácido da região, comum em Latossolos da Amazônia. No geral, os

valores de pH corroboram com os obtidos nos estudos realizados por Ruivo et al. (2002), Silva, Silva e Melo (2006) e Simões et al. (2009) em solos Amazônicos.

Os valores de pH registrados para a área do PPBio não tiveram variação significativa entre as profundidades (Tabela 6). Também não houve variação significativa entre os períodos sazonais. Na área do ESECAFLOR, foi identificada variação vertical significativa somente no período chuvoso (CH). Apesar da ausência de diferença significativa, observou-se tendência de valores de pH aumentarem com a profundidade, em ambas as áreas, o que sugere a liberação de ácidos fracos, provenientes da decomposição da matéria orgânica, que se concentra mais nas primeiras camadas do solo.

Tabela 6: Resultados do teste ANOVA para a variação dos teores de C e N e dos valores de pH e C/N nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.

	<b>Prof. (cm)</b>	<b>pH</b>	<b>C g/Kg</b>	<b>N g/Kg</b>	<b>C/N</b>
<b>PPBio</b>					
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	3,94 <b>a</b>	26,85 <b>a</b>	1,52 <b>a</b>	18,15 <b>a</b>
	05 - 10	3,77 <b>a</b>	15,16 <b>b</b>	1,31 <b>a</b>	11,60 <b>b</b>
	10 - 20	3,91 <b>a</b>	10,93 <b>bc</b>	0,96 <b>b</b>	11,33 <b>b</b>
	20 - 30	4,27 <b>a</b>	8,49 <b>c</b>	0,81 <b>b</b>	10,66 <b>b</b>
<b>Transição</b>	00 - 05	4,06 <b>a</b>	27,43 <b>a</b>	1,24 <b>ab</b>	15,77 <b>a</b>
	05 - 10	3,95 <b>a</b>	18,52 <b>b</b>	1,36 <b>a</b>	13,36 <b>ab</b>
	10 - 20	4,09 <b>a</b>	12,09 <b>c</b>	1,17 <b>ab</b>	10,09 <b>b</b>
	20 - 30	4,11 <b>a</b>	8,73 <b>c</b>	0,88 <b>b</b>	10,81 <b>b</b>
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	4,07 <b>a</b>	25,38 <b>a</b>	2,10 <b>a</b>	12,20 <b>a</b>
	05 - 10	4,26 <b>a</b>	14,28 <b>b</b>	1,14 <b>b</b>	13,20 <b>a</b>
	10 - 20	4,27 <b>a</b>	10,05 <b>bc</b>	0,95 <b>b</b>	10,69 <b>ab</b>
	20 - 30	4,34 <b>a</b>	6,11 <b>c</b>	0,74 <b>b</b>	8,33 <b>b</b>
<b>ESECAFLOR</b>					
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	4,93 <b>a</b>	14,29 <b>a</b>	0,69 <b>a</b>	20,95 <b>a</b>
	05 - 10	4,16 <b>ab</b>	9,90 <b>a</b>	0,46 <b>b</b>	25,99 <b>a</b>
	10 - 20	3,97 <b>b</b>	10,20 <b>a</b>	0,52 <b>ab</b>	19,98 <b>a</b>
	20 - 30	4,07 <b>b</b>	9,17 <b>a</b>	0,43 <b>b</b>	29,18 <b>a</b>
<b>Transição</b>	00 - 05	4,34 <b>a</b>	14,87 <b>a</b>	0,75 <b>a</b>	19,72 <b>a</b>
	05 - 10	4,08 <b>a</b>	7,13 <b>b</b>	0,55 <b>a</b>	13,16 <b>a</b>
	10 - 20	4,02 <b>a</b>	9,03 <b>ab</b>	0,59 <b>a</b>	16,58 <b>a</b>
	20 - 30	4,16 <b>a</b>	6,54 <b>b</b>	0,43 <b>a</b>	15,42 <b>a</b>
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	4,58 <b>a</b>	13,8 <b>a</b>	0,67 <b>a</b>	20,19 <b>a</b>
	05 - 10	4,28 <b>a</b>	9,01 <b>b</b>	0,38 <b>a</b>	15,66 <b>a</b>
	10 - 20	4,40 <b>a</b>	8,44 <b>bc</b>	0,50 <b>a</b>	16,83 <b>a</b>
	20 - 30	4,23 <b>a</b>	6,81 <b>c</b>	0,43 <b>a</b>	15,93 <b>a</b>



O maior valor de carbono na área do PPBio (27,43 g/kg) e na área do ESECAFLO (14,87 g/kg) foram registrados na primeira camada do solo (00-05 cm) e nos meses chuvoso e transição, respectivamente. No geral, a concentração de carbono diminui significativamente ( $p < 0,05$ ) conforme o aumento da profundidade.

Houve diferença significativa dos teores de carbono entre as áreas estudadas, somente nas profundidades 00 – 05 e 05 – 10 cm. Isso pode ser justificado pela maior quantidade de material orgânico identificado no campo para a área do PPBio em relação a quantidade depositada na área da parcela B do ESECAFLO. Apesar da realocação periódica da serrapilheira depositada sobre os painéis para o solo da parcela B, é possível que haja uma perda de parte desse material por influencia dos fatores intempéricos como a chuva e o vento e isso pode estar contribuindo para a diminuição significativa da liteira em comparação a área do PPBio. Outro fator que pode contribuir para este resultado, diz respeito a atividade microbiana, que segundo alguns trabalhos (MELZ; TIAGO, 2009; POTES et al., 2010; LOPES et al., 2011) é menor em ambientes alterados.

Os maiores teores obtidos nos primeiros centímetros do solo, em ambas as áreas, é comum, visto que a matéria orgânica é mais presente nessas camadas (MEIR et al., 2003; SOTTA et al., 2007; SILVA; SILVA; MELO, 2006; BELIZÁRIO, 2008).

Assim como o carbono, o nitrogênio total apresentou teores decrescentes com a profundidade em ambas as áreas estudadas (Tabela 6). Tal variação também foi observada por outros autores, em vários tipos de solo da Amazônia (VIEIRA; SANTOS, 1987; RUIVO et al., 2002; LOPES et al., 2011).

Os teores de nitrogênio do PPBio e do ESECAFLO apresentaram diferença significativa ( $p < 0,01$ ) (Tabela 5). Assim como o carbono, é possível que o aporte de matéria orgânica seja o principal fator responsável por tal diferença. Para Ruivo et al. (2006), as variações de carbono e nitrogênio dos solos da FLONA de Caxiuanã podem estar relacionadas com a quantidade de matéria orgânica do solo e com a textura do solo, que no caso do ESECAFLO é mais arenoso (RUIVO et al. 2002) do que a do PPBio (SIMÕES et al. 2009).

A relação C/N apresentou comportamento semelhante nas duas parcelas de estudo: os maiores valores foram registrados no período chuvoso e o menores no período menos chuvoso (Tabela 5). Na área do PPBio os valores variaram de 8,33 a 18,15, já no ESECAFLO, onde foram registrados os maiores valores, a variação ficou entre 13,16 e

29,18. Os valores identificados no ESECAFLOR podem justificar os baixos teores dos nutrientes como Ca, Mg, e Na nessa área, uma vez que ela indica como está o processo de mineralização e imobilização dos nutrientes no solo.

De forma geral, os valores de carbono, nitrogênio e de C/N diminuíram com a profundidade e os maiores teores foram identificados na profundidade 00-05 cm. A relação C/N na área do PPBio mostrou-se mais estável (menor amplitude de variação) em relação a área do ESECAFLOR. É possível que na área de floresta primária a formação da matéria orgânica esteja mais equilibrada, em comparação a área submetida ao estresse hídrico. Os maiores valores de C/N e conseqüentemente a diminuição da mineralização da matéria orgânica do solo do ESECAFLOR, pode estar associada às condições adversas estabelecidas após a instalação dos painéis bloqueadores das águas pluviais.

### **5.2.2 Alumínio, acidez potencial, capacidade de troca catiônica e saturação por bases**

Os teores de alumínio e acidez potencial e os valores da capacidade de troca catiônica e saturação por bases nas profundidades 00-05, 05-10, 10-20 e 20-30 cm do solo sob floresta primária (PPBio) e do solo submetido a exclusão das águas pluviais estão na Tabela 7. Os teores de alumínio no solo variaram entre 1,58 e 2,11  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  para a parcela CI do PPBio e entre 0,59 e 1,27  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  para a parcela B do ESECAFLOR (Tabela 7). Os valores mais altos foram identificados nas primeiras camadas do solo e no período chuvoso e menos chuvoso do PPBio e ESECAFLOR, respectivamente. No geral, os maiores valores foram registrados no PPBio e houve diferença significativa desse elemento entre os sítios estudados.

Não houve variação vertical significativa entre as profundidades em ambas as áreas experimentais e períodos sazonais estudados, exceto no período chuvoso do ESECAFLOR, quando foi obtido resultado significativo entre a camada 00 – 05 cm e as demais camadas (Tabela 8). É possível que a entrada de água no sistema, uma vez que os painéis retém cerca de 80% das águas pluviais, tenham influenciado os maiores valores desse elemento nas primeiras profundidades.

**Tabela 7:** Valores médios dos teores de alumínio,  $H^+$  e  $Al^{+++}$  (acidez potencial), CTC (capacidade de troca catiônica) e V (saturação por bases) obtidos na área de floresta primária (Parcela CI - PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (Parcela B –ESECAFLOR) nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso.

Períodos	Áreas	00 – 05 cm		05 – 10 cm		10 – 20 cm		20 - 30 cm	
<b>Al (cmolc/kg)</b>									
CH	PPBio	2,09 a		2,11 a		1,89 a		1,73 a	
	ESECAFLOR	0,59 B	< 0,01	1,05 A	< 0,01	1,12 A	0,04	1,10 A	0,04
TR	PPBio	1,64 a		1,77 a		1,72 a		1,88 a	
	ESECAFLOR	1,11 B	0,03	1,18 A	0,04	1,18 A	NS	1,15 A	0,04
MC	PPBio	1,83 a		1,74 a		1,74 a		1,58 a	
	ESECAFLOR	1,27 A	0,04	1,18 A	NS	1,27 A	NS	1,02 A	0,04
<b><math>H^+</math> e <math>Al^{+++}</math> (cmolc/kg)</b>									
CH	PPBio	5,43 a		3,25 a		2,48 a		2,39 a	
	ESECAFLOR	1,74 A	< 0,01	1,33 B	< 0,01	1,61 A	0,19	1,52 A	0,04
TR	PPBio	4,96 ab		3,13 a		2,67 a		2,76 a	
	ESECAFLOR	2,17 A	< 0,01	1,83 AB	< 0,01	1,83 A	0,04	1,67 A	0,04
MC	PPBio	4,19 b		3,32 a		2,36 a		1,95 a	
	ESECAFLOR	1,71 A	< 0,01	2,23 A	0,022	1,83 A	0,4	2,05 A	NS
<b>CTC (cmolc/kg)</b>									
CH	PPBio	6,70 a		4,07 a		3,34 a		4,12 a	
	ESECAFLOR	3,58 A	< 0,01	2,12 A	< 0,01	2,26 A	0,03	2,12 A	< 0,01
TR	PPBio	6,94 a		4,56 a		3,73 a		3,67 a	
	ESECAFLOR	2,99 AB	< 0,01	2,40 AB	< 0,01	2,41 A	0,04	2,22 A	0,03
MC	PPBio	5,77 b		4,43 a		3,11 a		2,70 b	
	ESECAFLOR	2,74 B	< 0,01	2,92 B	< 0,01	2,46 A	NS	2,59 A	NS
<b>V (%)</b>									
CH	PPBio	19,2 b		20,1 b		21,5 b		14,8 b	
	ESECAFLOR	50,5 A	< 0,01	37,2 A	< 0,01	31,7 A	< 0,01	28,8 A	< 0,01
TR	PPBio	29,0 a		29,7 a		27,6 a		24,6 a	
	ESECAFLOR	27,5 C	NS	23,8 B	0,048	24,0 A	NS	25,1 A	NS
MC	PPBio	27,8 ab		24,8 ab		25,2 ab		27,8 ab	
	ESECAFLOR	38,1 B	< 0,01	24,1 B	NS	26,3 A	NS	21,1 A	NS

**OBS:** As letras minúsculas (PPBio) e maiúsculas (ESECAFLOR) informam se houve diferença significativa entre os períodos sazonais estudados. Os números centrais informam se houve diferença significativa entre os sítios estudados. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%. NS – diferença não significativa ( $p>0,05$ ), CH – período chuvoso, TR – período de transição e MC – período menos chuvoso.

Tabela 8: Resultados do teste ANOVA para a variação dos teores de Al e dos valores de  $H^+ + Al^{+++}$ , CTC e V nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.

	<b>Prof.</b> <b>cm</b>	<b>Al</b> <b>cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>H<sup>+</sup> + Al<sup>+++</sup></b> <b>cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>CTC</b> <b>cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>V</b> <b>%</b>
<b>PPBio</b>					
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	2,09 <b>a</b>	5,43 <b>a</b>	6,70 <b>a</b>	19,19 <b>ab</b>
	05 - 10	2,11 <b>a</b>	3,25 <b>ab</b>	4,07 <b>ab</b>	20,12 <b>ab</b>
	10 - 20	1,89 <b>a</b>	2,48 <b>b</b>	3,34 <b>b</b>	21,52 <b>a</b>
	20 - 30	1,73 <b>a</b>	2,39 <b>b</b>	4,12 <b>b</b>	14,78 <b>b</b>
<b>Transição</b>	00 - 05	1,64 <b>a</b>	4,96 <b>a</b>	6,94 <b>a</b>	28,95 <b>a</b>
	05 - 10	1,77 <b>a</b>	3,13 <b>ab</b>	4,56 <b>ab</b>	29,70 <b>a</b>
	10 - 20	1,72 <b>a</b>	2,67 <b>b</b>	3,73 <b>b</b>	27,59 <b>a</b>
	20 - 30	1,88 <b>a</b>	2,76 <b>b</b>	3,67 <b>b</b>	24,64 <b>a</b>
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	1,83 <b>a</b>	4,19 <b>a</b>	5,77 <b>a</b>	27,80 <b>a</b>
	05 - 10	1,74 <b>a</b>	3,32 <b>ab</b>	4,43 <b>ab</b>	24,77 <b>a</b>
	10 - 20	1,74 <b>a</b>	2,36 <b>b</b>	3,11 <b>b</b>	25,22 <b>a</b>
	20 - 30	1,58 <b>a</b>	1,95 <b>b</b>	2,70 <b>b</b>	27,77 <b>a</b>
<b>ESECAFLOR</b>					
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	0,59 <b>a</b>	1,74 <b>a</b>	3,58 <b>a</b>	50,51 <b>a</b>
	05 - 10	1,05 <b>b</b>	1,33 <b>a</b>	2,12 <b>a</b>	37,22 <b>ab</b>
	10 - 20	1,12 <b>b</b>	1,61 <b>a</b>	2,26 <b>a</b>	31,73 <b>b</b>
	20 - 30	1,10 <b>b</b>	1,52 <b>a</b>	2,12 <b>a</b>	28,77 <b>b</b>
<b>Transição</b>	00 - 05	1,11 <b>a</b>	2,17 <b>a</b>	2,99 <b>a</b>	27,46 <b>a</b>
	05 - 10	1,18 <b>a</b>	1,83 <b>a</b>	2,40 <b>a</b>	23,83 <b>a</b>
	10 - 20	1,18 <b>a</b>	1,83 <b>a</b>	2,41 <b>a</b>	24,01 <b>a</b>
	20 - 30	1,15 <b>a</b>	1,67 <b>b</b>	2,22 <b>a</b>	25,08 <b>a</b>
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	1,27 <b>a</b>	1,71 <b>a</b>	2,74 <b>a</b>	38,07 <b>a</b>
	05 - 10	1,18 <b>a</b>	2,23 <b>a</b>	2,92 <b>a</b>	24,11 <b>b</b>
	10 - 20	1,27 <b>a</b>	1,83 <b>a</b>	2,46 <b>a</b>	26,25 <b>b</b>
	20 - 30	1,02 <b>a</b>	2,05 <b>a</b>	2,59 <b>a</b>	21,11 <b>b</b>

Os maiores teores de acidez potencial ( $H^+ + Al^{+++}$ ) foram identificados na área do PPBio e no período chuvoso. A mineralização da matéria orgânica libera cátions nas camadas do solo, em especial os  $H^+$ , que provocam redução no pH (OLIVEIRA et al., 2008). No período chuvoso do plote PPBio, a acidez apresentou teor elevado, fato que pode ser reflexo da mineralização acentuada da matéria orgânica devido ao favorecimento da atividade microbiana e conseqüentemente da liberação de  $H^+$  que diminuíram o valor do pH (Tabela 5), e que pode ter elevado a acidez.

Os maiores valores de capacidade de troca de cátions (CTC) foram registrados no período de transição, no caso do PPBio e no período menos chuvoso, no caso do ESECAF\OR (Tabela 7). Assim como o alumínio e a acidez potencial, houve redução gradativa dos valores conforme o aumento da profundidade (Tabela 8). Segundo Ruivo et al. (2001), o comportamento dessas variáveis provavelmente está ligado a matéria orgânica, que tudo indica, seja a principal responsável pela variação na CTC nos perfis da parcela B do ESECAF\OR. A diferença dos valores de CTC entre as áreas estudadas se deve ao fato da área do ESECAF\OR possuir a influência das argilas caulínicas, presentes em maior quantidade na área de exclusão (RUIVO et al., 2002), uma vez que estas, segundo Moreira e Malavolta (2004), são responsáveis pelos baixos valores de CTC dos solos tropicais.

Além da composição geológica da área, a maior quantidade de material orgânico identificado na área do PPBio pode estar contribuindo para a elevação dos valores de CTC. Sobre isso, Pereira et al. (2000), que estudaram as variáveis químicas de Latossolo Amarelo na Amazônia, afirma que a deposição de matéria orgânica no solo provoca aumento na CTC e promove uma melhor adsorção de cátions trocáveis liberados pela decomposição da matéria orgânica.

Quanto ao índice de saturação por bases (V%) notou-se que os valores alcançaram uma variação de 14,78 a 28,95% para a área do PPBio e de 21,11 a 38,07% para a área do ESECAF\OR (Tabela 6). Percebe-se que a diferença dos valores obtidos para ambas as áreas foram significativos principalmente no período chuvoso, quando também foi obtido os maiores valores para a área do ESECAF\OR. Além da diferença entre as áreas também foi registrado diferença significativa dos percentuais obtidos nos diferentes períodos sazonais principalmente na área do ESECAF\OR e considerando a profundidade 00 – 05 cm.

### **5.2.3 Fósforo, sódio, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases**

Os teores de fósforo disponível, sódio, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases (S) nas profundidades 00-05, 05-10, 10-20 e 20-30 cm do solo sob floresta primária (PPBio) e do solo submetido a exclusão das águas pluviais (ESECALFOR) estão na tabela 9.

**Tabela 9:** Valores médios dos teores de fósforo, sódio, potássio, cálcio, magnésio e S (soma de bases) obtidos na área de floresta primária (parcela CI - PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (Parcela B - ESECAFLOR) nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso.

Períodos	Áreas	00 – 05 cm		05 – 10 cm		10 – 20 cm		20 - 30 cm	
<b>P (mg/kg)</b>									
CH	PPBio	10,2 a		5,3 a		4,3 b		2,5 b	
	ESECAFLOR	6,1 A	< 0,05	4,5 A	< 0,05	3,2 A	< 0,05	2,9 A	NS
TR	PPBio	10,6 a		5,9 a		5,3 a		2,9 b	
	ESECAFLOR	4,9 A	< 0,05	4,7 A	< 0,05	3,4 A	< 0,05	3,6 A	NS
MC	PPBio	10,8 a		4,9 a		5,2 a		5,8 a	
	ESECAFLOR	5,4 A	< 0,05	3,7 B	< 0,05	3,2 A	< 0,05	1,7 B	< 0,05
<b>Na (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>									
CH	PPBio	0,5 b		0,62 a		0,57 a		0,4 b	
	ESECAFLOR	0,72 A	NS	0,55 A	NS	0,50 A	< 0,05	0,49 A	NS
TR	PPBio	0,78 a		0,58 a		0,55 a		0,58 a	
	ESECAFLOR	0,51 B	NS	0,46 A	< 0,05	0,48 A	< 0,05	0,47 A	NS
MC	PPBio	0,68 ab		0,59 a		0,55 a		0,57 a	
	ESECAFLOR	0,45 B	NS	0,51 A	NS	0,47 A	< 0,05	0,45 A	NS
<b>K (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>									
CH	PPBio	0,22 a		0,08 a		0,06 a		0,12 a	
	ESECAFLOR	0,12 A	NS	0,05 A	< 0,05	0,04 A	NS	0,04 A	< 0,05
TR	PPBio	0,16 ab		0,08 a		0,06 a		0,05 b	
	ESECAFLOR	0,06 B	NS	0,04 A	< 0,05	0,03 A	< 0,05	0,03 A	NS
MC	PPBio	0,13 bc		0,07 a		0,05 a		0,04 b	
	ESECAFLOR	0,15 A	NS	0,05 A	NS	0,04 A	NS	0,03 A	NS
<b>Ca (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>									
CH	PPBio	0,59 a		0,03 c		0,02		0,01 c	
	ESECAFLOR	0,4 A	NS	0,04 A	NS	0,01 A	NS	0,01 B	NS
TR	PPBio	0,54 a		0,45 a		0,21 a		0,07 a	
	ESECAFLOR	0,12 C	< 0,05	0,01 B	< 0,05	0,01 A	< 0,05	0,01 B	< 0,05
MC	PPBio	0,33 b		0,22 b		0,02 b		0,03 b	
	ESECAFLOR	0,19 B	NS	0,04 A	< 0,05	0,04 B	NS	0,02 A	NS
<b>Mg (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>									
CH	PPBio	0,42 a		0,09 c		0,06 c		0,05 c	
	ESECAFLOR	0,61 A	NS	0,14 A	NS	0,09 A	NS	0,06 A	NS
TR	PPBio	0,51 a		0,32 a		0,24 a		0,21 a	
	ESECAFLOR	0,13 C	< 0,05	0,06 C	< 0,05	0,05 B	< 0,05	0,04 B	< 0,05
MC	PPBio	0,45 a		0,23 b		0,13 b		0,11 b	
	ESECAFLOR	0,25 B	NS	0,09 B	0,05	0,08 A	NS	0,05 AB	NS
<b>S (cmol<sub>c</sub>/kg)</b>									
CH	PPBio	1,73 a		0,82 b		0,71 a		0,57 b	
	ESECAFLOR	1,85 A	NS	0,78 A	NS	0,65 A	NS	0,59 A	NS
TR	PPBio	1,99 a		1,43 a		1,07 a		0,91 a	
	ESECAFLOR	0,82 B	0,05	0,57 A	0,05	0,58 A	NS	0,54 A	NS
MC	PPBio	1,59 a		1,11 ab		0,75 a		0,75 ab	
	ESECAFLOR	1,03 A	NS	0,69 A	NS	0,63 A	NS	0,54 A	NS

**OBS:** As letras minúsculas (PPBio) e maiúscula (ESECAFLOR) informam se houve diferença significativa entre os períodos sazonais estudados. Os números centrais informam se houve diferença significativa entre os sítios estudados. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%. NS – diferença não significativa ( $p>0,05$ ), CH – período chuvoso, TR – período de transição e MC – período menos chuvoso.

O fósforo apresentou valores variando entre 2,48 a 10,83 mg/kg para a área do PPBio e 1,7 a 6,1 mg/kg para a área do ESECAFLOR (Tabela 9). Os maiores valores foram identificados nos primeiros centímetros do solo e houve diferença significativa entre as profundidades em ambas as áreas (Tabela 10). É comum o acúmulo de fósforo na camada superficial dos solos devido à pouca mobilidade e à baixa solubilidade de seus compostos, sobretudo em solos de natureza ácida, com altos teores de óxidos de ferro e alumínio (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992; SANTOS; BARROS; GAMA-RODRIGUES, 2003; SILVA; SILVA; MELO, 2006) como é o caso dos solos estudados.

Tabela 10: Resultados do teste ANOVA para a variação dos teores de P, Na, K, Ca e Mg e dos valores de S nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância

	<b>Prof. cm</b>	<b>P mg/kg</b>	<b>Na cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>K cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>Ca cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>Mg cmol<sub>c</sub>/kg</b>	<b>S cmol<sub>c</sub>/kg</b>
<b>PPBio</b>							
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	10,19 a	0,05 a	0,22 a	0,59 a	0,42 a	1,73 a
	05 - 10	5,34 b	0,62 b	0,08 bc	0,03 b	0,09 b	0,82 b
	10 - 20	4,30 bc	0,57 b	0,06 b	0,02 b	0,06 c	0,71 b
	20 - 30	2,48 c	0,40 b	0,12 c	0,01 c	0,05 c	0,57 b
<b>Transição</b>	00 - 05	10,55 a	0,78 a	0,16 a	0,54 a	0,51 a	1,99 a
	05 - 10	5,89 b	0,58 a	0,08 b	0,45 a	0,32 ab	1,43 ab
	10 - 20	5,25 b	0,55 a	0,06 b	0,21 b	0,24 b	1,07 b
	20 - 30	2,91 b	0,58 a	0,05 b	0,07 c	0,21 b	0,91 b
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	10,83 a	0,68 a	0,13 a	0,33 a	0,45 a	1,59 a
	05 - 10	4,89 b	0,59 a	0,07 b	0,23 a	0,23 b	1,11 ab
	10 - 20	5,23 b	0,55 a	0,05 bc	0,02 b	0,13 c	0,75 b
	20 - 30	5,79 b	0,57 a	0,04 c	0,03 b	0,11 c	0,74 b
<b>ESECAFLOR</b>							
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	6,10 a	0,72 a	0,12 a	0,40 a	0,61 a	1,85 a
	05 - 10	4,54 ab	0,55 a	0,05 b	0,04 b	0,14 b	0,78 b
	10 - 20	3,17 b	0,50 a	0,04 b	0,01 c	0,09 c	0,65 b
	20 - 30	2,86 b	0,49 a	0,04 b	0,01 c	0,06 d	0,59 b
<b>Transição</b>	00 - 05	4,92 a	0,51 a	0,06 a	0,12 a	0,13 a	0,82 a
	05 - 10	4,66 a	0,46 a	0,04 b	0,01 b	0,06 b	0,57 a
	10 - 20	3,43 a	0,48 a	0,03 b	0,01 b	0,05 b	0,58 a
	20 - 30	3,55 a	0,47 a	0,03 b	0,01 b	0,04 b	0,54 a
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	5,41 a	0,45 a	0,15 a	0,19 a	0,25 a	1,03 a
	05 - 10	3,66 a	0,51 a	0,05 b	0,04 b	0,09 b	0,69 ab
	10 - 20	3,22 a	0,47 a	0,04 bc	0,04 b	0,08 bc	0,63 ab
	20 - 30	1,70 b	0,45 a	0,03 c	0,02 c	0,05 c	0,54 b

No geral, o comportamento sazonal do fósforo no ESECAFLOR e no PPBio corroboram com os descritos por Ferreira et al., (2006) e Simões et al (2009) que estudaram Latossolo Amarelo na Amazônia Central e Oriental, respectivamente, e encontraram maiores valores de fósforo no período chuvoso. Não raro os valores de fósforo são maiores no período chuvoso, pois a taxa de mineralização da matéria orgânica é mais elevada nessa época do ano. A diferença significativa dos elevados valores de fósforo na área do PPBio em relação a área do ESECAFLOR, assim como no caso do carbono, pode está associada ao maior aporte material orgânico observado na área do PPBio.

A disponibilidade de fósforo no solo é aumentada pela matéria orgânica decomposta, já que certos compostos orgânicos formam complexos com ferro e alumínio evitando a formação de compostos insolúveis de fósforo com esses dois elementos. A decomposição da matéria orgânica também produz ácidos inorgânicos, que dissolvem compostos de fósforo encontrados em formas insolúveis na solução do solo.

Os teores de sódio e potássio não apresentaram diferença significativa entre as áreas na profundidade 00 – 05 cm (Tabela 9). Houve diferença vertical significativa apenas para o potássio tanto no PPBio quanto no ESECAFLOR e constatou-se diferença significativa no comportamento dessas variáveis com a alteração sazonal da região (Tabela 10).

Os valores obtidos para o sódio variaram entre 0,4 a 0,78 cmol/kg na área do PPBio e entre 0,45 a 0,72 cmol/kg na área do ESECAFLOR. No caso do potássio, os valores obtidos variaram de 0,04 a 0,22 cmol/kg para o PPBio e de 0,03 a 0,15 cmol/kg para a área do ESECAFLOR. Em ambas as áreas estudados, os maiores valores, tanto para sódio quanto para o potássio, foram registrados no período chuvoso corroborando com os estudos de Ferreira et al. (2004) e Silva, Silva e Melo (2006) realizados em solos tropicais.

O cálcio e o magnésio apresentaram diferenças significativas para a interação entre os períodos (Tabela 9) e entre as profundidades (Tabela 10). As diferenças entre as áreas foram significativas no período intermediário e menos chuvoso de ambos nutrientes. Os maiores valores foram obtidos no período de transição, na área do PPBio e no período chuvoso, no caso do ESECAFLOR. Os altos teores encontrados na área do PPBio podem estar relacionados ao maior acúmulo de matéria orgânica identificado nessa área, uma vez que o cálcio pode ser retido em seu complexo.

Estudando os solos do experimento ESECAFLOR, Ruivo et al., (2006) encontraram valores semelhantes ao do presente estudo para os elementos: fósforo, sódio, potássio, cálcio e magnésio. Segundo os referidos autores, a maior disponibilidade de tais nutrientes nas camadas superiores dos solo estão associadas as contribuições da vegetação, já a sua variação



vertical é influenciada principalmente pela drenagem, variação textural e porosidade que limitam ou facilitam, dependendo do caso, o fluxo de nutrientes para o interior do perfil.

Quanto as altos teores identificados no período chuvoso e de transição, Luizão (2007), em estudo sobre a ciclagem dos nutrientes na Amazônia, sugeriu que esse comportamento é provocado pela lavagem, através das águas pluviais, das copas das árvores que produzem fluxos de magnésio, e principalmente de potássio, no caso do PPBio. Já no caso da parcela B do ESECAFLO, os maiores valores podem estar sendo influenciados pelo favorecimento da umidade do solo proporcionado pelo percentual de água (cerca de 20%) que atingi o solo da parcela B do ESECAFLO.

No geral, os valores de soma de bases (S) diminuíram significativamente conforme o aumento da profundidade em ambos os períodos e áreas estudadas (Tabela 10). Isso pode ser em função da diminuição do teor de matéria orgânica em relação ao aumento da profundidade (SILVA; SILVA; MELO, 2006). Também ocorreu diferença significativa dessa variável entre os períodos sazonais e entre os sítios estudados.

#### **5.2.4 Ferro, manganês e zinco**

Os teores de ferro, manganês e zinco nas profundidades 00-05, 05-10, 10-20 e 20-30 cm do solo sob floresta primária (PPBio) e do solo submetido a exclusão das águas pluviais (ESECALFOR) estão na Tabela 11. Os teores obtidos desses elementos tanto para a área do PPBio quanto para a área do ESECAFLO seguiram a sequência: ferro > manganês > zinco (Tabela 11). Para Fontes, Camargo e Sposito (2001) geologicamente, o ferro é considerado o elemento 'maior', estando presente em concentrações relativamente altas em muitas rochas. Os demais ocorrem em níveis baixos de concentrações sendo o Mn considerado elemento menor enquanto Zn e o Cu são considerados elementos traço.

O maior teor de ferro (125,27 g/kg) foi registrado no período de transição e na profundidade 10 – 20 cm do PPBio (Tabela 11). De forma geral, os teores desse micro foram diretamente proporcionais ao aumento da profundidade, porém só foi identificada variação vertical significativa para a área do ESECAFLO (Anexo 4). Confrontando os teores de ferro entre as áreas estudadas, houve variação significativa para todos os períodos sazonais e em quase todas as profundidades analisadas.

**Tabela 11:** Valores médios dos teores de ferro, manganês e zinco obtidos na área de floresta primária (PPBio) e na área submetida ao estresse hídrico (ESECAFLOR) nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso da FLONA de Caxiuanã-PA.

Períodos	Áreas	00 – 05 cm		05 – 10 cm		10 – 20 cm		20 - 30 cm	
<b>Fe (g/kg)</b>									
CH	PPBio	79 a		122 a		124 a		93 a	
	ESECAFLOR	41 AB	< 0,01	67 A	< 0,01	81 A	< 0,05	88 A	NS
TR	PPBio	87 a		119 a		125 a		124 a	
	ESECAFLOR	46 A	< 0,01	67 A	< 0,01	86 A	< 0,05	92 A	NS
MC	PPBio	89 a		115 a		118 a		105 a	
	ESECAFLOR	37 B	< 0,01	59 B	< 0,01	72 B	< 0,05	79 B	NS
<b>Mn (g/kg)</b>									
CH	PPBio	1,52 a		0,62 b		0,68 b		0,80 a	
	ESECAFLOR	1,64 A	NS	0,39 A	NS	0,26 A	< 0,05	0,21 A	< 0,01
TR	PPBio	0,76 b		1,87 a		0,95 a		0,75 a	
	ESECAFLOR	0,74 B	NS	0,22 B	< 0,05	0,20 A	< 0,05	0,21 A	< 0,01
MC	PPBio	1,18 AB		0,61 b		0,71 b		0,76 a	
	ESECAFLOR	0,73 b	NS	0,22 B	NS	0,19 A	< 0,05	0,16 A	< 0,01
<b>Zn (g/kg)</b>									
CH	PPBio	0,28 a		0,11 b		0,09 b		0,12 a	
	ESECAFLOR	0,18 A	NS	0,10 A	NS	0,07 B	NS	0,07 A	< 0,05
TR	PPBio	0,35 a		0,20 a		0,16 a		0,16 a	
	ESECAFLOR	0,13 B	NS	0,08 A	NS	0,12 A	NS	0,08 A	< 0,05
MC	PPBio	0,22 a		0,14 ab		0,14 ab		0,13 a	
	ESECAFLOR	0,14 B	NS	0,10 A	NS	0,13 A	NS	0,07 A	< 0,05

**OBS:** As letras minúsculas (PPBio) e Maíuscula (ESECAFLOR) informam se houve diferença significativa entre os períodos sazonais estudados. Os números centrais informam se houve diferença significativa entre os sítios estudados. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%. NS – diferença não significativa ( $p>0,05$ ), CH – período chuvoso, TR – período de transição e MC – período menos chuvoso.

O manganês teve os maiores teores registrados na área do PPBio porém, sua concentração diminui significativamente com a profundidade (Tabela 12). A variação sazonal desse micronutriente, tanto no PPBio quanto no ESECAFLOR, foi significativa apenas para as profundidades 00-05 e 05-10 cm, sendo os maiores valores identificados no período chuvoso de ambas os sítios abordados (Tabela 11). As diferenças significativas entre as áreas foram verificadas a partir da profundidade 05-10 cm.

Para Chesworth (1991), a disponibilidade do manganês no solo vai ser dependente, de modo geral, da retenção desse elemento na fração sólida do solo e dos fatores que afetam o equilíbrio entre suas formas retidas no solo e as que estão presentes na solução do solo. McBride (1994) ressalta que os complexos orgânicos formados com o manganês são de pouca

estabilidade, porque o complexo formado com o ácido húmico tem caráter inteiramente eletrostático e os ácidos fúlvicos apresentam limitado número de sítios de complexação específicos para o elemento.

Tabela 12: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de Fe, Mn e Zn nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.

	<b>Prof. cm</b>	<b>Fe (g/kg)</b>	<b>Mn g/kg</b>	<b>Zn g/kg</b>	<b>Fe (g/kg)</b>	<b>Mn g/kg</b>	<b>Zn g/kg</b>
<b>Chuvoso</b>	00 - 05	78,7 <b>a</b>	1,5 <b>a</b>	0,3 <b>a</b>	41,2 <b>a</b>	1,6 <b>a</b>	0,2 <b>a</b>
	05 - 10	122,1 <b>a</b>	0,6 <b>b</b>	0,1 <b>b</b>	67,1 <b>ab</b>	0,4 <b>b</b>	0,1 <b>bc</b>
	10 - 20	124,3 <b>a</b>	0,7 <b>b</b>	0,1 <b>b</b>	81,1 <b>b</b>	0,3 <b>bc</b>	0,1 <b>c</b>
	20 - 30	92,6 <b>a</b>	0,8 <b>ab</b>	0,1 <b>b</b>	88,4 <b>b</b>	0,2 <b>c</b>	0,1 <b>c</b>
<b>Transição</b>	00 - 05	86,9 <b>a</b>	0,8 <b>a</b>	0,4 <b>a</b>	45,7 <b>a</b>	0,7 <b>a</b>	0,1 <b>a</b>
	05 - 10	119,2 <b>a</b>	1,9 <b>b</b>	0,2 <b>ab</b>	66,6 <b>ab</b>	0,2 <b>b</b>	0,1 <b>b</b>
	10 - 20	125,3 <b>a</b>	1,0 <b>ab</b>	0,2 <b>b</b>	85,9 <b>b</b>	0,2 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>
	20 - 30	124,5 <b>a</b>	0,7 <b>a</b>	0,2 <b>b</b>	92,3 <b>b</b>	0,2 <b>b</b>	0,1 <b>b</b>
<b>Menos chuvoso</b>	00 - 05	89,1 <b>a</b>	1,2 <b>a</b>	0,2 <b>a</b>	36,6 <b>a</b>	0,7 <b>a</b>	0,1 <b>a</b>
	05 - 10	115,1 <b>a</b>	0,6 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>	59,3 <b>a</b>	0,2 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>
	10 - 20	117,8 <b>a</b>	0,7 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>	71,6 <b>a</b>	0,2 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>
	20 - 30	105,0 <b>a</b>	0,8 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>	78,5 <b>a</b>	0,2 <b>b</b>	0,1 <b>a</b>

Os maiores teores de zinco foram registrados na área do PPBio no entanto, só houve diferença significativa entre as áreas na profundidade 20 a 30 cm. Esse elemento também apresentou variação vertical significativa nos períodos sazonais exceto no período menos chuvoso de ambas as áreas (Tabela 12).

De forma geral, os valores dos micronutrientes estudados foram maiores na área do PPBio. Esse comportamento pode ser influenciado pelo processo de decomposição e pela textura do solo que na parcela do PPBio é mais argilosa em relação a parcela B do ESECAFLOR que é mais arenosa, conforme Simões et al. (2009) e Ruivo et al. (2002), respectivamente.

Conforme Abreu, Lopes e Santos (2004), a textura do solo influencia a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas uma vez que esses elementos podem ser adsorvidos à fase sólida do solo como, por exemplo, aos minerais de argila. Esses minerais contêm em suas estruturas elementos como Fe, Zn e Cu que podem ser liberados com a sua decomposição ou transformação, ficando, assim, disponíveis para as plantas. Outrossim, os micronutrientes podem ser adsorvidos aos minerais de argila, o que previne sua lixiviação juntamente com o movimento da água em profundidade. Adicionalmente, Fontes e Alleoni (2004) afirmam que

devido à reversibilidade dessa adsorção, esses íons adsorvidos formam um importante reservatório de micronutrientes disponíveis para as plantas.

A diferença entre as áreas pode ser justificada pelo maior aporte de liteira identificada *in locu* na área do PPBio, pois, segundo Borges e Coutinho (2004), esta possui habilidade de complexar e reter os micronutrientes por um tempo considerável, e liberá-los quando necessário para as plantas. Os teores de matéria orgânica do solo podem ser alterados em condições adequadas de temperatura, umidade, aeração e ação otimizada dos microrganismos, o que resulta no favorecimento da mineralização da matéria orgânica com liberação dos micronutrientes.

O maior acúmulo de material orgânico observado na área do PPBio e nas primeiras profundidades do solo de ambos os experimentos, também pode estar contribuindo para os maiores valores dos micronutrientes nessas condições. Conforme Fontes, Camargo e Sposito (2001), a matéria orgânica do solo protege os micronutrientes contra perdas por lixiviação e também é capaz de suprir a solução do solo com agentes ligantes solúveis que previnem a fixação desses elementos, permitindo que eles fiquem disponíveis para as plantas.

### 5.3 VARIAÇÃO INTRA ANUAL

#### 5.3.1 Bactérias e fungos

Os resultados quantitativos obtidos para a população de bactérias e fungos nas profundidades 00-05, 5-10, 10-20 e 20-30 cm e nos períodos chuvoso, de transição e menos chuvoso estão apresentados na Tabela 13. A população de bactérias foi maior que a população fungica, tanto na área do PPBio quanto na área do ESECAFLO, sendo o maior valor médio de UFC para bactérias ( $196 \times 10^4$  UFC/g de solo) registrado no período de transição e na parcela CI do PPBio, e o maior valor médio de UFC para fungos ( $124 \times 10^2$  UFC/g de solo) encontrado no período menos chuvoso, na mesma área; ambos os valores representam a primeira camada do solo (00 - 05 cm).

Tanto a população de fungos quanto a população de bactérias, em ambas as áreas e nos diferentes períodos sazonais, apresentaram valores decrescentes conforme o aumento da profundidade (Tabela 14). De acordo com Amarante et al. (2010), é comum a quantidade de microorganismo do solo diminuir conforme o aumento da profundidade, uma vez que estes apresentam forte correlação com os fatores abióticos do solo, em especial a matéria orgânica, que por sua vez, é mais presente nas primeiras camadas do solo. Osaki e Netto (2009) corroboram com tal afirmação e ressaltam que a camada 0 e 5 cm é a que mais favorece o desenvolvimento dos microrganismos.

**Tabela 13:** Valores médio das UFCs (Unidades Formadoras de Colônias) obtidos para a população de bactérias e fungos do solo sob floresta primária (PPBio) e do solo submetido ao estresse hídrico (ESECAFLOR), em diferentes profundidades e regimes pluviométrico.

Períodos	Áreas	00 – 05 cm		05 – 10 cm		10 – 20 cm		20 - 30 cm	
BACTÉRIAS ( $10^4$ UFC/g)									
CH	PPBio	120 <b>ab</b>		81 <b>a</b>		60 <b>a</b>		18 <b>a</b>	
	ESECAFLOR	160 <b>A</b>	NS	107 <b>A</b>	NS	87 <b>A</b>	<0,05	68 <b>A</b>	<0,05
TR	PPBio	196 <b>a</b>		61 <b>a</b>		25 <b>b</b>		20 <b>a</b>	
	ESECAFLOR	84 <b>B</b>	<0,05	57 <b>B</b>	NS	37 <b>B</b>	<0,05	24 <b>B</b>	NS
MC	PPBio	95 <b>b</b>		32 <b>b</b>		25 <b>b</b>		18 <b>a</b>	
	ESECAFLOR	101 <b>B</b>	NS	54 <b>B</b>	NS	44 <b>BC</b>	<0,05	43 <b>C</b>	<0,05
FUNGOS ( $10^2$ UFC/g)									
CH	PPBio	73 <b>b</b>		43 <b>a</b>		27 <b>a</b>		6 <b>a</b>	
	ESECAFLOR	55 <b>B</b>	NS	40 <b>A</b>	NS	20 <b>B</b>	<0,05	15 <b>B</b>	<0,05
TR	PPBio	61 <b>b</b>		23 <b>b</b>		20 <b>c</b>		14 <b>b</b>	
	ESECAFLOR	51 <b>A</b>	NS	39 <b>A</b>	<0,05	23 <b>A</b>	<0,05	11 <b>A</b>	<0,05
MC	PPBio	124 <b>a</b>		53 <b>a</b>		37 <b>b</b>		9 <b>ac</b>	
	ESECAFLOR	79 <b>A</b>	<0,05	43 <b>AB</b>	NS	35 <b>AB</b>	NS	21 <b>A</b>	<0,05

**OBS:** As letras minúsculas (PPBio) e Maíuscula (ESECAFLOR) informam se houve diferença significativa entre os períodos sazonais estudados. Os números centrais informam se houve diferença significativa entre os sítios estudados. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%. NS – diferença não significativa ( $p > 0,05$ ), CH – período chuvoso, TR – período de transição e MC – período menos chuvoso.

**Tabela 14:** Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos valores de UFC de fungos e bactérias nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.

Período	Prof. (cm)	Bactérias	Fungos	Bactérias	Fungos
		( $10^4$ UFC/g)	( $10^2$ UFC/g)	( $10^4$ UFC/g)	( $10^2$ UFC/g)
		PPBio		ESECAFLOR	
Chuvoso	00 - 05	120 <b>a</b>	73 <b>a</b>	160 <b>a</b>	55 <b>a</b>
	05 -10	81 <b>a</b>	43 <b>ab</b>	107 <b>ab</b>	40 <b>a</b>
	10 - 20	60 <b>b</b>	27 <b>b</b>	87 <b>bc</b>	20 <b>b</b>
	20 - 30	18 <b>c</b>	6 <b>c</b>	68 <b>c</b>	15 <b>b</b>
Transição	00 - 05	196 <b>a</b>	61 <b>a</b>	84 <b>a</b>	51 <b>a</b>
	05 -10	61 <b>b</b>	23 <b>b</b>	57 <b>ab</b>	39 <b>ab</b>
	10 - 20	25 <b>c</b>	20 <b>b</b>	37 <b>bc</b>	23 <b>b</b>
	20 - 30	20 <b>c</b>	14 <b>b</b>	24 <b>bc</b>	11 <b>c</b>
Menos chuvoso	00 - 05	95 <b>a</b>	124 <b>a</b>	101 <b>a</b>	79 <b>a</b>
	05 -10	32 <b>b</b>	53 <b>b</b>	54 <b>b</b>	43 <b>a</b>
	10 - 20	25 <b>bc</b>	37 <b>bc</b>	44 <b>b</b>	35 <b>ab</b>
	20 - 30	18 <b>c</b>	9 <b>d</b>	43 <b>b</b>	21 <b>b</b>

Quando comparados os resultados dos sítios estudados (Tabela 13), nota-se que a quantidade de UFC de fungos e bactérias foram diferentes em ambos os experimentos apesar

dos mesmos serem integrantes do ecossistema Terra Firme. Moreira, Malavolta e Moraes (2002) sugerem que os fatores temperatura e umidade do solo, são os parâmetros que mais influenciam na densidade dos microorganismos, já que estes são sensíveis às mudanças abióticas que ocorrem no ambiente edáfico.

No caso deste estudo, é possível que a quantidade, a qualidade do material orgânico e o teor de umidade do ambiente sejam os principais responsáveis pelos diferentes resultados obtidos para a população de fungos das áreas, visto que tais variáveis influenciam na dinâmica dos microorganismos no solo e foram fortemente influenciadas pelo bloqueio da precipitação causado pelos painéis de plástico instalados na parcela do experimento ESECAFLOR.

As respostas da população de bactérias e fungos à variação sazonal foram semelhantes (Tabela 13), sendo identificado diferença significativa principalmente para as comparações chuvoso x menos chuvoso de ambas as áreas. Para a área do ESECAFLOR, a população de fungos não apresentou variação brusca entre os períodos amostrais e a quantidade de colônias de bactérias, no geral, foi maior no período chuvoso e se manteve relativamente estável nos períodos transição e menos chuvoso. Na área do PPBio, a população bacteriana foi maior no período de transição e teve seu valores mínimos no período menos chuvoso, já para a população de fungos os maiores valores foram identificados no período menos chuvoso, principalmente nas primeiras camadas do solo.

As variáveis que podem ter influenciado tal comportamento são a umidade e a temperatura, uma vez que o período chuvoso apresentou os maiores valores de conteúdo de água no solo ( $0,382 \text{ ml.m}^2$ ) e os menores valores de temperaturas ( $27,583^\circ\text{C}$ ), para ambas as áreas. Sobre isso Moreira e Siqueira (2006) explicam que a água, em conjunto com a temperatura, influi na atividade enzimática, favorecendo o metabolismo microbiano. Neste sentido, determinadas características fisiológicas das células microbianas, podem ser ativadas no período chuvoso, no caso das bactérias e no período menos chuvoso, no caso dos fungos.

Estudos como os de Silva et al. (2010) e Rodrigues et al. (2011) já investigaram a resposta da população microbiana do solo na área da FLONA de Caxiuanã-PA às alterações ambientais e constataram que o padrão de distribuição da população de bactérias e fungos, em geral, diminui com a profundidade devido principalmente a deficiência do material orgânico que tende a decrescer conforme a profundidade. Porém, no solo submetido ao estresse hídrico a população de bactéria apresentou comportamento irregular, sendo identificados altos valores de UFC em camadas mais profundas. Vianal et al. (2010) também estudou o comportamento

da população microbiana do solo de Caxiuana-PA e identificou que diferentes temperaturas do solo refletem na distribuição das populações de microorganismos.

Com relação a diversidade microbiológica da população de fungos, foram identificados os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Fusarium* (macro e micro conídio) e *Trichoderma*. Quanto as bactérias, os tipos mais comuns foram: *Bacillus* Gram-positivos, Gram-negativos isolados, *Cocos* Gram-positivos isolados e aos pares, *Bacillus* Gram-negativos isolados, Gram-positivos arrançados em cadeia, *Bacillus* Gram-positivos arrançados em cadeia e *Cocos* Gram-positivos arrançados em cadeia em ambas as áreas de estudos.

### 5.3.2 Amônio e nitrato

Os teores de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e umidade nas camadas de 00-05, 05-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade dos solos estudados estão na tabela 15.

Tabela 15: Valores médio dos teores de Nitrato, Amônio e Umidade obtidos para o solo sob floresta primária (PPBio) e para o solo submetido ao estresse hídrico (ESECAFLOR), em diferentes profundidades e regimes pluviométrico.

Períodos	Áreas	00 – 05 cm		05 – 10 cm		10 – 20 cm		20 - 30 cm	
NITRATO ( $\mu\text{g/g}$ )									
CH	PPBio	71,8 a		27,4 a		10,9 b		7,1 c	
	ESECAFLOR	19,2 A	< 0,05	14,5 A	< 0,05	7,3 AB	< 0,05	13,7 AB	NS
TR	PPBio	56,8 ab		26,8 a		16,8 a		11,0 b	
	ESECAFLOR	14,4 AB	< 0,05	13,3 A	< 0,05	10,4 A	< 0,05	10,2 B	NS
MC	PPBio	39,6 b		17,8 b		13,2 ab		19,9 a	
	ESECAFLOR	13,8 B	< 0,05	11,5 A	< 0,05	6 B	< 0,05	14,3 A	NS
AMÔNIO ( $\mu\text{g/g}$ )									
CH	PPBio	27,1 a		7,4 a		2,3 b		1,9 b	
	ESECAFLOR	21,0 A	NS	8,1 A	NS	3,0 B	NS	3,8 A	NS
TR	PPBio	19,2 b		7,2 a		4,2 a		3,2 a	
	ESECAFLOR	9,7 C	< 0,05	5,7 B	NS	3,3 B	NS	3,1 A	NS
MC	PPBio	15,7 b		5,7 a		2,2 b		2,2 b	
	ESECAFLOR	16,9 B	NS	6,0 B	NS	4,2 A	NS	3,0 A	NS
UMIDADE (%)									
CH	PPBio	23,8 b		28,9 a		25,8 b		26 a	
	ESECAFLOR	4,3 B	< 0,01	4,8 B	< 0,01	10,4 A	< 0,01	5,9 AB	< 0,01
TR	PPBio	38,2 a		33,2 a		32,9 a		33,6 a	
	ESECAFLOR	8,6 A	< 0,01	7 A	< 0,01	7,3 B	< 0,01	7,4 A	< 0,01
MC	PPBio	41,9 a		28,9 a		32,7 a		34,1 a	
	ESECAFLOR	4,1 B	< 0,01	3,7 C	< 0,01	4,2 C	< 0,01	5,1 B	< 0,01

**OBS:** As letras minúsculas (PPBio) e Maiúscula (ESECAFLOR) informam se houve diferença significativa entre os períodos sazonais estudados. Os números centrais informam se houve diferença significativa entre os sítios estudados. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%. NS – diferença não significativa ( $p > 0,05$ ), CH – período chuvoso, TR – período de transição e MC – período menos chuvoso.

As concentrações do amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) mostraram valores médios variando entre 1,87 a  $27,0 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$  solo, na área do PPBio e entre 3,02 a  $21,04 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$  solo, na área do ESECAFLOR. Houve diferença significativa entre as profundidades (Tabela 16) e entre os períodos sazonais (chuvoso, transição e menos chuvoso) porém, não foi constatado diferença entre as sítios (Tabela 15).

Tabela 16: Resultados do teste ANOVA para a determinação da variação dos teores de nitrato e amônio e dos valores de umidade nas profundidades estudadas. Letras iguais não apresentam diferença estatística a 5% de significância.

Período	Prof. (cm)	Nitrato ( $\mu\text{g/g}$ )	Amônio ( $\mu\text{g/g}$ )	umidade (%)			
					Nitrato ( $\mu\text{g/g}$ )	Amônio ( $\mu\text{g/g}$ )	umidade (%)
		<b>PPBio</b>			<b>ESECAFLOR</b>		
Chuvoso	00 - 05	71,8 a	27,1 a	23,8 a	19,2 a	21,0 a	4,3 a
	05 - 10	27,4b	7,4 b	28,9 a	14,5 a	8,1 b	4,8 a
	10 - 20	10,9 c	2,3 c	25,9 a	7,3 b	3,4 c	10,4 b
	20 - 30	7,1 c	1,9 c	26,0 a	13,7 b	3,8 c	5,9 a
Transição	00 - 05	56,8 a	19,2 a	38,2 a	14,4 a	9,7 a	8,6 a
	05 - 10	26,8 b	7,2 b	33,2 a	13,3 a	5,7 b	7,0 a
	10 - 20	16,3 c	4,2 b	32,9 a	10,4 a	3,3 b	7,3 a
	20 - 30	11,0 c	3,2 c	33,6 a	10,2 a	3,1 b	7,4 a
Menos chuvoso	00 - 05	39,6 a	15,7 a	41,9 a	13,8 a	16,88 a	4,1 a
	05 - 10	17,8 b	5,7 b	28,9 a	11,5 a	6,04 b	3,7 a
	10 - 20	13,2b	2,2 c	32,7 a	6,0 b	4,24 b	4,2 a
	20 - 30	19,9 b	2,2 c	34,1 a	14,3 a	3,02 b	5,1 a

A redução dos teores conforme o aumento da profundidade (Tabela 16) provavelmente está relacionada a quantidade do material vegetal, que diminui no decorrer do perfil do solo e as condições ambientais que desfavorecem a atividade microbiana. Devido a sua carga elétrica, o amônio não costuma sofrer influência do processo de lixiação; é por isso também, que não raro, é possível encontrar maiores teores de amônio no período sazonal mais chuvoso.

Os teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foram maiores que os teores de amônio e variaram entre  $71,79$  a  $7,08 \mu\text{g N-NO}_3^- \text{ g}^{-1}$  solo, na área do PPBio e entre  $19,16$  a  $5,95 \mu\text{g N-NO}_3^- \text{ g}^{-1}$  solo, na área do ESECAFLOR. Os teores de nitrato foram diferentes estatisticamente ( $p < 0,05$ ) quando comparadas as profundidades de coleta (Tabela 16), os períodos sazonais e as áreas estudadas (Tabela 15). Os maiores teores foram encontrados na área do PPBio e no período chuvoso.

A maioria das plantas tem preferência pelo íon nitrato, por isso é comum seu teores serem inferiores aos encontrados para amônio (MARTINELLI, 2003; ARAÚJO et al., 2004).



Este por sua vez, pode ser rapidamente oxidado a  $\text{NO}_3^-$ , numa reação mediada por bactérias autotróficas e denominada nitrificação, e elevar os teores desse íon no solo. A revisão bibliográfica realizada por Britto e Kronzucker (2002) informa que algumas espécies de plantas, apesar do nitrato em abundância, preferiram o amônio, fato que pode estar ocorrendo nos pontos de coleta das amostras do solo, em ambos os períodos amostrais.

Em muitos estudos sobre nitrato e amônio em solos tropicais, são relatados maiores teores para o amônio (VENZKE FILHO et al., 2004; CARMO et al., 2005, DIAS, 2008). Para Dias (2008), a disponibilidade do amônio pode ser influenciada pela natureza do solo e pelas variáveis: temperatura, capacidade de retenção de água, aeração, pH, que por sua vez afetam a atividade de microrganismos responsáveis pela mineralização do nitrogênio. É possível que a quantidade de microrganismos nitrificantes e as condições ambientais da Flona de Caxiuanã favoreçam o processo de nitrificação.

Segundo Neill et al. (1997) a umidade do solo pode ser um importante controlador de reservas de N-inorgânicos no solo, principalmente nas taxas de transformações e disponibilidade de nitrato. Essas relações são complexas e mediadas pelo balanço entre a mineralização e imobilização no solo e os microrganismos dependendo das taxas de umidade e dos processos de secagem do solo.

Na área do PPBio, a variação vertical do nitrato foi mais brusca, ao contrário da área do ESECAFLOR, onde observou-se que as variações foram mais suaves, indicando a influência do processo de lixiviação na primeira área, principalmente no período chuvoso e intermediário (Tabela 16). Cabe lembrar que os painéis instalados no ESECAFLOR desde 2002, interceptam 80% das águas pluviais, e que por isso, nos meses de maiores precipitação na região, pode também estar ocorrendo o processo de lixiviação do nitrato nessa área.

#### 5. 4 INTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS CLIMÁTICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Para identificar quais as principais interações que ocorreram entre a população de bactérias e fungos, os atributos químicos e a temperatura do solo de cada área (PPBio e ESECAFLOR) nos períodos sazonais (Chuvoso, Transição e Menos Chuvoso), foi realizado o teste estatístico de Correlação Linear Simples, que informou as variáveis que crescem em conjunto (correlação positiva) e as que apresentam comportamento inverso (correlação negativa). Quanto menor for o valor de  $r$  (coeficiente de Pearson) menor será a correlação entre as variáveis em questão. As correlações foram significativas quando o  $p$ -valor foi inferior a 0,05.

Com relação a área do PPBio e a população de bactérias, foram registrados 14 correlações no período chuvoso, 10 correlações no período transição e 9 correlação para o período menos chuvoso (Tabela 17). Não houve correlação significativa entre a população de bactérias e a variável climática temperatura. No caso da população de fungos, foram obtidas 10 correlações no período chuvoso, 9 correlações no período de transição e 12 correlações no período Menos Chuvoso (Tabela 18).

Comparando as interações registradas para a população de bactérias e fungos do solo do PPBio, nota-se que as o fungos não apresentaram correlação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as variáveis manganês, zinco, S e pH, já as bactérias não apresentaram correlação com as variáveis nitrogênio e temperatura.

Na área do ESECAFLOR, no caso das bactérias, houve 16 correlações no período chuvoso, 15 no período de transição e 8 no período menos chuvoso (Tabela 19). Para a população de fungos, foi obtido, 11 correlação no período chuvoso, 9 no período de transição e 11 no período menos chuvoso (Tabela 20).

Comparando as interações registradas para a população de bactérias e fungos do ESECAFLOR, nota-se que os valores de fungos não apresentaram correlação significativa ( $p < 0,05$ ) para as variáveis alumínio, pH, S, V, zinco e manganês; já as bactérias não apresentaram correlação com as variáveis umidades, nitrato e temperatura.

Confrontando as correlações obtidas para a área do ESECAFLOR, nos diferentes períodos sazonais, nota-se que apenas as variáveis CTC e temperatura se correlacionaram com a população de fungos e bactérias nos mesmos períodos sazonais.

Tabela 17: Valores de  $r$  (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de bactérias e as demais variáveis analisadas na área do PPBio.

Relações	PPBio					
	CHUVOSO		INTERMEDIÁRIO		MENOS CHUVOSO	
	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor
Bactéria x Carbono	0,96	< <b>0.01</b>	0.75	<b>0.03</b>	0.76	<b>0.03</b>
Bactéria x Relação C/N	0,85	< <b>0.01</b>	0.42	0.29	-0.08	0.85
Bactéria x H + Al	0.84	< <b>0.01</b>	0.83	<b>0.01</b>	0.90	< <b>0.01</b>
Bactéria x Cálcio	0.86	< <b>0.01</b>	0.28	0.49	-0.01	0.99
Bactéria x Magnésio	0.91	< <b>0.01</b>	0.41	0.30	0.12	0.76
Bactéria x pH	0.70	0.051	0.39	0.33	-0.75	<b>0.03</b>
Bactéria x Umidade	-0.07	0.86	0.79	<b>0.02</b>	0.71	<b>0.04</b>
Bactéria x Fósforo	0.34	0.41	0.93	< <b>0.01</b>	0.82	<b>0.01</b>
Bactéria x Sódio	-0.96	< <b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>	0.85	< <b>0.01</b>
Bactéria x Potássio	0.95	< <b>0.01</b>	0.97	< <b>0.01</b>	0.96	< <b>0.01</b>
Bactéria x S	0.74	<b>0.03</b>	0.52	0.19	0.30	0.46
Bactéria x CTC	0.87	< <b>0.01</b>	0.93	< <b>0.01</b>	0.82	<b>0.01</b>
Bactéria x Ferro	-0.86	< <b>0.01</b>	-0.98	< <b>0.01</b>	-0.66	0.07
Bactéria x Zinco	0.97	< <b>0.01</b>	0.54	0.16	0.29	0.48
Bactéria x Manganês	0.92	< <b>0.01</b>	-0.35	0.38	0.13	0.74
Bactéria x Nitrato	0.95	< <b>0.01</b>	0.81	<b>0.01</b>	0.57	0.13
Bactéria x Amônio	0.98	< <b>0.01</b>	0.98	< <b>0.01</b>	0.93	< <b>0.01</b>

Tabela 18: Valores de  $r$  (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de bactérias e as demais variáveis analisadas na área do PPBio.

Relações	PPBio					
	CHUVOSO		INTERMEDIÁRIO		MENOS CHUVOSO	
	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor
Fungos x Carbono	0.72	<b>0.04</b>	0.63	0.10	0.92	< <b>0.01</b>
Fungos x Nitrogênio	0.23	0.57	-0.15	0.73	0.83	<b>0.01</b>
Fungos x C/N	0.75	<b>0.03</b>	0.36	0.38	-0.14	0.74
Fungos x H + Al	0.75	<b>0.03</b>	0.72	<b>0.04</b>	0.87	< <b>0.01</b>
Fungos x Cálcio	0.75	<b>0.03</b>	0.26	0.53	0.25	0.55
Fungos x Magnésio	0.78	<b>0.02</b>	0.41	0.31	0.41	0.31
Fungos x Umidade	-0.49	0.21	0.85	<b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>
Fungos x Fósforo	0.43	0.29	0.83	<b>0.01</b>	0.93	< <b>0.01</b>
Fungos x Sódio	-0.81	<b>0.02</b>	0.95	< <b>0.01</b>	0.85	< <b>0.01</b>
Fungos x Potássio	0.79	<b>0.02</b>	0.95	< <b>0.01</b>	0.97	< <b>0.01</b>
Fungos x CTC	0.78	<b>0.02</b>	0.84	< <b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>
Fungos x Ferro	-0.58	0.13	-0.95	< <b>0.01</b>	-0.76	<b>0.03</b>
Fungos x Nitrato	0.78	<b>0.02</b>	0.78	<b>0.02</b>	0.82	<b>0.01</b>
Fungos x Amônio	0.74	<b>0.04</b>	0.92	< <b>0.01</b>	0.99	< <b>0.01</b>
Fungos x Temperatura	0,85	-0,15	-0,74	0,26	0,95	<b>0,049</b>

Tabela 19: Valores de  $r$  (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de bactérias e as demais variáveis analisadas na área do ESECAFLOR.

ESECAFLOR						
Relações	CHUVOSO		INTERMEDIÁRIO		MENOS CHUVOSO	
	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor
Bactéria x Carbono	0.92	< <b>0.01</b>	0.88	< <b>0.01</b>	0.61	0.10
Bactéria x Nitrogênio	0.83	< <b>0.01</b>	0.60	0.10	0.38	0.34
Bactéria x Relação C/N	0.90	< <b>0.01</b>	-0.26	0.52	0.73	<b>0.03</b>
Bactéria x Alumínio	-0.09	0.83	-0.97	< <b>0.01</b>	-0.09	0.81
Bactéria x H + Al	0.78	<b>0.02</b>	0.75	<b>0.03</b>	-0.62	0.09
Bactéria x Cálcio	0.95	< <b>0.01</b>	0.89	< <b>0.01</b>	0.97	< <b>0.01</b>
Bactéria x Magnésio	0.91	< <b>0.01</b>	0.87	< <b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>
Bactéria x pH	0.73	<b>0.03</b>	0.97	< <b>0.01</b>	0.48	0.22
Bactéria x Fósforo	0.35	0.39	0.55	0.15	0.70	<b>0.04</b>
Bactéria x Sódio	0.85	< <b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>	0.11	0.78
Bactéria x Potássio	0.90	< <b>0.01</b>	0.96	< <b>0.01</b>	0.40	0.32
Bactéria x S	0.95	< <b>0.01</b>	0.91	< <b>0.01</b>	0.87	< <b>0.01</b>
Bactéria x CTC	0.87	< <b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>	-0.18	0.65
Bactéria x V	0.93	< <b>0.01</b>	0.90	< <b>0.01</b>	0.91	< <b>0.01</b>
Bactéria x Ferro	-0.84	< <b>0.01</b>	-0.97	< <b>0.01</b>	-0.76	<b>0.02</b>
Bactéria x Zinco	0.84	< <b>0.01</b>	0.84	< <b>0.01</b>	0.69	0.05
Bactéria x Manganês	0.63	0.08	0.89	< <b>0.01</b>	0.90	< <b>0.01</b>
Bactéria x Amônio	0.72	<b>0.04</b>	0.89	< <b>0.01</b>	0.24	0.55
Bactéria x Temperatura	0,99	< <b>0,01</b>	-0,55	0,45	0,54	0,46

Tabela 20: Valores de  $r$  (coeficiente de correlação de Pearson) para as interações significativas entre a população de fungos e as demais variáveis analisadas na área do ESECAFLOR.

ESECAFLOR						
Relações	CHUVOSO		INTERMEDIÁRIO		MENOS CHUVOSO	
	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor	$r$ (Pearson)	$P$ valor
Fungos x Carbono	0.72	<b>0.04</b>	0.62	0.09	0.91	< <b>0.01</b>
Fungos x Nitrogênio	0.23	0.56	-0.14	0.72	0.82	<b>0.01</b>
Fungos x Relação C/N	0.75	<b>0.03</b>	0.35	0.38	-0.13	0.74
Fungos x H + Al	0.75	<b>0.03</b>	0.72	<b>0.04</b>	0.87	< <b>0.01</b>
Fungos x Cálcio	0.74	<b>0.03</b>	0.26	0.53	0.25	0.54
Fungos x Magnésio	0.78	<b>0.02</b>	0.40	0.31	0.41	0.30
Fungos x Umidade	-0.48	0.21	0.85	< <b>0.01</b>	0.91	< <b>0.01</b>
Fungos x Fósforo	0.43	0.28	0.83	<b>0.01</b>	0.93	< <b>0.01</b>
Fungos x Sódio	-0.80	<b>0.01</b>	0.94	< <b>0.01</b>	0.85	< <b>0.01</b>
Fungos x Potássio	0.78	<b>0.01</b>	0.94	< <b>0.01</b>	0.97	< <b>0.01</b>
Fungos x CTC	0.77	<b>0.02</b>	0.83	< <b>0.01</b>	0.92	< <b>0.01</b>
Fungos x Ferro	-0.58	0.12	-0.94	< <b>0.01</b>	-0.76	<b>0.02</b>
Fungos x Nitrato	0.77	<b>0.02</b>	0.77	<b>0.02</b>	0.82	<b>0.01</b>
Fungos x Amônio	0.73	<b>0.03</b>	0.91	< <b>0.01</b>	0.98	< <b>0.01</b>
Fungos x Temperatura	0,95	<b>0,49</b>	-0,57	0,43	0,65	0,35

No que diz respeito as variáveis pH, temperatura e umidade, sempre citadas na literatura como os fatores que mais influenciam na população microbiana do solo foi observado o seguinte comportamento destas em relação a população de bactérias e fungos:

- Temperatura: Na área do PPBio, apenas os fungos apresentaram correlação com a temperatura e somente no período chuvoso, quando foi obtido o valor médio mensal de 26,56°C (Tabela 04). Já na área do ESECAFLOR, as bactérias e os fungos apresentaram correlação apenas no período chuvoso (Tabela 19 e 20), quando a média da temperatura dos sete dias anteriores a coleta foi de 26,51°C (Tabela 04). É possível que outros fatores ambientais, como os tipos de espécies vegetais e a qualidade do material orgânico, estejam influenciando a população de bactérias na área do PPBio.
- Umidade: A população de fungos e bactérias da área do PPBio apresentaram correlação com a umidade nos períodos transição e menos chuvoso (Tabela 17 e 18). Para a área do ESECAFLOR foi registrado apenas correlação com os fungos, nos mesmos períodos.
- pH: Somente as bactérias apresentaram correlação com o pH em ambas as áreas de estudo. A população de fungos é menos sensível à variações de pH em comparação com as bactérias.

A variação sazonal das correlações da população de bactérias e fungos com as variáveis: cálcio, magnésio, fósforo, sódio e potássio, pode estar relacionada a ação seletiva dos microrganismos em consequência do tipo de vegetação e das secreções radiculares eliminadas em determinados épocas do ano, ou da pré decomposição química de materiais que caem em certos períodos sazonais e se disponibilizam no solo superficial (OSAKI; NETTO, 2009; CARDELÚS et al. 2009).

Outro fator que também pode contribuir para essa variação das correlações conforme a sazonalidade, diz respeito a disponibilidade de nutrientes que é alterada por fatores abióticos. Sobre isso, Fortes Neto, Fernandes e Jahnel (2007), afirmam que a disponibilidade de certos nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio influencia no comportamento da microbiota, uma vez que são componentes essenciais para os microrganismos e por isso tendem a influenciar a densidade e a atividade da comunidade microbiana.

Com relação aos micronutrientes, somente as bactérias, tanto na área do PPBio, quanto no ESECAFLOR, apresentaram correlação com o zinco e o manganês, sugerindo que os fungos existentes nesses ambientes da FLONA de Caxiuanã não estão relacionados com a disponibilidade desses micronutrientes do solo.

## 6 CONCLUSÕES

- Os maiores valores para a temperatura do solo registrados na parcela B do ESECAFLOM sofrem influência dos painéis instalados na área e do menor aporte de água que entra no sistema;
- Os menores valores para os atributos químicos identificados na parcela B do ESECAFLOM indicam que as condições de estresse hídrico induzidas nessa área estão influenciando o processo de mineralização da matéria orgânica;
- A densidade da população de bactérias e fungos e os resultados obtidos para o nitrato e o amônio estão relacionados com a umidade do solo que por sua vez sofre variação intra anual significativa;
- A umidade e a temperatura foram mais correlacionadas com a população de fungos e o pH com a população de bactérias.

## REFERÊNCIAS

- ABRANTES, J. S. *Bio(sócio)diversidade e empreendedorismo ambiental na Amazônia*. 2002. 116 f. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J.W. V.; COSTA, L. M. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, 2002. v. 2. p. 645-692.
- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007, p. 645-736.
- ALMEIDA, S. S.; LISBOA, P. L. B.; SILVA, A. S. L. Diversidade florística de uma comunidade arbórea na Estação Científica “Ferreira Penna”, em Caxiuanã (Pará). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Série Botânica*. v 9, n.1, p. 99-188. 1993.
- AMARANTE, C. B. et. al. Diversidade microbiana em solos de Terra Preta Arqueológica. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, v 6, n. 11, p. 1-10. 2010.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMISCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbialbiomass of selected soils. *Soil Science*, Baltimore, n. 130, p. 211-216. 1980.
- ARAÚJO, A. R. et al. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537 – 541. 2004.
- ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília: EMBRAPA, 1994.
- AUER, C. G.; GHIZELINI, A. M.; PIMENTEL, I. C. Decomposição fungica de acículas em plantios de Pinus. *Pesq. Flor. Bras.*, Colombo, n. 54, p. 127-138. 2007.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 9-26.
- BELIZÁRIO, M. H. *Mudança no estoque de carbono do solo devido ao uso agrícola da terra no Sudoeste da Amazônia*. 2008, 93 f. Dissertação (mestrado em Agronomia – solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2008.
- BISCARO, G. A. *Meteorologia agrícola básica*. Cassilândia-MS: UNIGRAF, 2007. (Série Engenharia, I)
- BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. *R. Bras. Ciência do Solo*, v. 28, p.557-568. 2004.
- BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M. E. (Ed.) *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq; FAPESP; POTAFOS, 2001. P. 151-185.

- BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed). *Microbiologia do Solo*. Campinas: SBCS, p. 1-15, 1992.
- BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J.  $\text{NH}_4^+$  toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, v.159, p. 567–584. 2002.
- BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647 p.
- BURGUES, A.; RAW, F. *Biologia del suelo*. [s.l.]: Omega, 1971. 696p.
- CAMARGO, O. A. ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos Micronutrientes e Elementos Tóxicos no Solo. In: FERREIRA, M. E. et al (Ed). *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq, FAPESP, POTAFOS, 2001. 509 p.
- CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. DE; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007, v. 1, p. 769-850.
- CARDELÚS, C. L. et al. The influence of tree species on canopy soil nutrient status in a tropical lowland wet forest in Costa Rica. *Plant Soil*, v. 318, p. 47–61. 2009.
- CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCS, 1992. 360p.
- CARMO, J. B.; et al. Nitrogen dynamics during till and no-till pasture restoration sequences in Rondônia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Kluwer Academic Publishers, v. 71, p. 213-225. 2005.
- CARSWELL, F. E. et al. Seasonality in  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  flux at an eastern Amazonian rain Forest. *Journal of geophysical research*, v. 107, p. 1 – 16. 2002.
- CATTANIO, J. H. *Soil N mineralization dynamics as effected by pure and mixed application of leafy material from leguminous trees used in planted fallow in Brazil*. 2002. 142 f. Tese (Doutorado em ciências e Agronomia) Faculty of Agricultural Sciences George-August-University, Göttingen (Germany), 2002.
- CATTANIO, J. H.; KUEHNE, R.; VLEK, P. L. G. Organic material decomposition and nutrient dynamics in a leguminous tree-enriched mulch system in Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1073-1086, 2008.
- CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. *Principles of terrestrial Ecosystem ecology*. Nova York: Springer, 2002, 455 p.
- CHAVES, L. H. G. et al. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 28, p. 431-437. 2004.



- CHESWORTH, W. Geochemistry of Micronutrients. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Eds). *Micronutrients in Agriculture*. 2<sup>nd</sup> ed. p. 01-30. Madison: Soil Science Society of America, 1991.
- CLARK, F. E. Agar-plate method for total microbial count. In: BLACK, C. A. et.al. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 2, p.1460-1466.
- COELHO, M. R. et al. O Recurso Natural: Solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002, p. 1 -13.
- COSTA, A. C. L. Estudos Hidrometeorológicos em uma Floresta Tropical Chuvosa na Amazônia – Projeto ESECAFLOR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n.3, p. 283 – 290. 2006.
- COSTA, A. C. L. et al. Experimento Esecafior-LBA em Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.) *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia*. Belém: MPEG, 2009. p. 45-91.
- COSTA, J. P. R. MORAES, J. C. Médias mensais de variáveis meteorológicas. In: LISBOA, P. L. B. (org.). *Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002. p. 225-232.
- COSTA, M. et al. Classificação e distribuição dos padrões pedogeomórficos da Estação Científica Ferreira Penna, na região de Caxiuanã, no estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, v.1, n.3, p. 117-128. 2005.
- COSTA, R. F. et al. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: Características, atividades e resultados. In: Seminário de 10 Anos de Atividades da ECFPn, Caxiuanã, 1, 2003, Belém. *Resumos...*Belém: MPEG, 2003, 1 CD-ROM.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2 ed. Porto Alegre-RS: Metrópole, 2008, v. 2, p. 263-276.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. *Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método de fumigação-extração*. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997.
- DIAS, J. D. Dinâmica do amônio e nitrato em solos consorciados com plantios de paricá (*schizolobium amazonicum*) em Arora do Para, Pará. 2008. 88 f. Dissertação (mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- DIONÍSIO, J. A. *Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de Eucalyptus grandis (W. Hill ex Maiden)*. 1996. 90 f. Tese (doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRAPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.) *Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. Brasília: Embrapa, 2005. p. 435 - 451.

FAJARDO, J. D. V.; SOUZA, L. A. G.; ALFAIA, S. S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. *Acta Amazônica*.v. 39, n.4, p. 731-740. 2009.

FALLEIRO, R. M.; SOUSA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades físicas e químicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 1097-1104. 2003.

FEARNSIDE, P. M. Settlement in Rondônia and the token role of science and technology in Brazil's Amazonian development planning. *Interciencia*, v. 11, n. 5, p. 229-236. 1986.

FEARNSIDE, P. M. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. *Ciência Hoje*, v. 38, n. 231, p. 76-78. 2006.

FEARNSIDE, P. M. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *O ecol. Bras.*, v.13, n.5, p. 609-618. 2009.

FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environmental Management*. v.30, n.6, p. 748-763. 2002.

FÉLIX-DA-SILVA, M. M. ; TRINDADE, M. J. S. ; BASTOS, M. N. C. . Flora fanerogâmica da grade do PPBio, FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil. In: Seminário Científico do PPBio Amazônia Oriental: Perspectivas das Pesquisas em Biodiversidade, 3, 2010, *Resumos...*Belém. III Seminário Científico do PPBio, 2010. 1 CD-ROM.

FERREIRA, S. J. et al. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida a extração seletiva de madeira. *Acta Amazonica*, v.36, n.1, p. 59 – 68. 2006.

FERREIRA,W. A.; BOTELHO, S. M. *Capacidade de troca de cátions das principais classes de solos da Amazônia determinada a diferentes valores de pH*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 1999. 68 p.

FICSH, G. et al. *Clima na Amazônia*. 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/cliesp10a/fish.html>. Acesso em: 24 abr. 2011.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.5, n.6, p. 36-48. 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101 – 126.1998.

FISHER, R. A. et al. The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment. *Global Change Biology*. v. 13, p. 1 – 18. 2007.

FONTES, M. P. F.; ALLEONI, L. R. F. Propriedades Eletroquímicas e a disponibilidade de nutrientes, elementos tóxicos e metais pesados no sistema solo-planta. *FERTBIO*. 2004, p. 1 - 38.

FONTES; M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 3, p 627-646. 2001.

FORTES NETO, S. FERNANDES, A. P. JAHNEL, M. C. Microbiota da Solo como Indicadora da Poluição do Solo e do Ambiente. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed). *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, v. 92, p.18-29, 2007.

FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. *Nutrição e Fertilização Florestal*. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 351 - 383.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p.1521 – 1530. 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Nitrogênio, Carbono, e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, n. 29, p. 893 – 901. 2005.

GERHARDT, P. *Methods for General and Molecular Bacteriology*. Washington: American Society for Microbiology, 1994. 791p.

GOBERNA, M. et al. Microbial community structure at different depths in disturbed and undisturbed semiarid Mediterranean forest soil. *Microbial Ecology*. v. 5, n. 40, p. 315- 326. 2005.

GRAY, T. R. G.; WILLIAMS, S. T. *Soil micro-organisms*. 2 ed. London: Longman, 1975. 240p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia e meio ambiente*. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

ILKIU-BORGES, A. L.; LISBOA, R. C. L. Os Gêneros *Lejeunea* e *Microlejeunea* (Lejeuneaceae) na Estação Científica Ferreira Penna, Estado do Pará, Brasil, e Novas Ocorrências. *Acta botânica brasileira*. n. 18, p. 537-553. 2004.

IMPA. *Sobre o PPBio...!* 2007. Disponível em:[http://ppbio.inpa.gov.br/Port/sobreppbio/index\\_html#oque](http://ppbio.inpa.gov.br/Port/sobreppbio/index_html#oque) Acesso em: 21 de mar de 2011.

INMET. *Ocorrência de La nina e El nino*. 2010. Disponível em: [http://enos.cptec.inpe.br/tab\\_elnino.shtml](http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml). Acesso em 12 dez. 2011.

- KEENEY, D. R. Nitrogen: availability indices. In: PAGE, A. L. *Methods of soil analysis*. Madison: Journal American Society of Agronomy, 1982. p. 711-733.
- KERN, D. C. *Geoquímica e pedoquímica em sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel- PA)*. 1996. 119 f. Tese (doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia*. São Paulo: Ceres, 1979. 263 p.
- LEJON, D. P. H. et al. Microbial community structure and density under different tree species in an acid forest (Morvan, France). *Microbiol. Ecol.*, v. 50, p. 614 – 625. 2005.
- LISBOA, P. L. B., A Estação Científica Ferreira Penna/ECFPn. In: P. L. B. LISBOA (Org.). *Caxiuanã*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. p.23-49.
- LOPES, E. L. N. et al. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in northeastern Pará. *Revista. Brasileira de Ciência do Solo*. v.35, n. 4, p. 1127-1139,. 2011.
- LUIZÃO, F. J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, v. 19, n. 4, p. 407-417. 1989.
- LUIZAO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Cienc. Cult.* v. 59, n. 3, p. 31-36. 2007.
- LUIZÃO, R. C. C.; COSTA, E. S. LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades e pastagens após derrubada e queima da floresta na Amazônia Central. *Acta amazônica*, v. 29, p. 43 – 56. 1999.
- MACAMBIRA, M. L. J. Riqueza de colêmbolos (*Ellipura:Hexapoda*) em área de mata primária da Estação Científica Ferreira Penna. In: LISBOA, P. L.B. (Org.). *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia*.. Belém: MPEG, 2009, p. 409-420.
- MACHINESKI, O. et al. Crescimento de mudas de peroba rosa em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. *Ciência Rural*, v..39, n.2, p. 567 - 570, 2009.
- MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- MARENGO, J. A. Climate change and hydrological modes of the wet tropics. In: *Tropical Rainforest Responses to Climatic Change*. New York: Springer-Praxis Publishing, 2007. p 238-268.
- MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, v. 21, p. 495 – 516, 2008.
- MARENGO, J. A. et.al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int. J. Climatol.*, v. 29, p. 241 – 255. 2009.

MARENGO, J. A.; DIAS, P. L. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B., TUNDISI, J. G. *Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 63 - 109.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da região Amazônica. In: CAVALCANTI, I.F.A et al. *Tempo e clima*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 197 - 212

MARTINELLI, L. A. Element interactions in Brazilian landscapes as influenced by human interventions. In: MELILLO, J.; FIELD, C. B.; MOLDAN, B. *Scope 60: Interactions of the major biogeochemical cycles: Global change and human impacts*. [S.l.]: Islands Press, 2003. p. 193-210.

MCBRIDE, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

MEIR, P. et al. Drought-sensitivity in the E. Amazon. In: *International Scientific Conference of LBA. 2, 2002, Manaus*. Proceedings-Manaus: LBA, 2002, 1 CD-ROM.

MEIR, P. et al. Effects of experimental drought on carbon cycling in an Eastern Amazon rain forest. In: *Science Team Business Meeting. 7, 2003, Fortaleza*. Proceedings...Results of Ecological Studies of LBA. Fortaleza: LBA/ECO, 2003, 1 CD-ROM.

MENZIES, J. D. Fungi. In: BLACK, C. A. (Ed). *Methods of soil analysis*. Madison: American society of Agronomy, 1965. v.2, p. 1502 - 1505.

MORAES, B. C. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazônica*. v. 35, n. 2, p. 207 – 214. 2005.

MORAES, B. C. et.al. Variabilidade da precipitação na Floresta Nacional de Caxiuanã. In: LISBOA, P L B. (Org.). *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta na Amazônia*. Belém: Museu Goeldi, 2009, v. 3, p. 91 - 98.

MORAES, J. C. et. al. Estudos Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Caxiuanã. In: LISBOA, P L B. (Org.). *Caxiuanã*. Belém: Museu Goeldi, 1997. p 85-95.

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*, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1103 – 1110. 2004.

MOREIRA, A; MALAVOLTA, E.; MORAES, L.A.C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosena cultivados em latossolo amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1459 – 1466. 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. *Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros*. Lavras: UFLA, 2008. v. 1.

NEILL, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian amazon. *Ecological Applications*, Washington, v. 7, p. 1216 – 1225. 1997.

NICHOLLS, N. et al. Observed climate variability and change. In: HOUGHTON, J.T. et al. (Eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 133 - 192.

NOBRE, C. A; SAMPAIO, G; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e a Amazônia. *Ciência e Cultura*. v.59. n.3, p. 22 – 27. 2007.

NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007.p.1017.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. Sustainable agriculture and forestry production systems on acid soils: phosphorus as a case study. In: MONIZ, A. C. et al. (Eds.). *Plant-soil interactions at low Ph: Sustainable agriculture and forestry productions*. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p. 314 - 320.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F et.al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471 - 550.

OLIVEIRA, A. N.; FLOR, N. S.; OLIVEIRA, L. A. Influência do pH e temperatura sobre a atividade amilolítica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 2, p. 401- 404. 2010.

OLIVEIRA, F. M. et al. Determinação da variação no microclima de Manaus-AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. *Acta Amazônica*, v. 38, n. 4, p. 687 – 700. 2008.

OLIVEIRA, R. de C. *Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário*. 2002. 85 p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição mineral de plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

OSAKI, F. *Distribuição espacial de microrganismos e fertilidade em solos de dois ecossistemas florestais: floresta ombrófila mista e povoamento florestal com pinus taeda l. em Tijucas do sul-PR*. 2008. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

OSAKI, F.; NETTO, S. P. *Flutuação da população de bactérias sob floresta ombrófila mista e povoamento de Pinus taeda L. Floresta*, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 845 – 852. 2009.

PAUL, E.A. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Hardcover: Academic Press, 2007. 552p.

PEREIRA, J. L. G. *Topografia e Cartografia*. 2010. Disponível em: [http://marte.museu-goeldi.br/ppbio/ppbio15/index.php?option=com\\_content&view=article&id=97&Itemid=37](http://marte.museu-goeldi.br/ppbio/ppbio15/index.php?option=com_content&view=article&id=97&Itemid=37). Acesso em: 01 mai. 2011.

PEREIRA, W. L. M. et al. Propriedades químicas de um Latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. *Scientia Agricola*, v.57, n.3, p. 531 – 537. 2000.

PÉREZ-DE-MORA, A, et al. Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals: effects of plant growth and different amendments. *Soil Biology and Biochemistry*. v. 38, p. 327 – 341. 2006.

POTES, Mariana da Luz et al. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v. 34, n.1, p. 23-32, 2010.

RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres-Potafos, 1991. 343 p.

RICARDO, B.; CAMPANILI, M. (Ed.) *Almanaque Brasil socioambiental: uma nova perspectiva para entender a situação do Brasil e a nossa contribuição para a crise planetária*. São Paulo: Maura Campanili, 2007.

ROCHA, F. A. et al. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, v. 12, n. 1, p. 54 – 61. 2008.

RODRIGUES, H. B. et.al. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical húmida. *Revista Brasileira de Meteorologia*. (2011).

RODRIGUES, H. B. et.al. Variabilidade quantitativa de populações microbiana observada em solo de floresta tropical úmida, associada às condições microclimáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16: A Amazônia e o clima global. *Anais...* Belém, PA. 2010.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, p. 355 – 362. 2003.

RUIVO, M. L. P. et al. LBA–ESECAFLOR Artificially Induced Drought in Caxiuanã Reserve, Eastern Amazonia: Soil Properties and Litter Spider Fauna. *Earth Interactions*. v. 11, n. 20, p. 1- 13. 2007.

RUIVO, M. L. P. et al. Population and biodiversity in Amazon dark earths soils. In : RIOS, G. M e CAMARGO, S. M (Eds). *Pueblos y paisajes antiguos de la selva trópica amazónica*. Colombiana: Universidade Nacional da Colombia, Bogotá – Tara – Xacum/Washington, 2006. p. 284 - 291.

RUIVO, M. L. P. et al. Propriedades do solo e fluxo de CO<sub>2</sub> em Caxiuanã, Pará: experimento LBA-ESECAFLOR. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; COSTA, L. T. R. (Org.). *Contribuições a geologia da amazônia*. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte, 2002. v. 3, p. 291-299.

SANTINI, J. M. et al. A new chemolitho autotrophic arsenite-oxidizing bacterium isolated from a gold-mine: phylogenetic, physiological, and preliminary biochemical studies. *Applied Environment Microbiology*. v. 66, p. 92-97. 2000.

SANTOS DO NASCIMENTO, T.; MASCARENHAS JÚNIOR, T. A. *Precipitação na Amazônia: análise da variação entre as porções Central e Ocidental*, 2009. Disponível em: [http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo8/063.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo8/063.pdf)>. Acesso em 2 dez. 2010.

SANTOS, L. C. *Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de eucalipto e canafístula*. 2006. 88 f.

Dissertação (mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SANTOS, M. L.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 1021- 1031. 2003.

SANTOS, S. R. Q. et al. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de *El Niño* e *La Niña*, Caxiuanã-PA: estudo de caso. *Rev. bras. meteorol.* v. 26, n. 3, p. 367 – 374. 2011.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. *Bioscience Journal*. v. 23, n. 4, p. 29 – 39. 2007.

SHIVA, V. *Monocultures of the Mind*. Malásia: Zed Books e Third World Network, 1993.

SILVA, A. M. et.al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223 – 1230. 2005.

SILVA, G. R.; SILVA JR., M. L.; MELO, V. S. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo amarelo do estado do Pará. *Acta Amazônica*. v. 36, n. 2, p. 151 – 157. 2006.

SILVA, M. B. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761. 2007.

SILVA, P. C. C., COUTO, J. L.; SANTOS, A. R. Absorção dos íons amônio e nitrato e seus efeitos no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. v.10, n. 2, p. 97 – 104. 2010.

SILVA, R. B. et al. Estudo das colônias de fungos e bactérias em solos de floresta tropical associada à variação das chuvas na região. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16: A Amazônia e o clima global. *Anais...*Belém, PA. 2010.

SILVA, R. M. et al. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. *Acta Amazônica*. v. 39, n. 3, p. 573 – 582. 2009.

SIMÕES, L. H. R. et al. Caracterização e classificação de três unidades de solo da grade amostral do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio). In: LISBOA, L. B. *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma floresta Nacional na Amazônia*. Belém: MPEG, 2009, v. 3, p. 129 - 140.

SOARES, A. C. L.; LISBOA, P. B. Estação Científica Ferreira Penna/ECFPn (2002-2008). In: LISBOA, P L B. (Org.). *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta na Amazônia*. Belém: MPEG, 2009, v. 3, p. 23 - 42.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. *Química Nova*. v. 24, n. 3, p. 324-330. 2001.



- SOTTA, E. D. et al. Effects of an induced drought on soil carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) efflux and soil CO<sub>2</sub> production in an Eastern Amazonian rainforest, Brazil. *Global Change Biology*. v. 13, p. 2218–2229. 2007.
- SOUTO, P. C. et al. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v. 32, p. 151 – 160. 2008.
- SOUZA, E. B. et al. Precipitação Sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com RGCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 24, n. 2, p. 111 – 124. 2009.
- SOUZA, E. B. et al. Principais mecanismos dinâmicos associados a variabilidade de precipitação diária sobre a Amazônia oriental durante a estação chuvosa. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza- CE. *Anais...* Fortaleza: SBMET, 2004.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise*. v. 1, p. 1 – 20. 2003.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T., Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. *International Journal of Climatology*. v. 26, p. 1759 – 1776. 2006.
- SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology*. v. 81, p. 177 – 191. 2005.
- SOUZA, E. B.; NOBRE, P. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 13, n. 1, p. 31 – 44. 1998.
- SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 21, n. 3, p. 142 – 152. 2006.
- SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. *Atmosfera*, v. 15, p. 105 – 120. 2002.
- SOUZA, S. R; FERNANDES, M. S. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2006. 252p.
- TIEDJE, J. M. et al. Soil teeming with life: new frontiers for soil science. In: REES, R. M. et al. (Orgs.). *Sustainable management of soil organic matter*. Wallingford: CAB International, 2001. p. 393 - 412.
- TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G. Dinâmica da deposição de serapilheira em florestas secundárias do município de Pinheiral, RJ. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 39 – 46. 2004.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: an introduction*. [S.l]: E. Pearson, 2005.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N. et al. (Eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 195 - 276.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. *Microbiologia*. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. 717p.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 31. p. 1173 – 1184. 2007.

TRINDADE, M. J. de S. SECCO, R. S. Notas adicionais sobre *Mabea angularis* Hollander (Euphorbiaceae), primeira ocorrência para o estado do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais*. p.197-200. 2009.

VENZKE FILHO, S. P. et al. . Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 529 – 537. 2004.

VIANA, J. S. et al. Comparação estrutural e florística entre os ambientes de Terra-Firme e Igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. In: Seminário de 10 anos de atividades da ECFPn, Caxiuanã, 1, 2003, Belém. *Resumos...*Belém: MPEG, 2003. 1 CD-ROM.

VIANAL, R. S. et al. Perfil de Temperatura do Solo Relacionado com a Variabilidade de Microorganismos em Floresta Tropical Úmida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16: A Amazônia e o clima global. *Anais...*Belém, PA. 2010.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987, 416 p.

WILLIAMS, E. et.al. The Drought of the Century in the Amazon Basin: An Analysis of the Regional Variation of Rainfall in South America in 1926. *Acta Amazonica*, v. 35, n.2, p. 231 – 238. 2005.

YANG, J. E. et al. Simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. *Soil Science Society of American Journal*, v. 62, p. 1108 – 1115. 1998.

ZILLI, J. E. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411. 2003.