

MARTHA LUCÍA PEÑA PEÑA

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE SOLO NA AVALIAÇÃO
DA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA DE FLORESTA
OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS NO
LITORAL PARANAENSE - BRASIL**

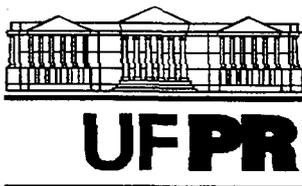
Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Cabral Jahnel

CURITIBA

2002



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

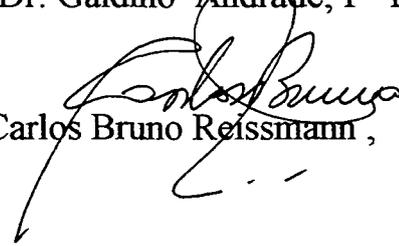
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **MARTHA LUCIA PEÑA PEÑA**, com o título: **"Indicadores microbiológicos de solo na avaliação da recuperação de área degradada da Floresta Ombrófila Densa das terras baixas, Litoral Paranaense"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 26 de abril de 2002.


Prof. Dr. Renato Marques, Presidente.


Prof. Dr. Galdino Andrade, Iº Examinador.


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, IIº Examinador.

À minha mãe, Blanca Inés, “in memoriam”.
Ao meu pai, Marco Fidel.
À minha família.

AGRADECIMENTOS

Diversas pessoas me apoiaram ao longo do caminho durante minha estada em Curitiba. Apesar da certeza de não ter palavras suficientes para agradecer em particular a cada uma das pessoas cuja participação das mais variadas maneiras e em diversas oportunidades tornaram possível a realização deste trabalho, eu agradeço aqui.

Ao professor Dr. Renato Marques pela orientação, paciência, compreensão, confiança, contribuição na estrutura e redação da dissertação nas diferentes fases, e pela oportunidade de realização da pesquisa através do projeto “Monitoramento da dinâmica biogeoquímica em ecossistemas florestais da Planície Pleistocênica do Litoral Paranaense”.

Ao professor Dr. Marcelo Cabral Jahnel pela co-orientação, compreensão, confiança, afinidade e interesse nesta área de pesquisa, proposta do tema, sugestões e contribuições na versão final, concessão da área, equipamento e materiais do laboratório de microbiologia agrícola da Pontifícia Universidade Católica do Paraná fundamental para realização da pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Ciências do Solo, da Universidade Federal do Paraná, na pessoa do professor Dr. Celso Luiz Prevedello pela oportunidade de realização desta Dissertação.

Ao atual Coordenador do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Ciências do Solo, da Universidade Federal do Paraná, professor Dr. Vander de Freitas Melo pela intermediação na concessão da bolsa CAPES – Coordenação para o Aperfeiçoamento do Pessoal do Ensino Superior, recebida durante parte do período de realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Adilson dos Anjos, e a Fernando Otávio Barbosa pela assessoria na análise estatística.

Aos estagiários Adriano Abdanur e Edilaine Palmeira, alunos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná pela colaboração no trabalho cuidadoso no laboratório.

Aos estagiários Sadiomar Santos, Geferson Elias Piazza e demais alunos da Universidade Federal do Paraná, pela colaboração e companhia no trabalho de campo durante a coleta das amostras.

Aos funcionários Helio, Marion, Aparecido, Edilson e Carlos, pela boa vontade nos laboratórios da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Campus São José dos Pinhais.

Aos técnicos Denise e Fernando, e aos estudantes de pós-graduação Giuliana e Marco do laboratório de microbiologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, pela boa vontade.

A Carolina, Cristina, Gina, Cyntia Maria, Sandra, Regiane, Ieda Cristina, Marcela, Patricia, Ana Celia, Keyla e demais amigas e/ou colegas do curso, pela amizade, confiança e acolhida.

Ao meu pai e a toda minha família, que sempre acreditaram, apoiaram, incentivaram e insistiram para que eu pudesse alcançar o final.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 PROCESSOS DE FUNCIONAMENTO DO ECOSISTEMA FLORESTAL	3
2.1.1 Ciclagem Biogeoquímica.....	3
2.1.2 Sucessão Vegetal	5
2.1.3 Produção e Ciclagem de Fitomassa	7
2.1.4 Surgimento dos Horizontes Orgânicos no Solo.....	9
2.1.5 Nutrientes na Matéria Orgânica do Solo	10
2.2 MICRORGANISMOS NOS MECANISMOS DE RECUPERAÇÃO DO ECOSSISTEMA FLORESTAL	12
2.2.1 Biodegradação da Serapilheira e da Matéria Orgânica do Solo	12
2.2.2 Interações Microrganismos-fauna na Regulação da Decomposição da Matéria Orgânica	16
2.2.3 Microrganismos e as Suas Interações nas Camadas Superficiais do Solo	18
2.2.4 Microrganismos e suas Interações na Rizosfera.....	22
2.2.5 Microrganismos como Bioindicadores de Sustentabilidade.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.1.1 Localização	29
3.1.2 Geomorfologia.....	30
3.1.3 Clima.....	30

3.1.4 Vegetação.....	34
3.1.5 Fases da Sucessão Vegetal.....	35
3.1.6 Solos.....	36
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL EM CAMPO E LABORATÓRIO.....	38
3.2.1 Coleta das Amostras no Campo.....	38
3.2.2 Separação dos Horizontes.....	40
3.2.3 Preparo das Amostras Compostas	40
3.2.4 Umidade do Solo	40
3.2.5 Matéria Orgânica do Solo	40
3.2.6 Avaliação da Quantidade de CO ₂ Liberado Pelo Solo	41
3.2.7 Contagem de bactérias e fungos	42
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 UMIDADE DO SOLO	45
4.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	47
4.3 RESPIRAÇÃO MICROBIANA NO SOLO.	48
4.3.1 Sucessão ecológica e respiração microbiana	51
4.3.2 Estação do Ano e Respiração Microbiana	54
4.4 NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP) DE BACTÉRIAS E FUNGOS EM HORIZONTES SUPERFICIAIS DO SOLO.....	57
4.4.1 Sucessão Ecológica e NMP de Bactérias e Fungos	59
4.4.2 Estação do Ano e o NMP de Bactérias e Fungos	62
5 CONCLUSÕES.....	65
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS.....	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO SOLO MINERAL DE ESPODOSSOLO, EM FUNÇÃO DA FASE SUCESSIONAL.	37
TABELA 2 – GRANULOMETRIA DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DE ESPODOSSOLO, EM DIFERENTES FASES SUCESSIONAIS	37
TABELA 3 – ESPESSURA MÉDIA DA CAMADA DE SERAPILHEIRA (CM) E QUANTIDADE MÉDIA (T HA⁻¹) ACUMULADA SOBRE ESPODOSSOLO NAS TRÊS FASES SUCESSIONAIS.....	37
TABELA 4 – UMIDADE MÉDIA EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM TRÊS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO.....	45
TABELA 5 – PRODUÇÃO MÉDIA DE CO₂ MICROBIANO EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM TRÊS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO.....	48
TABELA 6 – NMP DE BACTÉRIAS E FUNGOS EM HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM TRÊS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR OCORRIDA ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ	31
GRÁFICO 2 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA DO AR OCORRIDAS DURANTE O PERÍODO DO PRESENTE ESTUDO EM PARANAGUÁ, NOVEMBRO 2000 - NOVEMBRO 2001.....	32
GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO OCORRIDA ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ	32
GRÁFICO 4 – VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO OCORRIDA DURANTE O PERÍODO DO PRESENTE ESTUDO EM PARANAGUÁ, NOVEMBRO 2000 - NOVEMBRO 2001.....	33
GRÁFICO 5 – PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ.....	33
GRÁFICO 6 – DIAS DE CHUVA POR MÊS ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ	34
GRÁFICO 7 – UMIDADE EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DAS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA	46
GRÁFICO 8 – UMIDADE EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO	47
GRÁFICO 9 – MATÉRIA ORGÂNICA EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DAS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA	48

GRÁFICO 10 – FLUTUAÇÕES DA PRODUÇÃO MÉDIA DE CO₂ MICROBIANO EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA	51
GRAFICO 11 – FLUTUAÇÕES DA PRODUÇÃO MÉDIA DE CO₂ MICROBIANO EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DA ESTAÇÃO DO ANO, EXPRESSO EM MG CO₂ DIA⁻¹100 G SOLO⁻¹.....	55
GRÁFICO 12 – NMP DE BACTÉRIAS NOS TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA	59
GRÁFICO 13 – NMP DE FUNGOS NOS TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA	60
GRÁFICO 14 – NMP DE BACTÉRIAS NO HORIZONTE F DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO	61
GRÁFICO 15 – NMP DE FUNGOS NO HORIZONTE F DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO.....	61
GRÁFICO 16 – NMP DE BACTÉRIAS NOS TRÊS HORIZONTES DE SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA ESTAÇÃO DO ANO	63
GRÁFICO 17 – NMP DE FUNGOS NOS TRÊS HORIZONTES DE SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA ESTAÇÃO DO ANO.....	64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VISTA GERAL DA ÁREA REPRESENTATIVA DE FASE SUCESSIONAL INICIAL FLORESTA ESTADUAL DO PALMITO, PARANAGUÁ, PARANÁ.....	39
FIGURA 2 – COLETOR CILÍNDRICO UTILIZADO NA COLETA DE AMOSTRAS NO CAMPO.....	39
FIGURA 3 – PLACAS DE PETRI APÓS PLAQUEAMENTO DAS GOTAS E INCUBAÇÃO	43

RESUMO

O presente trabalho foi realizado durante o período de novembro de 2000 a setembro de 2001 na Floresta Estadual do Palmito, Paranaguá, PR, coberta originalmente com Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Esta floresta sofreu degradação por ação antrópica e o objetivo desta pesquisa foi o de avaliar as respostas de microrganismos às mudanças nas condições ambientais da floresta em processo de regeneração. Para tanto foram selecionadas três áreas representativas de fases da sucessão secundária deste ecossistema, onde foram coletadas amostras de solo dos horizontes superficiais, nas quatro estações climáticas. A amostragem foi feita coletando 10 amostras simples, aleatoriamente em cada parcela, utilizando-se um coletor cilíndrico metálico com dimensões de 20 cm de altura e 12 cm de diâmetro. As amostras foram separadas segundo os horizontes: F (fragmento de folhas), H (húmus) e A (solo mineral). A avaliação da atividade microbiana foi feita pela quantificação da respiração microbiana e o desenvolvimento de microrganismos pela determinação do Número Mais Provável (NMP) de bactérias e de fungos, usando-se o método do plaqueamento por gotas. Os resultados obtidos mostraram que a produção de CO₂ apresentou um gradiente entre os horizontes do solo no seguinte sentido: F>H>A. Esta variável também sofreu influência das fases sucessionais, mostrando-se superior na fase Avançada da sucessão ecológica, sobretudo no horizonte F. Não ficou claro o efeito das estações do ano sobre a atividade microbiana, talvez devido às pequenas variações climáticas ou devido à técnica empregada. O NMP de bactéria e o de fungos também variaram com os horizontes do solo no mesmo sentido: F>H>A, sendo o desenvolvimento de fungos superior ao de bactérias, sobretudo nos horizontes F e H. Estas últimas variáveis também sofreram influência das fases sucessionais, mas de forma menos expressiva do que a produção de CO₂. As estações do ano também não mostraram influência sobre o NMP de bactérias e de fungos. Conclui-se que a determinação da produção de CO₂ é ferramenta mais eficiente do que a determinação do NMP de bactérias e de fungos na avaliação de alterações na qualidade do solo e por isso constitui-se em bom indicador microbiológico desta qualidade.

ABSTRACT

This present research was carried out during the period from November 2000 to September 2001 at The State Forest of Palmito, Paranaguá, PR, Brazil originally covered with Tropical Atlantic Rainforest. This forest has suffered antropic degradation, the goal of this research was to evaluate the response of the microorganisms to forest environment conditions changes in the process of regeneration. It was selected three representative areas on the secondary succession of this ecosystem, where samples of the superficial layer of the soil were collected at the four climatic seasons. The sampling was done through collecting 10 simple samples, disregarding the parts. We have used a metallic cylinder colector with 20 cm hight and 12 cm diameter. The samples were separated by soil horizons: F (leaves fragments), H (humus) and A (mineral soil). The evaluation of the microbial activity was made by the quantification of the microbiological respiration and microorganisms development by determining the most probable number (NMP) of bacterias and fungus, using the plating by drops method. The results have shown that the production of CO₂ presented a gradation between the soil horizons on the following sequence: F>H>A. This variable also suffered influence of secondary succession, being superior at a advanced fase of the ecological succession, specially at F horizon. It wasn't clear the effect of the seasons on the microbial activity, perhaps through small weather variations or by the techinic used there. The NMP of bacterias and fungos also varied on the same soil horizon's sense: F>H>A, being the development of fungus superior to the bacterias, specially on F and H layer. These last variations also suffered influence at the succession fases, but in a less expressive way than the CO₂ production. The seasons have not shown an influence on the NMP of bacterias and fungus. Therefore it was concluded that the determination of CO₂ production is a more effective tool than a determination of NMP of bacterias and fungus on studies of soil quality variation, proving to be a good microbiological indicator of this quality.

1 INTRODUÇÃO

O homem tem transformado drasticamente os ecossistemas, alterando o equilíbrio da biosfera. A utilização dos recursos naturais tem ultrapassado os limites ecológicos reduzindo a diversidade biológica e alterando os processos naturais. Frente à crescente degradação dos ecossistemas naturais, a sua recuperação é fator primordial para o equilíbrio ambiental. No entanto, a recuperação natural nem sempre é possível. Nestes casos, ações que auxiliem ou acelerem o processo de recuperação do ambiente degradado são de extrema importância. Mas, estas ações só serão corretamente realizadas quando concordantes com os processos de funcionamento do ecossistema a ser recuperado. O conhecimento da dinâmica destes processos torna-se, então, fator chave para o correto planejamento dos projetos de recuperação de áreas degradadas.

Entre os processos mais importantes, situa-se a atividade microbiana no solo, que tem estreita relação com a dinâmica dos nutrientes. Os microrganismos têm papel extremamente importante na reciclagem de nutrientes, participando, entre outros, da mineralização da matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, da disponibilização dos nutrientes para as plantas, auxiliando, assim, a nutrição, o crescimento e a regeneração da vegetação.

A atividade microbiana é ainda pouco estudada na maior parte dos ecossistemas florestais brasileiros. Estudos são necessários no sentido de compreender a distribuição dos microrganismos e suas funções no ecossistema; a caracterização da atividade na superfície do solo; influência dos fatores abióticos nas diferentes estações climáticas, ou influência dos fatores bióticos através das interações entre microrganismos, microrganismo-fauna, microrganismo-planta, relacionados, por exemplo, com a fase de desenvolvimento da sucessão vegetal.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo compreender as relações existentes entre a presença e atividade de microrganismos do solo com a recuperação da vegetação da floresta. Assim, em uma cronoseqüência de fases da

sucessão vegetal de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, teve-se como objetivo geral avaliar as respostas de microrganismos às mudanças nas condições ambientais da floresta em processo de regeneração. Os objetivos específicos foram:

- a) quantificação da respiração microbiana em frações da camada superficial do solo;
- b) determinação do número mais provável (NMP) de fungos e bactérias em frações da camada superficial do solo;
- c) avaliação do efeito das estações climáticas sobre os parâmetros acima mencionados;
- d) avaliação do efeito das fases sucessionais sobre os parâmetros acima mencionados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROCESSOS DE FUNCIONAMENTO DO ECOSISTEMA FLORESTAL

2.1.1 Ciclagem Biogeoquímica

Dentro dos processos de funcionamento do ecossistema florestal estão os ciclos de nutrientes. Segundo CURTIS e BARNES (1993), a ciclagem biogeoquímica é o circuito de uma substância, através de um ecossistema. Seus componentes geológicos são a atmosfera, a crosta terrestre, os oceanos, as lagoas, os rios; seus componentes biológicos são os produtores, os consumidores, e os detritívoros. Os detritívoros são organismos que vivem de resíduos orgânicos; incluem a mesofauna e microflora. Os decompositores são detritívoros especializados, habitualmente bactérias ou fungos, que consomem substâncias tais como a celulose e os produtos nitrogenados dos resíduos. Seus processos metabólicos liberam nutrientes inorgânicos, os quais ficam disponíveis para que sejam utilizados pelas plantas e outros organismos.

O ciclo biogeoquímico nas florestas tem duas principais entradas de nutrientes. A entrada de partículas nutritivas da atmosfera, que se depositam sobre a vegetação, e a entrada de nutrientes via intemperismo dos minerais no solo. Os nutrientes retornam ao solo pela queda de folheto e pela lavagem e lixiviação da copa e do tronco das árvores pela chuva (precipitação interna). A serapilheira acumulada representa um reservatório potencial de nutrientes. O tempo de permanência dos nutrientes estocados na serapilheira depende da velocidade de decomposição desse material, sendo que a liberação dos nutrientes depende da taxa de decomposição do material depositado. A gradativa decomposição deste material tem papel fundamental na manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas, principalmente em solos tropicais de baixa fertilidade natural (SANTOS; CAMARGO, 1999).

As condições de clima tropical úmido são muito favoráveis ao acentuado intemperismo, o que se deve à alta temperatura associada à umidade. Isto provoca uma

constante remoção de elementos por lixiviação através do perfil dos solos. O intemperismo é um processo que atua na litosfera e consiste em um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que levam à desagregação física e à decomposição química dos minerais das rochas expostas às condições atmosféricas (VAN RAIJ, 1981).

O intenso intemperismo e a baixa capacidade de intercâmbio catiônico de muitos solos tropicais resultam em fertilidade relativamente baixa. O intemperismo adiciona poucos nutrientes ao solo; as entradas por precipitação e por fixação de nitrogênio são também pequenas. Por este motivo, a produção vegetal depende da rápida reciclagem dos nutrientes a partir de detritos e de sua retenção dentro do ecossistema (RICKLEFS, 1996).

O clima tropical, provavelmente, favorece mais a degradação dos resíduos culturais do que as condições de clima temperado (CATTELAN; TORRES; SPOLADORI, 1997). Nas florestas tropicais, umidade e temperatura altas provocam rápida decomposição de serapilheira e liberação de nutrientes. Além disso, as chuvas pesadas causam rápida lixiviação. Nestas condições, a ciclagem dos nutrientes é crítica, e por isso as plantas apresentam uma absorção de nutrientes muito eficiente (MASON, 1980).

Em floresta tropical Atlântica, WISNIEWSKI, MARQUES e DICKOW (1999) compararam a decomposição da serapilheira em três fases da sucessão vegetal deste ecossistema e estimaram como variando de 5 a 6,25 anos o tempo necessário para decompor 95% do material vegetal. Neste mesmo estudo, os autores observaram uma maior taxa de decomposição na fase mais avançada da sucessão. Observaram também que esta foi influenciada pela relação C/N inicial do material e que K e Mg foram liberados da serapilheira respeitando a mesma tendência observada para a matéria seca, ou seja, esta foi crescente com a sucessão vegetal. O Ca apresentou comportamento inverso.

Em outro estudo no litoral do Paraná, BRITZ et al. (1999) salientam a importância da liberação de nutrientes durante a decomposição da serapilheira nestes ambientes tropicais onde a parte mineral do solo apresenta baixa disponibilidade de nutrientes às plantas.

Ao comparar a cultura da bananeira com ambientes florestais, CATTELAN, TORRES e SPOLADORI (1997) observaram que apesar das quantidades de resíduos restituídas ao solo pelas culturas de banana e de uma floresta tropical serem as mesmas, no caso da floresta tropical há maior regularidade de restituição e a temperatura do solo é baixa, o que propicia produções permanentes e mais frequentes de substâncias húmicas, importantes para a estabilidade dos agregados.

Os processos que ocorrem no compartimento serapilheira-solo têm grande sensibilidade à intervenção na cobertura vegetal ou a interferências no ecossistema (SANTOS; CAMARGO, 1999). Um estudo foi orientado a avaliar se os processos microbianos e fungos decompositores, em solos de floresta mista, eram sensíveis as intervenções no solo. Observou-se que as intervenções podem afetar os microrganismos do solo, por alterar fatores tais como temperatura, quantidade e tipo de matéria orgânica, nutrientes do solo e cobertura vegetal (HOUSTON; VISSER; LAUTENSCHLAGER, 1998).

Nas florestas tropicais, os grupos funcionais microbianos no solo são influenciados pela heterogeneidade espacial local, podendo ser incomum encontrar dois metros quadrados de serapilheira com as mesmas características (SANTOS; CAMARGO, 1999).

2.1.2 Sucessão Vegetal

Quando um habitat é perturbado, a comunidade lentamente se reconstrói. A oportunidade para observar a sucessão se apresenta convenientemente em campos abandonados de várias idades. O retorno de uma área à sua vegetação natural após uma grande perturbação é chamado sucessão secundária, mas o estabelecimento e o

desenvolvimento de comunidades de plantas em habitat recém formados que não tinham plantas previamente, é chamado sucessão primária (RICKLEFS, 1996).

Ocorre no entanto, uma variabilidade muito grande na constituição desses ecossistemas em processo de recuperação, em função do tipo, severidade e tempo da ação antrópica, que vai resultar num ambiente mais ou menos favorável para o estabelecimento da sucessão secundária. As características deste processo de recomposição do ecossistema estão relacionadas às condições e o tempo em que o ambiente permaneceu após a intervenção (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Espécies pioneiras adaptadas a habitats perturbados são sucessivamente substituídas por outras até que a comunidade atinja sua estrutura e composição originais. As espécies pioneiras modificam o ambiente de forma a permitir que as espécies das fases posteriores se estabeleçam. As mudanças acontecem rapidamente no início. Esses primeiros colonizadores são seguidos por outros, que são mais lentos para tirar proveito do novo habitat. A velocidade da sucessão diminui à medida que as espécies de crescimento mais lento aparecem. Desta forma, o caráter da comunidade muda com o tempo. As próprias espécies sucessoras mudam o ambiente. Essas espécies inibem a continuação do sucesso das espécies causadoras e tornam o ambiente mais adequado para outras espécies. Inversamente, a colonização por algumas espécies pode inibir a entrada de outras numa série, através de competição superior por fatores limitantes ou por interferência direta (RICKLEFS, 1996).

Há uma tendência geral para o aumento das camadas da serapilheira com os estádios sucessionais, e a produção de nutrientes retida na biomassa também aumenta (MASON, 1980). As fases da sucessão secundária podem ser identificadas pela observação de vários atributos da comunidade que se estabelece, como espécies e sua diversidade, altura e estratificação (SANTOS; CAMARGO, 1999). Isto foi observado no litoral do Paraná; onde WISNIEWSKI (1997) afirma que os resultados obtidos no seu estudo têm coerência sucessional, mostrando a gradual saída de espécies de fases iniciais à medida que aumenta a diversidade e a complexidade do ambiente.

O conjunto dos diversos processos governando o curso da sucessão foi resumido sob três classes de mecanismos: a **facilitação**, na qual a sucessão é uma seqüência de desenvolvimento, onde cada estágio pavimenta o caminho para o seguinte; a **inibição** de uma espécie pela presença de uma outra, que está intimamente relacionada com a substituição de espécies e forma uma parte integrante da sucessão ordenada dos primeiros estágios da série até o clímax; e a **tolerância**; a sucessão conduz a uma comunidade composta daquelas espécies mais eficientes na exploração dos resíduos, presumivelmente cada uma especializada em diferentes tipos ou proporções de recursos (RICKLEFS, 1996).

2.1.3 Produção e Ciclagem de Fitomassa

Devido às plantas ocuparem a primeira posição na cadeia alimentar, os ecólogos referem-se a estas como produção primária. A produção primária dirige o fluxo de energia e o ciclo dos elementos dentro dos ecossistemas. Uns dos sistemas mais produtivos são as florestas tropicais úmidas, onde condições favoráveis propiciam alta taxa de fotossíntese e assimilação e o crescimento das plantas depende da reciclagem dos nutrientes pelos processos biológicos (RICKLEFS, 1996).

Um dos ciclos de nutrientes é o ciclo biológico ou seja é a absorção de nutrientes pelas plantas, produção de fitomassa e retorno ou reposição ao solo. A vegetação é a principal responsável pela variabilidade horizontal da serapilheira, pois quanto mais diversa for a comunidade vegetal, mais heterogênea será a serapilheira em pontos adjacentes. Por outro lado, a heterogeneidade vertical da serapilheira, ou seja, a sua diferenciação em camadas ou horizontes, é decorrente da velocidade de decomposição, que por sua vez, é determinada por fatores climáticos, edáficos e biológicos (SANTOS; CAMARGO, 1999). As plantas e as suas raízes são fonte de carbono no solo que estimula a atividade microbiana, levando o ecossistema a uma nova situação de equilíbrio (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999).

O termo serapilheira é normalmente utilizado em sistemas terrestres e especialmente para materiais derivados de plantas, embora aqueles de origem animal sejam algumas vezes considerados. O material vegetal que forma a serapilheira de um solo sob floresta é uma mistura de vários componentes da estrutura da planta, folhas, frutos, flores. As frações da serapilheira têm estrutura e composição química bem diferentes e se decompõem a diferentes velocidades (MASON, 1980). As folhas representam, em média, cerca de 70% da serapilheira e apresentam a maior taxa de decomposição. Existe, porém, uma fração delas de difícil decomposição, com muitas estruturas lignificadas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Vários fatores afetam a quantidade de resíduos que caem da parte aérea das plantas e que formam a serapilheira produzida pelas florestas. Entre estes destacam-se o tipo de vegetação, as características genéticas das plantas, as espécies vegetais, o fotoperíodo, a capacidade de produção de resíduos da parte aérea de cada espécie, a idade, a fase de desenvolvimento e a densidade de plantas. Supõe-se que ocorram aumentos na produção desse material em função do aumento da idade da floresta, o estágio sucessional, até que atinja a maturidade ou clímax. Também influem a latitude, a altitude, o relevo, a disponibilidade de luz. Das variáveis climáticas, a precipitação e a temperatura são as que exercem maior influência. A ocorrência de intempéries atípicas do clima como tempestades, pode modificar o aporte de serapilheira de um ano para outro (MASON, 1980; SANTOS; CAMARGO, 1999).

De forma geral a produtividade vegetal é determinada pela distribuição de chuvas, a qual influencia a disponibilidade de água no solo; e de maneira mais restrita, pela disponibilidade de nutrientes no solo. A participação do solo no processo de aporte de material formador da serapilheira consiste na disponibilidade de água e nutrientes para a produção de fitomassa que, conseqüentemente, contribui para o aporte de resíduos orgânicos (BRITZ, 1994; SANTOS; CAMARGO, 1999).

2.1.4 Surgimento dos Horizontes Orgânicos no Solo

Nos ecossistemas florestais, a forma de incorporação da matéria orgânica se dá de cima para baixo, com o acúmulo de serapilheira, na superfície do solo, formando os horizontes orgânicos, o qual é função de um equilíbrio entre entradas e saídas deste sistema. A entrada de material através da deposição da serapilheira e a saída ou transformação, via decomposição acontecem quase simultaneamente. A espessura dessas camadas é decorrente da velocidade de decomposição do ecossistema em questão. Quanto maior a quantidade que cai desse material e quanto menor sua velocidade de decomposição, maior será a camada de serapilheira (SANTOS; CAMARGO, 1999).

O processo de decomposição, ao longo do tempo, cria um gradiente em que as folhas recém-caídas apresentam pouca transformação, enquanto as mais antigas se caracterizam por um alto grau de modificação estrutural e química. Dessa forma, é relativamente fácil identificar, no campo, três camadas sobrepostas de serapilheira em diferentes graus de decomposição. Estas camadas são denominadas horizontes e diferenciam-se em: horizonte L (lixiviação), é composto por folhas recém caídas, inteiras e ainda não atacadas pela fauna do solo. O horizonte F (fermentação) apresenta intensa atividade biológica, com a fragmentação promovida pela fauna do solo e a degradação bioquímica promovida pelos microrganismos. O horizonte H (humificação) apresenta um material amorfo, escuro decorrente da atividade no horizonte anterior onde ocorre grande proliferação de raízes finas que buscam absorver os nutrientes liberados da matéria orgânica na qual não é possível reconhecer a sua origem, constituída de estruturas quimicamente resistentes, em geral de peso molecular elevado, com maior estabilidade do que os materiais que o originaram. O húmus não é apenas uma fonte de nutrientes, são notáveis as propriedades de natureza coloidal, atua na agregação de partículas, conferindo ao solo condições favoráveis de arejamento e friabilidade; aumenta a retenção de água e é responsável em grande parte pela

capacidade de troca de cátions (MASON, 1980; VAN RAIJ, 1981; SANTOS; CAMARGO, 1999).

As florestas sobre solos tropicais, com baixa disponibilidade de nutrientes, possuem menor quantidade de material formador da serapilheira, em relação aos solos férteis, desenvolvendo, porém, mecanismos capazes de conservar os nutrientes, o que garante a sobrevivência dos ecossistemas florestais. Neste processo, a vegetação de cada ecossistema parece desenvolver estratégias específicas para garantir sua sobrevivência nas condições nutricionais em que se encontra, tais como a absorção de nutrientes diretamente da serapilheira através de interações entre fungos e raízes (SANTOS; CAMARGO, 1999).

2.1.5 Nutrientes na Matéria Orgânica do Solo

O desenvolvimento gradativo de vegetais, fixando o carbono a partir do CO₂ atmosférico, incorporando nitrogênio, proveniente em parte das águas de chuva e em parte da fixação do nitrogênio do ar atmosférico, por parte dos microorganismos, permite o acúmulo progressivo de matéria orgânica em solos. A matéria orgânica incorpora ao solo elementos tais como carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, entre outros. Em um ecossistema em equilíbrio, o teor de matéria orgânica do solo é constante, refletindo o equilíbrio entre a adição e a decomposição de restos orgânicos (VAN RAIJ, 1981).

A manutenção da matéria orgânica nos solos é importante, pois é responsável pela alta capacidade de troca de cátions (CTC), liberação lenta de nutrientes, aumento da capacidade de retenção de água, melhoramento da estrutura do solo e capacidade tampão do solo, tornando, este último, mais adequado a determinado tipo de comunidade microbiológica, favorecendo maior atividade biológica do ecossistema. Alterações da matéria orgânica dos solos interferem em todas as propriedades do mesmo e influenciam a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana. A matéria orgânica é fonte de carbono, energia e nutrientes para os microorganismos

(MASON, 1980; BROCK; SMITH; MADIGAN, 1987, CATTELAN; GAUDÊNCIO; SILVA, 1997; FUNDAÇÃO CARGILL, 1998; COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999; SANTOS; CAMARGO, 1999).

No trabalho desenvolvido por WISNIEWSKI (1997), observou-se que a capacidade de troca de cátions, aumentou com a sucessão, mostrando uma estreita relação com a matéria orgânica. E esta CTC, diminuiu com a profundidade do solo, estando novamente associada à presença da matéria orgânica.

A matéria orgânica no solo apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas, de plantas, animais e microrganismos; e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Nos ecossistemas florestais, a quantidade de nutrientes no solo está diretamente relacionada com o aporte de folhas e com a decomposição realizada pelos microrganismos (PELCZAR; REID; CHAN, 1981). Sendo assim, as taxas de decomposição da matéria orgânica e de liberação de nutrientes garantem a manutenção da produção vegetal (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Nos estudos realizados por COLOZZI FILHO; BALOTA e ANDRADE (1999) e SANTOS e CAMARGO (1999), estreitas relações entre a biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo foram encontradas. Segundo estes autores, a biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas. Esta é a fração mais ativa da matéria orgânica e é o compartimento responsável pelo fluxo e pela rápida ciclagem de nutrientes, apesar de representar a menor fração do C orgânico do solo.

2.2 MICRORGANISMOS NOS MECANISMOS DE RECUPERAÇÃO DO ECOSISTEMA FLORESTAL

2.2.1 Biodegradação da Serapilheira e da Matéria Orgânica do Solo

O solo pode ser considerado um grande reator biológico que presta grandes serviços à natureza. A decomposição é um processo essencialmente biológico, ou seja, os organismos do solo são os responsáveis pelo processo de decomposição. A liberação de nutrientes durante a decomposição do material orgânico é de fundamental importância na manutenção dos ciclos de nutrientes e, portanto, do crescimento das plantas. Uma das etapas mais importantes da ciclagem de nutrientes é a decomposição da serapilheira sobre o piso florestal. A participação da biota do solo no funcionamento e sustentabilidade dos ecossistemas é bem reconhecida (MASON, 1980; SANTOS; CAMARGO, 1999; TURCO; BLUME, 1999).

Os microrganismos trabalham incessantemente para a manutenção da vida; participam nos ciclos biogeoquímicos da natureza e sua atividade está ligada à decomposição da matéria orgânica, contribuindo para a disponibilização de nutrientes e à produtividade do ecossistema (TURCO; BLUME, 1999).

Várias etapas da ciclagem de nutrientes são realizadas exclusivamente pelas populações microbianas, e algumas podem participar em um ou mais ciclos biogeoquímicos. Pela versatilidade do metabolismo da microbiota, uma única espécie de bactéria é capaz de utilizar vários tipos de carboidratos e, em ausência deles, pode utilizar outros compostos (ANDRADE, 2002).

Os diferentes componentes são degradados por grupos especializados de microrganismos, os grupos funcionais microbianos e seus respectivos processos biológicos são partes no sistema solo-planta ainda a conhecer (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Cada grupo funcional é uma pequena parte do todo. Para compreender-se melhor possíveis alterações no funcionamento do solo, é preciso compreender as

interações que ocorrem no sistema solo-planta, ou seja torna-se necessário o conhecimento sobre os diferentes grupos funcionais que atuam nos ciclos do carbono, fósforo, nitrogênio e enxofre; e da correlação entre eles (ANDRADE, 2002).

A microbiota tem o componente enzimático mais apropriado para promover a decomposição da cobertura morta (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999). Paralelamente, ocorrem transformações conduzidas por enzimas extracelulares produzidas por microrganismos. As bactérias e os fungos constituem-se de aparatos enzimáticos, sendo responsáveis por diversos mecanismos de síntese e degradação no solo, promovendo a mineralização de compostos orgânicos e a liberação de nutrientes, ou imobilizando-os em sua biomassa (SANTOS; CAMARGO, 1999). As bactérias e os fungos secretam enzimas sobre o próprio substrato e absorvem produtos simples resultantes desta digestão extracelular (RICKLEFS, 1996). Os microrganismos apresentam variabilidade espacial e atividade muito grande, apresentando-se ativos em micro-sítios favoráveis e inativos em outros desfavoráveis (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Como a decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais dependem da atividade microbiana, a manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo. Assim, a biomassa e a atividade microbiana devem fazer parte dos estudos de ciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, tendo como enfoque a sua contribuição na decomposição e mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente, na fertilidade do solo, por meio da ciclagem microbiana, que torna os nutrientes disponíveis para as plantas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

O solo contém nitrogênio orgânico que pode representar 97-98% do nitrogênio total do solo. O nitrogênio inorgânico geralmente representa somente 2-5%, mas são as formas inorgânicas que são disponíveis para os vegetais. Portanto, é importante a mineralização que consiste na transformação do nitrogênio orgânico em formas

minerais promovida por microrganismos. O primeiro passo é a amonificação promovida por microrganismos heterotróficos. A amônia formada, em geral, é convertida em nitrato disponível para as plantas, sendo este processo chamado nitrificação, o qual é realizado por bactérias autotróficas (VAN RAIJ, 1981; FUNDAÇÃO CARGILL, 1998).

Por outro lado, o nitrogênio mineral do solo pode ser convertido em nitrogênio orgânico nas proteínas dos microrganismos, via imobilização, tornando-se indisponível para as plantas. Mas parte deste nitrogênio volta à forma disponível, à medida que os microrganismos morrem e se decompõem (VAN RAIJ, 1981; FUNDAÇÃO CARGILL, 1998). Os nutrientes imobilizados na biomassa microbiana também se encontram em forma mais lábil que aqueles contidos na matéria orgânica total (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999).

A relação C:N microbiana também pode ser usada como índice para expressar a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C ou N, refletindo a qualidade nutricional da matéria orgânica. Em solos de baixa fertilidade e com cobertura vegetal pobre em N, a taxa de decomposição da matéria orgânica é menor, propiciando a imobilização do N na biomassa microbiana. No mesmo solo, com cobertura vegetal mais concentrada em N, a quantidade de N imobilizado é menor, pois esse elemento está em quantidade suficiente para atender à atividade metabólica dos microrganismos e ao processo de decomposição da matéria orgânica (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Avaliações da biomassa e da atividade microbiana podem revelar efeitos da mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo. Nesse contexto, a biomassa microbiana do solo pode ser considerada como um indicador das alterações ocorridas no solo em função das intervenções. Nesse sentido, é possível utilizar a biomassa microbiana como indicador biológico dos níveis da matéria orgânica do solo. Além disso, quando associada aos valores de pH, teores de C orgânico, N total, umidade do solo, permite uma avaliação sistêmica do manejo adotado e a obtenção de índices de aferição da sustentabilidade (CATTELAN; VIDOR, 1990; COLOZZI FILHO;

BALOTA; ANDRADE, 1999; TURCO; BLUME, 1999; SANTOS; CAMARGO, 1999).

A fase inicial da biodegradação microbiana é caracterizada pela rápida decomposição dos compostos orgânicos prontamente decomponíveis (açúcares, proteínas, amido, celulose) quando as bactérias são especialmente ativas. Na fase subsequente, produtos orgânicos intermediários e protoplasma microbiano recentemente formado são biodegradados por uma grande variedade de microrganismos com produção de nova biomassa e liberação de CO₂. O estágio final é caracterizado pela decomposição gradual de compostos mais resistentes, exercidas pela atividade de actinomicetos e fungos (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Folhas de diferentes espécies de árvores decompõem-se em diferentes velocidades, dependendo de sua composição. As diferenças entre as espécies dependem, em larga extensão, do conteúdo de lignina das folhas, a qual é mais difícil de degradar do que a celulose. A resistência de alguns tipos de serapilheira à degradação aponta o papel único dos fungos na reciclagem de nutrientes. A maioria dos fungos consiste em uma malha de hifas, que podem penetrar em sítios da serapilheira onde as bactérias não conseguem atingir (RICKLEFS, 1996).

Os fungos possuem um papel fundamental como decompositores de resíduos vegetais, liberando nutrientes que sustentam e estimulam o crescimento de plantas, e protegem contra fitopatógenos. Infelizmente pouco se conhece sobre a estrutura das populações, a dinâmica e a diversidade da maioria de fungos no solo (ROSADO; DUARTE; MENDONÇA-HAGLER, 1999). Os fungos produzem enzimas externas que decompõem os compostos dos substratos a pesos moleculares menores, que podem ser absorvidos através das paredes das hifas. Dois tipos de enzimas são produzidos, aquelas que são liberadas e se difundem no substrato e as que permanecem na superfície da hifa. Desta maneira, podem ser vistos como microrganismos com enzimas capazes de romper moléculas complexas e alterar os substratos de tal maneira

que outros microrganismos podem utilizar compostos simples e colonizá-los (MASON, 1980).

A velocidade de degradação dos compostos orgânicos depende basicamente da sua composição e das condições ambientais. Fica claro que são muitas as relações existentes entre os componentes do sistema solo-planta e que diversos processos microbianos no solo ainda são desconhecidos (SANTOS; CAMARGO, 1999). O pouco conhecimento sobre a biota e sua atividade ajuda a explicar a dificuldade em entender os processos de ciclagem de nutrientes no solo (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999; ANDRADE, 1999; TURCO; BLUME, 1999).

2.2.2 Interações Microrganismos-fauna na Regulação da Decomposição da Matéria Orgânica

Os microrganismos e a fauna do solo são capazes de modificar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Durante o processo de decomposição o substrato transforma-se continuamente, alterando sua adequação para colonização por diversos organismos, induzindo o aparecimento de uma sucessão de organismos. A degradação da serapilheira é um processo contínuo, podendo ter início antes mesmo de o material atingir o solo. Algumas folhas podem abrigar, ainda na própria árvore, microrganismos e insetos que iniciam o processo de decomposição. Assim, a microflora que reside na folha, denominada flora do filoplano, persiste por algum tempo na camada da serapilheira depois da abscisão foliar, sendo então substituída por uma flora típica de serapilheira e, finalmente, pela flora do solo (MASON, 1980; SANTOS; CAMARGO, 1999).

A degradação das folhas da serapilheira acontece pela ação de três processos básicos: lixiviação, intemperismo e ação biológica. Este último resulta na fragmentação gradual e na oxidação da matéria orgânica, a qual é consumida por grandes organismos tais como minhocas e outros invertebrados, os quais aceleram a deterioração porque maceram as folhas e expõem novas superfícies ao ataque dos

micróbios. Posterior ataque por fungos e a eventual mineralização do fósforo, nitrogênio e enxofre por bactérias são os passos subsequentes (MASON, 1980; RICKLEFS, 1996; SANTOS; CAMARGO, 1999).

O ataque inicial aos materiais recentemente adicionados é realizado por representantes da mesofauna do solo como oligoquetas, formigas, térmitas e outros. Os invertebrados do solo, por outro lado, possuem uma capacidade enzimática limitada, restringindo-se à digestão de proteínas, lipídeos e glicídios simples, não degradando compostos como a celulose ou a lignina. Além de atuarem como reguladores da atividade microbiana, os invertebrados do solo agem como fragmentadores do material vegetal modificando-o estruturalmente (SANTOS; CAMARGO, 1999).

As interações entre os microrganismos e a fauna do solo são críticas para a regulação da decomposição (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999). Os invertebrados e os microrganismos são os principais agentes da desestruturação química e física que ocorre após a senescência ou morte de partes ou até de indivíduos inteiros. As associações da fauna com microrganismos, decorrentes tanto da ingestão simultânea com o alimento como de simbioses mutualísticas, promovem um sinergismo no sistema de decomposição. Os microrganismos, ao serem transportados pelos invertebrados do solo, obtêm uma maior dispersão no ambiente, ao passo que os invertebrados, ao utilizarem as enzimas produzidas pelos microrganismos, ampliam os substratos energéticos a serem explorados. O aumento substancial da quantidade de microrganismos que ocorre durante a passagem pelo tubo digestivo dos invertebrados torna as fezes pontos de grande atividade de microrganismos, promovendo a decomposição e liberação de nutrientes. Além disso, esses depósitos de fezes podem agir como inóculo de microrganismos sobre a serapilheira (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A interação da fauna com microrganismos e plantas é capaz de modificar funcional e estruturalmente o sistema do solo, exercendo uma regulação sobre os processos de decomposição e ciclagem de nutrientes. Dessa forma, podem ser

identificados vários sistemas biológicos de regulação: sistema da serapilheira e raízes superficiais, sendo a serapilheira a principal fonte de energia; sistema da rizosfera, cuja produção de exsudados estimula intensa atividade microbiana; sistema drilosfera, que se caracteriza pelo conjunto de estruturas do ambiente elaboradas pelas minhocas; sistema termitosfera, que compreende a porção do ambiente sob influência dos cupins (SANTOS; CAMARGO, 1999).

2.2.3 Microrganismos e as Suas Interações nas Camadas Superficiais do Solo

O solo é um habitat perfeito para o desenvolvimento de grande biodiversidade. Um grama de solo pode ter uma mistura complexa de espécies microbianas. Os grupos que compõem a microbiota do solo incluem algas, fungos, actinomicetos, bactérias, protozoários e vírus. Vivem e proliferam variados grupos de organismos que interagem e competem por recursos bióticos e abióticos. O solo florestal é um habitat que oferece ambientes especiais; que estimula o desenvolvimento microbiano; e as camadas superficiais e a rizosfera são ambientes propícios para os processos microbianos na recuperação da floresta.

As diferenças na biomassa microbiana ao longo do perfil do solo refletem a distribuição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica (VARGAS; SCHOLLES, 2000). Encontraram-se maiores valores para a biomassa e população microbianas na camada 0-5 cm, devido ao acúmulo de resíduos vegetais e de nutrientes verificados na camada superficial (CATTELAN; GAUDÊNCIO; SILVA, 1997; VARGAS; SCHOLLES, 2000).

A biomassa microbiana usualmente decresce com o incremento da profundidade no solo e o tamanho da comunidade de fungos decresce mais rapidamente do que a comunidade de bactérias. A habilidade da comunidade das subcamadas para usar os substratos é diferente quando comparada com a população superficial (TURCO; BLUME, 1999). Os horizontes de solo demonstram a

decrecente influência do clima e dos fatores bióticos com o aumento da profundidade (RICKLEFS, 1996).

A flutuação sazonal no desenvolvimento microbiano é maior nas camadas superiores do solo, onde existem as maiores oscilações na umidade e temperatura e as maiores variações na cobertura e aporte de nutrientes (CATTELAN; VIDOR, 1990). Os resíduos mantidos na superfície, além de constituir uma fonte de C orgânico e nutrientes possuem menores variações de temperatura e umidade do solo. A permanência dos resíduos vegetais na superfície condiciona o sistema solo-planta a uma dinâmica própria, caracterizada por processos físico-bioquímicos que se desenvolvem sob maior umidade, menor temperatura e maiores teores de matéria orgânica. Isso propicia aumentos na atividade biológica na superfície e nas camadas superficiais do solo (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999; VARGAS; SCHOLLES, 2000).

CATTELAN e VIDOR (1990) observaram que, nos sistemas com maior produção de biomassa vegetal e acúmulo de resíduos na superfície, o solo fica eficientemente protegido, ocorrendo uma diminuição das variações térmicas e hídricas, assim como da erosão. Esses sistemas constituem alternativas promissoras para a recuperação e conservação de solos degradados. CATTELAN, GAUDÊNCIO e SILVA (1997) observaram maiores valores para a biomassa microbiana total e para as contagens das bactérias, na camada de 0-5 cm. A permanência dos resíduos vegetais na camada superficial protege o solo, diminui as oscilações de temperatura e umidade na superfície e, conseqüentemente, causa mudanças qualitativas e quantitativas nos microrganismos e em sua atividade, embora pouco se saiba do envolvimento da microbiota nesses efeitos (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999). A presença de resíduos no solo pode aumentar a infiltração, reduzir a evapotranspiração e a perda de matéria orgânica do solo, além de estimular as comunidades microbianas. Um aumento na disponibilidade de energia, associada à existência de novos habitats favoráveis à colonização, contribui para um aumento da densidade e diversidade de

todos os grupos da fauna de solo. Os organismos do solo podem responder de maneira diferenciada à aplicação de coberturas, de acordo com os hábitos das diferentes espécies. É importante que se considere a qualidade do material dos resíduos (SANTOS; CAMARGO, 1999).

As plantas com alta produção de resíduos possibilitam aumento da atividade microbiana, além dos benefícios da maior disponibilidade de carbono orgânico (VARGAS; SCHOLLES, 2000). A diversidade vegetal, além de contribuir para a quebra do ciclo dos patógenos, é muito importante para a manutenção ou aumento da biodiversidade do solo, fazendo com que o mesmo seja biologicamente mais ativo e com maior potencial produtivo. CATTELAN, GAUDÊNCIO e SILVA (1997) verificaram que o desenvolvimento microbiano estava relacionado com a capacidade produtiva no solo. Esse efeito se deve à conjunção de fatores como, entre outros, proteção do solo mediante resíduos, maior retenção de umidade, efeito rizosférico das plantas, maior disponibilidade de matéria orgânica e melhores condições físicas do solo.

O compartimento formado pela serapilheira e pelo solo representa fonte de carbono e energia para os organismos do solo, mas também o habitat onde todas as ações dos organismos ocorrem, garantindo a sua sobrevivência e reprodução. O conjunto serapilheira-solo é o sítio de todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes onde se concentram os organismos responsáveis pela tarefa de fragmentar as cadeias carbônicas elaboradas pelos organismos autotróficos. A serapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável (SANTOS; CAMARGO, 1999). A presença de diferentes espécies vegetais determina a quantidade acumulada (MASON, 1980), a qualidade do vegetal incorporado ao solo, a persistência dos resíduos na serapilheira, a sua taxa de decomposição (VARGAS; SCHOLLES, 2000), concentração de nutrientes e a capacidade de reter água. A variabilidade consiste em uma mistura de materiais formadores, oriundos de diferentes espécies arbóreas com características tais como

teor de lignina e nutrientes, resistência, componentes secundários, massa e tamanho do material. Essas diferentes serapilheiras, em um mesmo ecossistema, apresentam características diferenciadas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A diversidade de espécies vegetais altera a composição da comunidade microbiana, o crescimento microbiano que atua neste processo (VARGAS; SCHOLLES, 2000) e estimula a biodiversidade microbiana, evitando a seleção de espécies microbianas (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999). A comunidade microbiana pode ser afetada pela disponibilidade de substratos no solo, composição dos resíduos vegetais (VARGAS; SCHOLLES, 2000). Quanto mais diversa for a cobertura vegetal, maior será o número de nichos a serem colonizados, resultando em uma maior diversidade das comunidades da fauna de solo, cuja ação cria novos recursos tanto tróficos quanto espaciais. Esses microhabitats gerados possibilitam a colonização de várias espécies da fauna do solo com diferentes estratégias de sobrevivência. Observa-se que, nos ecossistemas florestais, 50% ou mais da fauna do solo está associada à serapilheira, uma vez que o principal aporte é proveniente da parte aérea. Os plantios arbóreos monoespecíficos possuem densidades totais inferiores aos ecossistemas florestais nativos, o que representa uma menor diversidade da fauna de solo nesses sistemas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Quando entre dois microhabitats favoráveis encontra-se um microhabitat altamente desfavorável, dificulta-se a dispersão e a sobrevivência das espécies mais suscetíveis. Encontram-se espaços sem vegetação, onde o solo, constituído quase que somente por areia, é seco e atinge altas temperaturas. Esses espaços vazios criam uma verdadeira barreira à dispersão de grupos de tamanho reduzido, com mecanismos limitados de proteção contra a perda de água (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Nas áreas degradadas de regiões tropicais, o processo de revegetação está diretamente relacionado com a interação entre as raízes e os grupos funcionais de microrganismos. As plantas pioneiras podem sobreviver sob condições adversas devido à presença de microrganismos na rizosfera (ANDRADE, 2002).

2.2.4 Microrganismos e suas Interações na Rizosfera

O ambiente ao redor das raízes das plantas ou o volume de solo que é influenciado biológica e bioquimicamente pela raiz é conhecido como rizosfera e é um microcosmo em equilíbrio, representando uma região de intensa atividade microbiana, onde as interações microrganismo-microrganismo e microrganismo-planta são evidentes. A densidade de microrganismos na capa fina do solo aderida às raízes é realmente alta e a interação metabólica entre a microbiota e as raízes é extremamente complexa (ANDRADE, 1999).

Devido à maior parte dos processos bioquímicos, envolvidos nos ciclos dos elementos, terem lugar em meio aquoso, os processos propriamente ditos não diferem marcadamente nos sistemas aquáticos e terrestres. Nos sistemas terrestres, a reciclagem de nutrientes dos detritos tem lugar próximo às raízes e a decomposição dos detritos ocorre, para a maioria, aerobicamente e, assim, relativamente rápida. A reciclagem de nutrientes, a partir de detritos sob condições úmidas e quentes e uma eficiente retenção de nutrientes, sustentam uma alta produtividade (RICKLEFS, 1996).

Exsudados radiculares, secreções, mucilagens e alterações físico-químicas criam o “efeito rizosfera”, que é manifestado pela intensa atividade microbiana associada a esse ambiente (ROSADO; DUARTE; MENDONÇA-HAGLER, 1999; COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999; ANDRADE, 1999). Os microrganismos são estimulados pela raízes e a atividade microbiana depende e se beneficia dos componentes sintetizados pela planta, que são liberados pela raiz. Esse estímulo rizosférico aos microrganismos varia com a espécie vegetal e com a fase de maturidade da planta (CATTELAN; GAUDÊNCIO; SILVA, 1997). A comunidade microbiana sofre mudanças qualitativas e quantitativas, associadas ao crescimento da planta. Quando a planta entra em senescência, a atividade fisiológica diminui, baixando a liberação de exsudados e conseqüentemente a atividade microbiana. A planta emite sinais químicos que atraem determinados grupos de microrganismos e suprem as suas exigências nutricionais (ANDRADE, 1999).

O solo adjacente às raízes sofre grande influência destas, principalmente devido aos exsudados que são fontes seletivas de carbono, e aos tecidos radiculares mortos. Os exsudados são mais prontamente disponíveis aos microrganismos do que os restos vegetais. As raízes também exercem influência sobre muitos fatores tais como pH, CO₂, O₂, N₂. Estes afetam o grupo de microrganismos e assim o efeito rizosférico pode ser considerado, em grande parte, responsável pelo incremento seletivo de microrganismos (ANDRADE, 1999). O efeito das raízes pode ser diferenciado sobre os diferentes grupos de microrganismos, sendo as bactérias, normalmente, mais beneficiadas do que os fungos e atinomicetos (CATTELAN; GAUDÊNCIO; SILVA, 1997). É possível que determinadas plantas possam selecionar populações microbianas mais eficientes em manter C, N e outros nutrientes no sistema solo-plantas. Algumas plantas são capazes de estabelecer associações com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e acumular grande quantidade de Nitrogênio (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999).

Por sua vez, os microrganismos podem afetar as raízes por distintos mecanismos: influenciando a rizogênese, a morfologia, a membrana celular, o metabolismo e alterando a disponibilidade dos nutrientes às plantas, estimulando ou inibindo o desenvolvimento das plantas. Pode-se dizer que as interações entre plantas e microrganismos são reguladas pelos mecanismos de *feedback* positivos ou negativos, de acordo com a necessidade dos mesmos (ANDRADE, 1999).

Os fungos, além do seu papel na decomposição, na associação, que é chamada de micorriza, aumentam a capacidade da planta em extrair minerais do solo (RICKLEFS, 1996). Os fungos micorrízicos são componentes chave na microbiota do solo. Alguns microrganismos afetam a efetividade das micorrizas e, por sua vez, as micorrizas afetam a colonização microbiana da rizosfera. As interações entre fungos micorrízicos e microrganismos do solo afetam, por sua vez, a ciclagem de nutrientes (ANDRADE, 1999).

Os microrganismos podem liberar nutrientes, mas podem também liberar compostos que inibem o crescimento de outras espécies. A competição ocorre tanto por nutrientes como por locais específicos do substrato (MASON, 1980). Aceita-se a importância de comunidades microbianas que têm a tendência de ocupar os lugares mais favoráveis da rizosfera. Na sucessão da microbiota na rizosfera, com o passar do tempo, algumas populações são substituídas por outras melhores adaptadas às novas condições. Dentro de um ecossistema ocorrem sucessivas mudanças. A formação de uma comunidade começa com a invasão e colonização de um habitat por uma população microbiana. Os primeiros colonizadores, chamados microrganismos pioneiros estão capacitados à enriquecer o ambiente, melhorando assim as condições nutricionais e físico-químicas para que ocorra a colonização de outros grupos mais exigentes. Os microrganismos pioneiros apresentam mecanismos de dispersão eficientes, além de apresentarem fenótipos que variam de acordo com as condições do ambiente. Isto é possível devido a uma variedade de rotas metabólicas alternativas que os permitem utilizar inumeráveis compostos como fonte de energia e de carbono. Depois dessa pré-colonização, as condições do ambiente ficam melhores e preparadas para que outras populações estabeleçam-se, sucedendo, assim, as primeiras, por estarem melhor adaptadas às mudanças ocorridas. A sucessão termina com uma aparente estabilidade do sistema (ANDRADE, 1999).

Na dinâmica da colonização do sistema rizosférico, a liberação de compostos pelas raízes atrai e favorece o desenvolvimento de distintas comunidades microbianas que vão mudando com o tempo, em função do enriquecimento contínuo em exsudados radiculares e em compostos elaborados pela microbiota. Os microrganismos da rizosfera podem ser oportunistas e autônomos. Os oportunistas utilizam substratos liberados pelas plantas e animais, possuindo elevado nível de atividade, constante e rápido crescimento. Os autônomos são capazes de utilizar as substâncias húmicas, com atividade lenta, mas constante (ANDRADE, 1999).

O curto tempo de geração de muitos microrganismos pode fazer com que ocorra uma grande flutuação da população. O processo sucessional segue uma seqüência de trocas de populações, mas os fatores que determinam essa seqüência ainda são pouco compreendidos. As mudanças no meio ambiente podem interferir na ordenação da sucessão na comunidade microbiana (ANDRADE, 1999).

2.2.5 Microrganismos como Bioindicadores de Sustentabilidade

O meio ambiente de um indivíduo varia tanto temporal como espacialmente. Deste modo, os ambientes heterogêneos, que possuem uma faixa de características variantes requerem que os indivíduos façam escolhas concernentes ao uso do habitat. Cada organismo funciona melhor dentro de um limitado intervalo de condições, denominado espaço de atividade. A sobrevivência de cada indivíduo depende da sua habilidade em lidar com as variações do meio ambiente (RICKLEFS, 1996).

Atualmente, o grande desafio da ciência do solo é demonstrar a relação entre níveis de atividade biológica e o funcionamento sustentável do ecossistema (SANTOS; CAMARGO, 1999). Os processos microbianos são uma parte integral da qualidade do solo e a atividade dos microrganismos do solo pode servir como indicador biológico para a compreensão da estabilidade e produtividade dentro de um sistema (TURCO; BLUME, 1999). As características e a qualidade de um solo são determinadas, em grande parte, pelos organismos nele presentes (SANTOS; CAMARGO, 1999). A microbiota do solo é considerada bioindicador da qualidade do solo (VARGAS; SCHOLLES, 2000); é uma medida do *status* biológico do solo (SANTOS; CAMARGO, 1999). É evidente que a produtividade é fundamentada nos processos biológicos de renovação do solo e em relações amplas do sistema solo-planta-ambiente (SIQUEIRA; MOREIRA; LOPES, 1999). A baixa capacidade produtiva ou qualidade do solo é reflexo da atividade microbiana debilitada. Recentemente TURCO e BLUME (1999) têm encontrado uma forte relação entre a biomassa microbiana e produtividade do solo.

Os microrganismos são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos (VARGAS; SCHOLLES, 2000; ANDRADE, 1999). As condições ambientais influenciam de forma significativa, estimulam ou inibem o desenvolvimento dos microrganismos, a sobrevivência da microbiota, a biodiversidade microbiana, a atividade de cada um dos grupos de microrganismos, a velocidade de decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, e a capacidade produtiva dos solos (VARGAS; SCHOLLES, 2000; ANDRADE, 1999).

O desenvolvimento microbiano é influenciado por vários fatores como a própria natureza da comunidade decompositora, a qualidade e quantidade do recurso vegetal, as características e disponibilidade de matérias orgânicas e nutrientes no substrato e as condições físico-químicas do ambiente (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A transformação de ecossistemas naturais florestais promove a modificação da estrutura do habitat e pode afetar drasticamente a quantidade e a diversidade da fauna do solo, tanto reduzindo-a, quanto promovendo-a. A recolonização, quando ocorre, é lenta e restrita a poucos grupos. Apenas alguns grupos de grande mobilidade e resistência a temperaturas elevadas e à perda de água, continuam explorando o ambiente. Em geral, qualquer intervenção na dinâmica dos ecossistemas florestais pode modificar a sincronia entre a disponibilidade de nutrientes oriundos da decomposição dos resíduos vegetais e a demanda nutricional das plantas, gerando, maior perda de nutrientes do solo (SANTOS; CAMARGO, 1999). A interferência nos processos de decomposição dos ecossistemas resulta numa rápida degeneração ambiental (MASON, 1980). Estresses ambientais podem favorecer a mortalidade dos microrganismos (VARGAS; SCHOLLES, 2000) e têm levado à perda da biodiversidade, desequilíbrio ecológico do solo, resultando no decréscimo da contribuição dos processos biológicos para a nutrição das plantas e para o controle biológico natural de pragas e doenças (SIQUEIRA; MOREIRA; LOPES, 1999). Os fungos, as bactérias e os actinomicetos têm sido afetados, diferencialmente, entre si (CATTELAN; TORRES; SPOLADORI, 1997).

No estudo de indicadores do solo, a microflora constitui-se em bom indicador de alterações no sistema (SANTOS; CAMARGO, 1999). As intervenções nos sistemas resultam em ambientes totalmente distintos, com reflexos na comunidade microbiana (CATTELAN; VIDOR, 1990). Os microrganismos podem indicar mudanças nas condições do solo associadas às intervenções (ELMHOLT, 1996; BUCKERFIELD et al., 1997). O componente microbiológico tem sido ignorado, embora os microrganismos sejam altamente sensíveis a degradação (TURCO; BLUME, 1999). Entende-se por solo degradado, aquele que apresenta declínio da sua qualidade e capacidade produtiva, diminuição da atividade e diversidade microbiana, perda da capacidade de regeneração natural causada pelo uso incorreto (DOS SANTOS, 1996; FAVARETTO, 1996; CARBONE, 1997).

A degradação da fração orgânica do solo em condições inadequadas de manejo é rápida e vem acompanhada de um processo global de degradação das condições químicas, físicas e biológicas dos solos (SANTOS; CAMARGO, 1999). As propriedades físicas e químicas do solo sofrem alterações e um dos primeiros efeitos observado é sobre os teores de matéria orgânica, afetando diretamente a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999). A degradação física do solo também é consequência do impacto sobre os organismos que contribuem para a sua agregação e estabilidade (SIQUEIRA; MOREIRA; LOPES, 1999).

Em sistemas de monitoramento da qualidade do solo, tem-se discutido o valor potencial de indicadores microbiológicos sensíveis e suas aplicações práticas (STENBERG, 1997, 1999) e tem-se abordado a correlação entre indicadores biológicos e químicos (AZIZ; MAKSOUUD; YOUSRY, 1997). Ainda são escassas as informações sobre o uso de bioindicadores microbiológicos do solo; estudos mais aprofundados são necessários para que se possa interpretar as suas relações com os fatores bióticos e abióticos do solo (COLOZZI FILHO; BALOTA; ANDRADE, 1999). Em vista de sua natureza complexa é uma necessidade promover a integração

do conhecimento de especialistas de diferentes disciplinas, que fornecerão as bases, facilitando a conservação dos recursos como o solo, a água e a biodiversidade (SIQUEIRA; MOREIRA; LOPES, 1999).

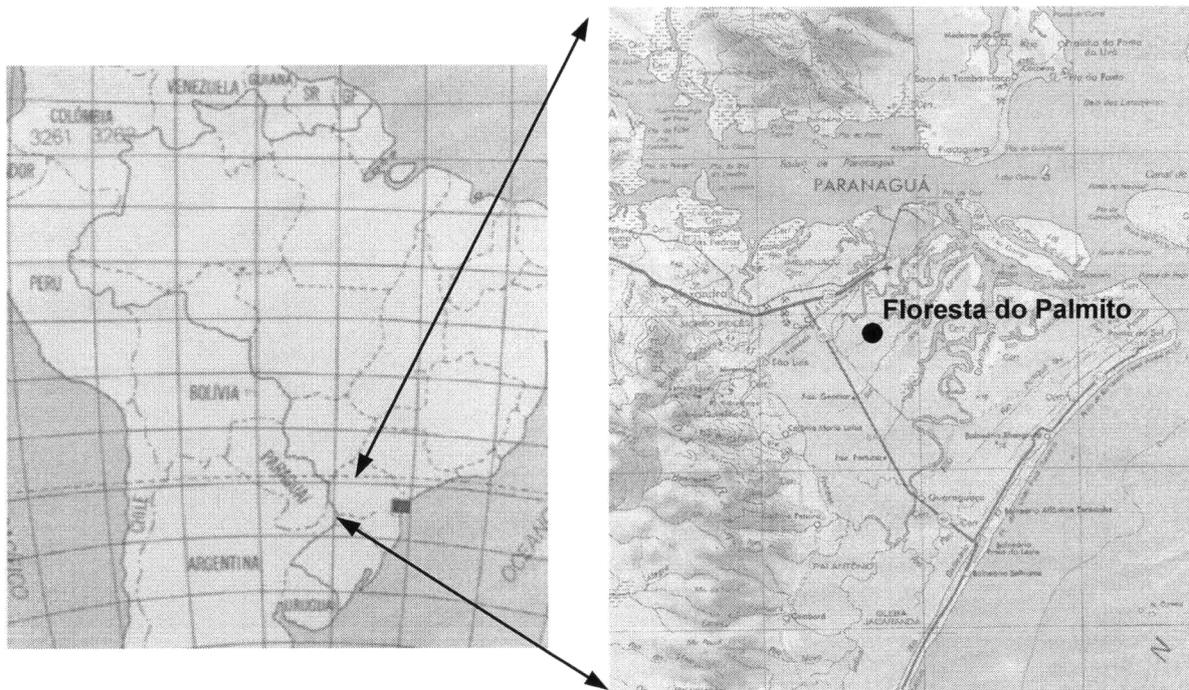
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização

A área de estudo está localizada na Planície Pleistocênica do Litoral Paranaense, município de Paranaguá-PR, entre as coordenadas: 25°35' de latitude Sul e 48°32' de longitude Oeste. As parcelas experimentais foram instaladas na Floresta Estadual do Palmito, atualmente administrada pelo Instituto Ambiental do Paraná como uma Unidade de Conservação (Mapa 1).

MAPA 1 – MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DA FLORESTA ESTADUAL DO PALMITO, MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ, NO LITORAL DO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL



FONTE: IBGE, 1983. Escala 1:250.000

3.1.2 Geomorfologia

No litoral do Estado do Paraná encontram-se dois domínios geológicos principais: o escudo cristalino, representado pela Serra do Mar, e a planície litorânea representada por depósitos sedimentares continentais e costeiros (ÂNGULO, 1992). No passado mais remoto, ou mesmo sub-atual, o litoral paranaense foi palco de acentuadas mudanças paleogeográficas e paleoambientais causadas pelas variações climáticas e do nível do mar. A região costeira do Paraná sofreu no Quaternário diversas transgressões e regressões marinhas de caráter cíclico. A planície costeira do Paraná apresenta sinais evidentes de uma ingressão marinha, que penetrou profundamente entre os cordões arenosos das restingas e nos vales do sistema hidrográfico imediatamente relacionado à área atualmente ocupada pela Baía de Paranaguá. A porção oriental da Baía de Paranaguá é limitada em grande extensão pelos terraços arenosos, conhecidos pela designação geral de restinga. Estes terraços de origem marinha e eólica, são uma das unidades do plano sedimentar quaternário e são formados por uma série de cordões arenosos de baixa altura, dispostos paralelamente à linha de praia atual (BIGARELLA, 1978).

3.1.3 Clima

A faixa litorânea do Estado do Paraná tem seu clima classificado como Af, segundo a classificação de Koepen, que o caracteriza como clima tropical chuvoso, sem estação seca e isento de geadas. Apresenta índices médios de umidade relativa do ar maiores que 86%, em virtude da influência oceânica e da transpiração das matas pluviais existentes (IAPAR 1978; BIGARELLA, 1978).

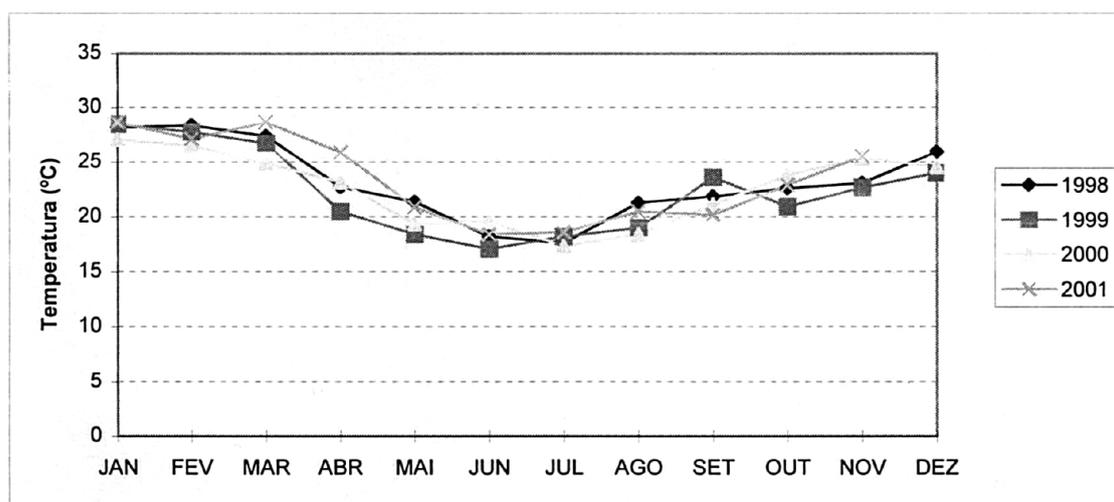
Devido à inexistência de dados climáticos específicos ao local de estudo, no presente trabalho são utilizados os dados de temperatura e precipitação pluviométrica de 1998 a 2001, fornecidos pela SEAB/ DERAL, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, e SIMEPAR/ PR, Sistema Meteorológico do Paraná, coletados na estação Paranaguá/Morretes (IAPAR/ INEMET).

A temperatura média do ano de estudo (2001) mostrou uma tendência similar aos anos de 1998 a 2000. Assim, janeiro, fevereiro e março foram os meses com maiores temperaturas. De abril até julho a temperatura apresentou um declínio e voltou a subir a partir de agosto até atingir os maiores valores novamente em janeiro (Gráfico 1 e Gráfico 2).

A precipitação do ano de estudo (2001) também mostrou uma tendência similar aos anos de 1998 a 2000 (Gráfico 3 e Gráfico 4), com as maiores precipitações e o maior número de dias de chuva, ocorrendo em janeiro, fevereiro e março, semelhantemente à temperatura. Os meses mais secos situaram-se, de maneira geral, entre abril e junho.

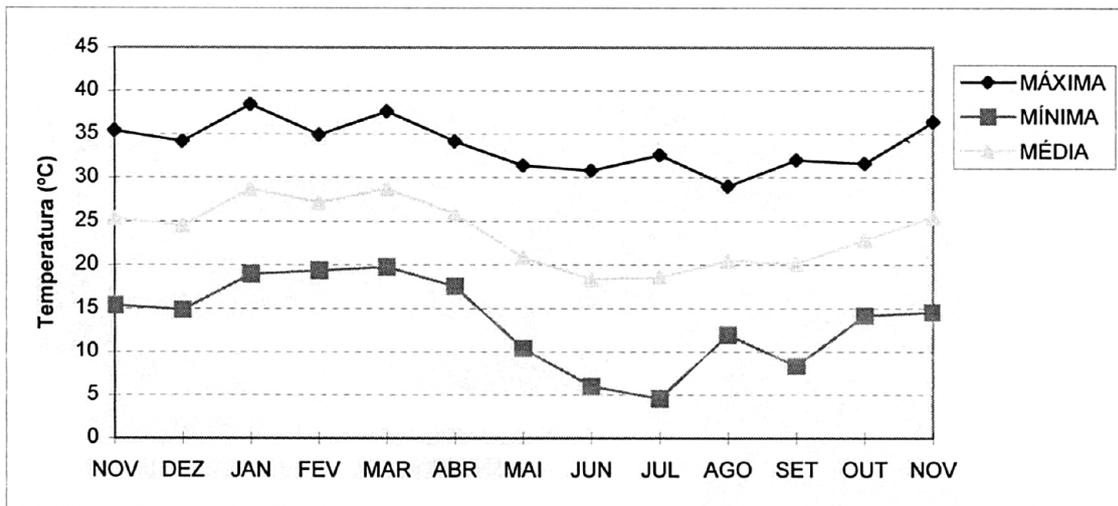
A precipitação acumulada no ano 2001 até o mês de novembro foi 2063,5 mm, estando esta quantidade dentro dos valores médios para Paranaguá, (2000 a 2500 mm) (Gráfico 5). E a precipitação de cada mês está dentro do normal do mês para Paranaguá (Gráfico 6).

GRÁFICO 1 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR OCORRIDA ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ



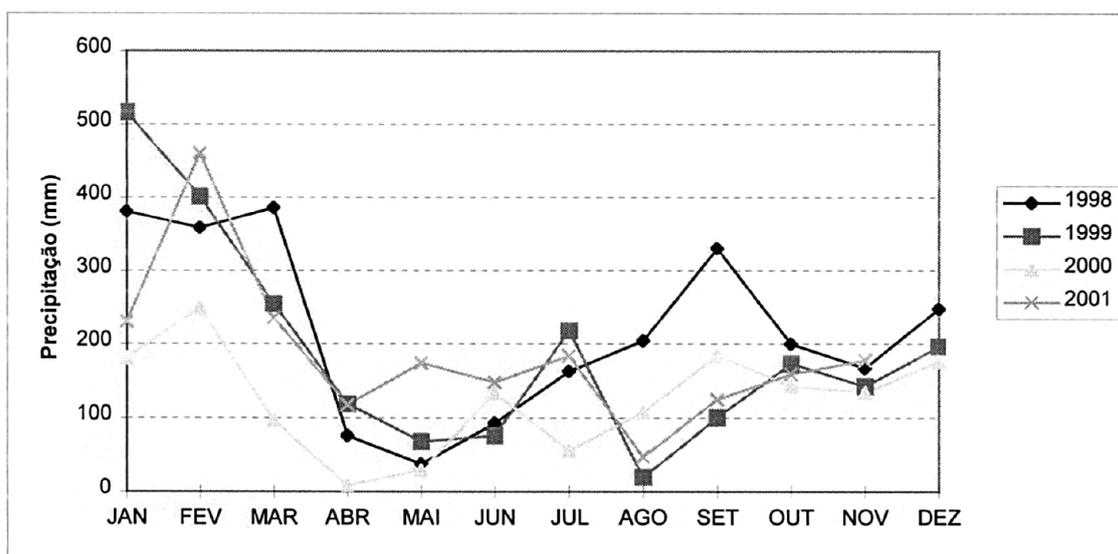
FONTE: IAPAR/INEMET

GRÁFICO 2 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA DO AR OCORRIDAS DURANTE O PERÍODO DO PRESENTE ESTUDO EM PARANAGUÁ, NOVEMBRO 2000 - NOVEMBRO 2001



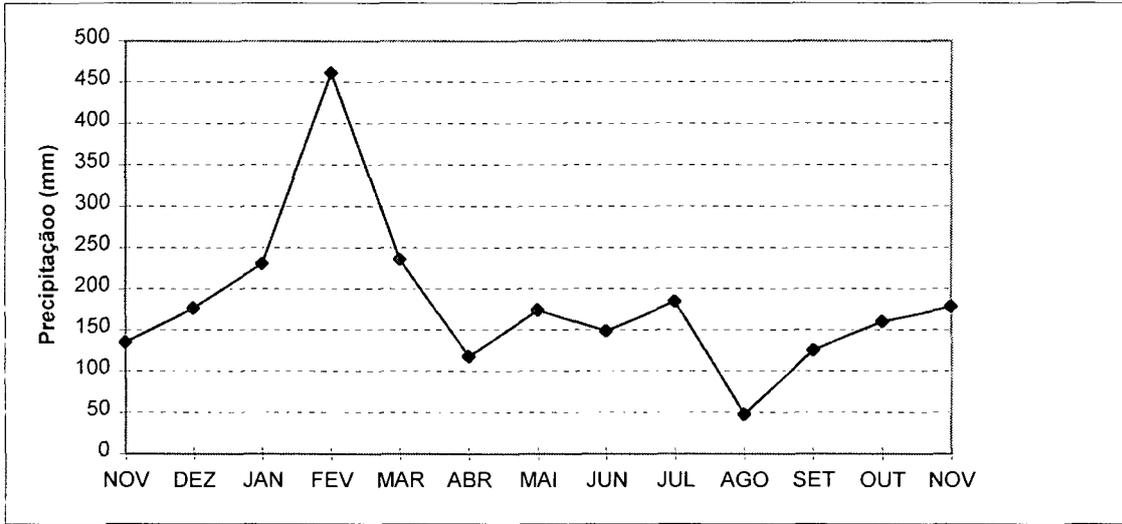
FONTE: IAPAR/INEMET

GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO OCORRIDA ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ



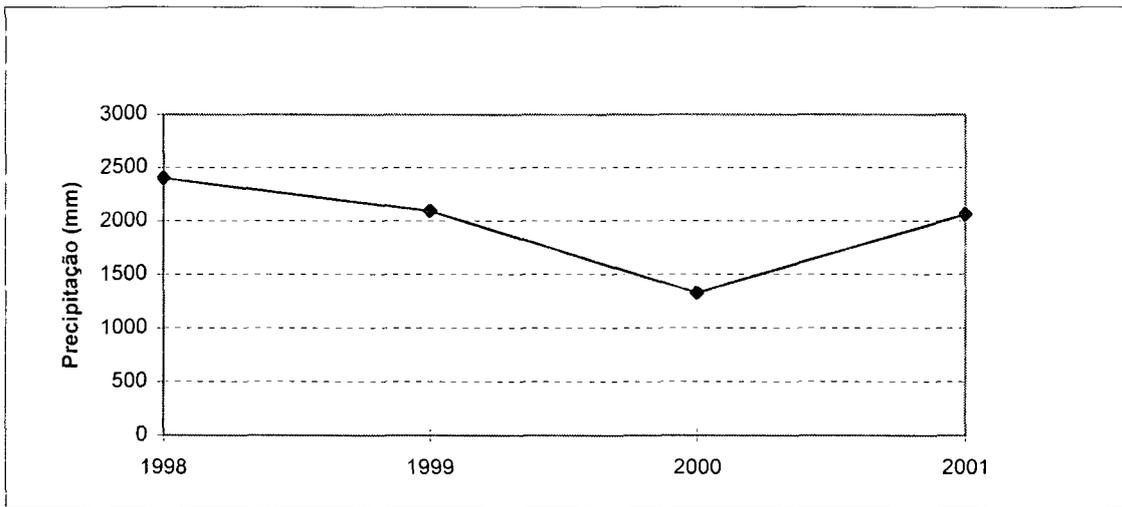
FONTE: IAPAR/INEMET

GRÁFICO 4 – VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO OCORRIDA DURANTE O PERÍODO DO PRESENTE ESTUDO EM PARANAGUÁ, NOVEMBRO 2000 - NOVEMBRO 2001



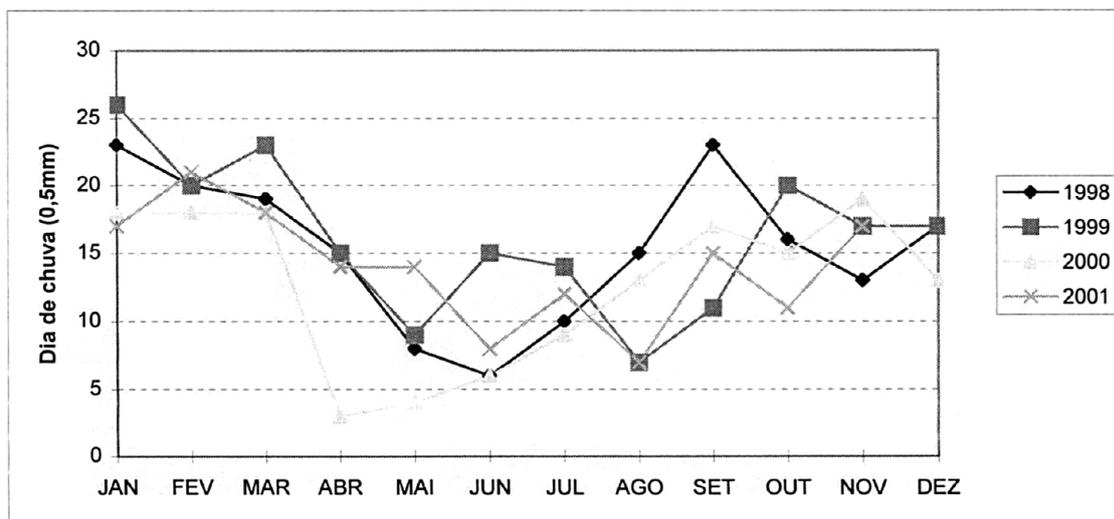
FONTE: IAPAR/INEMET

GRÁFICO 5 – PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ



FONTE: IAPAR/INEMET

GRÁFICO 6 – DIAS DE CHUVA POR MÊS ENTRE 1998 E 2001 EM PARANAGUÁ



FONTE: IAPAR/INEMET

3.1.4 Vegetação

No Brasil, a classe de formações da Floresta Ombrófila Densa é representada por duas grandes regiões: a da Bacia Amazônica (Floresta Amazônica) e a da Região Costeira Atlântica. Originalmente esta classe de formações florestais ocupava uma faixa ao longo da costa atlântica brasileira. A região litorânea do Paraná detém atualmente um dos mais significativos remanescentes de Floresta Atlântica do Brasil.

As formações pioneiras compreendem as tipologias vegetais de caráter edáfico que habitam os ambientes instáveis. A chamada “Vegetação de Restinga” é um exemplo de formação pioneira. Muitas vezes ela pode representar a vegetação de transição entre o manguezal e a Floresta Ombrófila Densa. Em geral, a vegetação de Restinga é bastante densa, porém podem surgir locais abertos, dominados por líquens. É notável a grande diversidade de bromélias e orquídeas que conferem a este ambiente uma fisionomia característica. Considera-se Restinga tanto a planície de sedimentação marinha como também a formação de vegetação pioneira que sobre ela se instala (JASTER, 1995).

A Floresta Ombrófila Densa é um tipo de vegetação caracterizado pela presença de macro e mesofanerófitas, bem como pela grande quantidade de epífitas e lianas lenhosas (VELLOSO; RANGEL; LIMA, 1991). De acordo com a altitude em que se encontra, é subdividida nas formações Floresta Ombrófila Densa de Planície ou das Terras Baixas, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Montana e Alto-Montana.

Os limites entre as tipologias nem sempre são nitidamente visíveis, ocorrem zonas de transição com maior ou menor grau de expressão. Entre a vegetação de Restinga e a Floresta Ombrófila Densa de Planície, a transição se apresenta de maneira muito discreta, uma vez que a diferenciação entre as duas é subjetiva e conceitual, referindo-se apenas ao grau de desenvolvimento da comunidade estudada (JASTER, 1995).

3.1.5 Fases da Sucessão Vegetal

A floresta original que inicialmente recobria a área da Floresta do Palmito corresponde à Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. A floresta primária foi retirada em grande parte da área em diferentes épocas e por diferentes razões. Nas áreas que foram selecionadas para este estudo foi feito o corte raso da floresta e feito o cultivo, principalmente de mandioca e abacaxi, por cerca de 4 (quatro) anos. Depois, as áreas foram abandonadas e encontram-se atualmente em processo de regeneração natural, encontrando-se atualmente em distintos estádios sucessionais. As parcelas selecionadas são representativas de fases da sucessão ecológica deste ecossistema e foram aqui nominadas: fase inicial, fase intermediária, fase avançada, respectivamente com 20, 33 e 58 anos de idade em 2002.

Segundo WISNIEWSKI et al. (1997), as fases sucessionais podem ser descritas conforme segue-se: A fase inicial trata-se de uma restinga baixa, esparsa e pouco diversificada, com 4 metros de altura média. As árvores, bem espaçadas entre si, formam touças oriundas de rebrotamentos e seus troncos têm diâmetros pequenos, em média em torno de 5 cm, e atingem alturas de cinco metros. A fisionomia é

homogênea e poucas são as plantas epífitas, raras as bromélias. O solo é em grande extensão, especialmente em clareiras, coberto por líquens. A camada orgânica é incipiente, havendo muitos pontos onde a areia fica exposta, aguardando colonização. A partir da fase intermediária começa a surgir grande porcentagem de árvores mortas, indicando a substituição das espécies no processo sucessional. Esta área comporta uma floresta bem mais desenvolvida onde, a diversidade é maior e a regeneração natural das espécies arbóreas é mais numerosa. Não há clareiras na vegetação e a floresta é sombreada e úmida. As bromélias formam aglomerados no solo e sobre os galhos das árvores. O solo está coberto completamente por uma camada orgânica. A área na fase avançada comporta uma floresta madura, com três estratos distintos. A floresta é menos aberta em função do sub-bosque mais denso. Todo o solo encontra-se coberto por algum tipo de vegetação. Aumenta a diversidade e a quantidade de plantas baixas. A camada orgânica tem maior espessura. A diversidade é muito superior. É significativo o número de árvores mortas. A variedade de espécies indica que a restinga passou a ser Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.

3.1.6 Solos

A classificação dos solos está baseada no sistema proposto pela EMBRAPA (1999). O solo da área de estudo foi classificado como Espodossolo, com diferenças na espessura e profundidade de ocorrência dos horizontes, assim como no grau de consistência do horizonte espódico. O solo apresenta-se moderada a fortemente ácido em todo o perfil, normalmente com saturação por bases baixa.

As principais características físicas e químicas das camadas superficiais do solo nas três áreas de estudo são apresentadas nas tabelas 1 e 2. A espessura da camada orgânica é apresentada na tabela 3 (WISNIEWSKI et al. 1997).

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO SOLO MINERAL DE ESPODOSSOLO, EM FUNÇÃO DA FASE SUCESSIONAL.

Fase	Idade	Prof. (cm)	pH	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	T	m v		P	C	N	C/N
										%					
cmlc.dm ⁻³															
Inicial (I)	12	0,0-2,5	3,8	0,4	11,3	5,7	3,3	0,2	17,2	7	35	11,6	65,9	1,9	35
		2,5-5,0	3,4	0,7	14	2,8	1,5	0,1	16,8	21	20	9,6	51,2	1,4	37
		5,0-8,0	3,3	0,7	9,6	1,6	0,9	0,1	11,5	30	16	7,4	40,9	1,2	35
Intermediária (M)	25	0,0-2,5	2,9	1,8	17,8	1,0	0,3	0,2	18,9	62	8	7,8	71,1	2,4	30
		2,5-5,0	3,1	1,0	9,7	0,8	0,2	0,1	10,5	53	9	4,4	34,1	1,2	28
		5,0-8,0	3,2	0,6	7,4	0,7	0,2	0,1	8,1	46	10	3,2	24,6	0,8	33
Avançada (V)	50	0,0-2,5	3,1	1,3	19,8	2,2	0,6	0,2	22,1	35	11	8,8	69,7	2,5	28
		2,5-5,0	3,1	0,9	11,8	1,2	0,4	0,1	13,0	42	11	4,8	39,6	1,6	25
		5,0-8,0	3,1	0,7	8,9	0,9	0,3	0,1	9,9	42	11	3,2	29,1	1,1	26

FONTE: WISNIEWSKI, 1997

TABELA 2 – GRANULOMETRIA DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DE ESPODOSSOLO, EM DIFERENTES FASES SUCESSIONAIS

Fase	Idade	Prof. (cm)	Areia fina	A. grossa	A. total	Silte	Argila
			%				
Inicial (I)	12 anos	0,0 – 2,5	62	12	74	22	4
		2,5 – 5,0	68	20	88	8	4
		5,0 – 8,0	68	22	90	6	4
Intermediária (M)	25 anos	0,0 – 2,5	64	12	76	18	6
		2,5 – 5,0	72	16	88	8	4
		5,0 – 8,0	72	16	88	10	2
Avançada (V)	50 anos	0,0 – 2,5	64	14	78	18	4
		2,5 – 5,0	60	10	70	26	4
		5,0 – 8,0	74	12	86	12	2

FONTE: WISNIEWSKI et al., 1997

TABELA 3 – ESPESSURA MÉDIA DA CAMADA DE SERAPILHEIRA (CM) E QUANTIDADE MÉDIA (T HA⁻¹) ACUMULADA SOBRE ESPODOSSOLO NAS TRÊS FASES SUCESSIONAIS.

IDADE	12 ANOS	25 ANOS	50 ANOS
Espessura (cm)	1 – 3		16
Quantidade(t ha ⁻¹)	8,8		146,9

FONTE: WISNIEWSKI et al., 1997

A descrição geral morfológica dos horizontes orgânicos em função do processo de decomposição é apresentada a seguir. Segundo WISNIEWSKI et al.

(1997) o horizonte L: Folhas aparentemente recém caídas, praticamente intactas, com pouca fragmentação, presença de fungos. O horizonte L é mínimo nas três fases sucessionais, mostrando a rapidez da decomposição inicial. Horizonte F: Material bem mais decomposto. Intensa proliferação de raízes finas vivas, poucas com diâmetro igual ou superior a 2 mm e presença de substância fina conferindo coesão ao material. Os diversos fragmentos estão bastante unidos entre si em alguns pontos. Ocorrendo grande proliferação de fungos, difundidos por todo o horizonte. Material fragmentado com menos do 50% do tamanho original, grande quantidade de fragmentos de folhas, menores que 1 cm², embora em alguns casos ocorra contaminação do horizonte L com fragmentos maiores. Pode haver contaminação de outros sub-horizontes inclusive de horizonte mineral, causada por transporte pela fauna ou enchentes. Horizonte H: Em grau de decomposição elevada, apresenta grande acúmulo de substância fina que chega a compor mais que 50% do volume total com fragmentos vegetais em tamanho menor que no horizonte anterior, quase não se reconhece a origem dos poucos fragmentos existentes. Presença de raízes finas em menor quantidade, porém com predomínio de grossas. Os horizontes F e H vão se formando à medida que a floresta evolui. Na fase sucessional inicial, o horizonte orgânico é pouco desenvolvido, pois a produção de serapilheira é pequena.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL EM CAMPO E LABORATÓRIO

3.2.1 Coleta das Amostras no Campo

Em cada uma das parcelas de estudo foram coletadas amostras de solo em cada uma das estações do ano. Assim, primavera em novembro de 2000; verão em março de 2001; outono em junho de 2001 e inverno em setembro de 2001. A amostragem de solo foi feita coletando-se 10 amostras simples, aleatoriamente, em cada parcela, utilizando-se um coletor cilíndrico metálico com dimensões de 20 cm de altura e 12 cm de diâmetro (Figura 3). As 30 amostras simples foram conservadas em

geladeira durante o transporte até o Laboratório de Microbiologia Agrícola, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná para as análises.

FIGURA 1 – VISTA GERAL DA ÁREA REPRESENTATIVA DE FASE SUCESSIONAL INICIAL FLORESTA ESTADUAL DO PALMITO, PARANAGUÁ, PARANÁ

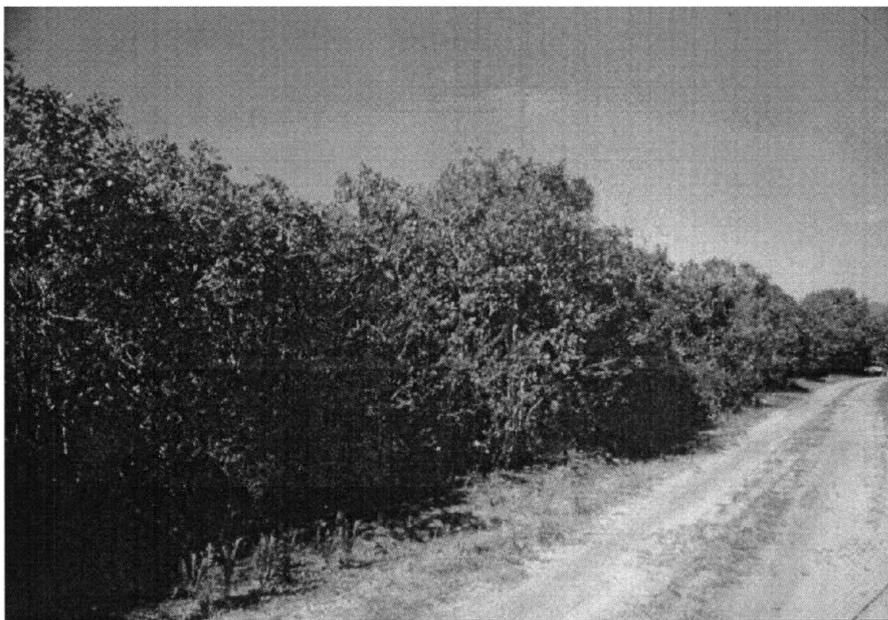


FIGURA 2 – COLETOR CILÍNDRICO UTILIZADO NA COLETA DE AMOSTRAS NO CAMPO



3.2.2 Separação dos Horizontes

No laboratório, foram retiradas as amostras dos coletores tendo-se cuidado para não desmanchá-las. Depois, foram separadas os horizontes F (fragmento de folhas), H (húmus) e A (solo mineral) com ajuda de uma faca. No caso das amostras provenientes da fase inicial, o horizonte H não estava totalmente formado e, por isso, foi feita uma peneiragem do horizonte A, com o auxílio de peneira de malha de 2,0 mm, o que possibilitou a separação de material orgânico com características próximas do horizonte H.

3.2.3 Preparo das Amostras Compostas

Depois de separados os horizontes, as 10 amostras simples, de cada uma das áreas, foram agrupadas em uma única amostra composta, por camada e por área, de onde foram retiradas as alíquotas para as análises.

3.2.4 Umidade do Solo

Para determinação da umidade foram retiradas alíquotas de 50g das amostras compostas, em número de uma por horizonte, por parcela e por estação do ano. Após pesagem, as amostras foram levadas à estufa para secagem até peso constante à temperatura de 65 °C. Após secagem, as amostras ficaram no dessecador até esfriar completamente. Foram pesados os recipientes com as amostras secas. Com estes dados a umidade gravimétrica foi calculada através da fórmula: $U (\%) = (P_u - P_s) \cdot 100 / P_s$, onde P_u refere-se ao peso da amostra úmida e P_s refere-se ao peso da amostra seca (EMBRAPA, 1979).

3.2.5 Matéria Orgânica do Solo

Para determinação do teor de matéria orgânica do solo foram retiradas alíquotas de 3 a 5g das amostras compostas, em número de três por camada, por parcela, no inverno. Após secagem dos cadinhos a 105 °C por 12 horas, foram levados

ao dessecador, até esfriar completamente. Foi anotado o peso do cadinho sem amostra. Posteriormente foi anotado o peso da alíquota úmida. Os cadinhos com as alíquotas úmidas foram levados à estufa para secagem à temperatura de 105 °C por 12 horas. Os cadinhos com as alíquotas secas e esfriadas foram pesados e levados até a mufla à temperatura de 600 °C por 4 horas para obter cinzas. Finalmente os cadinhos com as cinzas e esfriados foram pesados. Com estes dados o teor de matéria orgânica das amostras foi calculado através da fórmula: matéria orgânica = (cadinho + solo seco) - (cadinho + cinzas).

3.2.6 Avaliação da Quantidade de CO₂ Liberado Pelo Solo

A atividade de microrganismos no solo foi avaliada pela liberação de CO₂. Com o objetivo de avaliar a variação da atividade microbiana no solo foi utilizada a técnica da respirometria, segundo ÖHLINGER (1993).

Cada amostra foi testada em triplicata e o procedimento experimental foi complementado por prova em branco. Pesou-se 50g de solo e colocou-se em frasco hermético. Colocou-se um béquer com 20 mL de NaOH 0,5mol/L em cada frasco, fechou-se hermeticamente, incubou-se a 28 °C por um período total de 7 dias. Após a incubação de 3 dias, e abertura do frasco, imediatamente foi adicionado 1 mL da solução de BaCl₂ 50% saturada no béquer, para impedir que o Na₂CO₃ formado fosse desdobrado em NaOH + CO₂ novamente, quando da titulação. Foi retirado o béquer do frasco com o auxílio de uma pinça, e acrescentou-se 2 a 3 gotas do indicador Fenolftaleína 1%. O NaOH não utilizado durante a incubação da amostra de solo, foi titulado com HCl 0,5mol/L até o desaparecimento da cor rósea. Anotou-se a quantia de HCl gasto na titulação. Após a leitura correspondente aos 3 dias de incubação, novamente colocou-se um béquer com NaOH em cada frasco, fechou-se hermeticamente, incubou-se por 4 dias, e foi feita novamente a leitura. Procedeu-se aos cálculos da quantidade de CO₂ liberado por grama de solo durante o período de incubação de 7 dias.

3.2.7 Contagem de bactérias e fungos

Pretendeu-se verificar a viabilidade da técnica proposta por JAHNEL et al. (1999) para a escolha dos bioindicadores nos estudos de sucessão em florestas. No método de plaqueamento por gotas, foram utilizados os meios de cultura ágar nutriente, conforme BURNETT; PELCZAR e CONN¹, para determinação de bactérias, e o meio de Martin, com exclusão do rosa-bengala, para determinação de fungos, conforme MARTIN², citados por JAHNEL; CARDOSO; DIAS (1999, p. 554).

A composição dos meios utilizados foi: Ágar Nutriente (1.000 mL água, 10 g ágar, 3 g extrato de carne, 10 g NaCl, 5 g peptona); Meio de Martin (1.000 mL água, 10 g ágar, 1 g KH₂PO₄, 1 g MgSO₄.7H₂O, 5 g peptona, 10g dextrose, 0,03g estreptomicina). Os tubos de ensaio, após receberem 0,9mL do meio de cultura, foram autoclavados por 20 minutos a 120°C (1 atm). Os tubos com meio de cultura estéril foram mantidos em banho-maria a 40°C.

Para efetuar a série de diluições, obteve-se uma suspensão, em *erlenmeyer*, utilizando-se 10 g de solo e 90 mL de solução salina de NaCl a 0,85% estéril. As suspensões foram agitadas por 10 minutos em agitador com movimento circular-horizontal. Em câmara de fluxo laminar, partindo dessa suspensão, usando micropipeta, foram realizadas diluições sucessivas com alíquotas de 0,1 mL nos tubos de ensaio que continham 0,9 mL de meio de cultura, mantidos em banho-maria até o momento do plaqueamento. O plaqueamento do meio de cultura inoculado foi realizado em placas de Petri estéreis, com gotas de 0,04 mL, usando-se micropipeta. Foram plaqueados 5 tubos correspondentes a 5 diluições sucessivas. A partir de cada

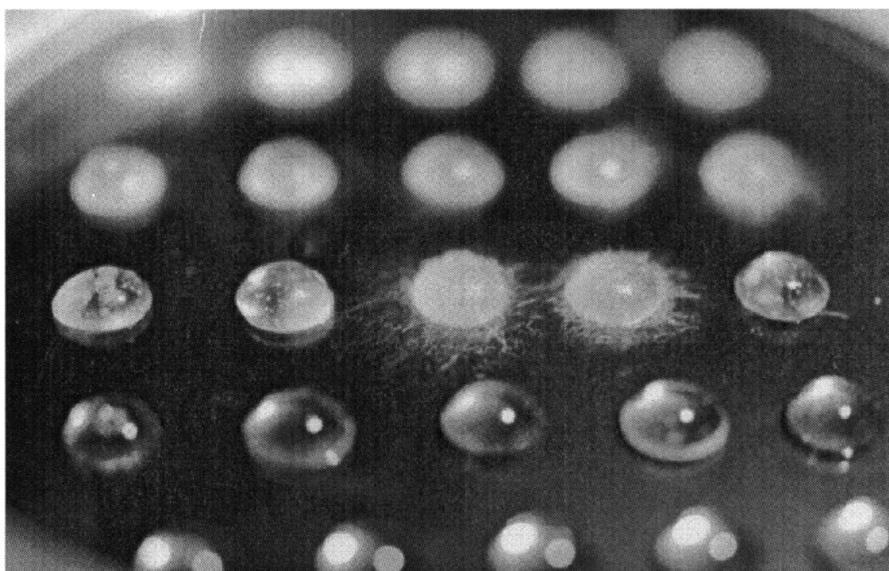
¹ BURNETT, G. W.; PELCZAR, M. J.; CONN, H. J. Preparation of media. In: SOCIETY OF AMERICAN BACTERIOLOGISTS. Manual of microbiological methods. New York: McGraw-Hill, 1957. p. 554.

² MARTIN, J.P. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungus. *Soil Science*, n. 134, p. 1528-1529, 1990.

tubo, foram tomadas 5 gotas, ou seja, foram realizadas 5 repetições de cada diluição. Assim, em cada placa, ficaram 25 gotas.

As placas foram vedadas com *Parafilm* e incubadas a 28°C por um período de 48 h. Após o período de incubação, foi determinado, com o auxílio de uma lupa, o número de gotas positivas, ou seja, aquelas em que ocorreu o crescimento de pelo menos uma colônia de microrganismos (Figura 3). A partir dos resultados obtidos em cada uma das diluições, foi possível estimar o número mais provável (NMP) de microrganismos. O NMP foi calculado com o auxílio de uma tabela de probabilidade (HUNGRIA; ARAUJO, 1994). Os resultados são expressos como NMP por grama de solo.

FIGURA 3 – PLACAS DE PETRI APÓS PLAQUEAMENTO DAS GOTAS E INCUBAÇÃO



3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para avaliação estatística dos dados obtidos, foi adotado o delineamento trifatorial, sendo os fatores respectivos às estações do ano, às fases da sucessão ecológica na floresta e aos horizontes do solo florestal. As estações do ano foram: Primavera, Verão, Outono e Inverno. A sucessão ecológica na floresta foi representada por três

fases: Inicial (I), Intermediária (M) e Avançada (V). Os horizontes do solo florestal foram sub-divididos em três níveis: Folhas fragmentadas (F), Húmus (H) e Solo Mineral (A). Para cada combinação entre os níveis de fatores foram efetuadas três repetições analíticas. As variáveis analisadas foram: (i) atividade microbiana, através da medição da respiração microbiana; (ii) contagem de bactérias e fungos através da metodologia do Número Mais Provável (NMP) de microrganismos.

A análise estatística dos dados foi feita por uma ANOVA para cada uma das variáveis. Quando a análise de variância do experimento mostrou que as médias de tratamento não eram estatisticamente iguais, foi aplicado o teste Tukey ao nível de 5% de significância para comparação das médias, duas a duas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 UMIDADE DO SOLO

Foi avaliado durante um ano o efeito das fases sucessionais e das estações do ano sobre a umidade em três horizontes da superfície do solo. Os resultados são apresentados na tabela 4 e nos gráficos 7 e 8.

Com relação ao efeito das fases sucessionais, pode-se observar que, de uma maneira geral, as amostras apresentam um gradiente crescente de umidade da fase Inicial para a fase Avançada. Este gradiente está certamente relacionado com o microclima das parcelas. Na fase I as árvores são menores e o ambiente é mais aberto, permitindo maior circulação do vento e maior incidência solar, o que deve provocar maiores perdas de umidade por evaporação e evapotranspiração. Além disso, a camada orgânica do solo é menos espessa, o que provoca menor acúmulo de umidade neste compartimento. Com o avanço da sucessão, a camada orgânica do solo aumenta e dossel florestal fica mais denso (WISNIEWSKI et al., 1997), favorecendo a retenção de umidade no ambiente.

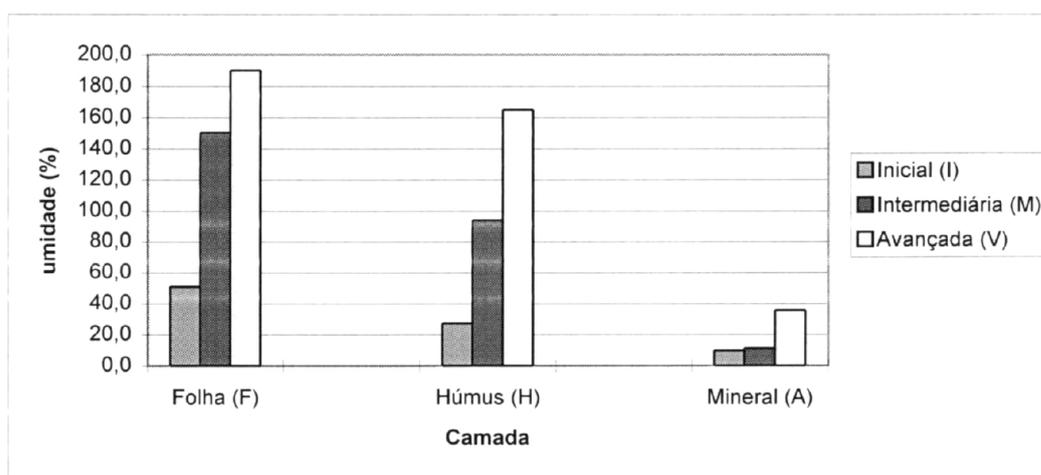
TABELA 4 – UMIDADE MÉDIA EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM TRÊS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO

HORIZONTE	FASES	UMIDADE (%)			
		Estações do Ano			
		Primavera	Verão	Outono	Inverno
Folha (F)	Inicial (I)	67,90	40,53	64,74	30,58
	Intermediária (M)	220,25	105,51	146,06	128,83
	Avançada (V)	269,00	131,48	193,26	166,67
Húmus (H)	Inicial (I)	22,36	15,71	35,06	35,98
	Intermediária (M)	105,86	125,63	72,89	71,35
	Avançada (V)	167,32	128,83	182,17	181,06
Mineral (A)	Inicial (I)	12,65	5,04	9,53	11,63
	Intermediária (M)	11,10	12,89	9,84	10,4
	Avançada (V)	42,29	27,36	43,06	29,13

Em valores absolutos, os maiores teores de umidade foram observados nos horizontes F e H, compostas de material orgânico com grande capacidade de retenção

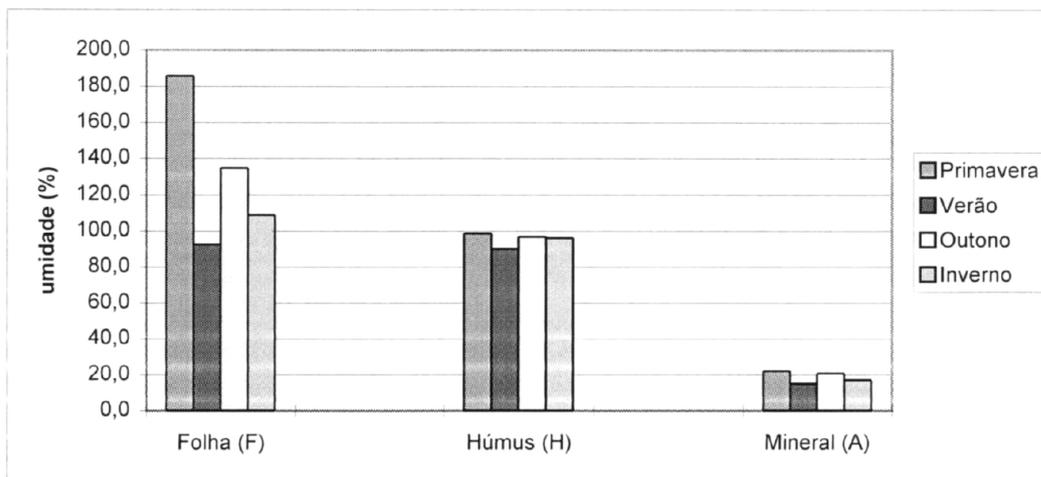
de água. Os valores, em alguns casos, são superiores a 100%, o que significa que o material reteve volume de água superior à sua massa seca. No horizonte A, composto principalmente de material mineral arenoso, como era de se esperar, a retenção de umidade foi bem baixa.

GRÁFICO 7 – UMIDADE EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DAS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA



Com relação ao efeito das estações do ano, de maneira geral, os menores valores de umidade foram encontrados no verão, época onde ocorrem as maiores temperaturas e conseqüentemente a maior evaporação. E os maiores valores na primavera, época de maior pluviosidade. Este efeito foi mais nítido no horizonte mais superficial (F), ficando menos claro nos horizontes H e A.

GRÁFICO 8 – UMIDADE EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO

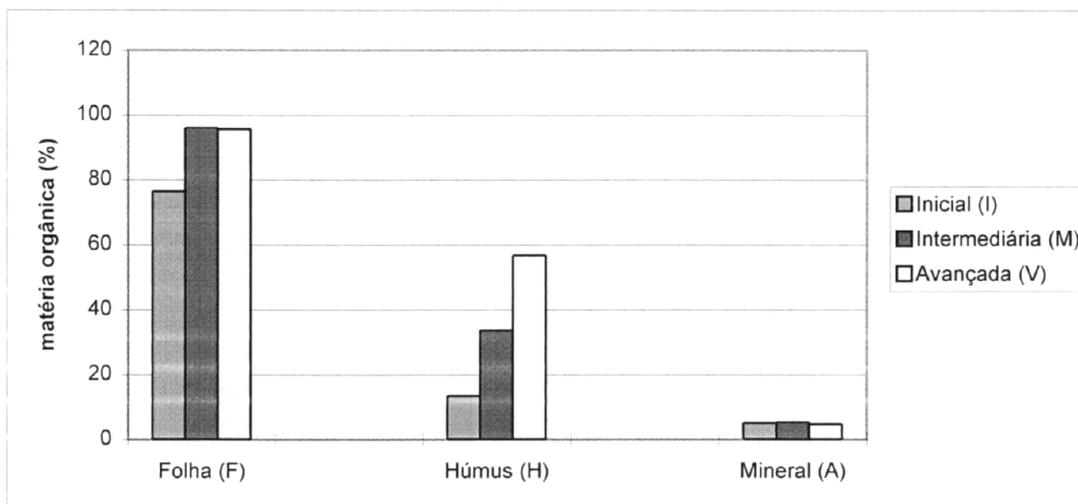


4.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais do solo foi avaliado nas amostras coletadas no inverno. Os resultados são mostrados no gráfico 9. Os maiores teores de matéria orgânica foram observados no horizonte F e os menores no horizonte A. Os valores observados no horizonte F, superiores aos do horizonte H, devem estar relacionados com alguma contaminação nas amostras pela parte mineral do solo.

Nos horizontes F e H, pode-se observar também um efeito das fases sucessionais, o qual expressa uma tendência de aumento da matéria orgânica com o avanço da sucessão. Este efeito foi mais expressivo no horizonte H. O húmus coletado na fase Inicial estava ainda em processo de formação e bastante misturado com o material mineral, o que explica os baixos valores encontrados. Talvez tenha ocorrido também alguma contaminação na fase Intermediária pois os valores estão inferiores a 50%, que seria o valor esperado neste tipo de material.

GRÁFICO 9 – MATÉRIA ORGÂNICA EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DAS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA



4.3 RESPIRAÇÃO MICROBIANA NO SOLO.

Foi avaliada durante um ano, nas quatro estações climáticas, a produção de CO₂ microbiano em cada camada do solo. Os resultados obtidos sobre a produção de CO₂ nos horizontes, F, H e A, podem ser vistos na tabela 5.

TABELA 5 – PRODUÇÃO MÉDIA DE CO₂ MICROBIANO EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM TRÊS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO

HORIZONTE	FASE	mg CO ₂ dia ⁻¹ 100 g solo ⁻¹			
		Primavera	Verão	Outono	Inverno
Folha (F)	Inicial (I)	145,64	162,24	156,02	128,87
	Intermediária (M)	249,27	201,3	238,19	234,46
	Avançada (V)	267,9	217,04	248,23	261,21
Húmus (H)	Inicial (I)	16,41	17,82	33,53	26,07
	Intermediária (M)	58,66	68,08	51,26	53,13
	Avançada (V)	51,25	42,19	53,5	68,6
Mineral (A)	Inicial (I)	3,89	6,05	5,28	7,48
	Intermediária (M)	5,12	2,84	2,65	2,66
	Avançada (V)	5,37	5,74	4,65	2,3

NOTA: Comparar letras na vertical. Valores seguidos por letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Na tabela 5, observa-se que existe um gradiente de produção de CO₂ entre os horizontes do solo na seguinte ordem: F>H>A. Isto indica que a atividade microbiana está concentrada principalmente nos horizontes orgânicos do solo. Este fato já era esperado, pois é neste horizonte do solo onde se encontra a maior quantidade de compostos orgânicos que estimulam o crescimento dos microrganismos. No horizonte F encontram-se os compostos orgânicos como açúcares, proteínas, amido, celulose (SANTOS; CAMARGO, 1999); é onde o processo de biodegradação é mais expressivo. No horizonte H, encontram-se os compostos mais resistentes, onde a atuação microbiana fica mais restrita aos microrganismos especialistas. No horizonte A, os teores de carbono e nutrientes são bem inferiores, o que explica a menor atividade microbiana. LIMA, VIEIRA e MARQUES (2001), na mesma área de estudo, em ano anterior, já haviam identificado este mesmo gradiente de produção de CO₂ com respeito às camadas de solo.

Outro fator responsável por este gradiente está relacionado à umidade nas amostras. Na tabela 4, os são apresentados os resultados da umidade nos horizontes do solo, pode-se observar o mesmo gradiente, F>H>A, observado para produção de CO₂. A relação entre a atividade microbiana e a umidade do meio tem sido mostrada em vários trabalhos (TIWARI; TIWARI; MISHRA, 1987; BARROS et al., 1995; PRADO; AIROLDI, 1999).

Observações de outros autores também concordam com os dados obtidos neste trabalho. Segundo COLOZZI FILHO, BALOTA e ANDRADE (1999); VARGAS SCHOLLES (2000) a permanência dos resíduos na superfície propicia aumentos na atividade biológica nas camadas superficiais do solo, dinâmica que se desenvolve sob maior umidade, menor temperatura e maior teor de matéria orgânica. Para VARGAS e SCHOLLES (2000), as diferenças na atividade microbiana ao longo do perfil do solo refletem a distribuição dos resíduos. Segundo MASON (1980) e SANTOS e CAMARGO (1999) o teor de matéria orgânica é governado pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas, de plantas, animais, microrganismos, e por uma

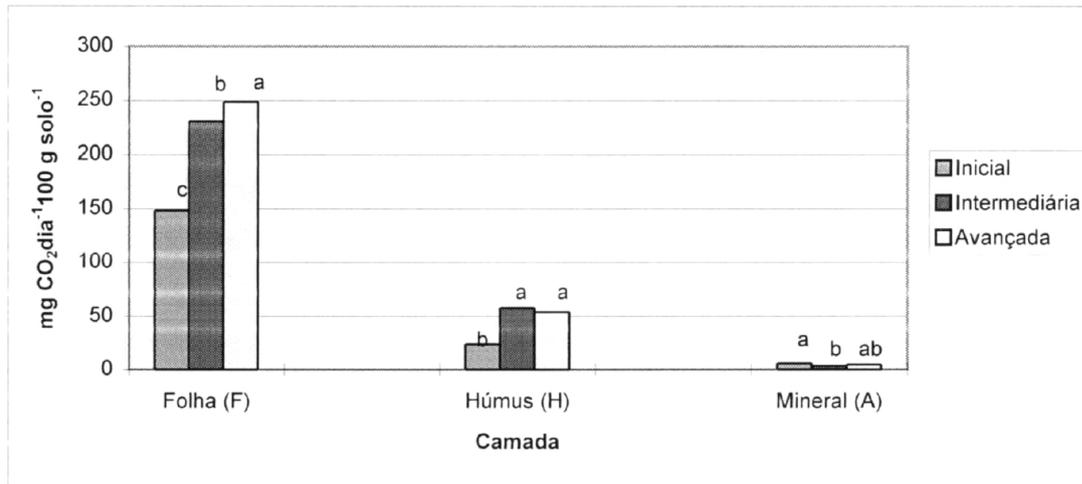
transformação contínua sob ação de fatores biológicos, físicos e químicos. A velocidade de degradação dos compostos orgânicos depende basicamente da estrutura de cada composto juntamente com as condições ambientais. SANTOS e CAMARGO (1999), afirmam que do conjunto serapilheira-solo, a serapilheira é a porção mais dinâmica onde abundantes comunidades de fauna estão associadas. A heterogeneidade vertical da serapilheira, ou seja a sua diferenciação em camadas é decorrente da velocidade de decomposição; realizada por microrganismos, ao longo do tempo, criando um gradiente de decomposição. O conjunto serapilheira-solo não só representa fonte de carbono e energia para os organismos do solo, como também é o habitat onde todas as ações dos organismos ocorrem.

É interessante observar que neste trabalho os horizontes F e H apresentaram raízes as quais podem estimular o desenvolvimento e atividade dos microrganismos nestes horizontes. Segundo SANTOS e CAMARGO (1999) no seu estudo em florestas sobre solos tropicais ocorre uma proliferação de raízes finas que buscam absorver diretamente os nutrientes liberados da matéria orgânica, mecanismo capaz de conservar nutrientes em solos de baixa disponibilidade de nutrientes. Segundo COLOZZI FILHO, BALOTA e ANDRADE (1999), as raízes são fonte de carbono no solo que estimula a atividade microbiana. ANDRADE (1999) afirma que o ambiente ao redor das raízes representa uma região de intensa atividade microbiana, onde as interações microrganismo-microrganismo e microrganismo-planta são evidentes e extremamente complexas. Os exsudatos das plantas criam o efeito rizosfera, que é manifestado pela intensa atividade microbiana associada a esse ambiente. Também para SANTOS e CAMARGO (1999) a produção de exudatos pela rizosfera estimula uma intensa atividade microbiana. Segundo CATTELAN, GAUDÊNCIO e SILVA (1997), ANDRADE (1999) os exsudatos são mais prontamente disponíveis do que os restos vegetais. As raízes também exercem influencia sobre as trocas gasosas no solo. Aceita-se a importância de comunidades microbianas que tem tendência de ocupar os lugares mais favoráveis da rizosfera.

4.3.1 Sucessão ecológica e respiração microbiana

O efeito da sucessão ecológica na produção de CO₂ nos diferentes horizontes do solo pode ser visualizado no gráfico 10.

GRÁFICO 10 – FLUTUAÇÕES DA PRODUÇÃO MÉDIA DE CO₂ MICROBIANO EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA



NOTA: Valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Os dados do gráfico 10 mostram que no horizonte F e no horizonte H a produção de CO₂ aumentou com a evolução da sucessão florestal, isto sendo mais evidente no horizonte F. No horizonte A não foi observada nenhuma tendência clara sobre o efeito das fases sucessionais na produção de CO₂. Este mesmo comportamento também foi observado por LIMA, VIEIRA e MARQUES (2001).

Vários fatores devem ter contribuído para estes resultados. A espessura da serapilheira (tabela 3), a umidade nas amostras (tabela 4) e a matéria orgânica (gráfico 9) apresentaram a mesma tendência de aumento com a evolução sucessional, o que tem relação direta com a produção de CO₂. Estas diferenças entre as diferentes fases sucessionais são resultantes do processo evolutivo da floresta. WISNIEWSKI et al. (1997) descrevem que com o avanço da sucessão aumenta a diversidade de espécies, o número de famílias, e de árvores mortas indicando substituição de espécies. Além

disso, aumenta a regeneração, o número de indivíduos e de estratos. Também aumenta a estrutura da comunidade vegetal, a altura e diâmetro dos seus troncos. Em consequência disso, o sub-bosque fica mais denso, o solo mais coberto pela vegetação, diminuem as clareiras, diminui a ação eólica e por isso aumenta o sombreamento e a umidade no interior da floresta. Igualmente aumenta a adição de matéria orgânica, a evolução do horizonte orgânico, a formação de horizontes F e H, a espessura de camada orgânica e a CTC. Aumenta a complexidade do sistema, o que se reflete nas características do perfil do solo e na ciclagem de nutrientes.

Os resultados obtidos possibilitam a constatação de um aumento da atividade, o aumento da biodiversidade vegetal e as mudanças ocasionadas na superfície do solo pelo acúmulo de matéria orgânica sugerem que novos nichos estão sendo criados à medida que a floresta evolui.

Com o aumento dos resíduos acumulados na superfície do solo, este fica mais protegido. Esta manta orgânica, além de proteger o solo, oferece maior variedade de ambientes e condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano, como por exemplo, boa disponibilidade de nutrientes, de umidade e de compostos orgânicos essenciais ao crescimento dos microrganismos. Assim, com o avanço das fases sucessionais, a floresta oferece mais opções de sobrevivência para os microrganismos nas camadas superficiais, os quais adaptam-se para um aproveitamento mais eficiente do substrato disponível. Da mesma forma, os microrganismos transformam o seu habitat inicial e criam novas condições que propiciam a manutenção da atividade microbiana.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com aqueles obtidos por diferentes autores, em diferentes estudos. BORGES, KIEHL e SOUZA (1999) observaram que a cobertura vegetal é um fator determinante sobre a atividade microbiana, sendo que a atividade microbiana mais elevada em solos florestais, quando comparados com solos com diferentes coberturas, pode ser atribuída à maior concentração de carbono na camada superior do solo sob mata. Para VARGAS e

SCHOLLES (2000), as plantas com alta produção de resíduos possibilitam aumento da atividade microbiana. CATTELAN e VIDOR (1990) observaram que em sistemas com maior produção de fitomassa e acúmulo de resíduos na superfície, o solo apresenta maior teor de matéria orgânica, ficando mais protegido. Do mesmo modo, COLOZZI FILHO, BALOTA e ANDRADE (1999) afirmaram que a permanência de resíduos na camada superficial diminui as oscilações de temperatura e umidade na superfície do solo, além de estimular as comunidades microbianas.

A composição química da serapilheira muda com a evolução da sucessão. PINTO (2000), também pesquisando na mesma floresta, mostrou que os teores de N e K aumentam na fase avançada da sucessão, o que certamente favorece a atividade microbiana. Outro aspecto importante diz respeito à qualidade do material de serapilheira. BOEGER (2000) observou, na mesma área deste estudo, que a esclerofilia dos tecidos foliares das plantas tende a diminuir com o avanço da sucessão, o que certamente favorece o ataque microbiano ao material vegetal das fases mais avançadas.

SANTOS e CAMARGO (1999) afirmam que nas florestas a serapilheira é um fator determinante sobre a atividade microbiana. A vegetação é a principal responsável pela variabilidade horizontal da serapilheira. A presença de diferentes espécies determina a quantidade e qualidade do material vegetal incorporado. Essas diferentes serapilheiras, em um mesmo ecossistema, apresentam características diferenciadas. A serapilheira é a porção mais variável não só entre ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema. De acordo com SANTOS e CAMARGO (1999) quanto mais diversa for a cobertura, maior será o número de nichos a serem colonizados, resultando em uma maior diversidade das comunidades da fauna do solo, com estratégias diferentes de sobrevivência, cuja ação cria novos recursos tróficos e espaciais. Para VARGAS e SCHOLLES (2000), a diversidade vegetal altera a composição da comunidade microbiana, estimula a biodiversidade microbiana. Segundo CATTELAN, GAUDENCIO e SILVA (1997), a diversidade vegetal é importante para a manutenção

e o aumento da diversidade do solo, faz com que o solo seja biologicamente mais ativo. Estes autores verificaram que a capacidade produtiva está relacionada com o desenvolvimento microbiano.

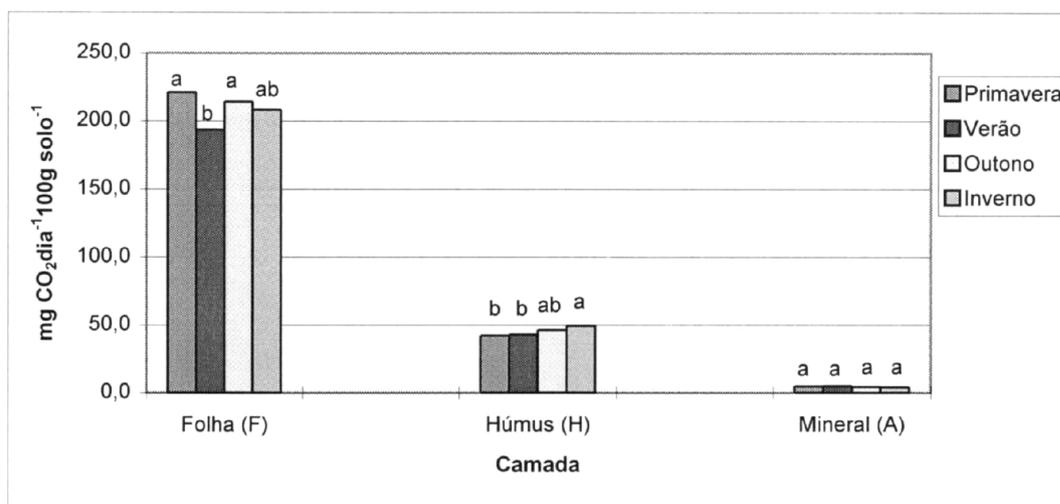
Segundo CATTELAN, GAUDÊNCIO e SILVA (1997) e ANDRADE (1999), o estímulo rizosférico aos microrganismos também varia com a espécie vegetal e a maturidade da planta. As comunidades microbianas vão mudando com o tempo em função do enriquecimento contínuo dos exsudatos. Assim o efeito rizosférico pode ser considerado em grande medida o responsável pelo incremento seletivo do número de microrganismos no sistema solo-planta.

Igualmente, TURCO e BLUME (1999) têm encontrado uma forte relação entre a atividade microbiana e a produtividade do solo. Os processos microbianos são uma parte integral da qualidade do solo e produtividade dentro de um ecossistema específico. Assim na fase inicial da sucessão a baixa capacidade produtiva ou baixa qualidade do solo é reflexo da atividade microbiana debilitada. De acordo com SIQUEIRA, MOREIRA e LOPEZ (1999) é evidente que a produtividade é fundamentada nos processos biológicos de renovação do solo e em relações amplas do sistema solo-planta-ambiente. Para VARGAS e SCHOLLES (2000), uma vez que a microbiota afeta a produtividade, as avaliações dos processos microbianos tornam-se de inegável importância na recuperação do solo, visando à sua conservação e produtividade.

4.3.2 Estação do Ano e Respiração Microbiana

Foi avaliado o efeito da estação do ano sobre a produção de CO₂ em cada horizonte do solo. Os resultados obtidos, nos horizontes folha (F), húmus (H), e mineral (A), são mostrados no gráfico 11.

GRÁFICO 11 – FLUTUAÇÕES DA PRODUÇÃO MÉDIA DE CO₂ MICROBIANO EM TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DA ESTAÇÃO DO ANO, EXPRESSO EM MG CO₂ DIA⁻¹100 G SOLO⁻¹.



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A sensibilidade dos microrganismos ao efeito da estação do ano, manifestou-se neste estudo unicamente em alguns casos onde observaram-se variações da produção de CO₂. Verificou-se efeito da estação verão, no horizonte F, quando diminuiu a produção de CO₂. Isto possivelmente tem relação com as condições climáticas do verão, a qual foi a estação que apresentou a maior temperatura, a maior precipitação mas uma baixa umidade no solo (gráficos 1 e 3 e tabela 4). Devido à alta temperatura, a evaporação na camada folha deve ter sido muito elevada, causando a perda de umidade e diminuindo a atividade microbiana.

Esperava-se observar neste estudo variações na produção de CO₂ ao longo das estações climáticas. De acordo com vários autores é possível esperar que os microrganismos sejam sensíveis as mudanças do clima em cada estação do ano. Para VARGAS e SCHOLLES (2000); ANDRADE (1999) os microrganismos são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos. As condições ambientais estimulam ou inibem o desenvolvimento e atividade de cada um dos grupos de microrganismos. Segundo MASON (1980), SANTOS e CAMARGO (1999), das variáveis climáticas, a precipitação e a temperatura são as que exercem maior

influência. A ocorrência de intempéries atípicas do clima como tempestades, pode modificar o aporte de serapilheira. Segundo BRITZ (1995) e CAMARGO (1999), a produtividade vegetal é determinada pela distribuição de chuvas a qual influencia a disponibilidade de água e nutrientes no solo, e conseqüentemente contribui para o aporte de resíduos orgânicos que serão utilizados pelos microrganismos. Desta maneira as chuvas nas diferentes estações do ano poderiam ter afetado a atividade microbiana em cada camada.

Possivelmente as variações climáticas não foram suficientes para causar diferenças significativas sobre a produção de CO₂. A estabilidade na produção de CO₂ pode ser um reflexo da relativa estabilidade nas condições ambientais durante o ano. Foi observado que a produção de CO₂ de primavera foi igual a outono, possivelmente porque foram as duas estações com picos do aumento da umidade do solo, e apresentaram precipitação similar. Também a produção de CO₂ do outono foi igual à do inverno, possivelmente porque nestas duas estações não foi tão marcada a diferença da umidade do solo, da precipitação, da temperatura do ar.

A inexistência de diferenças significativas entre as épocas do ano pode também estar relacionada com a técnica utilizada. As amostras foram incubadas em condições do laboratório, sob temperatura de 28 °C constante, o que pode ter diminuído as diferenças que poderiam ser observadas a campo.

Com respeito aos resultados obtidos nas condições do laboratório, MASON (1980) afirma que uma das maiores desvantagens da técnica utilizada para quantificação do CO₂ liberado pelos microrganismos é que o gás total produzido inclui também o proveniente da respiração de raízes e micorrizas, que em solos sob florestas pode ser responsável por mais de 50% do total. A separação da respiração radicular da respiração do solo é muito difícil. SANTOS e CAMARGO (1999) afirmam que nas análises de laboratório as amostras de solo são manipuladas e a retirada das raízes provoca mudanças físicas, resultando em alterações nas condições de trocas gasosas. Dessa forma, as medidas de laboratório são freqüentemente questionadas. A vantagem

de se medir CO₂, ao invés de O₂, está no fato do CO₂, refletir a atividade tanto de microrganismos aeróbios quanto anaeróbios. Dos métodos de quantificação de medição CO₂ em laboratório, destacam-se o estático, para o qual são usadas câmaras de incubação sem aeração e com absorção de CO₂ por solução alcalina de hidróxido de sódio ou potássio. Neste trabalho não foram separadas as raízes presentes nas amostras do solo, estas raízes representam matéria orgânica em processo de decomposição.

4.4 NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP) DE BACTÉRIAS E FUNGOS EM HORIZONTES SUPERFICIAIS DO SOLO.

Os resultados apresentados na tabela 6 mostram os resultados médios do NMP de bactérias e fungos nos diferentes horizontes do solo, nas diferentes fases sucessionais e nas diferentes estações do ano. Pode-se observar que, de maneira geral, o NMP de bactérias foi inferior ao de fungos, sendo isto mais expressivo nos horizontes F e H, independentemente da fase sucessional e da estação do ano. Isto deve ser explicado pelo fato dos fungos serem mais favorecidos em meio ácido, o que é o caso específico destes horizontes superficiais de solo em estudo (Tabela 1). Segundo SCHIANETZ (1999) os fungos preferem um meio mais ácido que as bactérias. Na faixa do valor de pH abaixo de cinco os fungos dominam inequivocamente.

TABELA 6 – NMP DE BACTÉRIAS E FUNGOS EM HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL, EM TRÊS FASES DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO

HORIZONTE	FASE	NMP bactérias g ⁻¹ solo x 10 ⁵				NMP fungos g ⁻¹ solo x 10 ⁵			
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Folha (F)	Inicial (I)	7,14	5,06	15,50	5,00	18,20	11,70	19,70	12,70
	Intermediária (M)	6,81	16,00	17,30	13,30	20,80	20,00	39,20	27,30
	Avançada (V)	7,83	28,60	10,70	13,00	55,60	66,40	34,10	37,80
Húmus (H)	Inicial (I)	1,52	1,94	0,77	2,25	4,38	1,84	0,86	1,67
	Intermediária (M)	0,23	0,92	0,58	0,70	1,21	1,30	0,45	1,33
	Avançada (V)	1,50	1,38	1,35	1,48	1,80	5,79	1,95	2,02
Mineral (A)	Inicial (I)	1,97	0,53	0,58	0,58	0,54	0,65	0,56	0,93
	Intermediária (M)	0,39	0,36	1,01	1,15	0,39	0,46	0,34	0,76
	Avançada (V)	0,75	1,17	0,69	0,99	1,00	1,77	1,97	0,59

Segundo SANTOS e CAMARGO (1999) dependendo da diversidade das espécies vegetais varia a composição da serapilheira e conseqüentemente varia o conteúdo de compostos resistentes. Segundo RICKLEFS (1996), a resistência de alguns tipos de serapilheira à degradação aponta o papel único dos fungos na reciclagem de nutrientes.

Outro aspecto que se destaca nestes resultados diz respeito ao fato dos valores de NMP seguirem a mesma tendência observada para produção de CO₂, ou seja, os maiores valores no horizonte F e valores bem inferiores nos horizontes H e A. Conforme comentado anteriormente, é nesta camada que se encontra a maior parte dos compostos orgânicos prontamente disponíveis para o desenvolvimento microbiano o que explica estes resultados.

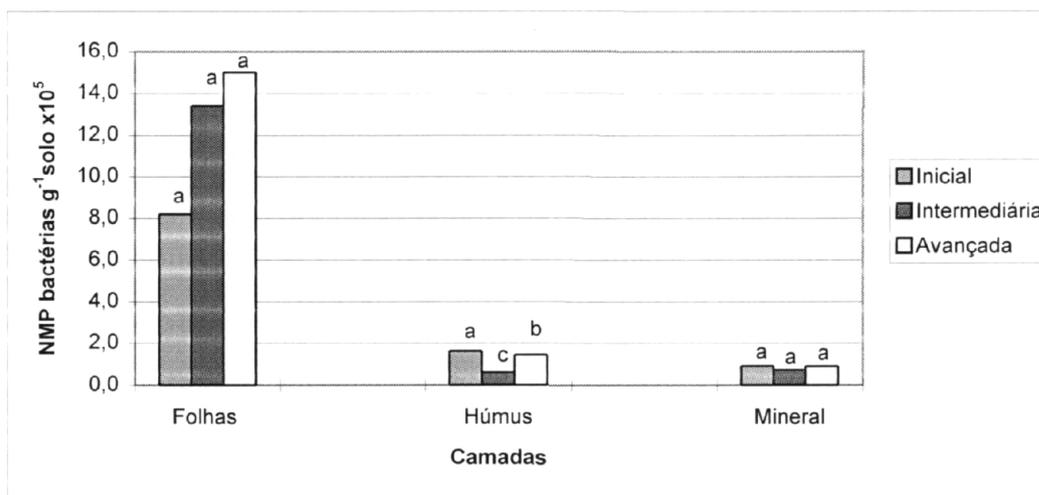
Segundo SANTOS e CAMARGO (1999), a fase inicial da biodegradação microbiana é caracterizada pela degradação rápida dos compostos orgânicos prontamente decomponíveis onde as bactérias são especialmente ativas. O estágio final da biodegradação é caracterizado pela decomposição de compostos mais resistentes exercida pela atividade de actinomicetos e fungos. No presente estudo, a superioridade do NMP de fungos no horizonte F contraria de certa forma esta afirmação, pois neste horizonte o material orgânico apresenta-se ainda pouco decomposto e os fungos prevaleceram. Mas este fato pode ser explicado pelo tipo do material orgânico presente. Segundo ROSADO, DUARTE e MENDOÇA-HAGLER (1999), os fungos possuem um papel fundamental como os principais decompositores de resíduos vegetais. As folhas fragmentadas, no seu estágio inicial de decomposição, apresentam alto conteúdo de compostos resistentes os quais propiciam o desenvolvimento de fungos decompositores. Além desta explicação, talvez, o pH do substrato tenha sido o fator de maior influência.

4.4.1 Sucessão Ecológica e NMP de Bactérias e Fungos

O efeito das fases da sucessão ecológica, no NMP de bactérias e fungos, em cada horizonte do solo, é mostrado nos gráficos 12 e 13.

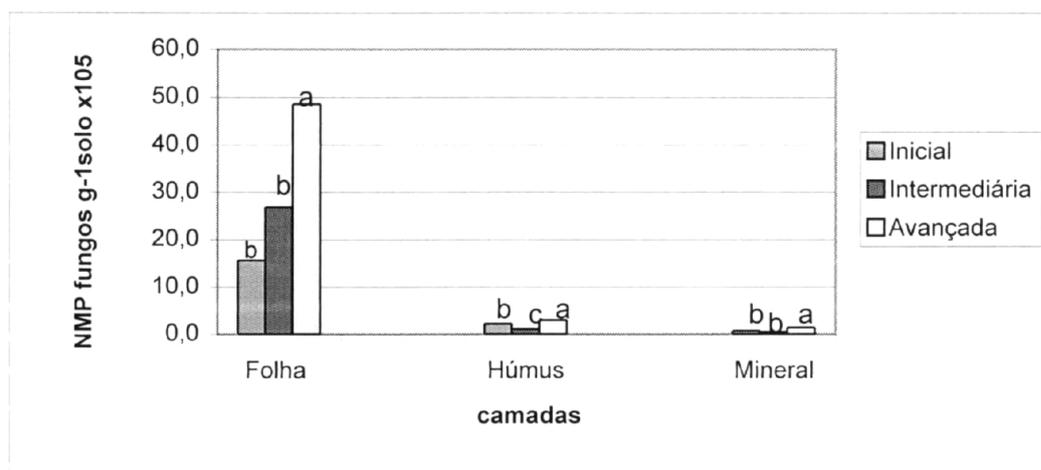
Para o horizonte F, as análises estatísticas só detectaram diferenças para o NMP de fungos (gráfico 13), sendo que os maiores valores foram encontrados na fase avançada da sucessão. Nota-se, entretanto, a existência de um gradiente sucessional com os valores aumentando paralelamente à evolução da sucessão ecológica. No caso das bactérias, este gradiente ocorre, mas de forma menos expressiva. Estes resultados concordam com a tendência apresentada para a produção de CO₂ e, conforme comentado anteriormente, estão relacionados com as mudanças na qualidade do material orgânico e também com as mudanças micro-climáticas nas parcelas em estudo.

GRÁFICO 12 – NMP DE BACTÉRIAS NOS TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

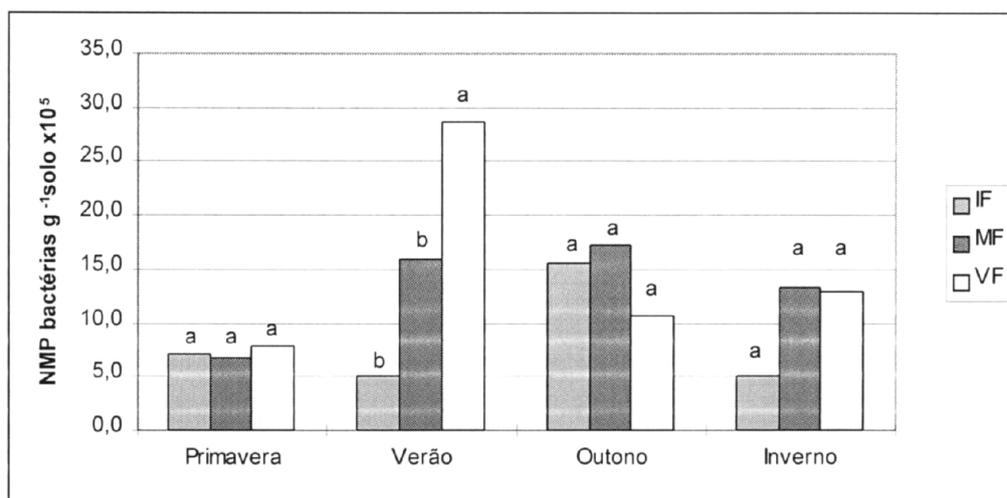
GRÁFICO 13 – NMP DE FUNGOS NOS TRÊS HORIZONTES DO SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

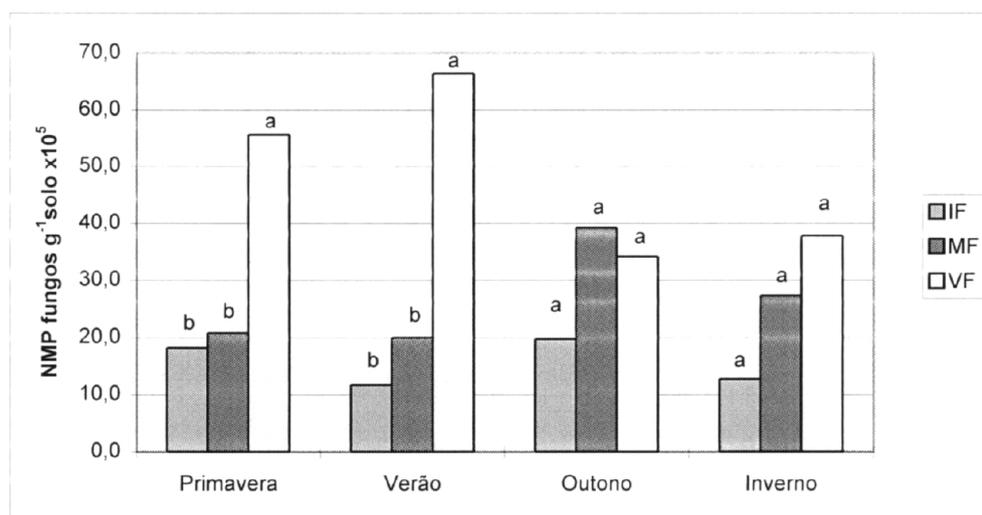
O desdobramento dos resultados da influência da sucessão ecológica no NMP de bactérias e fungos na camada F, nas diferentes época do ano é mostrado no gráficos 14 e 15. Observa-se que este efeito das fases sucessionais foi bem expressivo durante a primavera (fungos) e o verão (bactérias e fungos), com os maiores valores de NMP na fase mais avançada da sucessão. Estes resultados sugerem que, nestas épocas do ano, quando as condições climáticas (elevadas temperatura e umidade) são mais favoráveis à atividade microbiana, o efeito das fases sucessionais torna-se mais significativo.

GRÁFICO 14 – NMP DE BACTÉRIAS NO HORIZONTE F DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

GRÁFICO 15 – NMP DE FUNGOS NO HORIZONTE F DO SOLO FLORESTAL, EM FUNÇÃO DA FASE DA SUCESSÃO ECOLÓGICA, NAS QUATRO ESTAÇÕES DO ANO.



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

No horizonte H, os menores valores de NMP foram encontrados na fase Intermediária, tanto para bactérias quanto para fungos (gráficos 12 e 13). Na avaliação

visual dos materiais que correspondem ao horizonte H, nota-se uma maior semelhança entre os materiais das fases Inicial e Avançada. Na fase I, o horizonte H corresponde ao húmus misturado com a parte mineral do solo (ainda não foi formada um horizonte H propriamente dito). Este húmus apresenta características físicas bem próximas do horizonte H da fase V, onde o material orgânico já está em estado avançado de decomposição, apresentando textura fina e pastosa quando úmido. No caso da fase Intermediária, o horizonte H é composto por material orgânico apresentando textura grosseira e fibrosa, ou seja, ainda na fase inicial da evolução húmica, o que pode explicar os menores valores de NMP para bactérias e fungos.

No horizonte A, observou-se efeito da fase sucessional apenas para fungos, com os maiores valores na fase avançada da sucessão ecológica (gráfico 13). Este horizonte de solo, apresenta algumas mudanças químicas (tabela 1), com o avanço da fase sucessional, que podem ter favorecido a população de fungos na fase avançada da sucessão.

No presente estudo esperava-se observar maiores diferenças no NMP da população microbiana, em cada um dos horizontes do solo, devido ao efeito das fases sucessionais. Esperava-se que o aumento da espessura da camada orgânica do solo (tabela 3), com o avanço da sucessão, promovesse melhores condições para o desenvolvimento microbiano. Segundo SANTOS e CAMARGO (1999), VARGAS e SCHOLLES (2000) os microrganismos são sensíveis às mudanças ou interferências no meio ambiente. JAHNEL (1997), usando a mesma técnica aqui empregada, havia detectado resposta dos microrganismos à adição de matéria orgânica no meio de crescimento.

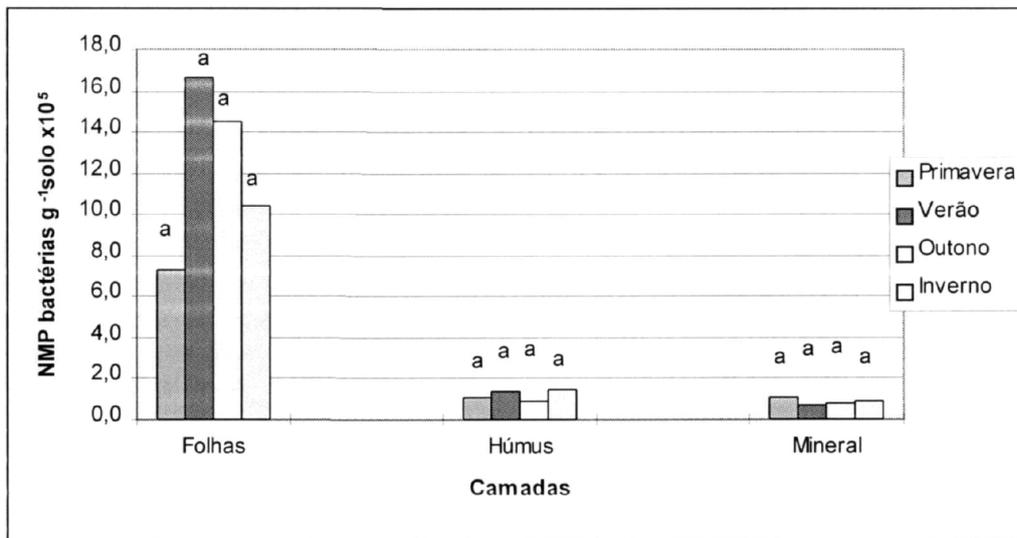
4.4.2 Estação do Ano e o NMP de Bactérias e Fungos

O efeito das estações do ano no NMP de bactérias e fungos, em cada horizonte do solo, é mostrado nos gráficos 16 e 17.

As análises estatísticas não detectaram nenhum efeito das estações do ano sobre estas variáveis. Somente no caso das bactérias, no horizonte F, observa-se uma tendência de menor NMP para a coleta da primavera.

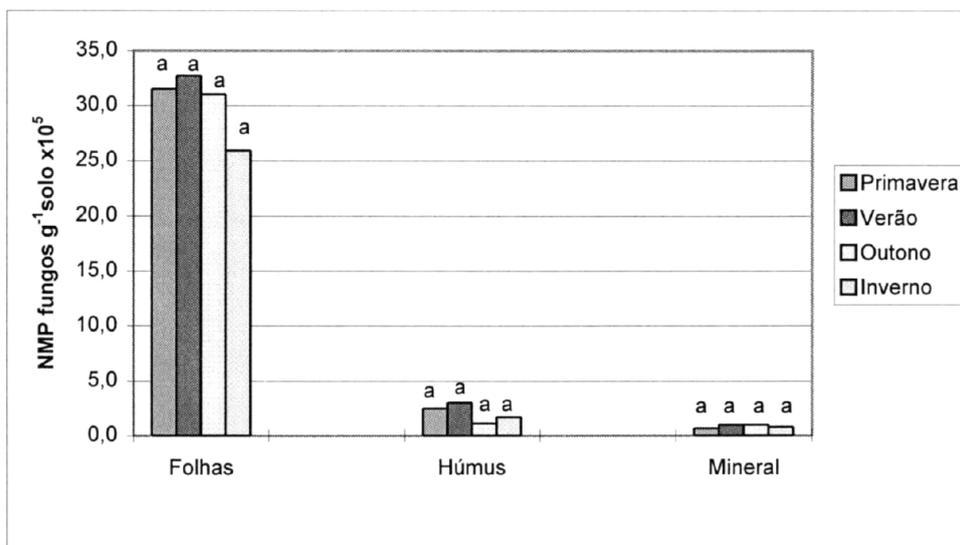
Como já comentado no caso da produção de CO₂, talvez, também no caso do NMP de bactérias e fungos, as variações climáticas não tenham sido suficientes para provocar um efeito estacional.

GRÁFICO 16 – NMP DE BACTÉRIAS NOS TRÊS HORIZONTES DE SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA ESTAÇÃO DO ANO



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

GRÁFICO 17 – NMP DE FUNGOS NOS TRÊS HORIZONTES DE SOLO FLORESTAL EM FUNÇÃO DA ESTAÇÃO DO ANO



NOTA: Colunas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Outra explicação diz respeito à técnica analítica empregada. A incubação dos substratos, coletados nas diferentes épocas, sob mesmas condições de temperatura, talvez tenha provocado uma homogeneização dos resultados que tenha mascarado o efeito estacional. É possível que nas condições de campo a população de bactérias e fungos sofra uma influência mais marcante das estações do ano.

5 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

A avaliação da produção de CO₂ mostra-se um bioindicador de qualidade do solo mais sensível que as avaliações de Número Mais Provável de bactérias e de fungos;

A evolução da qualidade do solo com o avanço das fases sucessionais pode ser satisfatoriamente avaliada através da medição da produção de CO₂ mas com menor eficiência pela determinação do NMP de bactérias e fungos;

A variação da atividade e do desenvolvimento de microrganismos nos horizontes superficiais do solo sofre influência direta da qualidade da matéria orgânica presente e da disponibilidade de nutrientes;

A maior produção de CO₂ na fase Avançada da sucessão e no horizonte F do solo é resultante da combinação entre substrato de boa qualidade e microclima adequado para a decomposição microbiana;

A variação da atividade microbiana nos horizontes superficiais do solo, ao longo das estações do ano, é resultante da interação de diversos fatores, entre os quais estão a umidade, a temperatura e a evaporação da água do solo;

A não ocorrência de diferenças estacionais marcantes pode ter sido resultado das pequenas variações climáticas no local de estudo mas também pode ser resultante das técnicas empregadas na avaliação da atividade microbiana e do desenvolvimento de bactérias e fungos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta dissertação deve ter contribuído certamente à identificação de indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade do solo em florestas tropicais. Mas os resultados aqui obtidos ainda são preliminares e a continuidade das pesquisas é imprescindível.

Novas pesquisas poderiam ser direcionadas no sentido de compreender as relações existentes entre a atividade dos microrganismos e suas funções nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes nos ecossistemas florestais. Assim seria importante selecionar aquelas comunidades funcionais que representem bioindicadores adequados para caracterizar o estado de recuperação de áreas degradadas de florestas em processo de regeneração.

A manutenção da qualidade ambiental envolve a diversidade funcional dos microrganismos e é necessária a ampliação dos estudos envolvidos na interação microrganismo e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 551-575.
- ANDRADE, G. Role of functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics. In: VARMA, A. et al. **Plant surface microbiology**. Germany: Springer-Verlag, 2002. p. 1-18.
- ANGULO, R. J. **Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná**. São Paulo, 1992. 334 f. Dissertação (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- AZIZ, R. A. A.; MAKSoud, H. K. A.; YOUSRY, M. Bio-indicators of soil fertility cotton rotation. **Egyptian Journal of Microbiology**, v. 32, n. 3, p. 349-366, 1997.
- BARROS, N. et al. The effect of soil-moisture on soil microbial activity studied by microcalorimetry. **Thermochimica acta**. v. 249, p. 161-168, 1995.
- BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná. Associação de defesa e educação ambiental. ADEA, 1978.
- BOEGER, M. R. T. **Morfologia foliar e aspectos nutricionais de espécies arbóreas em três estádios sucessionais, de floresta ombrófila densa das terras baixas, Paranaguá, PR**. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, UFPR.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 1019-1025, 1999.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Biodegradação. In: _____. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, Companhia de tecnologia de saneamento ambiental, 1979. p. 93-108.
- BRITEZ, R. M. **Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR**. Curitiba, 1994. 240 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná.
- BRITEZ, R. M. et al. Decomposição de serapilheira e liberação de nutrientes em florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, PR, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Chile. **Anais...** Chile: PUCOU, 1999.

BROCK, T. D.; SMITH, D. W.; MADIGAN, M. T. **Microbiologia**. 4. ed. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana, 1987.

BUCKERFIELD, J. C. et al. Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in southern Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 3/4, p. 547-554, 1997.

CARBONE, M. A. **Fungus micorrizicos e superfosfato no crescimento e acúmulo de nutrientes em plantas herbáceas em solo degradado**. Lavras, 1997. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Solos e nutrição de plantas, Universidade Federal de Lavras, UFLA.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 133-142, 1990.

CATTELAN, A. J.; GAUDÊNCIO, C. A.; SILVA, T. A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 293-301, 1997.

CATTELAN, A. J.; TORRES, E.; SPOLADORI, C. L. Sistemas de preparo com a sucessão trigo/soja e os microrganismos do solo, em Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 303-311, 1997.

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. de S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 487 - 508.

CURTIS, H.; BARNES, N. S. **Biologia**. 5. ed. Argentina: Editorial Médica Panamericana, 1993.

DOS SANTOS, M. **Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas em recuperação e sua interrelação com as propriedades físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo**. Minas Gerais, 1996. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Manejo Ambiental, Universidade Federal de Lavras, UFLA.

ELMHOLT, S. Microbial activity, fungal abundance, and distribution of *Penicillium* and *Fusarium* as bioindicators of a temporal development of organically cultivated soils. **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 13, n. 2, p. 123-140, 1996.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Serviço nacional de levantamento e conservação de solos, 1979.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1999.

FAVARRETO, N. **Efeito de adubações e espécies forrageiras na composição química da planta e palhada e na fertilidade do solo em área degradada pela mineração do xisto.** Curitiba, 1996. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, UFPR.

FUNDAÇÃO CARGILL. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998.

HOUSTON, A. P. C.; VISSER, S.; LAUTENSCHLAGER, R. A. Response of microbial processes and fungal community structure to vegetation management in mixedwood forest soil. **Can J Bot**, v. 76, p. 2002-2010, 1998.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola.** Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do estado do Paraná.** Londrina, 1978.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS – ITCF. Quadro político administrativo. Situação geográfica do Paraná. In: _____. **Atlas do Estado do Paraná.** Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, 1987. p. 1.

JAHNEL, M. C. **Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos.** Piracicaba, 1997. 79 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

JAHNEL, M. C.; CARDOSO, E. J. B. N.; DIAS, C. T. S. Determinação do número máis provável de microrganismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. Seção III – Biologia do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 553-559, 1999.

JASTER, C. B. **Análise estrutural de algumas comunidades florestais no litoral do estado do Paraná, na área de domínio da Floresta Ombrófila Densa – Floresta Atlântica.** Göttingen, 1995. 116 f. Dissertação (Mestrado Florest. Trop.) – Setor de Ciência Florestais da Universidade Georg-August de Göttingen/Alemanha, Instituto de Silvicultura II.

LIMA, P. H. C.; VIEIRA, M. E. M.; MARQUES, R. Atividade microbiana em frações da camada superficial de espodossolo sob floresta ombrófila densa no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina, Paraná. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, IAPAR, UEL, UEM – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 89.

MASON, C. F. **Decomposição.** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

METCALF, E. Procesos biológicos unitarios. In: _____. **Ingenieria sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales.** Barcelona: Labor, 1985. p. 430-449.

- ÖHLINGER, R. Bestimmung der Bodenatmung im Laborversuch. In: SCHINNER, F. et al. **Bodenbiologische Arbeitsmethoden**. Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- PELCZAR, M. J.; REID, R. D.; CHAN, E. C. S. **Microbiologia**. Mexico: McGraw Hill, 1981.
- PINTO, C. **Contribuição de espécies arbóreas de diferentes fases sucessionais da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas para ciclagem de nutrientes minerais, Floresta Estadual do Palmito, Paranaguá, PR**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, UFPR.
- PRADO, A. G. S.; AIROLDI, C. The influence of moisture on microbial activity of soils. **Thermochimica acta**, v. 332, p. 71-74, 1999.
- RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.
- ROSADO, A. S.; DUARTE, G. F.; MENDONÇA-HAGLER, L. C. A moderna microbiologia do solo: aplicação de técnicas de biologia molecular. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 429-448.
- SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999.
- SCHIANETZ, B. Biodegradação. Fundamentos biológicos. In: _____. **Passivos ambientais: levantamento histórico: avaliação de periculosidade: ações de recuperação**. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Seção Paraná, Curitiba: SENAI, 1999. p. 23 - 28.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição mineral de plantas: Base para um novo paradigma na agrotecnologia do século XXI. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 1-9.
- STENBERG, B. Integrated evaluation of physical, chemical and biological properties of agricultural soil. Swedish University of Agricultural Sciences; Uppsala; Sweden. **Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Agraria**, v. 69, p. 5, 1997.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Section B, **Soil and Plant Science**, v. 49, n. 1, p. 4, 1999.
- TIWARI, S. C.; TIWARI, B. K.; MISHRA, R. R. The influence of moisture regimes on the population and activity of soil-microorganisms. **Plant and soil**, v. 101, n.1, p. 133-136, 1987.

TURCO, R. F.; BLUME, E. Indicators of soil quality. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 529-550.

VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato (EUA). Instituto Internacional da Potassa (SUIÇA), 1981.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 35-42, 2000.

VELOSO, H. P.; RANGEL, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação Brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991.

WISNIEWSKI, C. et al. **Caracterização do ecossistema e estudo das relações solo-cobertura vegetal em Planície Pleistocênica do Litoral Paranaense**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997. 55 p. (Projeto Integrado – CNPq – Relatório Final). Projeto concluído.

WISNIEWSKI, C.; MARQUES, R.; DICKOW, K. M. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: CBCS, 1999.