UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

mestrado

BC/53532
IB/81926

INSTITUTO DE BIOLOGIA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

SECRETARIA
DE
PÓS-GRADUAÇÃO
I. B.

Gustavo Rodrigo Thomazine

Atividade e Comunidade Microbianas de Solo Submetido à Erosão Simulada e em Recuperação

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida pelo(a) candidato (a) Gustavo Rodrigo Thomazine
e aprovada pela Comissão Julgadora.

Dissertação apresentado ao curso de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Genética e Biologia Molecular, na área de Microbiologia.

Orientadora: Profª Drª Adriana Parada Dias da Silveira
Co-orientador: Profº Drº Wanderley Dias da Silveira

Campinas
SP - Brasil

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE IB 81924
Nº CHAMADA
T/UNICAMP
T368a
V EX
TOMBO BC/ 53532
PROC. 124/03
C D
PREÇO R$ 11,00
DATA 30/04/03
Nº CPD

CM00182586-9

BIBID. 290737

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE BIOLOGIA - UNICAMP

Thomazine, Gustavo Rodrigo

T387a
362

Avaliação da atividade e comunidade microbianas em solo submetido à erosão
simulada e sob diferentes tratamentos de recuperação/Gustavo Rodrigo Thomazine. --
Campinas, SP:[s.n.], 2003.

Orientadora: Adriana Parada Dias da Silveira
Co-orientador: Wanderley Dias da Silveira
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia

1. Microbiologia. 2. Erosão. 3. Recuperação do solo. I. Silveira, Adriana
Parada Dias da. II. Silveira, Wanderley Dias da. III.Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. IV. Título.

Banca Examinadora:

Profª Drª Adriana Parada Dias da Silveira

Profº Drº Gilson Paulo Manfio

Profª Drª Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso

Profª Drª Lucila Costallat Ricci

Dedicatória:

Dedico este trabalho:

aos meus pais, Antonio e Lourdes, eterna fonte de apoio nas minhas decisões;

a minha irmã Camila, pela compreensão e ajuda nos momentos mais difíceis;

em memória à Orlando Fontana, Alexandre Thomazine, Aparecida Vendramini e Antonio Lourenço.

Agradecimentos

Não seria possível realizar este trabalho sem o apoio de diversas pessoas e instituições, às quais presto meus sinceros agradecimentos:

A minha orientadora, Profª Drª Adriana Parada Dias da Silveira, que, mais que me orientar, me forneceu ferramentas para meu amadurecimento pessoal e profissional;

A meu co-orientador Profº Drº Wandeley Dias da Silveira, sempre pronto para me ajudar no que fosse preciso;

Ao Instituto Agronômico em Campinas, pelas instalações e experimentos de campo no qual foram realizados as amostragens.

Ao amigo/irmão de longa data, Valdemar Paffaro Jr. que desde a época de graduação nunca deixou de me animar e inspirar com sua dedicação e caráter. A sua esposa Andréa e filhos, que com o mesmo jeito fraterno conquistaram também meu carinho e amor;

Ao casal Sérgio e Lucimara, que nos momentos mais difíceis se demonstraram valiosos amigos;

Aos companheiros de laboratório Marcelo Lancellotti, Tatiana, Eliana e Alessandra pessoas essas que nunca deixaram de me apoiar. Às amigas Eliane Bogo e Júlia, que mesmo em diferentes laboratórios sempre me incentivaram;

Às pessoas maravilhosas as quais conheci no Instituto Agronômico: Léo, Teresa, Rosana, Vanessa, Karina, Mirela, Deise, Sara, Valéria e Mara Inês, agradeço de coração a oportunidade que tive de aprender um pouco com cada uma delas;

Aos amigos do curso de medicina da Unicamp Eli Jr., Daian, Villaça, Daniel, Carol, Gu e Camila, eternos companheiros;

Aos inseparáveis amigos: Miguel, Plínio, Paulo e Garcia pelo apoio incondicional as minhas decisões;

A Cibele, por acreditar em mim mesmo nos momentos mais dificies;

Aos amigos da WW3: Rubens, Marcos, Barral, Dgebs, André Dummont, Davi, Alex, Matias e Fernanda;

À nórdica Anita que com sua paciência me ensinou muito sobre a língua portuguesa;

Ao CNPq pelo apoio financeiro;

As pesquisadoras do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agronômico Profª Drª Sueli de Freitas e Profª Drª Maria Lombardi e ao pesquisador do Departamento de Histologia e Embriologia da Unicamp Profº Drº Áureo Yamada, pessoas essas que me serviram de exemplo de conduta profissional;

E finalmente as outras dezenas de pessoas e departamentos da Unicamp e do IAC que de uma forma ou de outra me apoiaram em meu trabalho. Sinto não poder citar o nome de todos, mas infelizmente esse espaço é pequeno demais para isso. A todos vocês o meu muito obrigado.

"Trate bem a terra. Ela não foi doada à você pelos seus pais.
Ela foi emprestada à você pelos seus filhos".
Provérbio antigo do Quênia

Sumário

Resumo xi

Abstract xiii

1. Introdução 01

1.1 Considerações Gerais 01

2. Revisão da Bibliográfia 03

2.1 Erosão e seus efeitos 03

2.2 Indicadores para análise da qualidade do solo e recuperação de áreas degradadas 04

3. Material e Métodos

3.1 Experimento para avaliar o efeito da erosão simulada por decapitação do solo 16

3.1.1 Instalação e realização do experimento de campo 16

3.1.2 Amostragem do solo e preparo das amostras 17

3.1.3 Quantificação de alguns grupos específicos de microorganismos do solo 21

3.1.3.1 Bactérias Quimiorganotróficas Mesófilas e Fungos Filamentosos 21

3.1.3.2 Cianobactérias e Celulolíticos 22

3.1.4 Determinação da Atividade Microbiana no Solo 24

3.2 Análise Estatística 24

4. Resultado e Discussão

4.1 Análise Estatística 25

4.1.1 Avaliação do Número de Bactérias Heterotróficas Mesófilas 27

4.1.2 Avaliação do Número de Fungos do Filamentosos 30

4.1.3 Avaliação do Número de Cianobactérias 33

4.1.4 Avaliação do Número de Microrganismos Celulolíticos 36

4.1.5 Avaliação da Atividade Microbiana no Solo por Análise de Respiração Basal 39

4.2 Discussão dos resultados 42

5. Conclusões 48

Referências Bibliográficas 49

Anexos

Anexo I 56

Anexo II 57

Anexo III 58

Anexo IV 59

Anexo V 60

Resumo:

THOMAZINE, Gustavo Rodrigo, *Atividade e comunidade microbianas de solo submetido à erosão simulada e em recuperação*, Campinas: Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 2003. Tese de Mestrado.

O uso intenso e muitas vezes indisciplinado das terras, aliado às características dos solos agrícolas e ao regime pluviométrico, faz com que a erosão seja um dos principais problemas da agricultura. Devido ao crescimento populacional e ao avançado estágio de desenvolvimento industrial, a agricultura no Estado de São Paulo é acionada por uma crescente demanda de alimentos e matérias primas, tornando-se de relevante importância o uso racional, a manutenção e a recuperação do solo. É sabido que os microrganismos desempenham papel relevante nas propriedades do solo, tanto sob o aspecto físico da agregação de partículas, estrutura, aeração, umidade e temperatura, quanto químico, como pH, atuando na decomposição de matéria orgânica e conseqüente ciclagem dos nutrientes. Apesar do amplo conhecimento da importância dos microrganismos em relação as propriedades do solo, o impacto de perdas de solo pela erosão sobre a diversidade e as propriedades biológicas não está bem esclarecido. Sendo assim, com o objetivo de se avaliar o impacto da erosão e o efeito de diferentes técnicas de manejo sobre a comunidade microbiana do solo, foram feitas medidas da atividade microbiana (liberação de CO_2) e contagem de alguns grupos de microrganismos do solo, tais como bactérias heterotróficas totais, fungos totais, cianobactérias e microrganismos celulolíticos. Em um experimento realizado na Estação Experimental de Mococa, SP, do Instituto Agronômico, envolvendo a decapitação de 20 cm de um solo podzólico vermelho-escuro eutrófico, Tb, A moderado, textura argilosa foram retiradas

amostras de solo de três diferentes camadas: de zero a dez centímetros, de dez a vinte centímetros e de vinte a trinta centímetros do solo, sob influência de quatro manejos de recuperação do solo sob decapitação: adubação química, adubação verde + adubação química; adubação orgânica + adubação química e calagem + adubação química, mantendo-se uma testemunha (sem manejo). As quantidades de fungos e bactérias foram estimadas pela contagem em placas e os microrganismos celulolíticos e cianobactérias, pela contagem do número mais provável. A atividade microbiana foi medida pela respiração basal. As amostragens de solo foram realizadas em dois anos consecutivos. A contagem de fungos e de cianobactérias foram os atributos biológicos mais sensíveis aos efeitos da erosão, enquanto que a quantidade de bactérias, fungos e microrganismos celulolíticos foram os mais sensíveis ao manejo e à profundidade de amostragem. A respiração basal foi o atributo microbiológico medido que mostrou menor sensibilidade à decapitação do solo e aos tratamentos de recuperação empregados.O tratamento calagem + adubação Química foi o que mais estimulou os microrganismos do solo.

Abstract:

THOMAZINE, Gustavo Rodrigo, *Microbial activity and community in soil submitted to simulated erosion and in recuperation*, Campinas, Institute of Biology, Universidade Estadual de Campinas, 2003. Master Degree's Dissertation.

The intense and often unruly use of the land together with the characteristics of the agricultural soil and the pluvial rates make erosion one of the main problems of the agriculture. Due to the populacional growth and the advanced stage of industrial development, the agriculture in the State of São Paulo is driven by a growing demand for food and raw material which make rational use, maintenance and restoration of the soil of outmost importance. It is a well-known fact that the microorganisms play a relevant part in the properties of the soil, both as regards the physical aspects of the particle aggregation, structure, aeration, humidity and temperature, and the chemical ones, such as pH, in so far as they influence the decomposition of organic material and the resultant recycling of the nutrients. Despite the extensive knowledge of the importance of the microorganisms to the properties of the soil, the impact of the loss of soil caused by erosion on the biological properties has not yet been thoroughly clarified. Therefore, with the aim of evaluating the impact of erosion and the effect of different restoration treatments upon the microbial community of the soil, measurements of the microbial activity (CO_2 evolution) were carried out along with the counting of some groups of microorganisms in the soil such as the total number of heterotrophic bacteria and fungi, cyanobacteria and cellulolytic microorganisms. An experiment was executed that involved the decapitation of a part of the soil and its

effects on the microbial community in the soil in three different layers: from zero to ten centimetres, ten to twenty and twenty to thirty centimetres of soil under the influence of four different kinds of treatments: chemical fertilizing; green manure + chemical fertilizing; organic fertilizing + chemical fertilizing and liming + chemical fertilizing. The number of fungi and bacteria was estimated using the plating method and cellulolytic microorganisms and cyanobacteria by the most probable number method. The microbial activity was determined using the technique of basal respiration. The samples of soil were collected during two consecutive years. The fungi and cyanobacteria counts were the most sensitive biological atribute to erosion whereas the bacteria, fungi and cellulolytic microorganisms were the most sensitive to the maneging and the sample depth. The treatment liming + chemical fertilizing stimulated the soil microorganisms the most. The basal respiration was the least sensitivity atribute to soil decapitation and restoration treatments.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

O declínio e perda da produtividade do solo e da produção das culturas, em muitos solos tropicais, é na grande maioria das vezes devido à retirada da camada superficial do solo causada pelas operações de preparo do terreno para o cultivo e/ou pela erosão do solo (Lal, 1984). Embora assuma-se que essas perdas sejam causadas pelas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, estudos mais recentes têm mostrado que as propriedades biológicas do solo são também severamente alteradas e prejudicadas. O impacto de perdas de solo pela erosão sobre as propriedades biológicas, entretanto, não está bem esclarecido.

No Estado de São Paulo, grande parte da área agricultável total é explorada efetivamente com culturas anuais e perenes, pastagens e reflorestamentos. De modo geral, essas explorações agropecuárias não obedecem ao critério de capacidade de uso das terras, que, aliado às características dos solos agrícolas e ao regime pluviométrico da região, dificulta o controle da erosão, tornando-a um dos principais problemas da agricultura paulista (Bertoni & Lombardi, 1985). Calcula-se hoje que grande parte da área cultivada esteja sofrendo processo erosivo além dos limites de tolerância, com tendência a se agravar a cada ano que passa.

Juntamente com a terra são arrastadas quantidades apreciáveis de matéria orgânica, nutrientes, sementes e defensivos agrícolas, que, além dos prejuízos diretos à produção agropecuária, podem causar poluição das nascentes, córregos e rios. Por isso, torna-se necessário o estudo e a divulgação da importância da utilização de práticas conservacionistas intensivas, a fim de preservar o potencial produtivo das terras.

É sabido que os microrganismos desempenham papel relevante nas propriedades do solo, tanto sob o aspecto físico da agregação de partículas, estrutura, aeração, umidade e temperatura, quanto químico, como pH, atuando na decomposição de matéria orgânica e conseqüente ciclagem dos nutrientes. A importância do papel dos microrganismos nestes aspectos pode ser verificadas em vasta literatura.

A qualidade do solo inclui atributos biológicos, compreendendo muitos componentes do solo e processos relacionados à ciclagem da matéria orgânica, empregados como indicadores da qualidade do solo, porque respondem a mudanças tanto naturais quanto às induzidas pelo homem (Gregorich & Carter, 1997)

Assim, os objetivos deste trabalho foram caracterizar e quantificar o impacto da erosão e de processos convencionais de recuperação do solo erodido sobre a atividade microbiana, medida pela liberação de CO_2, e alguns grupos de microorganismos do solo, tais como bactérias heterotróficas totais, fungos totais, cianobactérias e microrganismos celulolíticos.

Capítulo 2

REVISÃO DA BIBLIOGRÁFIA

2.1 Erosão e seus efeitos no mundo e no Brasil

A erosão é um problema antigo que atinge os mais diversos tipos de solos (Dormaar *et al.*, 1996), em todos os continentes. Em países em desenvolvimento, no entanto, seus efeitos tornam-se ainda mais drásticos, devido à insuficiência de dados a respeito do assunto (Gachene *et al.*, 1997), fato este que voltará a ser abordado mais adiante. A palavra erosão originou-se da palavra latina *erosion*, que significa desmoronamento e designa a remoção e o transporte da camada superior do solo em direção às depressões, podendo ser causada pelo vento, água e/ou pelo manejo agrícola inadequado (Zusevics, 1984). Quantidades de sedimentos e água perdidos por erosão de áreas agrícolas contêm inúmeros nutrientes que seriam utilizados pelas plantas, sendo que esses fatores não só contribuem para deterioração da qualidade do solo, como também representam uma perda econômica aos agricultores (Castro *et al.*, 1986a).

O grau da produtividade do solo corresponde a sua capacidade em gerar as mais diversas lavouras, podendo ocorrer, uma acentuada perda dessa produtividade pelo efeito da erosão (Dormaar *et al.*, 1996). Esse declínio tem sido observado em áreas onde antigamente havia bons índices de produtividade, tendo sido atribuído ao intenso cultivo dessas áreas, com pré-disposição à erosão, cultivadas sem que fossem tomadas as devidas medidas de preservação do solo (Gachene *et al.*, 1997; Zimovets *et al.*, 1994).

No decorrer do tempo, como afirma Dormaar *et al.* (1996), a erosão mostra-se como um desafio à produtividade acarretando danos sérios à agricultura. Com a perda da camada superior do solo, ocorre uma remoção dos nutrientes para as plantas e da matéria

orgânica, promovendo alterações nas características químicas, físicas e biológicas do solo (Zusevics, 1984). Entretanto, com a adição de compostos orgânicos ao solo podem ser melhoradas as características físicas como estrutura, permeabilidade e retenção de água do solo, bem como as características químicas, como nutrientes, capacidade de troca iônica e pH e ainda as características biológicas, como quantidade de C orgânico, microflora e microbiota do solo (Roldán & Albaladejo, 1994).

Estudos envolvendo a análise do efeito da erosão em solos do Quênia (Gachene *et al.*, 1997) mostraram que nutrientes importantes às plantas, como fósforo, comumente aplicados como fertilizantes, são perdidos devido à ação da erosão. Da mesma forma, em dois anos, foi possível observar uma redução na percentagem de matéria orgânica de 3,2 para 2,7% e alterações do pH do solo, onde o valor inicial (sem erosão) era de 6,3 e, após os experimentos, atingiu o valor de 5,8. Nesse estudo concluiu-se que a perda de nutrientes associados ao sedimento do solo foi o motivo principal da queda da fertilidade.

Grande parte da área agricultável total é explorada efetivamente com culturas anuais e perenes, pastagens e reflorestamentos. De modo geral, essas explorações agropecuárias não obedecem ao critério de capacidade de uso das terras, o que, aliado às características dos solos agrícolas e ao regime pluviométrico da região, dificulta o controle da erosão, tornando-a o principal problema da agricultura paulista (Bellinazzi Jr. *et al.*, 1981). Calcula-se, hoje, que a maior parte da área cultivada esteja sofrendo processo erosivo além dos limites de tolerância, com tendência a se agravar a cada ano que passa.

Pesquisas realizadas em diversas regiões têm mostrado que ocorrem alterações significativas nas propriedades químicas do solo sob plantio direto, comparado com o cultivo convencional (Lombardi Neto, 1990). A maior parte dos estudos indica que o plantio direto, entre outros efeitos, provoca aumento no teor de matéria orgânica e diminuição do pH do solo

na camada superficial. Essas modificações podem afetar a disponibilidade de macro e micronutrientes (Castro *et al.*, 1992). O sistema reduzido de preparo do solo acarreta uma maior acumulação de matéria orgânica de melhor qualidade e aumento da biomassa microbiana, que atua como uma grande e dinâmica fonte de nutrientes (Cattelan & Torres, 1994). A comunidade microbiana pode ser "manejada" pela deposição de resíduos para a conservação da matéria orgânica em solos degradados. Evidências mostram que a disponibilidade de nutrientes pode ser modificada através do manejo microbiano, pela variação na qualidade do recurso natural disponível (Cattelan & Gaudêncio, 1994).

Há autores que relacionam não só a perda da produtividade do solo à erosão, mas também, alterações na qualidade final do produto agrícola. Dormaar *et al.* (1996), utilizando-se de uma cultura de trigo em área sofrendo o efeito da erosão, analisaram uma série de parâmetros de qualidade da farinha de trigo originada desta cultura, tais como: tempo de moagem, produção, brancura e porcentagem de proteínas na farinha. Em relação ao controle (trigo originado em solo sem erosão), a farinha de trigo apresentou uma queda geral na qualidade, principalmente na porcentagem de proteínas, o que afetou os demais indicadores de qualidade. Torna-se então necessária a recuperação do solo, para que se possa alcançar melhores resultados em produtividade e qualidade (Gachene *et al.*, 1997; Dormaar *et al.*, 1996; Zimovets *et al.*, 1994).

Devido ao crescimento populacional e ao avançado estágio de desenvolvimento industrial, a agricultura no Estado de São Paulo é acionada por uma crescente demanda de alimentos e matérias primas, tornando-se de relevante importância o uso racional, a manutenção e a recuperação dos solos agrícolas. As perdas anuais de terra por erosão para as diferentes culturas e solos do Estado estimam-se em aproximadamente 194.000 toneladas, o

que implica em perdas de toneladas de nutrientes/ano que deverão ser aplicadas na forma de fertilizantes, para que o solo possa atingir o nível desejado de produtividade.

Dado o fato que a erosão é um dos principais problemas da agricultura paulista, pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de solucionar problemas agronômicos decorrentes, fornecendo as diretrizes e os elementos básicos para uma campanha conservacionista. Entretanto, o impacto da erosão sobre a comunidade e atividade microbianas do solo tem sido pouco explorado.

2.2 Indicadores para análise da qualidade do solo e recuperação de áreas degradadas

O solo, como meio para crescimento e desenvolvimento microbiano, é um sistema complexo e altamente dinâmico. A sua microbiota é representada por diversos tipos morfológicos e fisiológicos, que podem exercer profundas influências nas propriedades do solo, tanto no que concerne ao aspecto físico quanto químico (Paul & Clark, 1989). Os microorganismos do solo têm sido objeto de muitos estudos, mas ainda se conhece pouco sobre a natureza, quantidade e atividade dos mesmos em função da diversidade e características dos solos. Por isso há, segundo Bossata & Agren (1994), uma necessidade de pesquisa sobre as características químicas, físicas e biológicas e de estudos globais dos processos que ocorrem nos solos.

A microbiota do solo pode sofrer diversas modificações devido aos efeitos diretos e indiretos dos fatores do solo: tipo de matéria orgânica aplicada, sistema de manejo, tipo de cultura e uso de insumos como fertilizantes minerais e defensivos, que causam efeitos que podem resultar em mudanças qualitativas e quantitativas, levando a comunidade microbiana a um novo equilíbrio, que pode favorecer ou afetar negativamente o crescimento das plantas e a produtividade do solo (Siqueira & Franco, 1988).

A temperatura do solo é função do tipo de solo, cobertura vegetal e umidade. Ela sofre variações diárias e sazonais, com marcada influência nos horizontes superficiais e, portanto, nas regiões de maior atividade microbiana. Temperaturas fora da faixa ideal para o metabolismo microbiano podem afetar a comunidade de microorganismos e suas funções (Cattelan & Vidor, 1990a,b; Martens *et al.*, 1992; Pfenning *et al.* 1992; Fernandes, 1995) tornando-se assim, de grande importância para a ecologia microbiana do solo e dos processos de interesse agronômico. Num estudo feito, a biomassa microbiana, por exemplo foi altamente influenciada pela temperatura: entre 20 e 28°C, 40-60% do C ou N marcados estavam incorporados na biomassa. A taxa de mineralização e imobilização do ^{14}C orgânico foi influenciada pela temperatura e fonte de C (Nicolardot *et al.*, 1994).

Os parâmetros microbianos, densidade populacional, atividade e biomassa, avaliados por Cattelan & Vidor (1990a), foram afetados diferentemente pelas variações dos fatores climáticos, principalmente temperatura e umidade, assim como pelos efeitos que esses causaram sobre a cobertura vegetal, em um solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. As populações de bactérias, actinomicetos e fungos apresentaram grandes flutuações durante o período avaliado e foram mais acentuadas na camada de 0 a 5 cm, devido às maiores oscilações no teor de umidade e temperatura. Os maiores valores de atividade e biomassa foram apresentados pelo solo sob campo nativo, que também apresentou os maiores teores de matéria orgânica nos 5cm superficiais. A matéria orgânica, além de constituir uma importante fonte de energia e nutrientes para os microorganismos heterotróficos, colabora para o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, favorecendo o desenvolvimento dos microorganismos (Paul & Clark, 1989).

A matéria orgânica do solo é controlada por muitos fatores que apresentam interações complexas. O manejo de resíduos culturais é de importância primária. O clima é,

freqüentemente, o fator mais crítico, visto que determina a manutenção e o acúmulo da matéria orgânica do solo. Com o aumento da temperatura, a decomposição da matéria orgânica, particularmente em solos cultivados, é marcadamente acelerada. Com o decréscimo de precipitações, menos biomassa é produzida para completar a decomposição do C. Conseqüentemente, a manutenção da matéria orgânica no solo torna-se grandemente dificultada, em regiões quentes e/ou áridas (Carter & Rennie, 1992). A umidade impacta também sobre as trocas gasosas no solo, dissolução e transporte de nutrientes .

No Brasil, grande parte da área agrícola é representada por solos ácidos, que geralmente apresentam concentrações inadequadas de alguns elementos ou nutrientes, o que resulta em problemas nutricionais para as plantas. A inibição do crescimento microbiano em valores de pH considerados desfavoráveis resulta não só do efeito direto da elevada concentração de H^+ ou OH^- mas também da influência direta do pH na biodisponibilidade de compostos tóxicos (Tsai *et al.*, 1992; Singh *et al.*, 1994). A calagem de solos ácidos e a adubação podem favorecer o desenvolvimento microbiano de forma direta, pelo aumento de pH e da disponibilidade de nutrientes e, indiretamente, pela maior produção vegetal, que acarreta aumento da atividade rizosférica e dos resíduos adicionados ao solo (Nueremberg *et al.*, 1984).

As populações e biomassa microbianas são altamente influenciadas pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo, sendo cada grupo de microorganismos afetado de forma distinta. Schnurer *et al.* (1986) verificaram que a remoção dos restos culturais de milho reduziu a densidade microbiana do solo e influenciou a resposta da microbiota a outros fatores. A aplicação de calcário reduziu as populações de fungos e aumentou a dos actinomicetos e dos nitrificadores, quando os resíduos do milho foram mantidos no solo, não ocorrendo o mesmo quando estes foram removidos do solo após o cultivo (Cattelan & Vidor 1990b). Segundo

Cattelan & Vidor (1990b) a profundidade exerceu grande efeito sobre a comunidade microbiana: as contagens de bactérias e fungos foram em torno de duas vezes menor na camada de 5-15 cm do que na superficial. Esse efeito foi menos pronunciado para os actinomicetos e inexistente para os solubilizadores de fosfato.

Diversos autores já relataram que o sistema de preparo do solo e a época de amostragem influíram na biomassa microbiana, que apresentou correlação positiva com os os teores de C orgânico, P e os valores de pH do solo (Cattelan & Borket, 1994; Cattelan & Gaudêncio, 1994; Cattelan & Torres, 1994). A biomassa microbiana e a comunidade de fungos e bactérias, o teor de matéria orgânica e P foram influenciados por vários fatores, entre eles o manejo do solo, profundidade e época da amostragem. No plantio direto, nos 5cm superficiais e nas épocas mais quentes e chuvosas foram verificados os maiores valores para esses parâmetros avaliados (Fernandes, 1995). Os solos submetidos a plantio direto ou preparo reduzido apresentaram um acúmulo superficial de resíduos orgânicos e nutrientes minerais, possibilitando a formação de uma camada muito favorável ao desenvolvimento microbiano (Carter & Rennie, 1992).

Tem-se proposto a utilização de parâmetros microbiológicos relacionados ao ciclo do C, N e do P no solo para estas análises (Wick *et al.*, 1998; Lukito *et al.*, 1997) . A biomassa de microorganismos do solo pode ser definida como a parte da matéria orgânica em atividade e tem sido proposta como um indicador do estado e alteração na matéria orgânica total do solo (Wick *et al.*, 1998; Lukito *et al.*, 1997; Lavahun *et al.*, 1996). A biomassa microbiana do solo é responsável pelas mais importantes atividades do solo, como a decomposição e acúmulo de matéria orgânica e transformação de nutrientes minerais (Wick *et al.*, 1998; Lukito *et al.*, 1997). Há autores que a define como o mais importante indicador do desempenho dos microrganismos do solo, especialmente se a

análise da biomassa for combinada com parâmetros de atividade como a produção de CO_2 (Mamilov & Dilly, 2002; Joergensen *et al.*, 1996).

O reconhecimento da importância dos microorganismos do solo tem levado a um crescente interesse na determinação dos nutrientes contidos em sua biomassa, especialmente C e N, cuja estimativa fornece dados úteis sobre a mudança de fertilidade do solo (Bossata & Agren, 1994). Segundo Paul & Clark (1989) parâmetros como biomassa e atividade microbiana do solo dentre outros, devem ser utilizados como indicadores das alterações induzidas pela agricultura nos agroecossistemas. A biomassa microbiana representa um importante reservatório de nutrientes do solo e desempenha um papel ativo na prevenção de perdas de nutrientes (Henrot & Robertson, 1994). Essa também depende primordialmente de substrato orgânico ou nutrientes, além de fatores ambientais como temperatura, umidade e textura do solo (Pfenning *et al.*, 1992). Diversos trabalhos mostram o efeito desses fatores sobre a biomassa microbiana em diferentes solos agrícolas com diferentes histórias de culturas e manejo (Zelles *et al.*, 1994; Frasser *et al.*, 1994; Singh *et al.*, 1994).

Enzimas como a fosfatase ácida e alcalina hidrolizam pontes de P-éster da matéria orgânica, promovendo a liberação de fósforo inorgânico no meio ambiente. A celulose é quantitativamente o mais importante composto orgânico do solo, sendo altamente envolvida no ciclo do carbono. A β-glicosidase pertence a um grupo de enzimas que catalisam a conversão da celulose a glicose. Segundo Wick *et al.* (1998) estes indicadores podem ser utilizados com êxito na determinação da qualidade e na determinação da eficiência do tratamento de correção do solo aplicado.

A identificação das características da comunidade microbiana que influenciam no ecossistema terrestre apresenta considerável importância em áreas como a agricultura e a ecologia (Yin *et al.*, 2000). Um dos melhores métodos para a determinação da diversidade

funcional das diversas comunidades microbianas é feito através da análise de cultivo em diferentes tipos de substrato adicionados a meios de cultura. Nesse método, comunidades são analisadas quanto à sua capacidade de crescimento em diferentes meios de cultura, utilizando variadas fontes de carbono e nitrogênio. Contudo, essa técnica apresenta algumas limitações, como o fato de nem todos os microrganismos crescerem em cultivo axênico, ou terem os seus meios de cultivo bem definidos e/ou comportarem-se *in vitro* de forma diferente que *in vivo* (Yin *et al.*, 2000). Dessa forma, a análise por respirometria mostra-se útil para a verificação da atividade da microbiota do solo, uma vez que tem um caráter mais amplo de ação, abrangendo quase toda esta comunidade.

A análise por respirometria já foi utilizada para avaliar novas métodos de recuperação de áreas afetadas pela erosão, conforme relatado por Agassi *et al.* (1998). Nesse trabalho, utilizando compostos de lixo urbano em cobertura ou incorporado ao solo, observou-se aumento da liberação de CO_2, sendo que, quando incorporado, foi significativamente menor do que quando aplicado em cobertura na mesma proporção ($200 m^3 h^{-1}$). É possível que parte do CO_2 não tenha sido solto liberado na atmosfera, tendo ficado preso ao solo sob a forma de ácido carbônico, ou precipitado, como carbonatos.

Outro aspecto importante dos microorganismos do solo é a produção de enzimas extracelulares cujas atividades podem ser utilizadas para avaliar a fertilidade ou a atividade biológica do solo para fins agrícolas (Martens *et al.*, 1992; Kandeler & Eder, 1993). A decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes são conseqüências da atividade de enzimas extracelulares que são reguladas diretamente por fatores tais como temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes e, indiretamente, pela composição química da matéria orgânica por processos de adsorsão, inibição e estabilização (Sinsabaugh, 1994; Nahas *et al.*, 1994a,b). As enzimas do solo mais estudadas são as oxirredutases, transferases e as hidrolases.

Dentre as hidrolases, especialmente, destacam-se as fosfatases para estudos dos solos brasileiros que apresentam pouca disponibilidade de fosfato.

A fração de fosfato orgânico no solo pode variar amplamente entre 20 a 80% do conteúdo total de fósforo (Dalal, 1977), podendo, contudo, contribuir para a nutrição das plantas. Pela ação de fosfatases, enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de fosfato, o fosfato orgânico é transformado em fosfato inorgânico solúvel (Nahas *et al.*, 1994b). Essas enzimas são excretadas pelos microrganismos (Nahas *et al.*, 1994a) e pelas raízes de plantas (Sakai & Tadano, 1993).

Embora a redução da produtividade do solo esteja relacionada a aspectos físicos e químicos do solo, a microbiota do solo é também severamente afetada (Habte & Aziz, 1991). A decapitação-do-solo reduziu o número total de fungos e bactérias em diferentes profundidades. Segundo Silva *et al.*, (1992) a atividade microbiana medida pela liberação de CO_2 e o número total de bactérias, fungos, microorganismos celulolíticos e algas cianofíceas foram pouco estimulados após o primeiro ano de aplicação de tratamentos de recuperação de um solo submetido à erosão simulada no Estado de São Paulo. Contudo, são ainda poucos os trabalhos que têm mostrado que a microbiota em solos erodidos é significativamente reduzida, em termos qualitativos e quantitativos, em conseqüência da perda de matéria orgânica e de nutrientes (Habte & Aziz, 1991).

É sabido que os microrganismos desempenham um papel relevante nas propriedades do solo, tanto sob o aspecto físico, da agregação de partículas, estrutura, aeração, umidade e temperatura, quanto químico, como pH, decomposição de matéria orgânica ciclagem dos nutrientes (Tisdall, 1994). A importância do papel dos microorganismos nestes aspectos pode pode ser verificada em vasta literatura. Entretanto, pouco é conhecido sobre a influência direta e efetiva dos microorganismos no processo de recuperação de solos erodidos. Esta

recuperação é geralmente demorada e envolve elevados custos, principalmente pela aplicação crescente e contínua de insumos, tais como fertilizantes.

É necessário ressaltar que alguns grupos de microorganismos, como os fixadores de N_2 e os fungos micorrízicos, expressam sua máxima eficiência em condições de estresse nutricional e ambiental como ocorre em solos erodidos, e que são, portanto, pouco férteis e desestruturados. Assim, torna-se importante avaliar a atividade microbiana e a utilização de microorganismos benéficos, no manejo e recuperação de solos erodidos. Nesse aspecto, os procedimentos biológicos muito mais baratos também podem auxiliar diminuindo os gastos com insumos químicos, gerados pelo aumento na eficiência de utilização de fertilizantes, como é o caso dos fungos micorrízicos (Ferguson,1984) e atuando nos processos de reestruturação do solo pela agregação de partículas (Tisdall, 1994).

Análises do efeito da degradação do solo em virtude da erosão por água e vento, nas suas características físicas e químicas, já têm sido realizadas há longo tempo (Oldeman *et al.*, 1991). Inicialmente, processos de degradação do solo foram frequentemente relacionados a alterações nessas propriedades, as quais vêm sendo adotadas como indicadores da degradação do solo (Wick *et al.* 1998; Nwosu *et al.*, 1995). A recuperação de uma área degradada somente ocorre se houver uma resposta rápida às modificações ocorridas nas propriedades do solo, sendo que essas alterações devem ser definidas e quantificadas (Wick *et al.*, 1998; Zimovets *et al.*, 1994). Por conseguinte, é necessário selecionar o maior número de indicadores possível, que mostrem essas alterações na qualidade do solo, antes que se escolha qualquer medida corretiva (Wick *et al.*, 1998).

Há autores que afirmam que a recuperação do solo tornou-se um elemento tão indispensável na agricultura moderna que estudos envolvendo os efeitos da erosão, o controle e a restauração de áreas degradadas pelo seu efeito e também, a recuperação da

camada de húmus do solo, têm que ser desenvolvidos o quanto antes (Zimovets *et al.*, 1994). Devido à carência dessas informações, um significativo montante de recurso financeiros é gasto anualmente (Zimovets *et al.*, 1994), prejudicando ainda mais o desenvolvimento da agricultura dos países do terceiro mundo.

Diversos autores têm mostrado os efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo no controle da erosão. Tratando-se de perdas do solo, há relatos de que a técnica do plantio direto reduziu em 87% as perdas em relação ao preparo convencional; contudo esses resultados variaram de acordo com o tipo de solo empregado no estudo (Castro *et al.*, 1986ab; Benatti *et al.*, 1977). Mesmo reduzindo-se as perdas por erosão, a produtividade desses solos ainda foi baixa, devido, principalmente, à infestação por ervas daninhas, já que se deixava em pousio de inverno (Benatti *et al.*, 1977). Embora o plantio direto venha mostrando ser o sistema mais eficiente no controle da erosão hídrica, o seu uso tem-se limitado às regiões onde o regime de chuvas permite o desenvolvimento satisfatório de culturas de inverno. No Estado de São Paulo poucas regiões apresentam essas condições; o período de outono-inverno é muito seco, não permitindo o desenvolvimento de culturas capazes de produzir uma quantidade de massa que permita boa cobertura do solo, garantindo todos os benefícios do plantio direto em termos do controle da erosão, redução da perda de água, menor infestação de ervas daninhas e menor aquecimento do solo (Castro *et al.*, 1986ab) .

Diferentes alternativas para correção dos efeitos nocivos da erosão têm sido analisadas em diferentes partes do mundo. As propostas de processos de recuperação do solo envolvem a utilização de materiais que podem variar desde lixo urbano a restos de cultura (Martinez & Tabatabai, 1997; Joergensen *et al.*, 1997).

Experimento utilizando lixo urbano foi realizado com o propósito de avaliar o seu uso na recuperação do solo. Pelo uso do composto de lixo urbano e de um sistema para simular chuva em laboratório, Agassi *et al.* (1998) aplicaram o composto de lixo como cobertura do solo, nas proporções de 0 (controle), 100, 200 e 300 m^3ha^1 e como mistura na proporção de $200m^3há^{-1}$ direta com o solo. A aplicação do composto de lixo urbano na superfície do solo promoveu um controle eficiente da erosão provocada pela água, sendo que a cobertura do solo com 100 m^3 ha^1 já foi o suficiente para promover proteção adequada. Porém, em condições de campo é possível que a quantidade do composto a ser aplicada tenha que ser maior. A mistura direta com o solo promoveu um controle eficaz das perdas de nutrientes por lixiviação.

Capítulo 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento para avaliar o efeito da erosão simulada por decapitação do solo

3.1.1 Instalação e realização do experimento de campo

As avaliações foram feitas a partir de amostras de solo provenientes de experimento de campo do projeto "A INDUÇÃO DE PERDAS POR EROSÃO E PRODUTIVIDADE DO SOLO: PESQUISA COM SOLO ARTIFICIALMENTE DECAPITADO" realizado pela Área de Conservação do Solo, do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agronômico em Campinas, (SP).

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Mococa, em um podzólico vermelho-escuro eutrófico, Tb, A moderado, textura argilosa. A área foi dividida em dois talhões: um sem decapitação e outro com uma decapitação equivalente a perder os primeiros 20cm de solo. Para se fazer a remoção foi usada uma lâmina acoplada a trator de esteira, sendo todo o trabalho acompanhado com nível de precisão para que houvesse uma retirada a mais homogênea possível dos 20cm de solo. As áreas decapitadas foram inteiramente escarificadas e plantadas com milho no final de janeiro de 1991.

I - ÁREA DECAPITADA

E	**B**	**D**	**C**	**A**

II - ÁREA NÃO DECAPITADA

E	**B**	**D**	**C**	**A**

Em dezembro de 1991 iniciou-se o processo de recuperação do solo erodido com os seguintes tratamentos, os quais vêm sendo realizados anualmente, antecedendo o plantio do milho:

A - Testemunha: milho, plantado sem qualquer tipo de adubação.

B - Adubação química (AdQui): milho, plantado com adubação química (fórmula 4-14-8 + Zn).

C - Adubação verde + adubação química (AdVer+AdQui): antes do plantio do milho, plantou-se o guandu (sem adubação). Por ocasião do florescimento, este foi cortado e incorporado com o preparo do solo para o milho, plantado com adubação química (fórmula 4-14-8 + Zn).

D - Adubação orgânica + Adubação química (AdOr+AdQui): por ocasião do plantio de milho, junto com o preparo do solo, incorporou-se 10t/ha de esterco de curral curtido. O milho foi plantado com adubação (fórmula 4-14-8+ Zn).

E - Calagem + Adubação química (Cal+AdQui): além das 3t/ha de calcário iniciais, foi adicionada quantidade suficiente para elevar a 75% a saturação de bases, de acordo com a análise de solo. O milho foi plantado com adubação química (fórmula 4-14-8 + Zn).

O experimento no campo constitui-se, portanto, de dez tratamentos: solo decapitado e não-decapitado X cinco tratamentos de recuperação do solo.

3.1.2 Amostragem do solo e preparo das amostras

As amostras do solo foram retiradas nas profundidades 0-10cm, 10-20cm e de 20-30cm dos dez tratamentos, usando-se cavadeira manual, para o estudo do impacto da erosão e dos processos de recuperação sobre a comunidade microbiana e sua atividade no solo. As amostragens foram efetuadas por ocasião da colheita, em dois anos consecutivos. De cada parcela foram obtidas três amostras compostas a partir de dez subamostras. As amostras

compostas, imediatamente após a coleta, foram passadas por peneira de 2mm de abertura de malha e submetidas às analises microbiológicas. As análises de fertilidade das amostras de solo constam da Tabela I.

Tabela I – Resultado da análise de fertilidade do solo no primeiro ano, considerando diferentes profundidades de amostragem e no segundo ano, na profundidade de 0-20 cm do solo.

1° ANO DE AMOSTRAGEM								
TESTEMUNHA - MILHO PLANTADO SEM ADUBAÇÃO - SOLO NÃO DECAPITADO								
PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	5,6	15	60	0,4	16	11	23	54
de 10 a 20	4,6	11	30	0,1	11	6	34	33
de 20 a 30	4,6	9	30	0,1	10	4	31	31
TESTEMUNHA - MILHO PLANTADO SEM ADUBAÇÃO - SOLO DECAPITADO								
PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	5,9	10	60	0,3	22	16	20	66
de 10 a 20	4,3	8	50	0,4	8	4	38	25
de 20 a 30	4,6	5	20	0,4	9	3	31	29
ADUBAÇÃO QUÍMICA - SOLO NÃO DECAPITADO								
PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6,2	14	200	0,5	25	14	15	72
de 10 a 20	5,5	13	100	0,4	21	10	23	58
de 20 a 30	4,4	9	20	0,1	10	4	34	29
ADUBAÇÃO QUÍMICA - SOLO DECAPITADO								
PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	5,8	10	310	1	20	10	20	61
de 10 a 20	4,7	8	10	0,3	11	3	31	32
de 20 a 30	5	7	50	0,5	14	3	25	41
ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO VERDE - SOLO NÃO DECAPITADO								
PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6,2	16	120	0,7	31	18	15	77
de 10 a 20	4,4	11	60	0,2	8	4	38	24
de 20 a 30	4,3	11	16	0,1	7	3	43	19

ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO VERDE - SOLO DECAPITADO

PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6,1	9	70	0,1	19	14	16	67
de 10 a 20	5,2	9	50	0,1	12	7	23	45
de 20 a 30	5,6	5	30	0,1	12	5	20	46

ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO ORGÂNICA - SOLO NÃO DECAPITADO

PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6	16	260	2,6	23	13	20	66
de 10 a 20	4,5	13	70	1,2	11	5	34	34
de 20 a 30	4,7	8	30	0,9	11	4	31	34

ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO ORGÂNICA - SOLO DECAPITADO

PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6	11	60	0,4	21	14	52	41
de 10 a 20	5,1	8	70	0,1	14	5	25	43
de 20 a 30	4,7	8	20	0,1	11	3	25	36

ADUBAÇÃO QUÍMICA + CALAGEM - SOLO NÃO DECAPITADO

PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6,4	14	180	0,3	37	22	13	82
de 10 a 20	6,1	13	180	0,1	24	14	18	68
de 20 a 30	5,6	30	250	2,7	42	18	28	69

ADUBAÇÃO QUÍMICA + CALAGEM - SOLO DECAPITADO

PROFUNDIDADES em centímetros	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
de 0 a 10	6,4	11	50	0,1	31	20	13	80
de 10 a 20	4,5	8	30	0,1	10	4	34	29
de 20 a 30	5	10	30	0,1	11	5	25	39

2º ANO DE AMOSTRAGEM

TESTEMUNHA - MILHO PLANTADO SEM ADUBAÇÃO - SOLO NÃO DECAPITADO

	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
	5,1	14	90	1,2	17	13	25	56

TESTEMUNHA - MILHO PLANTADO SEM ADUBAÇÃO - SOLO DECAPITADO

	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m		mol_c dm^{-3}			
	4,7	11	230	1	15	11	34	44

	pH-$CaCl_2$	M.Or. dm^{-3}	P	K	Ca	Mg	H+Al	V%
			m	mol_c dm^{-3}				
ADUBAÇÃO QUÍMICA - SOLO NÃO DECAPITADO								
	5,4	16	220	1,8	2,4	15	20	67
ADUBAÇÃO QUÍMICA - SOLO DECAPITADO								
	4,4	13	70	1,3	11	6	34	34
ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO VERDE - SOLO NÃO DECAPITADO								
	4,4	16	100	1,1	13	7	34	38
ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO VERDE - SOLO DECAPITADO								
	4,3	13	50	1,3	9	7	38	31
ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO ORGÂNICA - SOLO NÃO DECAPITADO								
	5	16	190	2,2	18	10	28	52
ADUBAÇÃO QUÍMICA + ADUBAÇÃO ORGÂNICA - SOLO DECAPITADO								
	4,6	16	130	3,2	14	9	31	46
ADUBAÇÃO QUÍMICA + CALAGEM - SOLO NÃO DECAPITADO								
	5,9	14	220	0,8	28	20	16	75
ADUBAÇÃO QUÍMICA + CALAGEM - SOLO DECAPITADO								
	6,1	13	190	1,6	30	20	15	77

3.1.3 Quantificação de alguns grupos específicos de microorganismos do solo

3.1.3.1 Bactérias Quimiorganotróficas Mesófilas e Fungos Filamentosos

Para cada amostra, foi preparada uma diluição decimal em série, colocando-se 10g de terra em frascos contendo 90ml de água destilada esterilizada. Foram preparadas três réplicas para cada diluição, sendo usadas de 10^{-1} a 10^{-5} para as bactérias e de 10^{-1} a 10^{-3} para fungos, transferindo-se 0,1 ml de cada diluição por placa. Empregaram-se os seguintes meios de cultura: Thornton, para bactérias (Parkinson *et al.*, 1971) e Martin para fungos (Menzeis, 1965). As placas inoculadas foram incubadas à temperatura de 28°C. A contagem do número de colônias de bactérias e fungos foi realizada após três dias de incubação.

Meio de cultura para bactérias

COMPONENTE	QUANTIDADE
glicose	**15,0 *g***
K_2PO_4	**0,50 *g***
Extrato de Solo [1]	**0,10 *L***
H_2O destilada	**0,90 *L***
ágar	**15,0 *g***
pH	**6,8 – 7,0**

(1) – Para o preparo do extrato de solo: Autoclavou-se 1,0 kg de solo com 1 L de H_2O por 30 minutos. Acrescentou-se 2 g de $CaCO_3$ e filtrou-se repetidas vezes em papel filtro até o extrato apresentar uma cor límpida.

Meio de cultura para fungos

COMPONENTE	QUANTIDADE
glicose	**10,0 *g***
KH_2PO_4	**1,00 *g***
Peptona bacteriológica	**5,00 *g***
$MgSO_4.7H_2O$	**0,50 *g***
rosa bengala	**0,03 *g***
ágar	**15,0 *g***
Solução estoque de estreptomicina [2]	**2,00 *mL***
Solução estoque cloranfenicol [3]	**1,00 *mL***
H_2O Destilada	**1,00 *L***

(2) – Solução estoque de Estreptomicina: 0,6 g de sulfato de estreptomicina em 20mL de H_2O destilada, filtrada em membrana de 0,45 μm.

(3) – Solução estoque de Cloranfenicol: 500 mg de cloranfenicol em 8 mL de H_2O destilada acrescido de 2 mL de álcool etílico absoluto. Esterelizada por filtração com membrana de 0,45 μm.

3.1.3.2 Cianobactérias e Celulolíticos

Foram avaliados pela técnica de diluição decimal em série e determinação do número mais provável (NMP), empregando-se meio de cultura líquido. Para as cianobactérias as diluições empregadas foram 10^{-1} a 10^{-3} e para os microorganismos celulolíticos de 10^{-1} a 10^{-4}. Introduziu-se 1 mL de cada diluição em cada tubo de ensaio, fazendo-se 5 repetições de cada uma. Foram incubados a 28 °C por 15 dias para os celulolíticos e 30 dias para as

cianobactérias. A partir dos resultados positivos e negativos em cada uma das diluições das suspensões inoculadas, foi estimado o número de células viáveis desses microorganismos na amostra, através dos valores encontrados em tabelas (Koch, 1981). Os meios de cultura empregados para cada tipo de microorganismo consta de Pramer & Schimidt, (1963).

Meio de cultura para Cianobactérias

COMPONENTE	QUANTIDADE
K_2HPO_4	0,0261 *g*
$MgCl_2.6H_2O$	0,0614 *g*
$CaCl_2.6H_2O$	0,03285 g
Solução estoque de Fe.EDTA[4]	1,50 *mL*
Solução de micronutrientes[5]	1,50 *mL*
H_2O Destilada	1,50 *L*

(5) – Fe.EDTA solução estoque: solução a 1,64%. 8,2g de FeEDTA em 500 mL de H_2O destilada.

Solução de Micronutrientes (5)

COMPONENTE	QUANTIDADE
$CuSO_4.5H_2O$	0,04 *g*
$ZnSO_4.7H_2O$	1,20 *g*
$H_3.BO_3$	1,40 g
H_2O	1,00 L
$Na_2MoO_4.2H_2O$	1,00 g
$MnSO_4.H_2O$	1,75 g

Meio de cultura para Celulolíticos

COMPONENTE	QUANTIDADE
solução salina[6]	**40,0 *mL***
K_2HPO_4	**0,80 *g***
$NaNO_3$	**0,40 *g***
NH_4NO_3	**0,80 *g***
$MgSO_4.7H_2O$	**0,40 *g***
extrato de solo	**16,0 *mL***
solução de micronutrientes	**0,80 *mL***
tira de papel filtro WHATMAN N° 42	**1 *un.***
H_2O Destilada	**1,00 *L***

(6) – Solução salina (estoque): 0,8 g NaCl/100 ml de H_2O destilada.

3.1.4 Determinação da Atividade Microbiana no Solo

A atividade microbiana foi avaliada pela respiração basal, determinando-se o CO_2 liberado de amostras de 50 g de solo que reagiu com NaOH a 0,1 N e foi titulado com HCl 0,1 N, após 10 dias de incubação a temperatura de 28° C (Alef, 1995). O CO_2 liberado foi expresso em $\mu gCO_2\ g^{-1}$ solo/dia^{-1}.

3.2 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias feita pelo teste de Tukey a 5% pelo programa SANEST (Zonta *et al.*, 1984).

Capitulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Estatística

A análise da variância dos resultados analisados no primeiro ano de amostragem, mostrou que os fatores estudados, ou seja, profundidade, decapitação do solo e tratamentos de recuperação foram altamente significativos (Tabela II), inclusive em interação tripla, o que permitiu o desmembramento dos fatores.

Tabela II – Significância do teste F da análise da variância das variáveis números de bactérias, fungos, microorganismos celulolíticos e cianobactérias no solo e liberação de CO_2 do solo, no primeiro ano de amostragem

Causa da Variação	Bactérias	Fungos	Cianobactérias	Celulolíticos	Respiração Basal
Profundidade	***	***	***	***	***
Decapitação	***	***	***	***	***
Tratamento de Recuperação	***	***	***	***	***
Profund X Decap	ns	**	***	ns	ns
Decap X Tratam	ns	***	***	***	***
Profund X Tratam	***	***	***	***	***
Profund X Decap X Tratam	***	***	***	***	*
CV %	**18,6**	**13,1**	**23,2**	**21,4**	**25**

ns – não significativo; * - significativo a 5%; ** - significativo a 1% e *** - significativo abaixo de 1%.

A tabela III mostra a análise da variância das variáveis no segundo ano de amostragem. Observou-se que, para as contagens de fungos, cianobactérias e celulolíticos, os fatores e interações foram altamente significativos, enquanto que para a contagem de bactérias o fator decapitação não foi significativo e para respiração basal praticamente só a profundidade e interação tripla foram significativos.

Tabela III – Significância do teste F da análise da variância das variáveis número de bactérias, fungos, microorganismos celulolíticos e cianobactérias no solo e liberação de CO_2 (respiração basal) do solo, no segundo ano de amostragem.

Causa da Variação	Bactérias	Fungos	Cianobactérias	Celulolíticos	Respiração Basal
Profundidade	***	***	***	***	***
Decapitação	ns	***	***	***	ns
Tratamentos de Recuperação	***	***	***	***	ns
Profund X Decap	***	***	***	*	ns
Decap X Tratam	***	***	***	***	ns
Profund X Tratam	***	***	***	***	*
Profund X Decap X Tratam	***	***	***	***	**
CV %	**23,4**	**27,5**	**37,2**	**26,1**	**36**

ns – não significativo; * - significativo a 5%; ** - significativo a 1% e *** - significativo abaixo de 1%.

4.1.1 Avaliação da Contagem de Bactérias Heterotróficas Mesófilas

Considerando o primeiro ano de amostragem no solo não decapitado (Figura 1A), a contagem de bactérias nos tratamentos Testemunha, AdVer+AdQui e AdOr+AdQui não apresentam diferença significativa quanto à profundidade. Já nos tratamentos AdQui e Cal+AdQui, a contagem foi significativamente maior nas profundidades de 10-20 e de 20-30 cm. Na profundidade de 0-10 cm, nos tratamentos AdVer+AdQui e AdOr+AdQui a contagem de bactérias foi superior aos demais, enquanto que, nas profundidades inferiores, houve maior número de bactérias com AdQui e Cal+AdQui.

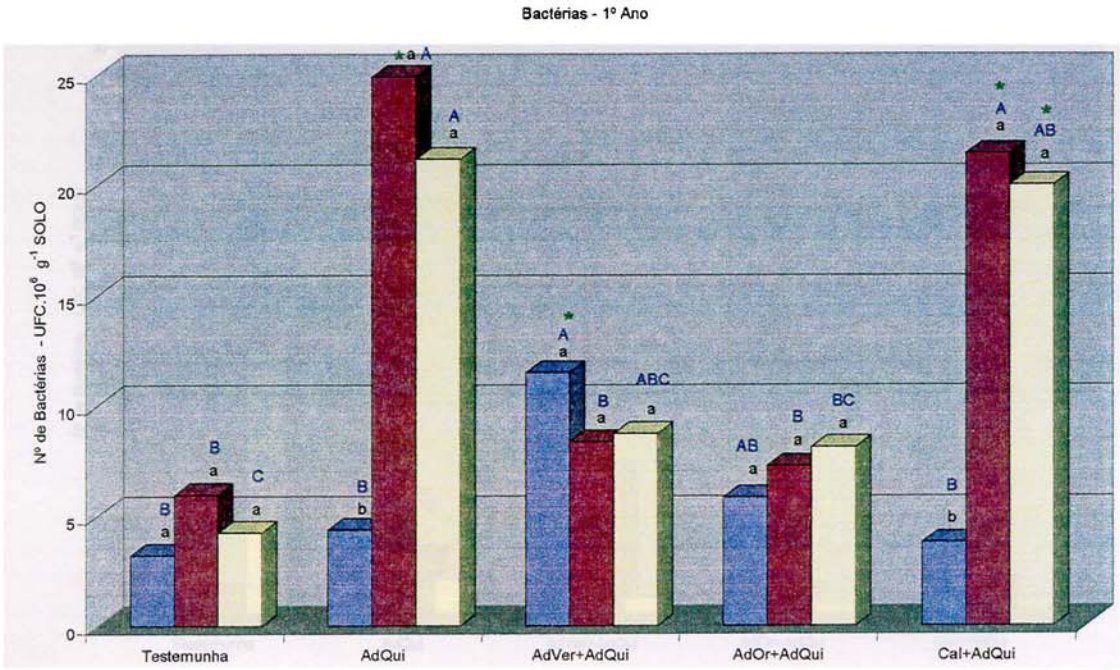
No solo decapitado (Figura 1B), no tratamento Testemunha, a contagem de bactérias não diferiu com a profundidade, enquanto que nos demais tratamentos houve um aumento do número de bactérias com a profundidade, exceto em AdVer+AdQui, no qual foi significativamente maior na profundidade de 10-20 cm. Comparando-se os tratamentos de recuperação, na profundidade de 0-10 cm, não diferiram entre si, enquanto que, na de 10-20 cm AdQui, AdVer+AdQui e Cal+AdQui apresentaram maior número de bactérias. Já a maior profundidade (20-30cm), as maiores contagens foram observados nos tratamentos AdQui, AdOr+AdQui e Cal+AdQui.

No geral, o solo não decapitado apresentou maior contagem de bactérias que o solo decapitado, principalmente nos tratamentos AdQui e Cal+AdQui, nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm (Figura 1).

No segundo ano de amostragem no solo não decapitado, a contagem de bactérias foi significativamente maior na profundidade de 0-10cm para os tratamentos de recuperação (Figura 2A), diminuindo drasticamente nas demais profundidades, exceto na testemunha. Na profundidade de 0-10 cm, a contagem foi significativamente menor no tratamento

Bactérias – 1° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

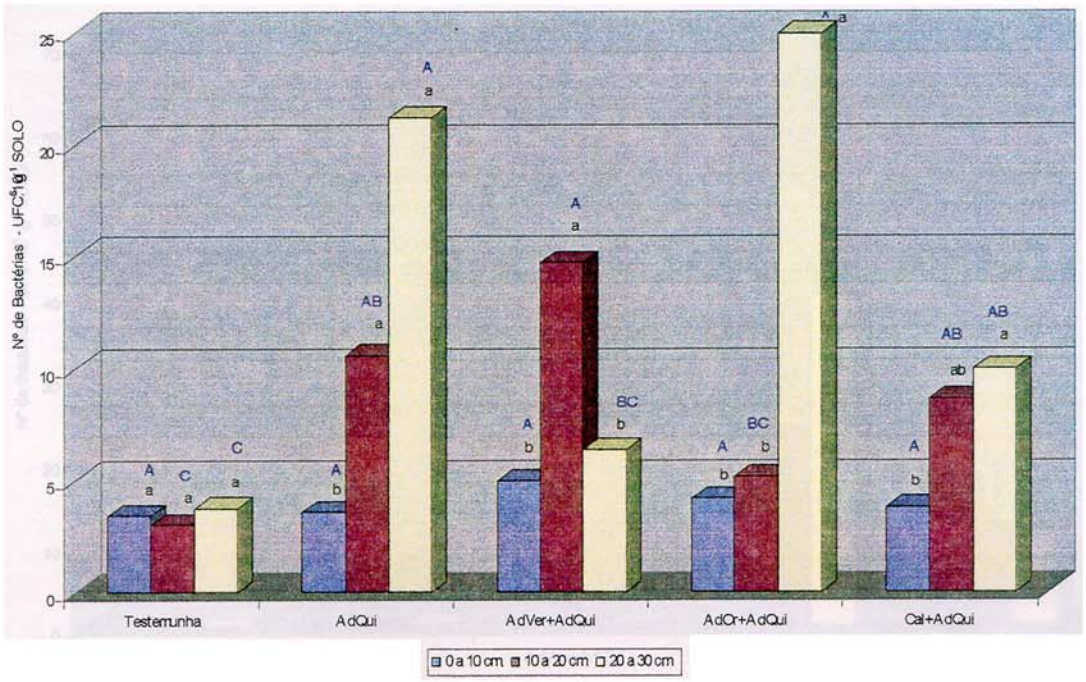
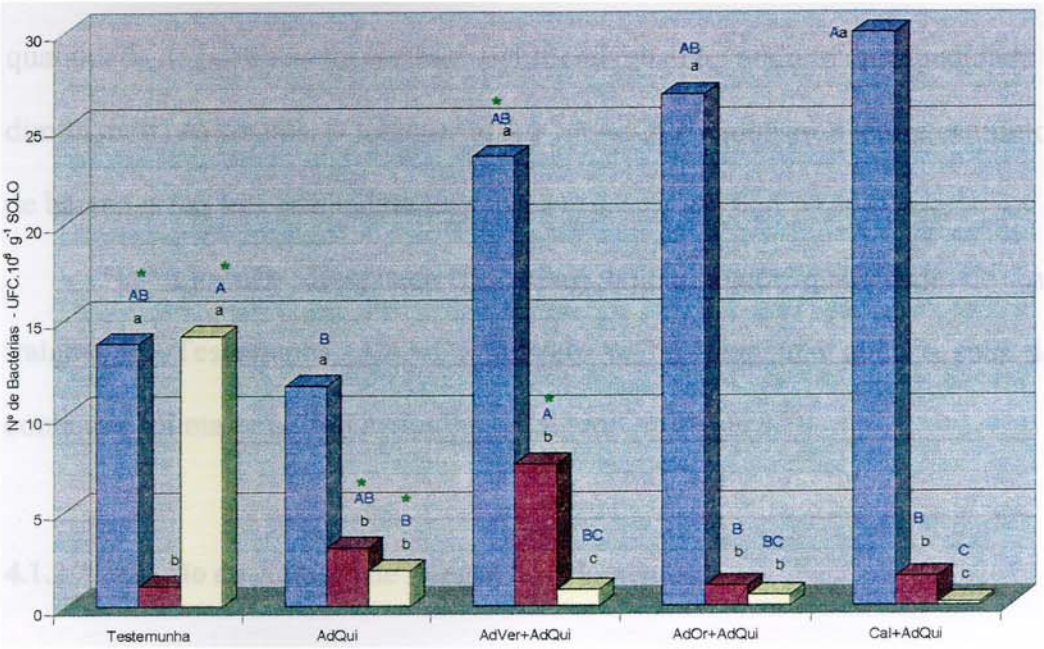


Figura 1 – Número de bactérias quimiorganotróficas em solo não-decapitado (A) e decapitado (B), no primeiro ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

Bactérias – 2° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

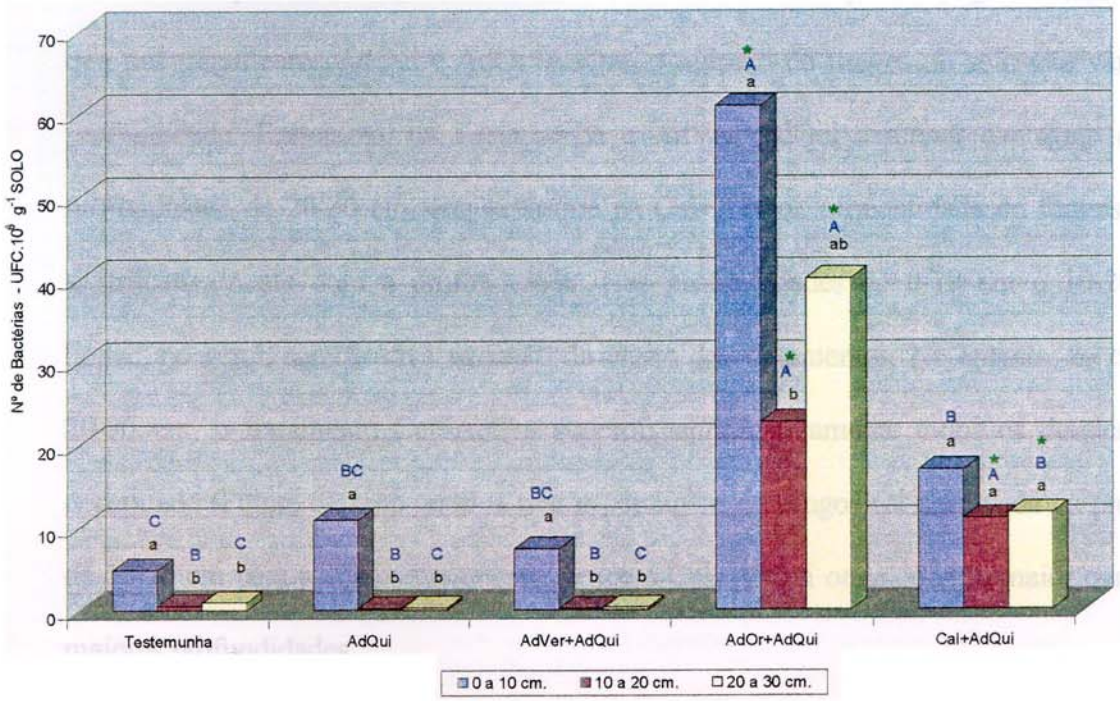


Figura 2 – Número de bactérias quimiorganotróficas em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no segundo ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. . Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e asterisco (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

AdQui. Já na profundidade de 10-20 cm, houve um estímulo na quantidade de bactérias com a AdVer+AdQui e na camada de 20-30 cm, na Testemunha. No solo decapitado, a quantidade de bactérias foi também significativamente maior na profundidade de 0-10 cm, diminuindo nas demais. O tratamento AdOr+AdQui demonstrou maior estímulo ao número de bactérias nas três profundidades.

No solo não decapitado no geral, houve maior quantidade de bactérias nos tratamentos Testemunha, AdQui e AdVer+AdQui, enquanto que no solo decapitado a contagem foi maior no AdOr+AdQui e Cal+AdQui (Figura 2).

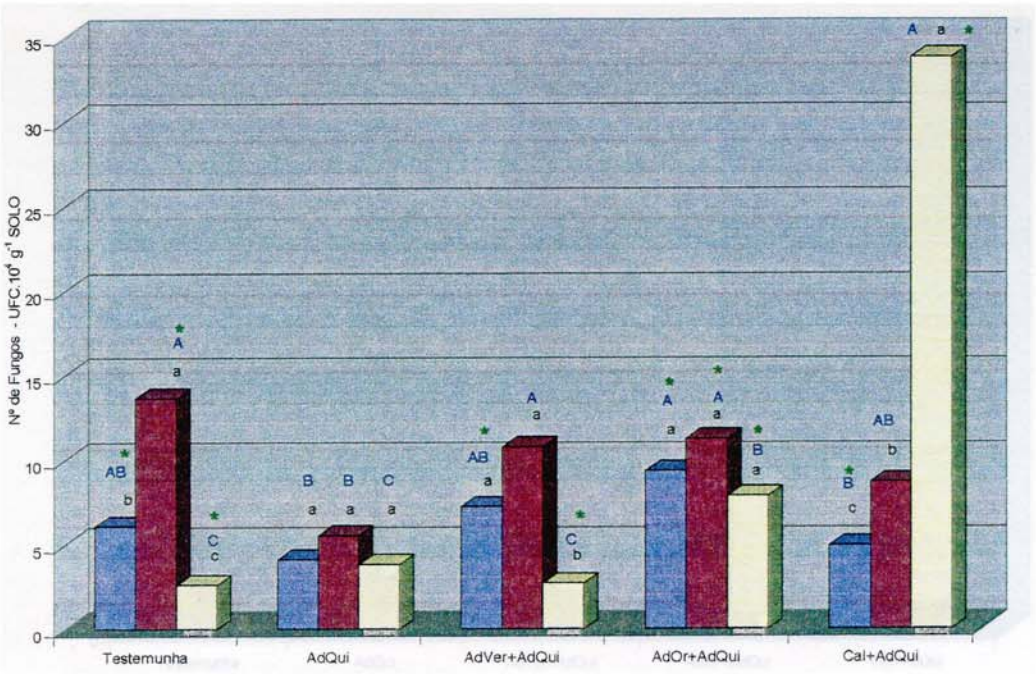
4.1.2 Avaliação do Número de Fungos do Filamentosos

No primeiro ano, considerando-se o solo não decapitado (Figura 3A), observou-se que nos tratamentos AdQui e AdOr+AdQui, o número de fungos no solo não variou com a profundidade. Entretanto, na Testemunha e AdVer+AdQui a menor contagem ocorreu na profundidade de 20-30 cm, enquanto que na Cal+AdQui, a quantidade de fungos aumentou significativamente com a profundidade. Nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, não houve, no geral, significativa variação do efeito dos tratamentos. No entanto, na camada de 20-30 cm, o tratamento Cal+AdQui superou significativamente todos os demais. No solo decapitado (Figura 3B), no geral, a maior contagem de fungos foi observada na profundidade de 10-20 cm para todos os tratamentos, exceto Cal+AdQui onde ocorreu maior contagem nas maiores profundidades.

Na maioria dos tratamentos, no solo não decapitado houve maior quantidade de fungos que no decapitado (Figura 3).

Fungos – 1° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

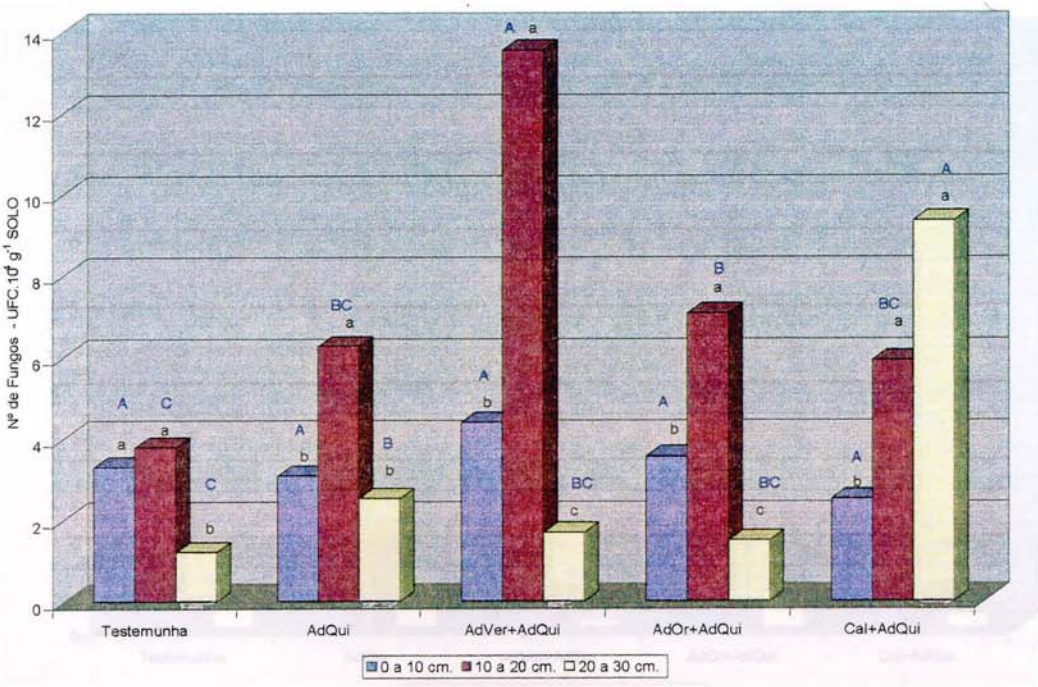
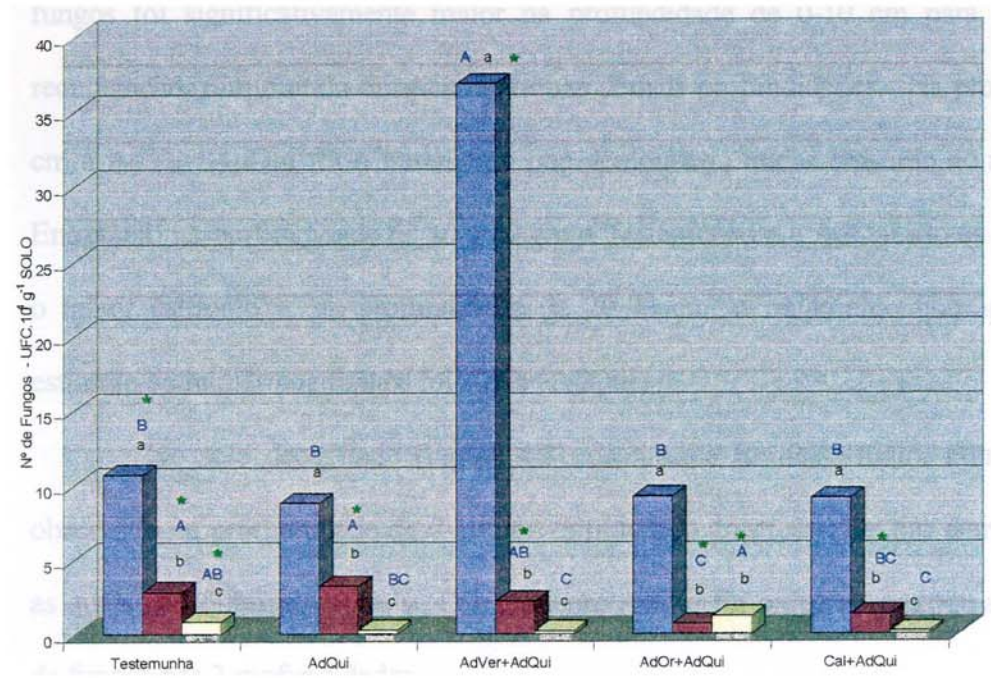


Figura 3 – Número de fungos em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no primeiro ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

Fungos – 2° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

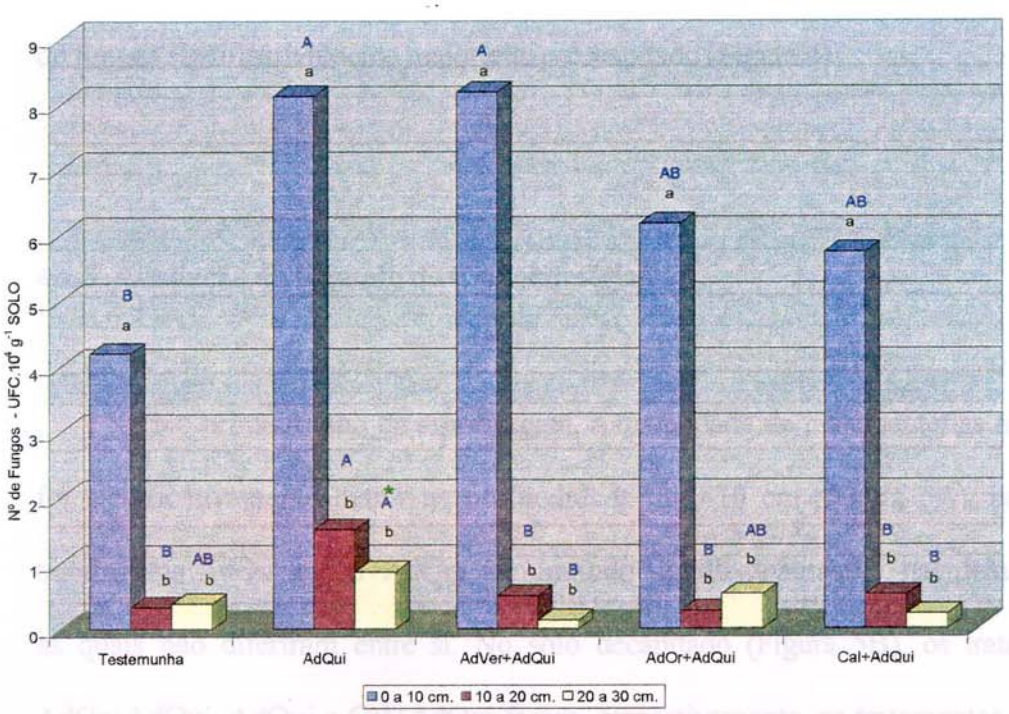


Figura 4 – Número de fungos em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no segundo ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras Maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

No segundo ano de amostragem, no solo não decapitado (Figura 4A), a contagem de fungos foi significativamente maior na profundidade de 0-10 cm para os tratamentos de recuperação, diminuindo drasticamente nas demais profundidades. Na profundidade de 0-10 cm a AdVer+AdQui foi o tratamento que demonstrou maior estímulo ao número de fungos. Entretanto na profundidade de 10 a 20 cm a Testemunha e a AdQui são os que demonstraram o maior estímulo e, na profundidade de 20-30 cm, o tratamento que apresentou o maior estímulo ao número de fungos foi AdOr+AdQui.

No solo decapitado (Figura 4B), da mesma forma, o maior número de fungos foi observado na profundidade de 0-10 cm, diminuindo drasticamente nas demais profundidades, as quais não diferiram entre si. O tratamento AdQui foi o que apresentou a maior quantidade de fungos nas 3 profundidades.

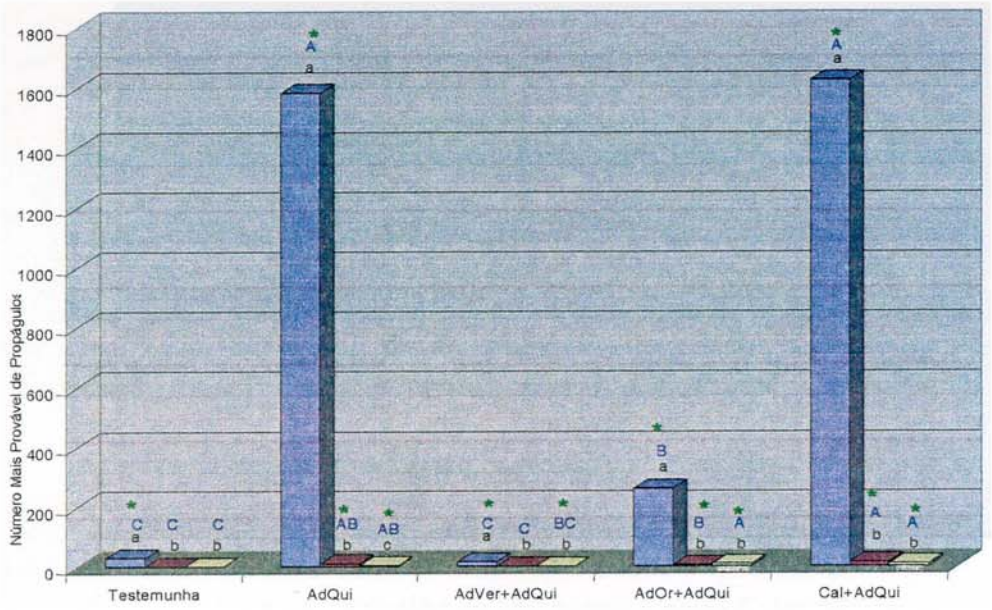
O solo não decapitado, na maior parte dos tratamentos, apresentou uma quantidade de fungos significativamente maior que o decapitado (Figura 4).

4.1.3 Avaliação do Número de Cianobactérias.

No primeiro ano de amostragem, a quantidade de cianobactérias no solo decapitado foi significativamente maior na profundidade de 0-10 cm (Figura 5A), principalmente nos tratamentos AdQui e Cal+AdQui, diminuindo significativamente nas demais profundidades as quais não diferiram entre si. No solo decapitado (Figura 5B), os tratamentos, ou seja, AdOr+AdQui, AdQui e Cal+AdQui foram, respectivamente, os tratamentos que apresentaram maior contagem de cianobactérias na camada de 0-10 cm. Também houve uma queda significativa com a profundidade de amostragem.

Cianobactérias – 1° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

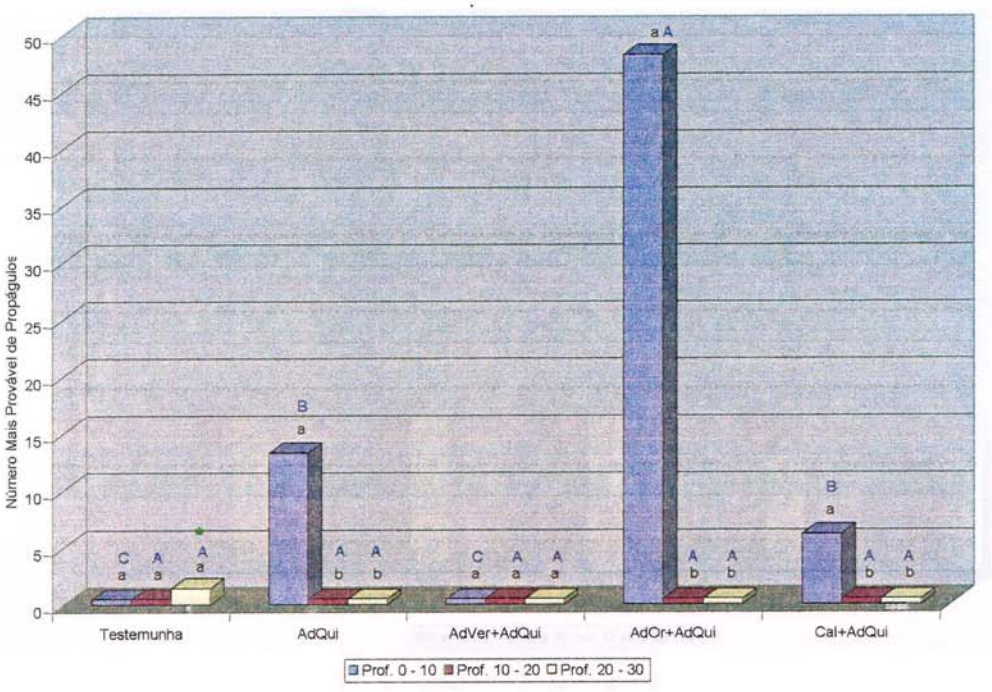
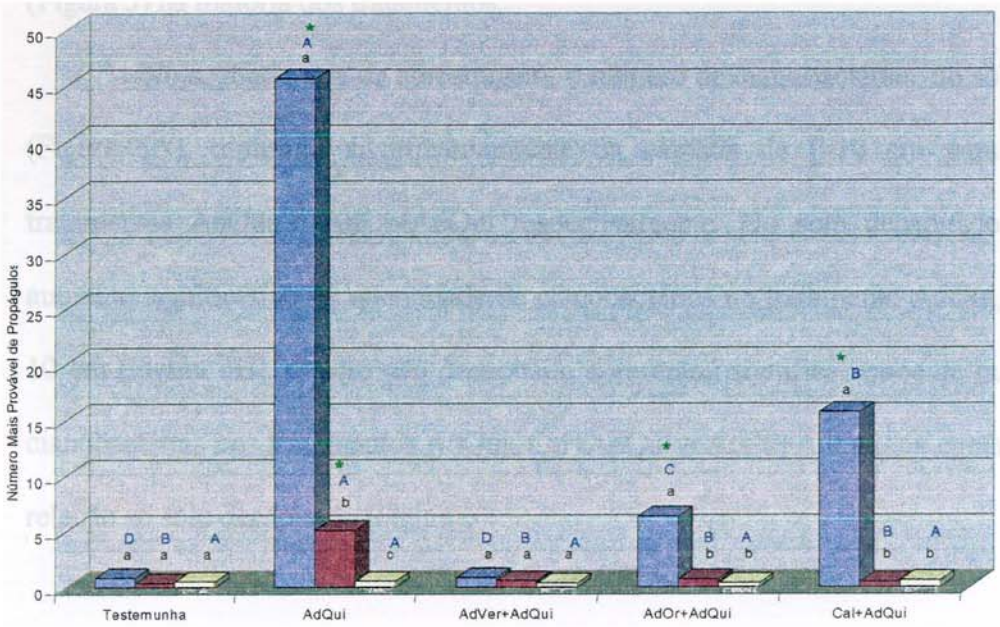


Figura 5 – Número de cianobactérias em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no primeiro ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

Cianobactérias – 2° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

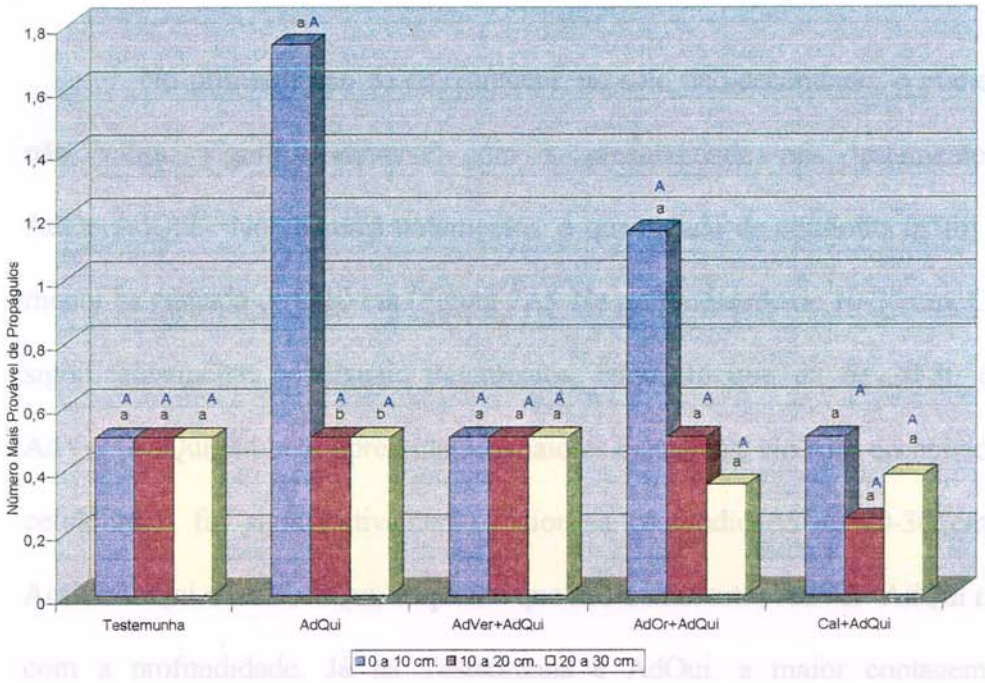


Figura 6 – Número de cianobactérias em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no segundo ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e, asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

O número de cianobactérias foi significativamente maior no solo não decapitado (Figura 5) na maioria dos tratamentos.

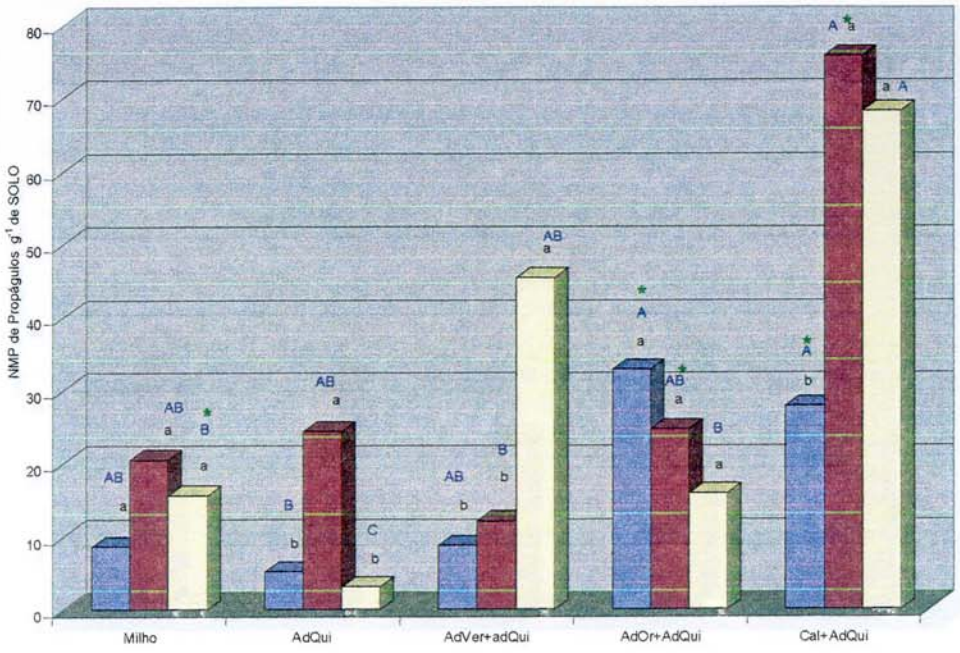
No segundo ano de amostragem, o número de cianobactérias, no solo não decapitado (Figura 6A), diminuiu significativamente da camada de 0-10 cm para as demais, nos tratamentos AdQui e AdOr+AdQui respectivamente. No solo decapitado, somente houve aumento significativo na quantidade de cianobactérias no tratamento AdQui, na camada de 0-10 cm (Figura 6B). O solo não decapitado apresentou significativamente maior contagem de cianobactérias nos tratamentos AdQui, Cal+AdQui e AdOr+AdQui, na camada de 0-10cm, m relação ao solo decapitado (Figura 6).

4.1.4 Avaliação do Número de Microorganismos Celulolíticos.

No primeiro ano de amostragem, no solo não-decapitado, o número de celulolíticos não variou significativamente com a profundidade nos tratamentos Testemunha e AdOr+AdQui. Nos demais tratamentos, a quantidade de celulolíticos foi significativamente menor na camada de 0-10 cm (Figura 7A). Na profundidade de 10-20 cm, Cal+AdQui superou significativamente os demais tratamentos, enquanto que na de 20-30 cm, Cal+AdQui e AdVer+AdQui também apresentaram maiores contagens. No solo decapitado, a quantidade de celulolíticos foi significativamente maior na profundidade de 20-30 cm, nos tratamentos AdOr+AdQui e Cal+AdQui, enquanto que nos tratamentos AdVer+AdQui não houve variação com a profundidade. Já na Testemunha e AdQui, a maior contagem foi observada a profundidade de 10-20cm (Figura 7B).

Celulolíticos – 1° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

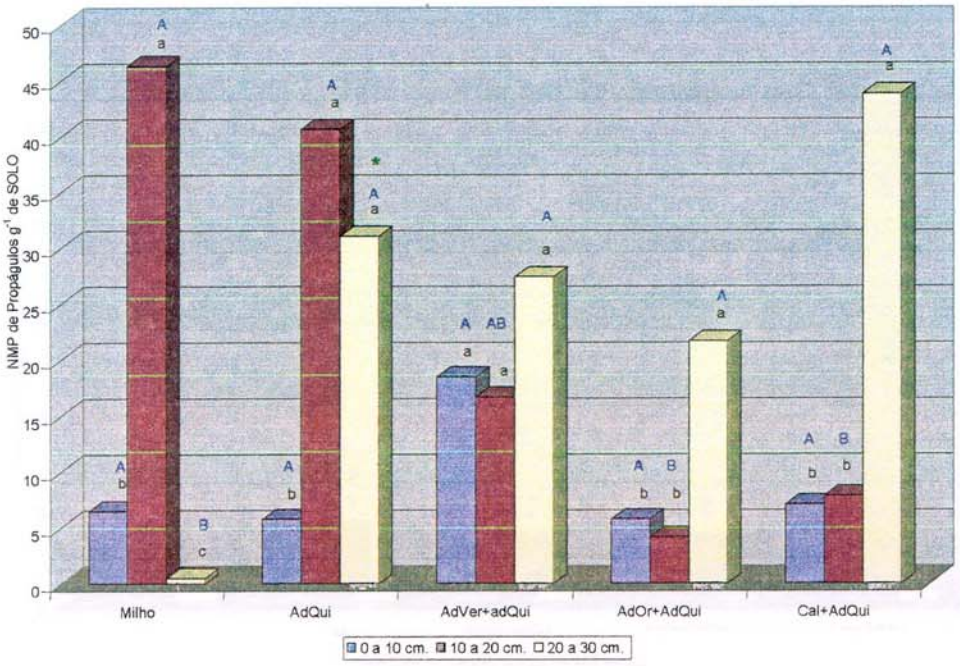
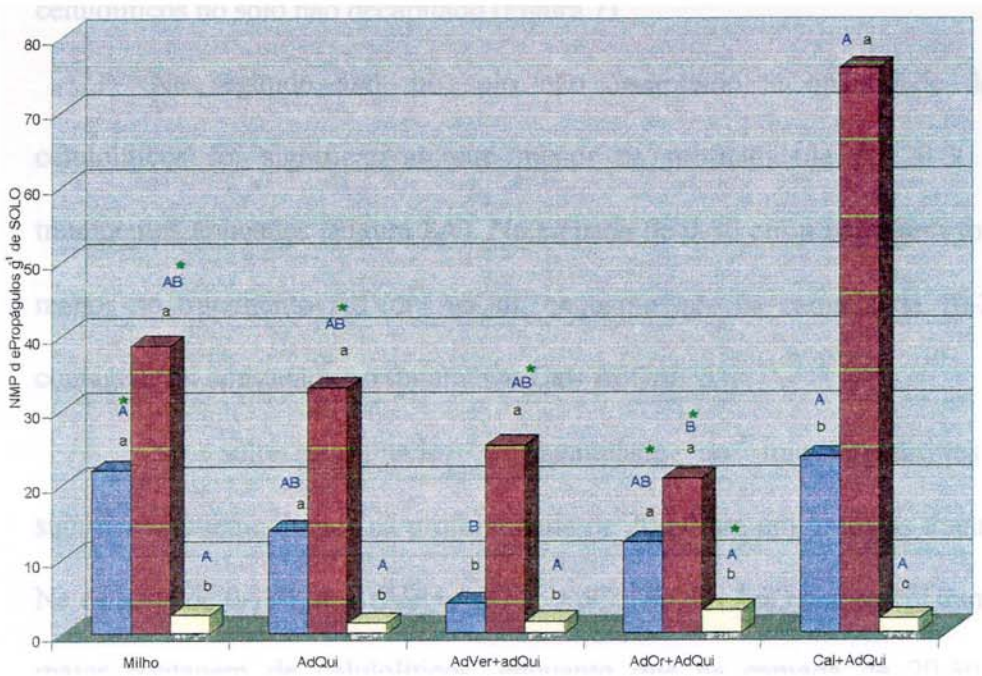


Figura 7 – contagem de celulolíticos em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no primeiro ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% . Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e, asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

Celulolíticos – 2° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

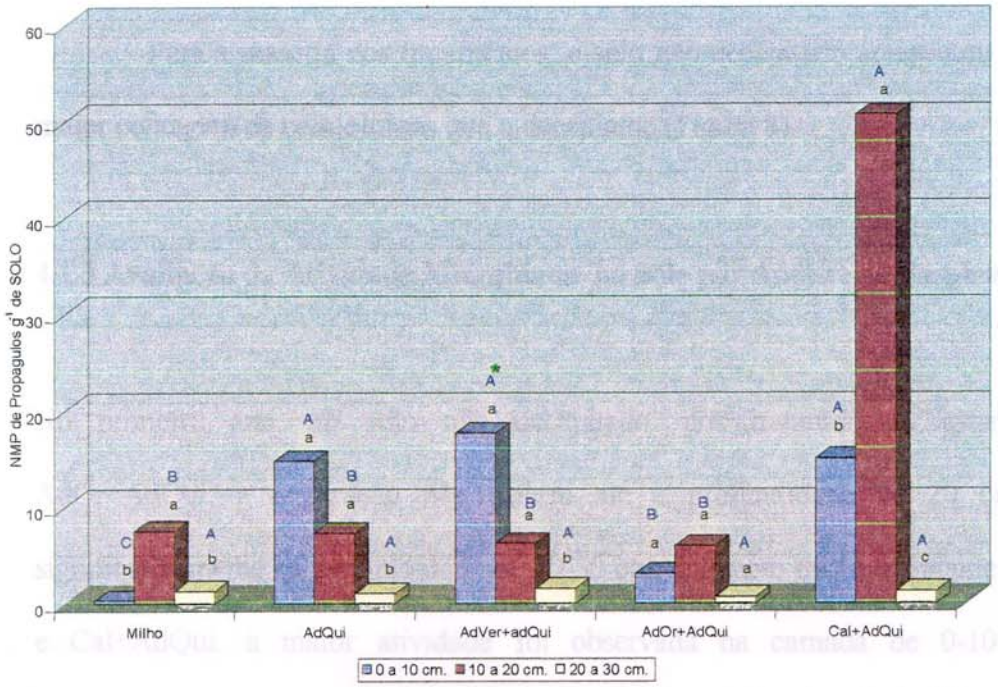


Figura 8 – contagem de celulolíticos em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no segundo ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% . Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e, asterisco (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

No geral, a maioria dos tratamentos apresentou maior número de microorganismos celulolíticos no solo não decapitado (Figura 7).

No segundo ano, no solo não decapitado, a quantidade de microorganismos celulolíticos foi significativamente menor na profundidade de 20-30 cm, em todos os tratamentos aplicados (Figura 8A). Na camada de 0-10 cm a contagem foi significativamente menor no tratamento AdVer+AdQui, enquanto que na camada de 10-20 cm, uma maior contagem foi constatada no tratamento Cal+AdQui.

No solo decapitado, a quantidade de microorganismos celulolíticos foi significativamente menor na profundidade de 20-30 cm em todos os tratamentos (Figura 8B). Na camada de 0-10 cm, AdVer+AdQui, AdQui e Cal+AdQui apresentaram significativamente maior contagem de celulolíticos, enquanto que na camada de 20-30 cm, o tratamento Cal+AdQui superou significativamente os demais.

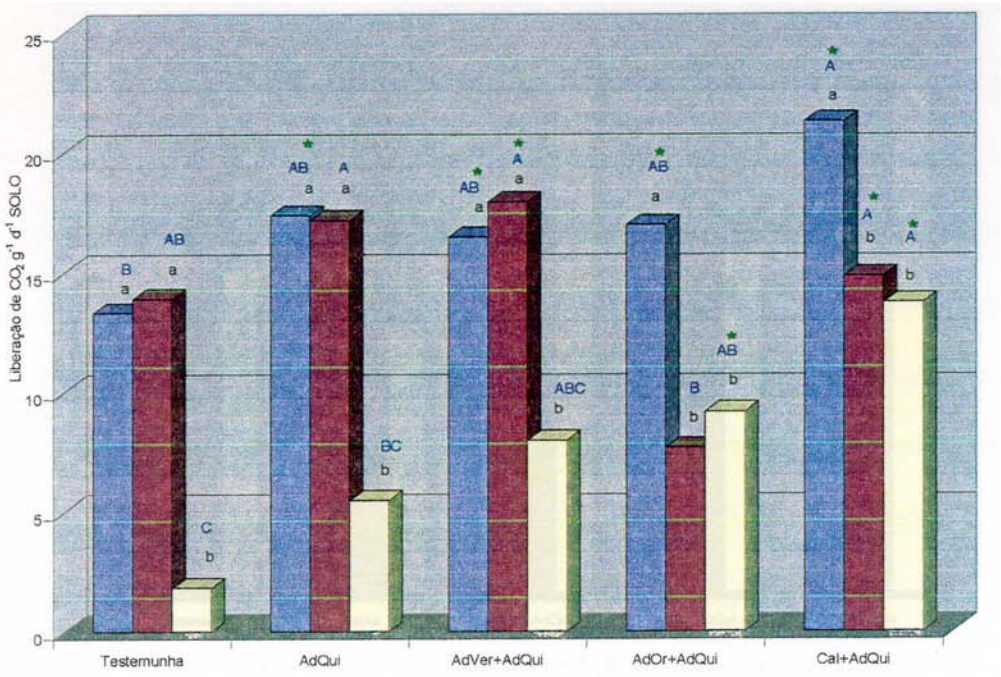
Para a maioria dos tratamentos, o solo não decapitado apresentou significativamente maior contagem de celulolíticos que o decapitado (Figura 8).

4.1.5 Avaliação da Atividade Microbiana no Solo por Análise de Respiração Basal.

No primeiro ano, no solo não decapitado, nos tratamentos Testemunha, AdQui e AdOr+AdQui, a respiração não diferiu até a profundidade de 20 cm, mas diminuiu significativamente na profundidade de 20-30 cm, enquanto que nos tratamentos AdOr+AdQui e Cal+AdQui, a maior atividade foi observada na camada de 0-10 cm, diminuindo significativamente nas camadas inferiores, as quais não diferiram entre si (Figura 9A). No solo decapitado constatou-se que a respiração basal não diferiu significativamente nas camadas de

Atividade Microbiana – 1° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

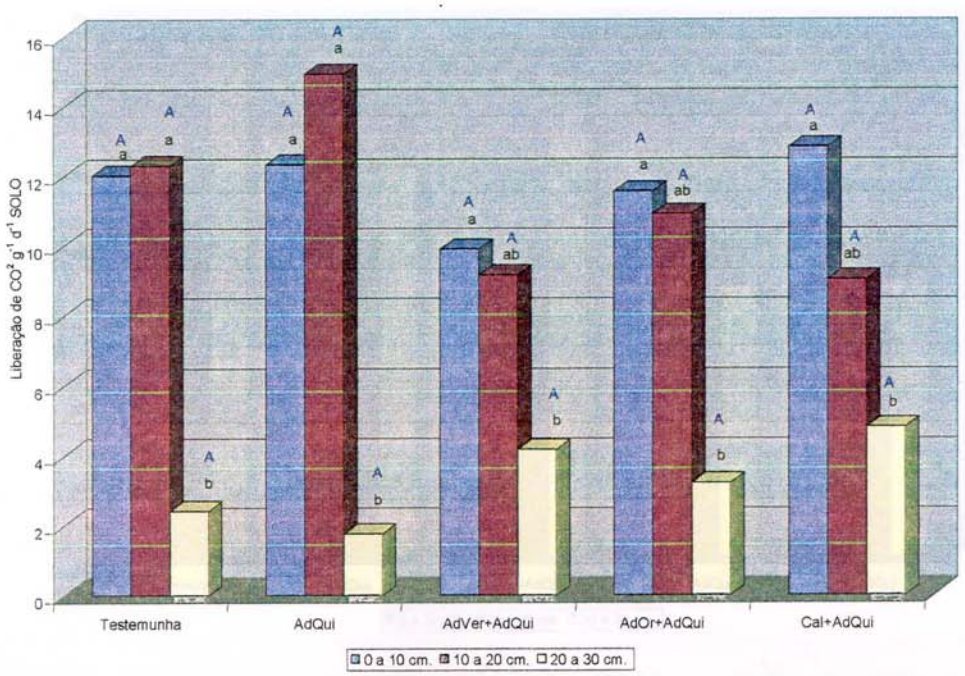
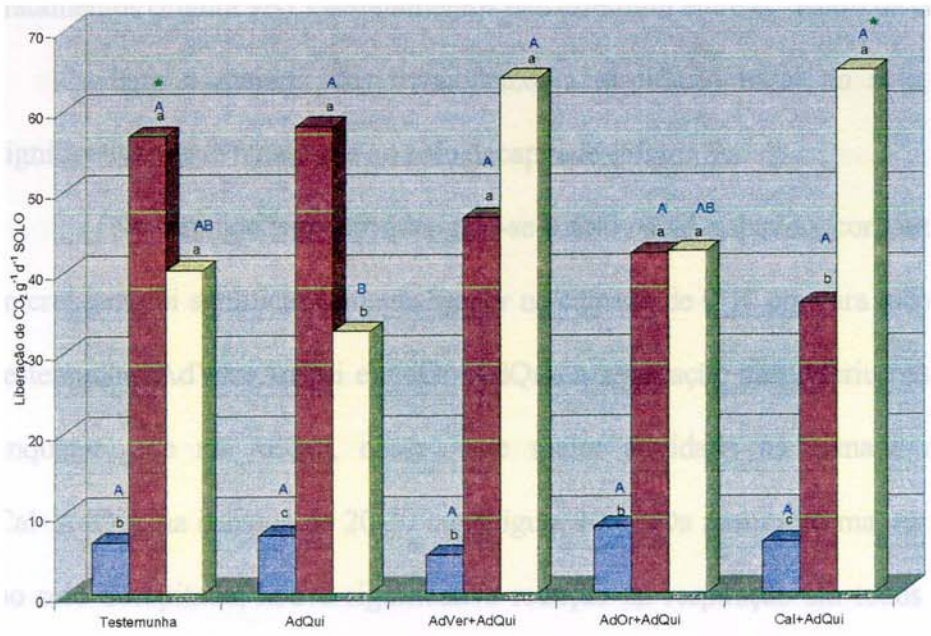


Figura 9 – Atividade microbiana avaliada pela respiração basal em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no primeiro ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letras minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e, asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

Atividade Microbiana – 2° Ano

A-) Solo Não Decapitado



B-) Solo Decapitado

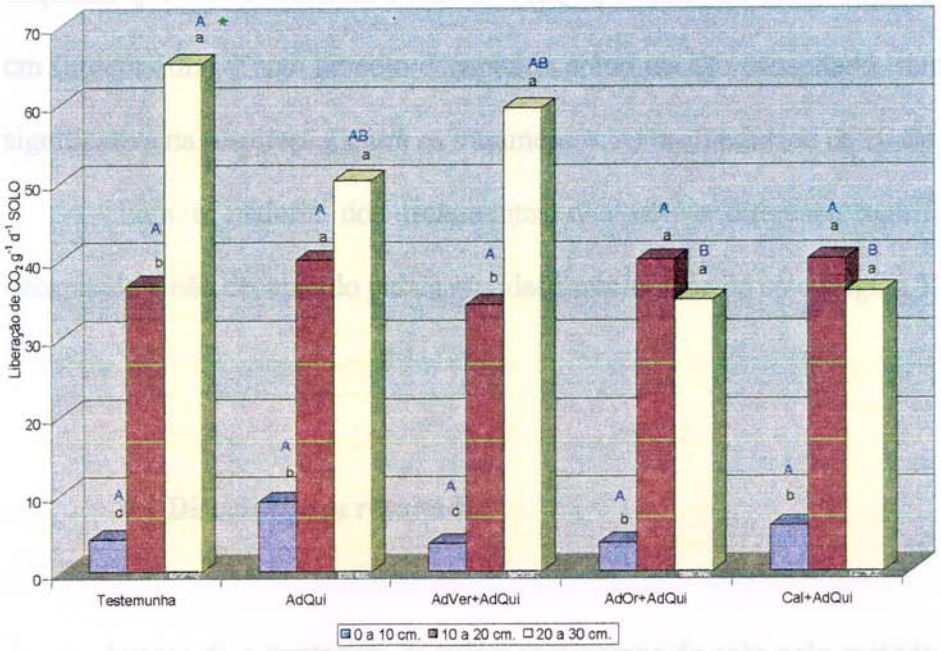


Figura 10 – Atividade microbiana avaliada pela respiração basal em solo não decapitado (A) e decapitado (B), no segundo ano de amostragem, em três profundidades, com diferentes tratamentos de recuperação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas (azul): comparação entre tratamentos dentro da mesma profundidade e decapitação, letra minúsculas (preta): comparação entre profundidades dentro do mesmo tratamento decapitação e, asteriscos (verde): comparação entre decapitação dentro do mesmo tratamento e profundidade.

0-10 e 10-20 cm, mas diminuiu significativamente na camada de 20-30 cm, em todos os tratamentos (Figura 9B). Os tratamentos não diferiram entre si, dentro de cada profundidade.

Para a maioria dos tratamentos, a respiração basal no solo não decapitado foi significativamente maior que no solo decapitado (Figura 9).

No segundo ano, considerando-se o solo não decapitado, constatou-se que a atividade microbiana foi significativamente menor na camada de 0-10 cm para todos os tratamentos. Na testemunha, AdVer+AdQui e AdOr+AdQui, a respiração não diferiu nas camadas inferiores, enquanto que na AdQui, observou-se maior atividade na camada de 10-20 cm e na Cal+AdQui, na camada de 20-30 cm (Figura 10A). Da mesma forma, na camada de 0-10 cm, no solo decapitado, houve significativa redução na respiração em todos os tratamentos. Nos tratamentos AdQui, AdOr+AdQui e Cal+AdQui, a respiração não diferiu nas demais camadas, enquanto que na Testemunha e AdVer+AdQui, a maior atividade ocorreu na camada de 20-30 cm (Figura 10B). Tanto no solo decapitado como no não decapitado, somente houve variação significativa na respiração, entre os tratamentos, na profundidade de 20-30 cm.

Para a maioria dos tratamentos não houve diferença significativa entre o solo decapitado e não decapitado para a atividade microbiana do solo (Figura 10).

4.2 Discussão dos resultados

Apesar de a contagem de microorganismos do solo pelo método de cultivo em meio definido subestimar em muito a quantidade real de microrganismos presentes na amostra, esta é uma medida do grau de interferência ocorrida no sistema (solo), podendo ser usada como um indicativo da qualidade do solo. No primeiro ano de amostragem houve um efeito

variável do tratamento e da profundidade amostrada sobe a quantidade de bactérias heterotróficas. No geral, ocorreu menor contagem na camada mais superficial do solo, havendo um aumento no número de bactérias nas demais profundidades. Cattelan & Vidor (1990) observaram maior contagem de bactérias nas camadas mais superficiais do solo, sendo estes fato decorrente do acúmulo de resíduos vegetais e nutrientes inorgânicos presentes. Além disso, à medida em que aumenta a profundidade, a própria diminuição das trocas gasosas pode acarretar a diminuição do número de bactérias.

Seganfredo *et al.* (1997) mostraram que, independente do sistema de cultivo escolhido, a matéria orgânica é um dos constituintes do solo que se perde em maior proporção, sendo que a adubação verde é um dos processos que causam maior proteção ao solo e diminuição de perdas. Aspectos como perda da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo podem ter reduzido a contagem de bactérias ou talvez, o próprio método de incorporação da matéria orgânica ao solo tenha sido responsável pela maior quantidade de bactérias na profundidade de dez a vinte centímetros de solo (Figura 1).

Já no segundo ano de amostragem, houve, como esperado, uma diminuição na contagem de bactérias com o aumento da profundidade (Figura 2). Os tratamentos de recuperação empregados influenciaram de forma diferente a quantificação de bactérias. Assim, em geral, no primeiro ano, AdQui, AdQui+Cal e AdVer+AdQui foram significativamente superiores aos demais, enquanto que no segundo ano, AdOrg+AdQui e Cal+AdQui superaram. Isto demonstra que a quantificação de bactérias heterotróficas pode ser um indicar adequado da qualidade do solo, pois é bastante sensível ao manejo e/ou fator de estresse, como no caso, erosão simulada.

A comunidade bacteriana do solo desempenha um papel importante na agregação das partículas do solo, mostrando-se como o principal agente microbiano para a

estabilização de agregados (Dufranc, 2001). Segundo Foster (1978), agem na agregação de partículas de duas formas: mecanicamente, empurrando as partículas minerais do solo, e, preenchendo os espaços porosos pela produção de polissacarídeos e agentes cimentantes. Tais polissacarídeos extracelulares são importantes porque são compostos hidrofóbicos, diminuindo a destruição de agregados pelo aumento de sua resistência ao umedecimento (Guggenberg *et al.*, 1999).

As cianobactérias demonstraram maior sensibilidade à erosão do solo. Independentemente do tratamento de recuperação aplicado, as amostras provindas de solos não-erodidos apresentaram números muito maiores que as vindas de solos decapitados, principalmente na camada superficial (Figura 5). Nos dois anos de amostragem, a profundidade de zero a dez centímetros foi a que demonstrou a maior contagem de cianobactérias, o que é perfeitamente justificável levando-se em conta o fato de serem microorganismos aeróbios e fotolitotróficos. Nos tratamentos AdQui e Cal+AdQui houve um incremento de 100-300 vezes no número de cianobactérias, na profundidade de 0-10 cm, no solo não decapitado, em relação ao decapitado.

Nas camadas inferiores o número de cianobactérias mostrou-se muito baixo, e praticamente não variou com os tratamentos aplicados, em ambas amostragens.

Os fungos são apontados como importantes agentes de estabilização dos agregados do solo, principalmente, pela ação mecânica das hifas, mas também pela excreção de polissacarídeos, os quais são mais resistentes à oxidação dos que os produzidos por bactérias (Foster, 1984 a,b).

As maiores contagens de fungos do solo predominaram nas camadas superficiais, 0-10 e 10-20 cm, em ambas as amostragens. Sendo os fungos em sua maioria aeróbios restritos, o seu crescimentos nas camadas mais próximas à superfície é favorecido, pois a

oferta de O_2 é maior e mais constante. Além disso, pelo fato de serem quimiorganotrófico, na camada superficial do solo, onde há maior oferta de matéria orgânica, espera-se maior quantidade de fungos.

A quantificação de fungos mostrou-se um indicador bastante sensível ao estresse causado pela erosão, pois no solo não decapitado as contagens foram 3-4 vezes maiores que no solo decapitado, principalmente no segundo ano de amostragem.

Com relação aos tratamentos de recuperação do solo erodido aplicados, constatou-se que, no geral, no primeiro ano, a Cal+AdQui causou um aumento significativo na contagem de fungos, superando os demais enquanto, no segundo ano, a AdOrg+AdQui e Ad Qui. O uso de adubação orgânica não causou aumento significativo no número de fungos do solo, como era esperado.

A profundidade não exerceu um efeito significativo sobre a comunidade de microorganismos celulolíticos, fato também observado por Cattelan e Viddor (1990 a) sendo que as maiores contagens ocorreram na camada de 10-20 cm, em ambos os anos de amostragem.

Nos dois anos de amostragem, a Cal+AdQui , no geral apresentou as melhores contagens de microorganismos celulolíticos. Os tratamentos com adubação verde e adubação orgânica, entretanto, não apresentaram grande estímulo ao número de celulolíticos. Isto também foi observado por Cattelan e Vidor (1990 a), que empregaram diferentes adubos verdes, constatando que guandu+milho foi o tratamento que causou maior número de celulolíticos.

Apesar da quantidade de celulolíticos no solo não decapitado ter sido significativamente maior que no solo decapitado, as diferenças não foram tão pronunciadas quanto a contagem de fungos e de cianobactérias.

A respiração basal tem sido usada como um indicador da atividade metabólica de microorganismos heterotróficos aeróbios, podendo ser empregada como um indicativo da qualidade do solo (Gregorich & Carter, 1997)

A respirometria, no seu primeiro ano de amostragem, seguiu um padrão esperado pois com o aumento na profundidade, diminuiu a liberação de CO_2, o que pode estar relacionado à menor atividade de microorganismos aeróbios, tanto em solo decapitado quanto em solo não-decapitado.

No geral, dos tratamentos de recuperação empregados a Cal+AdQui, AdQui e AdVer+AdQui apresentaram significativamente maior respiração do que os demais, provavelmente estimulado pela incorporação de nutrientes no solo, apesar do tratamento AdOr+AdQui não responder da mesma forma. Neste primeiro ano, ainda vale salientar que, no geral, a respiração basal foi um bom indicador, sensível aos diferentes manejos aplicados.

Já no segundo ano de amostragem, não se comportou como um indicador sensível, pois não variou com a decapitação do solo e, no geral, com o tratamento de recuperação empregado. Além disso, a camada mais superficial do solo apresentou a menor liberação de CO_2, no solo decapitado ou não. Esse resultado não se relaciona, inclusive, com os números de bactérias, fungos e cianobactérias, as quais no segundo ano e na camada de 0-10 cm foram significativamente maiores. Agassi *et al.*, 1998 já relatou em seus experimentos a possibilidade de parte do CO_2 liberado pela respiração dos microorganismos ter ficado preso ao solo sob a forma de ácido carbônico ou precipitado como carbonatos. Há também a possibilidade de competição entre outros microorganismos aeróbios, como actinomicetos, o que poderia estar afetando a atividade microbiana como um todo. Além disso, microorganismos não ativos, em formas de dormência, podem

predominar no solo, principalmente em ecossistemas naturais (Heinemeyer *et al.*, 1999), ocorrendo uma baixa atividade da microbiota do solo, a qual é estimulada quando cultivada axenicamente. Daí nem sempre é possível obter uma relação entre a quantidade de microorganismos e sua real atividade metabólica.

No geral, não se constatou um tratamento de recuperação do solo (manejo) que tenha influenciado de forma sistemática os atributos microbiológicos analisados. De certa forma isso é esperado, pois o manejo do solo afeta de maneira diferente a microbiota, estimulando ou desistimulando tanto a quantidade quanto a atividade de grupos específicos de microorganismos.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

- Dentre os atributos número de bactérias, de microrganismos celulolíticos, respiração basal, número de fungos e número de cianobactérias, as contagens de fungos e de cianobactérias do solo foram os atributos microbiológicos que se mostraram mais sensíveis aos processos de erosão (decapitação do solo).
- No sistema agrícola avaliado a quantificação de bactérias heterotróficas, fungos e microorganismos celulolíticos mostraram-se sensíveis ao manejo (tratamento de recuperação) e a profundidade da amostragem.
- Dos tratamentos de recuperação empregados, a Calagem + Adubação Química foi o que mais estimulou a contagem de microorganismos e a atividade microbiana em comparação a Adubação Química, a Adubação Verde + Adubação Química, a Adubação Orgânica + Adubação Química e a Testemunha.
- A respiração basal foi o atributo microbiológico medido que mostrou menor sensibilidade à decapitação do solo e aos tratamentos de recuperação empregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; HADAS, A.; BENYAMINI, Y.; LEVY, G.J., KAUTSKY, L., AVRAHAMOV, L; ZHEVELEV,H..*Mulching effects of composted MSW on water percolation and Compost degradation rate.* **Compost Science & Utilization**, 6:34-41, 1998.

ALEF, K.. Soil Respiration. In: Alef, K. & Nannipiesi, P., eds. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London, Academic Press. P.214-219, 1995.

BALDANI, V.L.D.; ALVAREZ, M.A.D.; BALDANI, J.I.; DOBEREINER, J. *Establishment of inoculated Azospirilum spp. in the rhizosphere and in roots of field grown wheat and sorghum.* **Plant and Soil**, 90:35-45, 1986.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas.* **Boletim Técnico**, 74. Instituto Agronômico, Campinas, SP, 1983. 36p.

BELLINAZZI, Jr. R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. *A ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo.* In: SIMPÓSIO SOBRE CONTROLE DA EROSÃO, 2, SP, 1981. Anais, SP, ABGE,p.117-137.

BOSSATA, E. & AGREN, G.I. *Theoretical analysis of microbial biomass dynamics in soil.* **Biol. Fertil. Soils**, 17(2):91-100, 1994.

CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A. de; CANTARELLA, A.H.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. *Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois latossolos sob plantio direto e convencional.* **Bragantia**,51(1):77-84, 1992.

CARTER, M.R. & RENNIE, D.A. *Changes in soil quality under zero tillage forming systems: distribution of microbiol biomass and mineralizable C and N potentials.* **Can. J. Soil Sci.** 62:587-597, 1992.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. *Sistemas conservacionistas e reduzidos de preparo de solo e as perdas por erosão.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 10:167-171, 1986.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.; VIEIRA, S.R. *Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 10:293-297, 1986(a).

CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. *Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 14:133-142, 1990 (a).

CATTELAN, A. J & VIDOR, C. *Sistema de culturas e população microbiana do solo.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 14:125-132, 1990.

CATTELAN, A.K. & BORKET, C.M. *Biomassa e população microbiana em latossolo submetido a diferentes níveis de K, com sucessão trigo/soja.* In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**, 15., Londrina, 1993. Ata, Londrina, (EMBRAPA/CNPSo-Documento 72), 1994. p.19-20.

CATTELAN, A.J. & GAUDÊNCIO, C.A. *Biomassa e população microbiana em latossolo submetido à rotação e sucessão de culturas com a soja, no sistema de semeadura direta.* In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**, 15., Londrina, 1993. Ata, Londrina, (EMBRAPA/CNPSo-Documento 72), 1994. p.41-42.

CATTELAN, A.J. & TORRES, E. *Biomassa e população em latossolo submetido a diferentes preparos do solo com sucessão trigo/soja.* In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**, 15., Londrina, 1993. Ata, Londrina, (EMBRAPA/CNPSo-Documento 72), 1994. p.42.

CHANDER, K.; GOYAL, S.; MUNDRA, M.C.; KAPOOR, K.K.. *Organic matter, microbial biomass and enzime activity of soils under different crop rotations in the tropics.* **Biol. Fertil**

Soils 24:306-310. 1997.

CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P.; DONZOLI, P.L.; BARBIERI, J.L., SOUZA COELHO, A.G.; IVANCKO, C.A.; BITTENCOURT, I. *Uso Atual das Terras do Estado de São Paulo.* **Boletim Técnico no. 37** Instituto Agronômico, Campinas, SP, 1976. p.8,9 e 23.

DALAL, R.C. *Soil organic phosphorus.* **Adv. Agron.**, 29:83-117, 1977.

DORMAAR, J.F.; LUKOW, O.M.; LINDWALL, C.W.; KOZUB, G.C.. *Effect of artificially eroded Dark Brown Chernozemic soil and subsequent amendment on the milling and baking quality of wheat under dryland conditions.* **Canadian Journal of Soil Science**, 77:27-32, 1997.

DUFRANC, G.. *Atributos Físicos, Químicos e Biológicos Relacionados com a Estabilidade de Agregados de dois Latossolos Vermelhos em Plantio Direto no Estado de São Paulo.* Tese de Dissertação de Mestrado do IAC, Campinas, SP, 2001, 147p.

FERGUSON, J.J. (ed.) **Aplications of mycorrhizal fungi in crop production**. Gainesville, Ints. Tood. Agric. Sciences University of Florida, 1984, 88p.

FERNANDES, S.A.P. *Avaliação de parâmetros microbiológicos em diferentes sistemas de manejo do solo.* Tese de Dissertação de Mestrado da ESALQ, Piracicaba, SP, 1995. 117p.

FRASSER, P.M.; HAYNES, R.J.; WILLIANS, P.H. *Effects of pasture improvement and intensive cultivation on microbial biomass, enzime activities, and composition and size of earthworm populations.* **Biol. Fertil. Soils**, 17(3):185-190, 1994.

GACHENE, C.K.K.; JARVIS, N.J.; LINNER, H.; MBUVI,J.P.. *Soil erosion effects on soil in a highlander of central Kenya.* **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:559-564, 1997.

GREGORICH, E.G.& CARTER, M.R. **Soil Quality for Crops Production and Ecosystem Health**. Developments in Soil Science 25. Elsevier, New York. 1997. 464p.

HEINEMEYER, O.; HÖPER, H.; KLEFISCH, B.; BLAGODATSKI, S.. *Differenzierung von aktiver und ruhender mikrobieler biomasse in böden mittels respirometrie-erprobung und erst*

ergebnisse von messungen na böden unterschiedlicher Genese. **Mitteilungen der Deustchen Bodenkundlichen Gesellschaft**, 91:626-629, 1999.

KOCH, A.L. Growth Measurement. In: GERBARDT, P. ed. **Manual of Methods for General Bacteriology**. Washington, D.C. Americam Society for Microbiology, 1981. p.179-207.

LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control. **Adv. Agron**. 37:183-248, 1984.

LAVAHUN, M.F.E.; JOERGENSEN, R.G.; MEYER,B.. *Activity and biomass of soil microorganisms at different depths.* **Biol. Fertil. Soils**, (23):38-42, 1996.

LOMBARDI NETO, F. Práticas conservacionistas em microbacias. In: DRUGOVISH, M.C.; PECHE FILHO, A.; CARVALHO, L.V.R.; SILVA, P. dos, coord. Mecanização Conservacionista, noções básicas. Campinas, Coordenação de Assistência Técnica Integral, 1990. p.93-117.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Erodibilidade de Solos Paulistas. Boletim Técnico no. 27. Instituto Agronômico , Campinas, SP, 1975. p.12.

MAMILOV, A.S.; DILLY, O.M.. *Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions.* **Soil Biology & Biochemistry**, 34: 1283-1290. 2002.

MARTENS, D.A.; JOHANSON, J.B.; FRANKENBERGER, Jr., W.T. *Productions and persistence of soil enzymes with repeated additions of organic residues.* **Soil Sci.**, 153:53-61, 1992.

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

NAHAS, E.; CANTURION, J.F.; ASSIS, L.C.. *Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 18:49-53, 1994(b).

NAHAS,E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C.. *Microrganismos solobilizadores de fosfato e produtores de fosfatoses de vários solos.* **Rev. Bras. Ci, Solo**, 18:43-48, 1994 (a).

NICOLARDOT, B.; FAVVET, G.; CHENEBY.D.. *Carbon and nitrogen cycling through soil microbial biomass at various temperatures.* **Soil Biol. Biochem.**, 26(2):253-261, 1994.

PARKINSON, D.; GRAY, T.R.G.; WILLIANS, S.T.. Methods for studying the ecology of soil microorganisms. Oxford, Adlard, 1971.116p.

PAUL, E.A. & CLARK, F.E.. **Soil microbiology and biochemestry**. San Diego, Academic Press, 1989.237p.

PFENNING, L.; EDUARDO, B.P.; CERRI, C.C.. *Os métodos da fumigação-inoculação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 16:31-37, 1992.

PRAMER, D. & SCHIMIDT, E.L.. **Experimental soil microbiology**. Burgess Publisching Company, Minneapolis, 1963.106p.

SAKAI, H. & TADANO, T.. *Characteristics of response of acid phosphatase secreted by the roots of several crops to various condicions in the growth media.* **Soil Sci. and Pl. Nutr**. 39(3):437-444, 1993.

SCHNURER, J.; CHARHOLM,M.; ROSSWAIL, T. *Fungi, bacteria and protozoa in soil from four arable cropping systems.* **Biol. Fertil. Soils**, 2:119-126, 1986.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R.. *Perdas de Solo, Água e Nutrientes por Erosão em Sistemas de Culturas em Plantio Direto.* **Rev. Bras. Ci. Solo**, 21:287-291, 1997.

SINGH, H.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, K.P.; SINGH, J.S. *Reduced tillage for sustainable dryland farming.* **Trop. Eco**. 35(1):1-23, 1994.

SILVA, L.R.C.; SILVEIRA, A.P.D.; LOMBARDI, M.L.C.O.; DECHEN, C.F.; LOMBARDI NETO, F. *Atividade da população nativa de fungos micorrízicos arbusculares e Bradyrhizobium sp em solo submetido à erosão simulada.* Anais da XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Piracicaba, SP. 1992.p.413.

SINSABAUGH, R.L. *Enzymic analysis of microbial pattern and process.* **Biol. Fertil. Soils**, 17(1):69-74, 1994.

SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. **Biotecnologia do Solo**. Fundamentos e Perspectivas, Brasília, MEC, 1988. 236p.

TABATABAI, M.A. Soil Enzymes. In: **Methods of Analysis**, part 2, 2nd Ed. A.L. Page et al. (eds.). Agronomy, 9:903-947, 1982.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeitos de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia Solo.** Soc. Bra. Ci. Solo, Campinas, SP. 1992.p.59-72.

TISDALL, J.M. *Possible role of soil microorganisms in aggregationdo.* in soils. **Plant and Soil,** 159:115-121, 1994.

YIN, B.; CROWLEU, D.; SPAROVEK, G.; MELO, W.J.; BORNEMAN, J.. *Bacterial functional redundancy long a soil reclamation gradient.* **Appl. Environ. Microbiol.**, 66 (10): 4361-4365. 2000.

WICK, B.; KÜHNE, R. F.; VLEK, P.L.G.. *Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria.* **Plant and Soil** , 202: 97-107. 1998.

ZELLES, L.; BAI, Q.Y.; MA, R.X.; RACKWITZ, R.; WINTER, K.; BEESE, F. *Microbial biomass, metabolic activity and nutritional status determined from fatty acid patterns and polyhydroxybutyrate in agricultarally-maneged soils.* **Soil Biol. Biochem.**, 26(4):439-446, 1994.

ZIMOVETS, B.A.; ZAYDEL, M.F.R.; PANKOVA, Y.I.; BOYKO, S.V.. *Ecological concept of soil reclamation.* **Eurasian Soil Science**, 26(3): 73-85. 1994.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A. A. & SILVEIRA JR., P.. *Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST).* Pelotas (RS), Universidade Federal de Pelotas. 151p.

ZUSEVICS, A.. *Tipos de erosion del suelo y maneras de limitarla.* Ciência e Cultura, 36(1): 90-97, 1984.

ANEXO I

Médias da contagem de cianobactérias.

Gráfico com a profundidade Fixa **Cianobactérias** **Prof. 0 - 10**

Não Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	30,27	1582,31	15,93	259,63	1623,66
Ano 2	0,85	45,6	0,85	6,34	15,66

Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	0,5	13,3	0,5	48,21	6,18
Ano 2	0,5	1,74	0,5	1,15	0,5

Gráfico com a profundidade Fixa **Cianobactérias** **Prof. 10 - 20**

Não Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	0,5	10,54	0,79	5,28	15,25
Ano 2	0,38	5,13	0,58	0,7	0,46

Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ano 2	0,5	0,5	0,28	0,5	0,5

Gráfico com a profundidade Fixa **Cianobactérias** **Prof. 20 - 30**

Não Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	0,5	4,06	1,6	9,12	10,14
Ano 2	0,5	0,52	0,38	0,38	0,61

Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	1,45	0,5	0,5	0,5	0,5
Ano 2	0,5	0,5	0,5	0,35	0,38

ANEXO II

Médias da contagem de bactérias.

Gráfico com a profundidade Fixa **Bactérias** **Prof. 0 - 10**

Não Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	3,2	4,36	11,48	5,82	3,79
Ano 2	17,32	15,27	31,74	17,62	27,22

Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	3,4	3,55	4,95	4,17	3,79
Ano 2	5,15	12,38	7,12	70,02	21

Gráfico com a profundidade Fixa Bactérias Prof. 10 - 20

Não Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	5,95	24,87	8,34	7,25	21,4
Ano 2	1,07	3,08	7,43	1,02	1,53

Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	3	10,55	14,68	5,14	8,68
Ano 2	0,56	0,22	0,18	22,07	11

Gráfico com a profundidade Fixa Bactérias Prof. 20 - 30

Não Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	4,24	21,17	8,69	8,09	19,98
Ano 2	14,12	1,87	0,87	0,58	0,18

Decapitado

Época	Testemunha	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	3,73	21,17	6,36	24,9	9,94
Ano 2	0,96	0,24	0,34	42,69	11,66

ANEXO III

Médias da contagem de fungus.

Gráfico com a profundidade Fixa Fungos Prof. 0 - 10

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	6,09	4,11	7,21	9,33	4,92
Ano 2	10,7	8,78	36,89	9,25	8,12

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	3,31	3,081	4,39	3,56	2,51
Ano 2	4,2	8,13	8,19	6,12	5,74

Gráfico com a profundidade Fixa Fungos Prof. 10 - 20

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	13,64	5,55	10,75	11,22	8,67
Ano 2	2,84	3,238	2,23	0,69	1,33

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	3,78	6,25	13,52	7,05	5,9
Ano 2	0,33	1,72	0,5	0,27	0,52

Gráfico com a profundidade Fixa Fungos Prof. 20 - 30

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	2,61	3,83	2,71	7,86	33,78
Ano 2	0,84	0,29	0,22	1,21	0,2

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	1,21	2,52	1,68	1,49	9,33
Ano 2	0,38	0,87	0,13	0,53	0,23

ANEXO IV

Médias da contagem de microorganismos celulolíticos.

Gráfico com a profundidade Celulolíticos Prof. 0 - 10
Fixa

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+adQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	8,63	5,15	8,31	32,74	27,79
Ano 2	21,89	13,79	4,08	12,26	23,59

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+adQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	6,48	5,75	18,49	5,75	7,07
Ano 2	0,29	14,79	17,67	3,08	15,04

Gráfico com a profundidade Celulolíticos Prof. 10 - 20
Fixa

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+adQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	46,32	40,65	16,69	4,14	7,83
Ano 2	7,48	7,29	6,2	5,93	50,65

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+adQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	20,48	24,37	12,11	24,61	75,65
Ano 2	38,58	32,91	25,21	20,74	75,73

Gráfico com a profundidade Celulolíticos Prof. 20 - 30
Fixa

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+adQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	15,54	3,09	45,41	15,91	68,1
Ano 2	2,51	1,39	1,6	3,08	1,93

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+adQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	0,5	31,06	27,43	21,7	43,83
Ano 2	1,29	1,06	1,54	0,64	1,29

ANEXO V

Médias dos valores obtidos pela respirometria do solo. O CO_2 liberado foi expresso em $\mu gCO_2\ g^{-1}$ solo/dia^{-1}.

Gráfico com a profundidade Fixa Respirometria Prof. 0 - 10

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	13,3	17,36	16,46	16,96	21,26
Ano 2	6,43	7,23	4,76	8,3	6,36

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	12,03	12,33	9,9	11,56	12,83
Ano 2	4,13	8,93	3,56	3,66	5,86

Gráfico com a profundidade Fixa Respirometria Prof. 10 - 20

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	13,9	17,16	17,93	7,67	14,83
Ano 2	56,78	57,95	46,59	42,21	35,96

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	12,3	14,93	9,16	10,9	9,03
Ano 2	36,63	39,86	34,19	39,9	40,04

Gráfico com a profundidade Fixa Respirometria Prof. 20 - 30

Não Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	1,83	5,47	7,97	9,16	13,73
Ano 2	40,18	32,59	63,85	42,45	64,82

Decapitado

Época	Milho	AdQui	AdVer+AdQui	AdOr+AdQui	Cal+AdQui
Ano 1	2,42	1,76	4,18	3,22	4,81
Ano 2	65,12	50,16	59,39	34,76	35,86