

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

INDICADORES BIOLÓGICOS NO SOLO COMO UMA
ALTERNATIVA PARA O USO RACIONAL DE DEJETOS DE
SUÍNOS COMO ADUBO ORGÂNICO

JOÃO PAULO GAYA

Florianópolis – SC
Outubro de 2004

JOÃO PAULO GAYA

INDICADORES BIOLÓGICOS NO SOLO COMO UMA ALTERNATIVA PARA O
USO RACIONAL DE DEJETOS DE SUÍNOS COMO ADUBO ORGÂNICO

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Agroecossistemas,
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas,
Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal
de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin.

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato.

FLORIANÓPOLIS – SC

OUTUBRO DE 2004

Gaya, João Paulo.

Indicadores biológicos no solo como uma alternativa para o uso racional de dejetos de suínos como adubo orgânico / João Paulo Gaya. – Florianópolis, 2004.

xx, 140 f. :il., grafs., tabs.

Orientador: Jucinei José Comin

Co-Orientador: Paulo Emílio Lovato

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

Bibliografia: f.88-105

1. Matéria Orgânica. 2. Biomassa Microbiana. 3. Dejetos Suínos. I. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO**JOÃO PAULO GAYA****INDICADORES BIOLÓGICOS NO SOLO COMO UMA ALTERNATIVA PARA O
USO RACIONAL DE DEJETOS DE SUÍNOS COMO ADUBO ORGÂNICO**

Dissertação aprovada em 15 de outubro de 2004, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Jucinei José Comin
(Orientador) PGA/CCA/UFSC

Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato
(Co-orientador) PGA/CCA/UFSC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato
(Presidente) PGA/CCA/UFSC

Prof. Dr. Darci Odílio Paul Trebien
(Membro) PGA/CCA/UFSC

Prof. Dr. Paulo Belli Filho
(Membro) ENS/UFSC

Dr. Paulo Armando V. de Oliveira
(Membro) CNPSA/EMBRAPA

Prof. Dr. Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho
Coordenador do PGA/CCA/UFSC

Florianópolis (SC), 15 de outubro de 2004.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores José Antônio Ribas Ribeiro e Mário Luiz Vincenzi por me terem feito voltar atrás da decisão de não cursar o Mestrado.

À Professora Marília T. S. Padilha pelas palavras de incentivo no momento certo.

Ao Professor Luiz Carlos Pinheiro Machado pelos conhecimentos transmitidos na época de estudante de agronomia e, principalmente durante os dois anos de Mestrado. Seus ensinamentos servirão não apenas para a minha formação profissional, mas principalmente para a minha formação como ser humano.

Ao Professor Darci Odílio Paul Trebien pelos conhecimentos transmitidos, e principalmente pelas discussões a respeito do trabalho durante esses dois anos de Mestrado.

Ao meu Co-orientador Professor Paulo Emílio Lovato pelos conhecimentos transmitidos durante os anos de convivência.

Ao meu Orientador Professor Jucinei José Comin, que além dos conhecimentos transmitidos, foi um grande amigo. Muito obrigado por tudo.

A todos os Professores do CCA, especialmente àqueles que participam do PGA. Não tenho como deixar de agradecer aos Professores Jorge Barcelos, Antônio Augusto A. P., Sandro L. Schlindwein, Antônio C. Alves, L. C. Pinheiro Machado Filho, Maria José Hotzel, Eros M. Mussoi, A. C. M. da Rosa, J. C. F. Padilha, Antônio A. A. Uberti e A. C. Fantini. O convívio ao longo dos mais de oito anos foi certamente muito importante.

Ao Departamento de Engenharia Rural, principalmente ao Prof. Trebien e à Secretária Bárbara pelo apoio dado aos trabalhos ao longo desses dois anos.

Aos meus amigos Francisco Vetúlio Wagner e Luiz Agostinho da Silva pela ajuda dada nos trabalhos e principalmente pelos inesquecíveis momentos de descontração que ajudaram a “quebrar o gelo” ao longo desses dois anos. A vocês devo muito do que foi feito.

A todos os meus amigos de turma. Não posso deixar de dar um agradecimento todo especial aos amigos Júlio Erpen, Sérgio Freitas e Luciano Pereira pelo convívio mais direto ao longo

desses dois anos e, de um modo especial também aos amigos Arthur, Guilherme Gomes, Elder Lopes, Leandro Hahn, Ramona Mulbach, Brigitte Regensburger e Elen Trentini. Todos vocês ficarão guardados para sempre dentro do meu coração.

Aos outros amigos do mestrado que não fazem parte da minha turma, mas que foram muito importantes ao longo desses anos. De um modo especial, agradeço a Joana, ao Seu Hamilton, ao Antônio (macaco), ao Victor B. do Carmo, ao Murilo Dalla Costa, ao Rogério (tcheco), José Daniel, ao Charle, entre outros.

A todos os meus amigos do CCA. Não posso deixar de dar o meu agradecimento especial à Manoela Goulart, à Hatsi Correa Galvão Rio Apa, à Marina O. Baptista, à Débora, ao Volmir Paulo Breancini, dentre muitos outros que não me recordei neste momento.

A todo o pessoal do Projeto, especialmente ao Professor Paulo Belli Filho, ao Hugo Adolfo Gosmann (EPAGRI), ao Filgueiras e tantos outros que foram fundamentais para o andamento dos trabalhos.

Ao Sr. Vilibaldo Michels e sua família pela concessão da área experimental e ajuda.

Ao Dr. Antônio Lourenço Guidoni pela ajuda na análise estatística do trabalho.

Ao meu grande amigo Álvaro Farias de Moraes (Alvinho) pelos mais de vinte anos de amizade, e principalmente pelas palavras de incentivo e pela força dada nos momentos de dificuldade ao longo desses dois anos. A tua amizade é muito importante para mim irmão!

À toda a minha família, especialmente ao meu primo Júlio César Gaya Júnior, aos meus tios João Luiz Gaya, Valquíria Teresinha Gaya, Verônica M. Gaya Nonato, Paulo Roberto Severino, Sandra Severino Pereira e Simone Severino Schmit, à minha irmã Maristela Gaya Alves e ao meu cunhado Valmir Alves Júnior pelo incentivo.

À minha avó e segunda mãe Maria Nair Correa Gaya (Vó Ica) pela ajuda financeira, e principalmente pelas palavras de otimismo, pelos ensinamentos, pelo carinho e pelo amor.

E finalmente aos meus pais José Antônio e Maria Teresinha pelo apoio financeiro e principalmente pelas palavras de otimismo, pelos ensinamentos, pelo incentivo, pelo carinho, pelo amor e por abrir mão de muitas coisas para me verem formado. Amo muito vocês!

“Que jamais se duvide da capacidade, dedicação, coragem, garra, determinação, honestidade e fidelidade de um capricorniano, sobretudo se ele for um Gaya”.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Caracterização da suinocultura brasileira e catarinense	3
2.2. Impactos ambientais provocados pela suinocultura	5
2.3. Alternativas para minimizar os impactos ambientais provocados pela suinocultura	8
2.4. Sobre o conceito de solo saudável/solo de qualidade.....	11
2.5. Os indicadores biológicos e de qualidade do solo.....	13
2.5.1. O uso dos microrganismos como indicadores de saúde e qualidade do solo	16
2.5.1.1. Biomassa Microbiana do Solo e suas funções.....	17
2.5.1.2. Fatores que afetam a Biomassa Microbiana do Solo.....	21
2.5.1.3. Relação C microbiano/C orgânico e N microbiano/N total.....	27
2.6. Uma nova abordagem para o uso de dejetos de suínos - os Indicadores Biológicos e de Qualidade do Solo	28
3. Indicadores biológicos do solo como uma alternativa para o uso racional de dejetos de suínos como adubo orgânico.....	29
3.1. Objetivos.....	29
3.1.1. Objetivo Geral	29
3.1.2. Objetivos específicos.....	29
3.2. Hipótese	29
3.3. Materiais e Métodos	30
3.3.1. Metodologia de Avaliação.....	35
3.3.1.1. Produtividade.....	35
3.3.1.1.1. Milho	35
3.3.1.1.2. Aveia.....	36
3.3.1.2. Solo.....	36
3.3.1.2.1. Análise de Rotina	36
3.3.1.2.2. Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana	37
3.3.2. Análise Estatística dos Dados.....	38
3.3.2.1. Modelo de Análise.....	39

3.3.2.2. Análise Multivariada	42
4. Resultados e Discussão	44
4.1. Funções Discriminantes Canônicas	44
4.2. Resultados da ANOVA	45
4.3. Análise Multivariada	47
4.4. Análise Univariada	49
4.4.1. Atributos Microbiológicos do Solo	49
4.4.1.1. Carbono da Biomassa Microbiana.....	49
4.4.1.2. Nitrogênio da Biomassa Microbiana	54
4.4.2. Atributos Químicos do Solo	57
4.4.2.1. pH	57
4.4.2.2. Teor de Matéria Orgânica (MO).....	61
4.4.2.3. Teor de Alumínio (Al).....	65
4.4.2.4. Teor de Fósforo (P)	68
4.4.2.5. Teor de Potássio (K).....	71
4.4.3. Produtividade.....	75
4.4.3.1. Primeiro cultivo de milho	75
4.4.3.2. Segundo cultivo de milho	77
4.4.3.3. Primeiro cultivo de aveia.....	81
5. CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	106

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
&	E
ABS	Absorbância
ACS 1	Adubação com cama sobreposta uma vez a necessidade de N da cultura
ACS 2	Adubação com cama sobreposta duas vezes a necessidade de N da cultura
AEL 1	Adubação com esterco líquido uma vez a necessidade de N da cultura
AEL 2	Adubação com esterco líquido duas vezes a necessidade de N da cultura
AMREC	Associação dos Municípios da Região Carbonífera
AMUREL	Associação dos Municípios da Região de Laguna
AMURES	Associação dos Municípios da Região Serrana
APL	Arranjo Produtivo Local
AQ 1	Adubação química uma vez a necessidade de N da cultura
AQ 2	Adubação química duas vezes a necessidade de N da cultura
atm	Atmosfera
bar	Medida de pressão
BM	Biomassa Microbiana
BMS	Biomassa Microbiana do Solo
C	Carbono
C:N	Relação carbono nitrogênio
Ca	Cálcio
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CCA	Centro de Ciências Agrárias
Cd	Cádmio
Cfa	Clima subtropical úmido
CFC	Clorofluorcarbonetos
CH ₄	Metano
CHCl ₃	Clorofórmio isento de etanol
CIDASC	Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina
cm ³	Centímetros cúbicos
Cmolc/L	Centimoles por litro
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO ₂	Dióxido de carbono
CRA	Capacidade de Retenção de Água
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CuSO ₄	Sulfato de cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
Dr.	Doutor
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EXP	Exponencial
F1	Fêmea suína reprodutora
Fe ²⁺	Ferro reduzido
Fe ³⁺	Ferro oxidado
Fum	Fumigada
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia
FUNCITEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
FUNDAGRO	
g	Grama
GRANFPOLIS	Associação dos Municípios da Grande Florianópolis
H	Hidrogênio
H ₂ O	Água
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
ha	Hectares (10000 m ²)
HFC	Hidrofluorcarbonetos
ICEPA	Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de potássio
K ₂ SO ₄	Sulfato de Potássio
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
L	Litro
M	Molar
m ²	Metros quadrados
m ³	Metros cúbicos

Mg	Magnésio
mg/L	Miligramas por litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MO	Matéria Orgânica
MOS	Matéria Orgânica do Solo
MS	Matéria seca
MV	Matéria verde
N	Nitrogênio
N	Normalidade
N ₂	Gás nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
Na ₂ SO ₄	Sulfato de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NBM	Nitrogênio da biomassa microbiana
NFum	Não fumigada
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
Ni	Níquel
nm	Nanômetros
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NPK	Nitrogênio, Fósforo, Potássio – Adubo comercial de síntese química
O ₃	Ozônio
°C	Graus Celcius
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PFC	Perfluorcarbonetos
pH	Co-logaritmo da concentração de íons H ⁺ em solução.
ppm	Partes por milhão
PRNT	Poder relativo de neutralização total
qCO ₂	Quociente microbiano
R\$	Reais

rpm	Rotações por minuto
S	Enxofre
SC	Santa Catarina
SF ₆	Hexaclorofluoreto de enxofre
SPD	Sistema de plantio direto
spp.	Espécie
Sr.	Senhor
Ssec	Solo seco
Sum	Solo úmido
SV	Sólidos voláteis
T	Testemunha – sem adubação
Tg	Tera grama (10 ¹⁵)
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UG	Umidade Gravimétrica
UNISUL	Universidade do Sul de Santa Catarina
UNOESC	Universidade do Oeste Catarinense
UPL	Unidade produtora de leitões
US\$	Dólares Americanos
Zn	Zinco
λ	Lâmbda – comprimento de onda
$\mu\text{g C/Kg ss}$	Micrograma de carbono por quilograma de solo seco.
$\mu\text{g N/Kg ss}$	Micrograma de nitrogênio por quilograma de solo seco
μm^3	Micrômetro cúbico

RESUMO

O solo é um sistema vivo e dinâmico fundamental na ciclagem dos nutrientes e de matéria orgânica. Vários atributos do solo são usados como indicadores de qualidade e saúde e servem para fazer avaliações entre práticas de gerenciamento e manejo agrícola para determinar sua sustentabilidade e qualidade ambiental, destacando-se a matéria orgânica do solo e suas frações, principalmente a biomassa microbiana. A agricultura e todo o seu complexo, incluindo-se a suinocultura, tem contribuído para o aumento da degradação dos recursos naturais e poluição ambiental devido aos dejetos terem grande potencial poluidor quando utilizado de forma inadequada. O experimento foi realizado em Braço do Norte (Estado de Santa Catarina, Brasil) de dezembro de 2002 a maio de 2004. O objetivo deste trabalho foi de avaliar a atividade do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana, alguns atributos químicos e a produtividade das culturas (grãos e matéria seca) em um Argissolo Vermelho Amarelo típico adubado com cama de suínos, esterco líquido de suínos e adubação química (uréia e NPK 4-14-8). As quantidades de nitrogênio usadas foram a recomendação e o dobro da recomendação para as culturas de milho e aveia. A sucessão de culturas utilizada foi milho-aveia-milho. Para a determinação do carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana foi adotado o método da fumigação-extração. As análises químicas foram feitas segundo metodologia adotada pela ROLAS-SUL. O software SAS volume 8.2 foi utilizado para fazer a análise estatística dos dados. Foram feitas análise univariadas e multivariadas canônicas. De um modo geral, os tratamentos com cama sobreposta apresentaram maior atividade microbiana, melhoraram significativamente vários atributos químicos do solo, além de terem proporcionado boas produtividades das culturas. Todos os demais tratamentos, principalmente os químicos usando o dobro da recomendação apresentaram menor atividade microbiana, redução do pH do solo e menores produtividades das culturas.

Palavras-chave: Matéria Orgânica, Biomassa Microbiana, Dejetos de Suínos.

ABSTRACT

The soil is a dynamic and live system essential to nutrient supply for crops and organic material cycling. Among the soil attributes used to indicate its quality and health and to evaluate the agricultural management the organic matter fraction, and microbial biomass are important. Agriculture, including pig production, has contributed to environmental degradation, because manure has a large pollutant potential when used improperly. The experiment was realized in Braço do Norte (Santa Catarina State, Brazil) from 2002, December to 2004, May. The objective of this work was to evaluate the carbon and nitrogen activity of the microbial biomass, some soil chemical attributes and plant productivity (grain and dry material) in an Hapludult soil (Ultisols) fertilized with swine bedding, swine manure and chemical fertilizer (urea and NPK 4-14-8). The quantities of nitrogen used were the recommended and double the recommended rates for oats and maize. The rotation used was maize-oats-maize. To determine microbial biomass carbon and nitrogen was utilized the fumigation-extraction method. Soil chemical analysis followed ROLAS-SUL methodology. The statistical analysis was performed using the SAS software (8.2 version). Univariate and multivariate canonical analysis were performed. Generally, the swine bedding treatments presented higher microbial activity, improved some soil chemical attributes and provided good productivity. The others treatments, mainly that using the double recommendation of chemical fertilizer, showed less microbial activity and productivity and reduced the soil pH.

Keywords: Organic material, microbial biomass, pig manure.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da consciência de que o solo é um importante componente da biosfera terrestre, nas últimas décadas cresceu o interesse em avaliar a qualidade e saúde dos seus recursos. Por ser um sistema vivo e dinâmico, suas funções são mediadas por uma gama muito grande de microorganismos, e um manejo adequado dos seus recursos se faz necessário para a manutenção da qualidade ambiental em uma esfera global. Partes essenciais dos ciclos de vários elementos ocorrem no solo, tendo na matéria orgânica o maior reservatório da grande maioria desses elementos.

Com o crescente aumento da população mundial, cresce também a demanda por alimentos e recursos, tendo como conseqüência o avanço das fronteiras agrícolas e a rápida degradação do solo e dos recursos naturais. A agricultura e todo o seu complexo, incluindo-se aqui a suinocultura, é uma das atividades antrópicas que mais contribuem para a poluição e degradação dos recursos naturais, inclusive na degradação do solo. Em todo o mundo a suinocultura é considerada pelos órgãos de fiscalização e de proteção ambiental como uma atividade de grande potencial poluidor, devido ao elevado número de contaminantes e nutrientes contidos nos seus efluentes, cuja ação individual ou combinada, representa uma fonte potencial de contaminação e degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo.

A utilização de dejetos de suínos como adubo tem sido difundida com base em aspectos econômicos e ecológicos, uma vez que representa um recurso interno das propriedades rurais. Contém nutrientes e matéria orgânica, com potencial de aumentar a produtividade de grãos e a fertilidade do solo. Assim, esta prática tem sido considerada um importante fator para se chegar a sustentabilidade da atividade suinícola. Entretanto, vários aspectos precisam de estudos, para utilizar esse material sem prejudicar o ambiente. Entre esses aspectos está a capacidade de suporte dos dejetos no solo, bem como as alterações que esses provocam em suas características físicas, químicas e biológicas. Na prática, muitas vezes as aplicações extrapolam a necessidade de nutrientes das culturas, o que aliado ao manejo inadequado do solo e a existência de áreas declivosas, têm contribuído para a degradação dos recursos naturais nas regiões produtoras. Para agravar este quadro, a grande concentração de suínos nessas regiões em propriedades cada vez mais especializadas gera uma quantidade de dejetos que acaba sendo superior à disponibilidade de áreas aptas para

aplicação, o que acaba por gerar poluição e degradação do solo e dos recursos naturais como um todo.

Segundo Doran & Safley (1997) os indicadores de qualidade e saúde do solo são comumente usados para fazer avaliações entre práticas de gerenciamento e manejo agrícola para determinar sua sustentabilidade e qualidade ambiental. Pelo exposto, um indicador adequado deve ser sensível às alterações de manejo, e assim, vários atributos do solo são usados para definir critérios de qualidade e servir como indicadores de mudanças em qualidade, dentre eles a Matéria Orgânica do Solo e suas frações, principalmente a biomassa microbiana do solo. Nesse contexto, o presente trabalho visa à utilização adequada dos dejetos de suínos como adubo orgânico, de forma a reduzir os problemas de poluição gerados pela atividade suinícola, obter uma boa produtividade das culturas e manter ou aumentar os níveis de fertilidade do solo. Para tal utilizar-se-á como indicadores de qualidade o carbono (C) e o nitrogênio (N) da biomassa microbiana e alguns atributos químicos do solo.

O trabalho de pesquisa aqui apresentado foi concebido dentro do Projeto “Validação de Tecnologias para o Manejo, Tratamento e Valorização dos Dejetos de Suínos em Santa Catarina – Pequenas e Médias Propriedades”, fazendo parte do Subprojeto “Capacidade de Suporte do Solo – Valorização de Dejetos Suínos: Fertilização e Qualidade do Solo”. O Projeto foi executado pelo Governo do Estado de Santa Catarina, pela EPAGRI, UFSC, UNOESC, EMBRAPA e pelo FUNDAGRO, e financiado pelo FUNCITEC, CT Brasil, FINEP e pelo CNPq, e com o apoio da Perdigão SA. Vários trabalhos de pesquisa foram e continuam sendo executados nas duas regiões produtoras de suínos do Estado de Santa Catarina - Oeste e Sul - sendo que a presente pesquisa foi realizada no Município de Braço do Norte, local que apresenta a segunda maior concentração de suínos por Km² do planeta (1336 suínos/Km²). O APL escolhido para a implantação do experimento foi a propriedade do Sr. Vilibaldo Michels, uma propriedade produtora de suínos classificada como sendo de porte médio, localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Cachorrinhos. Essa Bacia possui sérios problemas de degradação e poluição ambiental decorrentes do uso e manejo inadequados dos dejetos de suínos e dos recursos naturais. O que buscou-se com o mesmo, conforme supracitado, foi a utilização adequada e racional do solo e dos dejetos de suínos como adubo orgânico procurando reduzir ao máximo os problemas de poluição e degradação ambiental, avaliando alguns indicadores químicos e biológicos do solo e a produtividade de culturas agrícolas tradicionais na região produtora.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caracterização da suinocultura brasileira e catarinense

O Brasil possui o terceiro plantel de suínos do mundo, com um efetivo de 32,4 milhões de cabeças, sendo quase 3 milhões de matrizes (ANUALPEC, 2003). A produção em 2002 chegou a 2,89 milhões de toneladas em equivalentes carcaças (ICEPA, 2003), enquanto que em 2003 ficou em 2,498 milhões de toneladas. Desta produção 79,6% foi consumida internamente, e 20,6% foi exportada (ANUALPEC, 2003). As exportações em 2002 chegaram a 476.622 toneladas, com a geração de receita de aproximadamente US\$ 482 milhões (ANUALPEC, 2003). O abate total chegou a 37,89 milhões de cabeças (ICEPA, 2003), tendo um valor estimado desses produtos (faturamento bruto) a preços médios praticados no Sul do Brasil de R\$ 14,6 bilhões (Braun, 2003). A conquista do mercado Russo e o crescimento das vendas para a Ásia e Europa explicam essa expansão.

Segundo Oliveira *et al.* (2003), a suinocultura é uma das atividades mais importantes do setor agropecuário brasileiro, chegando a ser a principal fonte de renda em algumas regiões de criação intensiva como, por exemplo, o Oeste Catarinense. Braun (2003) ressalta a importância social da suinocultura, especialmente se for levado em consideração que a maioria das propriedades que atuam no ramo são pequenas (apesar deste quadro estar mudando rapidamente em função da concentração de animais em um menor número de propriedades), e envolve em todo o país, somente na produção, 2,7 milhões de pessoas.

Santa Catarina é o maior produtor regional da América Latina (EPAGRI, 2000), possuindo um rebanho de aproximadamente 5.481.510 animais (ANUALPEC, 2003), com produção em 2001 de 663 mil toneladas (8,13 milhões de cabeças), ou seja, 30% da produção nacional (ICEPA, 2002), chegando a 688 mil toneladas produzidas em 2003 (24% da produção nacional) (ICEPA, 2003). Do total de abates, 78,6% possui inspeção federal (ICEPA, 2002). No total, a atividade é responsável pela geração de aproximadamente 75.000 empregos diretos e 180.000 postos indiretos, movimentando pouco mais de R\$ 3,2 bilhões anualmente (EPAGRI, 2000). Conseqüentemente, a suinocultura é um setor que contribui significativamente para a economia estadual, apresentando grande importância social, econômica e cultural.

A produção estadual é distribuída em aproximadamente 21.000 pequenas propriedades, 3.500 médias e 500 grandes (Belli Filho *et al.*, 2001), espalhadas geograficamente por todo Estado, concentrando-se nas regiões Oeste e Sul (EPAGRI, 2000). Em função disso, constata-se nessas regiões um crescente aumento da contaminação das águas dos rios e lençol freático atribuída grandemente ao potencial poluidor dos dejetos produzidos pela atividade suinícola, além dos esgotos urbano e rural. Das amostragens de água efetuadas em todo Estado, 85% delas apresentaram contaminação com coliformes fecais. A poluição do ambiente ocorre principalmente em função de três fatores: o sistema de produção, principalmente no que diz respeito ao armazenamento e tratamento dos dejetos, e a densidade de animais (concentração em unidades cada vez mais especializadas), e a falta de destino adequado e tratamento para os esgotos gerados pelas populações urbana e rural (EPAGRI, 2000).

A especialização das unidades produtivas em uma única atividade pode representar grandes riscos aos produtores em função da sua renda depender exclusivamente dessa atividade e, conseqüentemente, ficarem sujeitos aos preços ditados pelas agroindústrias. Ficam também sujeitos aos preços dos insumos, que muitas vezes sofrem aumento de acordo com o mercado internacional, elevando consideravelmente os custos de produção e diminuindo a sua margem de lucro. Deve-se também levar em consideração o fato de ocorrerem determinadas doenças nos animais que podem comprometer todo o rebanho, trazendo sérios prejuízos financeiros ao produtor e comprometer seriamente a atividade em uma região.

A produção estadual de suínos é caracterizada por um nível intenso de confinamento dos animais e, como conseqüência, concentra uma elevada quantidade de dejetos. O problema se agrava devido à utilização de grande quantidade de água durante o processo produtivo para diluição e remoção dos dejetos das unidades produtivas para as esterqueiras. A atividade produz um total de dejetos de $10^7 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. Somente um pequeno percentual deste produto (15%) possui manejo adequado que respeita as condições de valorização, sem poluir o ambiente. O mau dimensionamento e localização das unidades de tratamento (esterqueiras, quando existentes), a falta de formação de pessoal, de orientação técnica aos produtores e ausência de controle ambiental pelos órgãos responsáveis têm contribuído muito para o agravamento da poluição nas regiões produtoras (Belli Filho *et al.*, 2001). O poder poluente dos dejetos de suínos, em volume, é de quatro a seis vezes maior que o esgoto humano, sendo

em alguns aspectos, 100 vezes mais poluente, como é o caso da DBO - demanda bioquímica de oxigênio (EPAGRI, 2000).

2.2. Impactos ambientais provocados pela suinocultura

As atividades antrópicas como um todo tem contribuído de forma considerável para a degradação acelerada dos recursos naturais e para a poluição do ambiente. A agricultura e todo o seu complexo, incluindo aí a suinocultura, é considerada uma das mais importantes fontes geradoras de poluição e degradação. O potencial poluidor da suinocultura se deve ao fato de produzir um grande volume de dejetos contendo nutrientes e com grande potencial poluidor, que pelo seu armazenamento e uso inadequados tem provocado grande degradação e poluição do ar, dos recursos hídricos e do solo nas regiões produtoras tanto no Brasil quanto no mundo. Dentre os impactos, pode-se destacar a poluição das águas superficiais e subterrâneas, a poluição pelo nitrogênio, a presença de microrganismos entomopatogênicos, alteração das características físicas, químicas e biológicas dos solos, a poluição do ar pela emissão de gases que causam maus odores e que contribuem para o efeito estufa, e a presença de insetos, ocasionando maior desconforto ambiental às populações (Belli Filho *et al.*, 2001; Perdomo, 2001; Oliveira *et al.*, 2003).

Em relação ao armazenamento dos dejetos, a maioria das esterqueiras existente apresenta sérios problemas de construção, impermeabilização, localização e dimensionamento, não atendendo às especificações com relação à capacidade de armazenamento, o que favorece a prática criminosa por parte de alguns suinocultores de despejar os excessos na rede de drenagem natural, sempre que ocorrerem casos de transbordamento. Higarashi (2003), destaca que no Brasil, o maior parte dos dejetos suínos é armazenado em esterqueiras até a estabilização e, a seguir, utilizados na agricultura como adubo orgânico. Entretanto, devido a problemas de operação e dimensionamento dessas esterqueiras, muitas vezes a fermentação anaeróbia - responsável pela estabilização do composto - não ocorre de maneira adequada, representando sérios riscos para o ambiente e para a saúde humana. Perdomo (2002), destaca ainda que além dos problemas supracitados, o manejo dos dejetos na forma líquida exige maiores investimentos em estrutura e equipamentos de armazenagem, tratamento, transporte e distribuição, sendo um fator limitante

do ponto de vista econômico à sua utilização como adubo orgânico, aumentando consideravelmente os custos de produção, além de apresentarem uma baixa concentração de nutrientes por unidade de volume, girando em torno de 2 a 4 Kg de NPK/m³ de dejetos.

Aliado ao armazenamento e uso inadequados dos dejetos, em boa parte das regiões produtoras, o solo também é manejado de forma intensiva e mal planejada, contribuindo para o aumento da degradação e da poluição. O uso intensivo do solo através das operações de revolvimento com arados e grades, cria condições favoráveis para o aumento da atividade microbiana, os quais oxidam a matéria orgânica presente no meio formando água (H₂O) e dióxido de carbono (CO₂), sendo este último liberado para a atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito estufa (Oliveira *et al.*, 2003). Além da contribuição dos gases promotores de efeito estufa, o revolvimento do solo pode ainda trazer sérios riscos de erosão e poluição. Com as precipitações, o material contido na superfície do solo pode chegar aos rios e corpos d'água levando consigo matéria orgânica e dejetos aplicados; sendo o grande problema nesse caso a concentração de fósforo (P) e nitrogênio (N) contidos nos dejetos (Williams, 1995; Perdomo, 2001), uma vez que tornam-se poluentes quando são aplicados em excesso e continuamente, principalmente o nitrato (NO₃⁻) e o nitrito (NO₂⁻) (Perdomo, 2001). Já o P, que por erosão do solo ou escoamento superficial dos dejetos pode chegar em altas quantidades nas águas superficiais, pode desencadear o crescimento das algas muito rapidamente, causando eutrofização, baixa concentração de oxigênio e conseqüente mortalidade de peixes e a proliferação de insetos (Williams, 1995; Perdomo, 2001; Belli Filho *et al.*, 2001; Hodgkinson *et al.*, 2002; Ludke & Ludke, 2003; Oliveira *et al.*, 2003).

Além dos problemas supracitados, o aumento da concentração de compostos fosfatados e principalmente dos compostos nitrogenados nas águas superficiais e subterrâneas e no solo (NRC, 1989; Taylor, 2000) traz sérios riscos para a saúde do homem, podendo aumentar a incidência de metaemoglobina e câncer (Resende *et al.*, 1999).

Doran & Safley (1997) afirmam que o maior contaminante de água na América do Norte e na Europa é o nitrato. As fontes principais de nitrato são a conversão do solo nativo em solos agrícolas e o uso de esterco animal e fertilizantes de síntese química. Práticas de revolvimento do solo, o uso de fertilizantes e pesticidas têm influenciado a qualidade da água. Entretanto, essas práticas têm também influenciado a qualidade da atmosfera através das mudanças na capacidade do solo de produzir e seqüestrar importantes gases promotores de efeito estufa presentes na atmosfera, tais como o CO₂, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

Em se tratando de metais pesados, vários trabalhos têm mostrando o seu acúmulo no solo, sobretudo o cobre (Cu) e o zinco (Zn) devido ao uso indiscriminado de dejetos suínos como adubo (Wong, 1985; Tiquia & Tam, 1998; Jondreville *et al.*, 2000; Simioni, 2001). Segundo Jondreville *et al.* (2000), as conseqüências disso são a toxicidade para plantas e microrganismos do solo. Simioni (2001), destaca os impactos causados pela atividade devido aos níveis de nutrientes e metais pesados presentes nos dejetos, causando acúmulo no solo e conseqüente toxidez às plantas.

Atualmente tem sido dada mais importância à emissão de gases promotores de efeito estufa pelas atividades antrópicas. O complexo agrícola, incluindo aí a suinocultura, é um dos grandes responsáveis por grande parte da emissão desses gases tanto no Brasil quanto no mundo. Segundo Bayer *et al.* (2002), a agricultura contribui com cerca de 20% das emissões totais, sendo o restante proveniente, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. Os gases promotores do efeito estufa não são os principais componentes da atmosfera, mas sim gases presentes em baixa concentração tais como o vapor d'água, o CO₂, o CH₄ e o N₂O, (Amado & Spagnollo, 2001; Oliveira *et al.*, 2003), o ozônio (O₃) e traços de CFC's (clorofluorcarbonetos) (Oliveira *et al.*, 2003). Dentre eles, os principais são o CO₂, o CH₄ e o N₂O (Amado & Spagnollo, 2001; Oliveira *et al.*, 2003), os hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) e hexafluorossulfeto de enxofre (SF₆) (Oliveira *et al.*, 2003). No que diz respeito aos dejetos de suínos depositados em esterqueiras e lagoas de tratamento, os principais gases são o CO₂, o CH₄ e os gases de nitrogênio (N), tais como o amônio (NH₄⁺), o N₂O e o gás nitrogênio (N₂) (Oliveira *et al.*, 2003). Estima-se que ocorrerá um aumento de 0,5 a 3,0° C na temperatura do planeta até o final da primeira metade deste século, o que tem sido relacionado ao aumento da concentração de gases promotores de efeito estufa na atmosfera (Bayer *et al.*, 2002).

No solo, em uma esterqueira ou lagoa de armazenagem de dejetos de suínos, sob condições anaeróbicas, os microorganismos utilizam nitrato (NO₃⁻) como aceptor de elétrons na sua cadeia respiratória, promovendo a redução do NO₃⁻ até formas gasosas de N, como N₂O e o N₂, os quais são liberados para a atmosfera, além de emitir CH₄ a partir da fermentação anaeróbia (Oliveira *et al.*, 2003). Harper & Sharpe (1995), estimam que os animais sejam responsáveis por 1/6 do total de metano (CH₄) enviado para a atmosfera. Segundo Sharpe *et al.*, (2002), o confinamento de animais tem um significativo efeito nos impactos provocados na atmosfera pela emissão de gases. Os mesmos autores destacam ainda que as lagoas anaeróbicas usadas nas propriedades suinícolas são grandes produtoras de CH₄.

O CH₄ e o N₂O são, respectivamente, 25 - 30 e 100 - 300 vezes mais nocivos que o CO₂ para o efeito estufa (Lal *et al.* 1995, citado por Pillon, 2001; Bayer *et al.*, 2002; Amado & Spagnollo, 2001).

A emissão de CH₄ é medida em m³.Kg⁻¹ de sólidos voláteis (SV) dos dejetos (Lima, 2002; Oliveira *et al.*, 2003; Møller *et al.*, 2003). Para os suínos esse valor varia de 0,29 a 0,45 m³.Kg⁻¹ de SV (Lima, 2002), 0,3 a 0,6 L de gás.g⁻¹ de SV (Oliveira *et al.* 2003), 516 L de gás.Kg⁻¹ de SV (Møller *et al.* 2003). Oliveira *et al.* (2003), citam como exemplo que tendo um valor médio de SV de 0,5 Kg.dia⁻¹ um animal de 100 Kg produziria em média 250 L de CH₄. Lima (2002), afirma ainda que no Brasil, os dejetos de animais depositados nos solos constituem uma das principais fontes de emissão de N₂O para a atmosfera (0,1 Tg.ano⁻¹). Como pode ser visto, nesse item foram apresentados alguns impactos ambientais provocados pela suinocultura, e no item seguinte, serão apresentadas algumas alternativas que podem minimizar alguns desses impactos.

2.3. Alternativas para minimizar os impactos ambientais provocados pela suinocultura

Várias técnicas têm sido propostas para reduzir os impactos ambientais provocados pela suinocultura. De um modo geral, o que sempre se procura é reduzir o volume de dejetos produzidos bem como reduzir a sua carga poluente. O uso de sistemas de lagoas anaeróbias e facultativas é uma dessas técnicas. Porém seu alto custo de implantação e a grande área necessária para a sua instalação têm sido limitantes para a sua adoção pela grande maioria dos suinocultores, haja vista que os mesmos se encontram em situação financeira crítica. Nas lagoas ocorre o que se chama de “maturação dos dejetos”, sendo para isso necessário um período de 120 dias estabelecido por lei. Durante este período, ocorre redução da sua carga poluente, porém, gases que contribuem para o efeito estufa são produzidos e emitidos para a atmosfera.

Uma alternativa que tem ganhado espaço nos últimos tempos é o uso de biodigestores. Os biodigestores são câmaras que realizam a biodigestão anaeróbia da matéria orgânica produzindo biogás e biofertilizante (Oliveira, 2004). O processo de biodigestão anaeróbia ocorrida nos biodigestores produz CH₄ e este, por sua vez, não é emitido para a atmosfera, e o simples fato de queimar o gás vale dinheiro na forma de “créditos de carbono”. O CH₄ pode

ainda ser aproveitado no aquecimento de aviários em substituição ao GLP, refrigeração, iluminação, incubação, misturadores de ração, usado como combustível para funcionamento de motores a combustão (gasolina ou diesel), desde que algumas alterações sejam feitas, ou até mesmo usado para a geração de energia elétrica, o que pode contribuir de forma considerável para a redução dos custos de produção (Oliveira, 2004). O mesmo autor destaca ainda que desde que bem dimensionados, os biodigestores proporcionam inúmeras vantagens, dentre elas o tratamento de efluentes, a redução de odores e eliminação de patógenos, alta redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimentos, possibilidade de sistemas descentralizados de tratamento de resíduos e menor tempo de retenção hidráulica e de área em comparação com outros sistemas de manejo e tratamento. Após um tempo médio de retenção de 30 dias, os resíduos gerados podem ser imediatamente usados como adubo orgânico.

Com o crescente aumento das exportações de carne de suínos para a Europa e Ásia, cresceu também a preocupação com aspectos sociais, etológicos e ambientais da atividade. O consumidor tem exigido cada vez mais produtos que respeitem todos esses aspectos, fazendo com que haja uma sensibilização dos atores envolvidos nas atividades. Contudo, infelizmente as prioridades têm sido sempre as questões econômicas, e em segundo plano, vêm as questões ambientais, o produtor rural, e o bem-estar animal. Uma técnica que está ganhando adeptos no Brasil e que contempla boa parte desses aspectos é a criação de suínos em camas biológicas, ou cama sobreposta como é mais conhecida. Esta técnica reduz o volume de dejetos líquidos produzidos, sendo que os sólidos são totalmente absorvidos pelo leite (Belli Filho *et al.*, 2001; Perdomo, 2001; Oliveira, 2002; Oliveira *et al.*, 2003), aumentando a concentração de nutrientes no composto formado. O material produzido pode ser utilizado como adubo orgânico, reduzindo os custos de produção pela diminuição do uso de fertilizantes de síntese química (Perdomo, 2001; Oliveira, 2002; Oliveira *et al.*, 2003), podendo inclusive ser uma fonte alternativa e extra de renda para o produtor. Oliveira (2002), enumera muitas vantagens do sistema de criação de suínos em cama sobreposta em relação aos sistemas convencionais de criações que produzem dejetos, destacando-se um menor volume de dejetos produzidos; um melhor aproveitamento da cama como adubo devido à maior concentração de nutrientes e redução quase total da água contida nos dejetos, podendo aumentar os teores de matéria orgânica nos solos; redução dos custos de armazenagem e transporte do composto produzido; redução em mais de 50% da emissão de amônia (NH₃) e de odores; menor custo de investimento em edificações; melhor conforto e bem-estar animal; além de manter os mesmos

índices zootécnicos dos sistemas convencionais. Um dos problemas que acabam sendo um empecilho para a difusão desse sistema é a aceitação por parte das agroindústrias, alegando uma maior incidência de linfadenite nos animais. Oliveira *et al.* (2002), afirmam, porém, que em 10.927 animais avaliados pelo serviço de inspeção federal por ocasião do abate, nenhum foi condenado por linfadenite granulomatosa. Segundo os mesmos autores, isso se deve muito provavelmente ao fato dos animais terem sido criados sobre cama de casca de arroz e esta ser pouco atrativa a ingestão pelos suínos, reduzindo-se as chances de contaminação feco-oral, uma vez que esta bactéria está presente nas fezes dos suínos infectados.

Em relação aos riscos do acúmulo de Cu e Zn no solo e contaminação das águas superficiais e subterrâneas, Jondreville *et al.* (2000) e Ludke & Ludke (2003), sugerem que se houver uma redução dos níveis de Cu nas dietas de suínos a níveis mais próximos da exigência nutricional, conseqüentemente, haverá uma redução imediata na concentração do mineral nos dejetos, possibilitando um melhor balanço de nutrientes e uma conseqüente maior sustentabilidade ambiental no uso do dejetos de suíno como adubo. Ressaltam ainda a importância da adequação nutricional das dietas através da correta formulação envolvendo N, P e Cu para a redução dos impactos ambientais provocados pelo uso dos dejetos. Com relação ao P e N, algumas técnicas podem ser utilizadas para reduzir seus níveis na matéria seca dos dejetos, tais como: adição de aminoácidos sintéticos na ração (Nahm, 2002), suplementação com enzimas (Williams, 1995; Nahm, 2002), suplementação com fitases (Nahm, 2002), uso de promotores de crescimento (Williams, 1995; Nahm, 2002), formulação e modificação de dietas, reduzindo os teores de N e P (Smith *et al.*, 2000; Nahm, 2002), alimentação em etapas (Nahm, 2002), uso de materiais com alta digestibilidade nas rações (Nahm, 2002). Smith *et al.*, 2000 recomendam ainda um uso racional da água em todo o processo produtivo, e Hodgkinson *et al.*, 2002, recomendam o uso racional dos dejetos líquidos como adubo e um manejo adequado do solo de modo a não romper a sua estrutura e provocar erosão, o que pode ocasionar a chegada dos dejetos até os cursos d'água, promovendo a eutrofização.

Como pode ser visto acima, muitas técnicas existem, mas elas por si só não podem mudar por completo os impactos provocados pela atividade suinícola. A participação e corresponsabilidade das comunidades rural e urbana, governos e entidades ligadas ao setor suinícola na real defesa do ambiente é condição vital para se dar início ao processo que poderá sinalizar para uma nova mentalidade frente aos problemas de poluição impostos pela suinocultura em todo o mundo, e principalmente no Brasil e em Santa Catarina. A descentralização de parte de milhares de suínos hoje concentrados em áreas que não possuem

vocação física para tal exploração e, principalmente, a redução sistemática dos rebanhos adequando-o às condições do local, na medida em que, a quantidade de dejetos produzidos é incompatível com a área física disponível para recebimento e absorção sem prejuízos ao ambiente, é uma das alternativas para a redução da poluição. Porém, como a grande maioria dos produtores está se especializando em uma única atividade, e tendo em conta todo o investimento feito na infra-estrutura, torna-se uma tarefa muito difícil de ser realizada.

2.4. Sobre o conceito de solo saudável/solo de qualidade

Se por um lado tem havido uma degradação acelerada dos recursos naturais em virtude da demanda por alimentos e outros produtos pela crescente população, por outro, há uma maior preocupação por parte de muitos pesquisadores em atender a essa demanda evitando ao máximo degradar os recursos ainda existentes. Também houve um aumento da consciência da importância de se manter a saúde e qualidade do solo pelo fato de ser um crítico e importante componente da biosfera terrestre, funcionando não somente na produção de alimentos e fibras, mas também na manutenção da qualidade ambiental local, regional e global (Doran & Safley, 1997).

O solo é um sistema vivo e dinâmico, tendo suas funções mediadas por uma diversidade de organismos vivos que necessitam de manejo e conservação adequados (Doran & Zeiss, 2000). Partes essenciais dos ciclos globais do carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), da água e outros elementos ocorrem no solo, e a matéria orgânica do solo é o maior reservatório terrestre desses elementos. Partes dos ciclos e disponibilidade desses elementos são continuamente alterados pelos microorganismos do solo em sua constante busca por alimentos e energia (Cerri *et al.*, 1992; Doran & Safley, 1997; Moreira & Siqueira, 2002). A saúde, a biodiversidade e a resiliência do solo são severamente limitados em ambientes extremos e são mais sensíveis aos distúrbios antrópicos. Desta maneira, a tênue camada do solo que cobre a superfície da Terra representa a diferença entre a sobrevivência e a extinção de grande parte da base da vida da terra (Doran & Zeiss, 2000).

A saúde e qualidade do solo definem a sustentabilidade agrícola, a qualidade ambiental e conseqüentemente, a saúde vegetal, animal e humana (Doran & Safley, 1997; Doran & Zeiss, 2000; Karlen, 2004). Neste sentido, segundo Doran & Safley (1997) e Karlen

(2004), um solo saudável pode ser definido como “*a habilidade do solo realizar ou funcionar de acordo com o seu potencial, e mudar ao longo do tempo devido ao uso e gerenciamento humano ou por eventos naturais*”. Ainda os autores definem a “*qualidade do solo como sendo a sua capacidade contínua de funcionar como um sistema vital dentro dos limites entre o ecossistema e terras agrícolas, em sustentar a produtividade biológica, animal e vegetal, manter ou aumentar a qualidade da água e do ar, e suportar as habitações e saúde dos humanos, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da Terra*”. Neste sentido, solo saudável é sinônimo de sustentabilidade.

Sparling (1997), ressalta a necessidade de se diferenciar qualidade de saúde, que muitas vezes é usado de forma “permutável”. Segundo o mesmo autor, o maior problema em definir qualidade do solo é quando se está tratando de ecossistemas naturais com biodiversidade e sustentabilidade, diferindo grandemente de qualidade quando definido em termos de produção de plantas e animais, tal como rentabilidade da produção e baixa biodiversidade, indo de encontro à definição de solo saudável supracitada. Para ele, qualidade tem sido definida de acordo com o “propósito”, sendo este o ponto central para diferenciar qualidade de saúde. Cita como exemplos os solos dos desertos, dunas, regiões polares, dentre outros ecossistemas, onde a produtividade potencial e a biodiversidade são baixas, porém o solo não deixa de ser saudável, passando por um estágio natural de desenvolvimento. Um outro exemplo seriam os solos nos ecossistemas clímax, com alta biodiversidade, mas com baixa fertilidade natural, como as florestas tropicais.

Vários atributos e organismos do solo são usados para definir critérios de qualidade e saúde, servindo também como indicadores de mudança na sua qualidade. Quanto mais sensível o atributo ou o organismo for ao manejo, mais usado será como indicador de qualidade do solo. Este tema será abordado com maior ênfase a seguir.

2.5. Os indicadores biológicos e de qualidade do solo

Os indicadores biológicos podem ser entendidos como qualquer organismo vivo, sejam eles microorganismos, plantas ou animais que podem indicar a qualidade ambiental em função do seu uso, ou até mesmo refletir mudanças nas condições climáticas. Segundo Vivan (1998), e Godefroid (2001), as plantas são boas indicadoras biológicas, pois sua distribuição e abundância podem revelar muitas alterações ocorridas devido a fatores ambientais e, principalmente, pelas atividades antrópicas ao longo do tempo. O uso conjunto de vários atributos do solo, dentre eles os químicos, os físicos e os biológicos (Doran & Safley, 1997; Doran & Zeiss, 2000; Bouma, 2002; Anderson, 2003; Liebig *et al.*, 2004; Sparling *et al.*, 2004) podem dar respostas mais concretas sobre a qualidade e o uso do ambiente. Muitos trabalhos têm sido realizados com essa visão, sendo usados inclusive alguns indicadores do ponto de vista dos agricultores. Um exemplo deste tipo de trabalho foi realizado por Desbiez *et al.* (2004) junto a agricultores no Nepal. Os agricultores citaram como indicadores biológicos e de qualidade, a cor e a textura do solo, a incidência de pragas, doenças e a produtividade das culturas, a incidência de plantas invasoras, a presença de minhocas e larvas de coleópteros.

Segundo Doran & Safley (1997), os indicadores de qualidade e saúde do solo são comumente usados para fazer avaliações entre práticas de gerenciamento e manejo agrícola para determinar sua sustentabilidade e qualidade ambiental. Em função disto, um indicador adequado deve ser sensível às alterações de manejo. Vários atributos do solo e outros indicadores biológicos são usados para definir critérios de qualidade e servir como indicadores de mudanças em qualidade. A Tabela 1 apresenta um resumo desses atributos e demais indicadores. Alguns desses atributos são sensíveis ao manejo, tais como a condutividade hidráulica e a matéria orgânica do solo; esta última é considerada o maior indicador de qualidade do solo (Doran & Safley, 1997; Gama-Rodrigues, 1999; Mielniczuk, 1999; Doran & Zeiss, 2000; Hansen *et al.*, 2001; Doran, 2002; Arshad & Martin, 2002; Franzluebbers, 2002; Moreira & Siqueira, 2002; von Lützow *et al.*, 2002; Gardi *et al.*, 2002; Liebig *et al.*, 2004). Essa grande importância como indicador de qualidade do solo se deve ao fato da matéria orgânica do solo ter grande influência sobre outros indicadores de qualidade do solo, tais como nos atributos químicos, físicos e biológicos (Gardi *et al.*, 2002). Segundo Insam (1990), dois índices microbianos têm sido sugeridos e usados para monitorar a saúde

do solo, sendo a biomassa microbiana (usualmente determinada por métodos bioquímicos) e a respiração microbiana do solo.

Tabela 1: Atributos e indicadores de qualidade e saúde do solo.

Indicador	Fonte
Matéria Orgânica do Solo	Doran & Safley (1997); Gama-Rodrigues (1999); Mielniczuk (1999); Doran & Zeiss (2000); Hansen <i>et al.</i> (2001); Doran (2002); Arshad & Martin (2002); Franzluebbbers (2002); Moreira & Siqueira (2002); von Lützow <i>et al.</i> (2002); Gardi <i>et al.</i> (2002); Liebig <i>et al.</i> (2004)
Atividade Enzimática	Gama-Rodrigues (1999); Filip (2002); Moreira & Siqueira (2002); Schloter <i>et al.</i> (2003)
Carbono Orgânico do Solo	Gardi <i>et al.</i> (2002); Arshad & Martin (2002); Liebig <i>et al.</i> (2004)
Carbono Orgânico Particulado	Chan <i>et al.</i> (2002)
Biomassa Microbiana	Powlson <i>et al.</i> (1987); Filip (2002); Franzluebbbers (2002); Arshad & Martin (2002); Schloter <i>et al.</i> (2003); Anderson (2003); Liebig <i>et al.</i> (2004)
Populações de Microorganismos (fungos, bactérias)	Donegan <i>et al.</i> (2001); Hansen <i>et al.</i> (2001); Schloter <i>et al.</i> (2003); Anderson (2003)
Densidade e abundância de <i>Rhizobium</i> e outras bactérias fixadoras de N	Filip (2002); Schloter <i>et al.</i> (2003)
Mudanças na dinâmica e na composição da população de nematóides e microartrópodes	Donegan <i>et al.</i> (2001); Hansen <i>et al.</i> (2001); Gardi <i>et al.</i> (2002); Schloter <i>et al.</i> (2003); Birkás <i>et al.</i> (2004)
pH	(Doran & Safley, 1997; Doran & Zeiss, 2000; Arshad & Martin, 2002)
Condutividade elétrica	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000); Arshad & Martin (2002)
Taxa de mineralização do nitrogênio	Moreira & Siqueira (2002); Schloter <i>et al.</i> (2003)
Níveis de nitrato no solo e na água	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000)
Densidade do solo	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000); Longsdon & Karlen (2004)
Infiltração de água	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000); Arshad & Martin (2002)

Capacidade de retenção de água (CRA)	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000); Desbiez <i>et al.</i> (2004)
Conteúdo de água	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000)
Estruturação	Hansen <i>et al.</i> (2001)
Porosidade	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000)
Estabilidade de agregados	Gardi <i>et al.</i> (2002); Arshad & Martin (2002)
Temperatura	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000)
Respiração	Doran & Safley (1997); Doran & Zeiss (2000); Arshad & Martin (2002); Filip (2002); Schloter <i>et al.</i> (2003)

Para Doran & Safley (1997), um indicador deve:

- 1) Apresentar boa correlação com os processos do ecossistema (isto também aumenta sua utilidade em elaboração de modelos orientadores);
- 2) Integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e seus processos, servir de base para necessidades de “entradas” para estimativa das propriedades ou funções do solo mais difíceis de se medir diretamente;
- 3) Ser relativamente fácil de ser manuseado em condições de campo e acessível tanto para especialistas quanto produtores;
- 4) Ser sensível a variações do manejo e do clima. Deve se mostrar bastante sensível em refletir a influência do manejo e do clima nas mudanças da qualidade do solo por períodos longos, mas, não ser tão sensível a períodos curtos;
- 5) Deve compor uma base de dados existente, sempre que possível.

Por esses motivos, a matéria orgânica do solo e suas frações vêm sendo proposta por muitos autores como um indicador de qualidade do solo (Doran & Safley, 1997; Gama-Rodrigues, 1999; Mielniczuk, 1999; Doran & Zeiss, 2000; Hansen *et al.*, 2001; Doran, 2002; Arshad & Martin, 2002; Franzluebbers, 2002; Moreira & Siqueira, 2002; von Lützow *et al.*, 2002; Gardi *et al.*, 2002; Liebig *et al.*, 2004). Segundo Mielniczuk (1999) e von Lützow *et al.*, (2002), o teor de matéria orgânica do solo é muito sensível em relação às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde, nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da matéria orgânica previamente acumulada é perdida por diversos processos, entre esses a decomposição microbiana e a erosão, sendo, portanto, o atributo que melhor

representa a qualidade do solo. Em condições de revolvimento do solo, entre 15 e 45% dos teores de ácidos húmicos são degradados em apenas 21 dias (Filip & Kubát, 2003).

Moreira & Siqueira (2002), afirmam que apesar de representar pequena parte do C orgânico do solo, a biomassa microbiana é um indicador sensível de mudanças no ecossistema. Segundo Powlson *et al.*, (1987) isso se deve ao fato dos microrganismos medirem vários processos no solo, sendo um indicador sensível, podendo inclusive prever processos de mudança na matéria orgânica do solo. Para Hargreaves *et al.* (2003), o carbono da biomassa microbiana pode mostrar o declínio da qualidade do solo em longo prazo e é sensível como um indicador de impacto ambiental em outras propriedades químicas do solo em curto prazo, tanto em ecossistemas naturais como em seminaturais.

Trasar-Cepeda *et al.*, (2000) propõem como indicador as mudanças ocorridas nas atividades de algumas enzimas do solo juntamente com outros indicadores, como o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana. Afirmam que a atividade enzimática juntamente com outros indicadores biológicos são considerados sensíveis à poluição, servindo como um indicador para medir o grau de degradação do solo.

2.5.1. O uso dos microrganismos como indicadores de saúde e qualidade do solo

Os critérios para ser um indicador de qualidade e saúde do solo relatam principalmente sua utilidade em definir processos do ecossistema e integrar propriedades químicas, físicas e biológicas (Doran & Zeiss, 2000; Francaviglia *et al.*, 2004), sua sensibilidade ao manejo e variações climáticas, e sua acessibilidade e utilidade para especialistas, produtores, conservacionistas e políticos (Doran, 2002). Pelo exposto, as mensurações de microrganismos do solo (incluindo sua abundância, diversidade, estrutura alimentar, estabilidade da comunidade, etc.) cumprem muitos desses critérios (mas não todos), como indicadores biológicos de qualidade e sustentabilidade do uso do solo. Dentre os critérios, destacam-se a sensibilidade a variações de manejo (Doran & Zeiss, 2000; Schloter *et al.*, 2003) e clima, a boa correlação com as funções do solo, sua utilidade para esclarecer processos do ecossistema, compreensão e utilidade para as pessoas que estudam o solo e sua relativa facilidade e baixo custo de mensuração (Doran & Zeiss, 2000).

Doran (2002) destaca que é difícil se predizer um indicador devido ao fato de haver uma grande inter-relação entre vários atributos, sendo, portanto, importante se ter uma visão holística (usando vários indicadores) para desenvolver estratégias para se chegar à sustentabilidade agrícola.

2.5.1.1. Biomassa Microbiana do Solo e suas funções

A “biomassa microbiana” é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo (Cerri *et al.*, 1992; Wardle & Hungria, 1994; Sparling, 1997; Gama-Rodrigues, 1999; Moreira & Siqueira, 2002), composta por todos os microrganismos menores que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna (Cerri *et al.*, 1992; Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; Moreira & Siqueira, 2002), excluindo-se raízes de plantas e animais do solo (Sparling, 1997; Gama-Rodrigues, 1999).

Contém em média, de 2 a 5% do C orgânico e de 1 a 5% do nitrogênio total do solo (Gama-Rodrigues, 1999). É a principal fonte de enzimas no solo, sendo assim responsável pela quase totalidade de atividade biológica deste (Moreira & Siqueira, 2002), catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de C e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-plantas (Wardle, 1998; Moreira & Siqueira, 2002; Filip, 2002).

Embora existam milhares de enzimas em uma única célula microbiana, apenas pouco mais de 50 têm sido identificadas ou detectadas suas atividades no solo. Mesmo assim, estas têm grande importância na decomposição de resíduos e na fertilidade do solo, na eficiência de uso dos fertilizantes, nas interações entre plantas, no estado de oxidação-redução do solo, além de servirem como estratificador ecológico e indicador da qualidade do solo e também da presença de poluentes (Moreira & Siqueira, 2002; Francaviglia *et al.*, 2004). As enzimas têm participação essencial nos ciclos dos elementos no solo e são sintetizadas principalmente pelos organismos que nele crescem. As condições que favorecem a atividade microbiana, como adubação orgânica, presença de vegetação (rizosfera) e rotação de culturas, também favorecem a atividade enzimática, que muitas vezes se correlaciona positivamente com a produtividade ou qualidade do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

A fertilidade do solo constitui uma combinação de fertilidade mineralógica com a fertilidade biológica; seu funcionamento e sustentação são largamente governada pela atividade decompositora da microbiota (Anderson, 2003), tendo influência direta e indireta nos processos de intemperização de rochas e de sedimentos do solo (Assad, 1997). A fertilidade biológica está relacionada ao grau e a intensidade de ciclagem dos nutrientes no sistema solo-planta (Assad, 1997), e tem na biota do solo seu principal agente nos processos de decomposição, mineralização, ciclagem e reservatório de nutrientes (Grant *et al.*, 1993; Wardle & Hungria, 1994; Assad, 1997; Wardle, 1998; von Lützow *et al.*, 2002; Mamilov & Dilly, 2002; Moreira & Siqueira, 2002; Francaviglia *et al.*, 2004), tendo sua dinâmica estritamente relacionada com a dinâmica da matéria orgânica (Wardle & Hungria, 1994), sendo, portanto um componente crítico de todos os ecossistemas naturais ou manipulados pelo homem. É também a maior responsável na manutenção da estrutura favorável do solo, além de atuar na maior parte da decomposição e processos de despoluição do solo (Francaviglia *et al.*, 2004).

Outra importante função da biomassa microbiana é na estruturação do solo. A biomassa microbiana e produtos microbianos desempenham um importante papel na estabilização da estrutura do solo e, por isso, acredita-se que a estrutura do solo seja significativa no controle da dinâmica do C no solo. Macroagregados estáveis, especialmente aqueles em solos adubados com esterco, suportam mais biomassa microbiana que os microagregados e constituem um local de intenso metabolismo do substrato prontamente disponível. Os microrganismos do solo estão altamente relacionados com a agregação do mesmo, pois existe, segundo Edgerton *et al.* (1995), uma alta correlação entre o carbono da biomassa microbiana e presença de macroagregados no solo. Matéria orgânica de origem microbiana (humificada), especialmente biomassa e grandes hifas de fungos, polissacarídeos microbianos e componentes lipídicos, provocam mudanças nos agregados estáveis do solo (Aoyama *et al.*, 2000), sendo os fungos os grandes responsáveis pelos macroagregados (Deneff *et al.*, 2001). Segundo Pinheiro Machado (2002), a agregação do solo se dá pela presença da Glomalina (glicoproteína produzida por fungos micorrízicos), tendo alta capacidade de fixação de C no solo, funcionando como uma rede, uma cola para formar os agregados no solo.

Existem vários métodos para estimar a biomassa microbiana do solo, baseados numa medida da população viva do solo como um todo. Apesar de ser uma característica muito

dinâmica e, de certo modo pouco informativa quando interpolada por si só, sua quantificação permite, de acordo com Moreira & Siqueira, 2002:

- a) Estimar o potencial microbiano de um solo e sua capacidade de transformação;
- b) Quantificar substâncias relacionadas às quantidades de elementos essenciais à vida microbiana, vegetal e animal;
- c) Relacionar estas quantidades de microorganismos com formas inorgânicas de interesse agrônômico e ecológico no solo;
- d) Relacionar as características acima com qualidade do solo e produtividade agroecológica.

Estimativas da biomassa microbiana têm sido usadas em estudos do fluxo de C e N, ciclagem de nutrientes e produtividades das plantas em diferentes ecossistemas terrestres. Essas medidas permitem a quantificação da biomassa microbiana viva, presente no solo em um determinado tempo. Possibilitam também a associação da quantidade de nutrientes imobilizados e a atividade da biomassa microbiana com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo, servindo como base para estudos de formação e ciclagem da matéria orgânica. Como a biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica (Cerri *et al.*, 1992; Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; Moreira & Siqueira, 2002), esta é mais sensível que o resultado quantitativo do C orgânico e do N total para aferir alterações na matéria orgânica causadas pelo manejo do solo e pelas práticas de cultivo (Insam & Parkinson, 1989; Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; Moreira & Siqueira, 2002).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo (Grant *et al.*, 1993; Wardle & Hungria, 1994; Wardle, 1998; Gama-Rodrigues, 1999; Mamilov & Dilly, 2002; Moreira & Siqueira, 2002). Esta representa um importante componente ecológico, pois é responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais no solo, utilizando esses materiais como fonte de nutrientes e energia para a formação e desenvolvimento de suas células, bem como para síntese de substâncias orgânicas no solo (Gama-Rodrigues, 1999), como é o caso da formação do húmus (von Lützow *et al.*, 2002). Os microorganismos imobilizam temporariamente C, N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes, que serão liberados após sua morte e decomposição, podendo vir a ser disponíveis às plantas (Gama-Rodrigues, 1999).

Um exemplo de atividade microbiana na liberação de nutrientes para as plantas seria o Ciclo do Etileno (C_2H_4) no solo. Muitos nutrientes, tais como o fósforo, são mantidos praticamente imóveis nos solos formando sais complexos de ferro na forma férrica (Fe^{3+}), ou seja, ferro oxidado. Esses sais férricos têm uma área superficial ampla, são altamente carregados e se fixam fortemente a nutrientes tais como o fósforo e o enxofre. Nesta forma estes não podem ser lixiviados do solo, mas tampouco podem ser absorvidos pelas plantas. Quando as plantas estão estabelecidas e crescendo bem, a atividade das raízes é intensa, e na área envolta dos pelos radiculares há uma proliferação de microrganismos que se alimentam dos exudatos vegetais. Esta alta atividade leva a uma diminuição do oxigênio na rizosfera. Os microrganismos anaeróbios começam então a sua atividade e produzem o gás etileno que se difunde através dos espaços em volta dos poros. Uma vez nesses poros, o etileno inativa, mas não mata os organismos aeróbios. Em um solo bem arejado, com os aeróbios inativados, o nível de oxigênio se elevará e o nível de etileno cairá, permitindo assim que os organismos aeróbios aumentem seu predomínio. Este ciclo se repete constantemente desde que as condições do solo sejam favoráveis. À medida que o nível de etileno no solo aumenta, os sais férricos insolúveis são reduzidos a um estado ferroso (Fe^{2+}). O fósforo e o enxofre que formaram parte do complexo de sal férrico se tornam disponíveis para as plantas. Assim mesmo, o ferro ferroso se fixa aos domínios orgânicos, liberando nutrientes vegetais catiônicos (amônio, cálcio, potássio, etc.), na solução do solo. Como a situação anaeróbia ocorre perto dos pelos radiculares da planta, onde a atividade tem sido máxima, os nutrientes então estão em lugar exato para serem absorvidos. Uma vez que se restaura a atividade aeróbia, o ferro ferroso em solução é oxidado e o fósforo e o enxofre não utilizados retornam à forma insolúvel, e não são lixiviados. A produção de etileno, por seu efeito sobre os microrganismos aeróbios, regula a taxa de renovação da matéria orgânica, e este retrocesso na cadeia ajuda na reciclagem de material vegetal e a controlar as enfermidades vegetais transmitidas pelo solo (Widdowson, 1993; Pinheiro Machado, 2002).

Muitos autores enquadram a biomassa microbiana como o compartimento central do ciclo do carbono (Insam & Parkinson, 1989; Gama-Rodrigues, 1999, von Lützow *et al.*, 2002), representando um considerável reservatório de nutrientes nos solos e um atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas. Nesse sentido, de acordo com as condições edafoclimáticas e da qualidade da serrapilheira, a biomassa microbiana pode exercer função catalisadora, de fonte e/ou reserva de nutrientes. A rápida ciclagem da biomassa microbiana pode também fornecer fluxos de relevante

importância na nutrição das plantas. A função exercida pela biomassa microbiana depende das condições do ecossistema estudado e, dentro de um mesmo ecossistema, a biomassa microbiana da serrapilheira e do solo pode exercer funções diferenciadas (Gama-Rodrigues, 1999). Outra função exercida pela biomassa microbiana do solo, considerada das mais importantes, segundo Moreira & Siqueira (2002), é na degradação de xenobióticos no solo.

2.5.1.2. Fatores que afetam a Biomassa Microbiana do Solo

A quantidade de biomassa encontrada no solo é, de certo modo, num determinado tempo relacionada à quantidade de carbono que este recebe. Ela é favorecida em solos com vegetação, naqueles com teores mais elevados de argila ou sob cultivo mínimo, e geralmente baixa nos solos cultivados, nos arenosos ou degradados pela erosão ou por contaminação com substâncias orgânicas tóxicas ou metais pesados (Moreira & Siqueira, 2002).

A biomassa microbiana representa o destino inicial do C em transformação no solo e é extremamente influenciada pelos fatores que afetam a densidade e atividade dos organismos do solo, em especial pela disponibilidade de matéria orgânica (Gama-Rodrigues, 1999), disponibilidade de nutrientes (C, N, P e S) (Grant *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999), condições físicas (Grant *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999), umidade, aeração (Grant *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999; Franzluebbers *et al.*, 2001), influências climáticas como temperatura (Grant *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999; Doran & Zeiss, 2000; Franzluebbers *et al.*, 2001), pluviosidade, condições químicas como pH (Grant *et al.*, 1993, Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; Friedel & Scheller, 2002), atividade iônica (Grant *et al.*, 1993), teor e tipo de argila e textura do solo (Hassink *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999; Moreira & Siqueira, 2002), atividade biológica (Grant *et al.*, 1993; Gunadi *et al.*, 2002), presença de microrganismos parasitas e antagonistas (Gama-Rodrigues, 1999), exsudações radiculares (Wardle & Hungria, 1994), presença e uso de xenobióticos (Moreira & Siqueira, 2002), presença de metais pesados (Mamilov & Dilly, 2002; Moreira & Siqueira, 2002), manejo do solo (Doran & Zeiss, 2002; Moreira & Siqueira, 2002), uso de fertilizantes de síntese química (Ettema *et al.*, 1999) e manejo das culturas (Moreira & Siqueira, 2002).

Fatores que alteram os teores de matéria orgânica do solo normalmente provocam também alterações na biomassa microbiana. Isso é particularmente evidente quando resíduos

de plantas são adicionados ao solo, ou quando ocorre um decréscimo no teor de matéria orgânica. A qualidade da matéria orgânica também é importante para estimular a biomassa microbiana e adições de resíduos de alta qualidade podem aumentar a relação C microbiano:C orgânico nos solos. O C e o N presentes nos compostos derivados da cobertura vegetal morta, são, de um modo geral, aproveitados imediatamente pela biomassa microbiana (Wardle & Hungria, 1994). Em síntese, a matéria orgânica responde ao uso da terra de acordo com a quantidade e qualidade de materiais orgânicos adicionados ao solo (Fließbach *et al.*, 2000).

A biomassa microbiana responde rapidamente à adição de C e N prontamente disponíveis, o que sugere que a maioria dos componentes da microflora está limitada pelo C e pelo N, e tal limitação está mais frequentemente relacionada ao N do que ao C do solo. Sendo assim, a biomassa microbiana na cobertura vegetal morta é relacionada positivamente com o teor de N e negativamente com o teor de C dessa cobertura. É o N, e não o C, que regulará a atividade dos microorganismos decompositores e as taxas de decomposição (Wardle & Hungria, 1994), mas seu desenvolvimento e atividade dependerão do N adicionado ao solo. Ettema *et al.* (1999) verificaram que a adição de N mineral reduziu ligeiramente o carbono da biomassa microbiana e respiração basal, e incrementou a atividade fúngica. Moreira & Siqueira (2002) afirmam que a aplicação de N no solo não resulta no enriquecimento de N na biomassa, que tem valor relativamente constante para esse elemento, mas altera a quantidade de biomassa e nutrientes contida. Alguns estudos mostram um efeito negativo da adição de N mineral na biomassa microbiana, o que pode estar relacionado a um estímulo da nitrificação, aos efeitos negativos do NO_3^- na microflora ou, ainda, ao estímulo no crescimento da planta, resultando em maior competição entre a planta e os microorganismos por nutrientes (Wardle & Hungria, 1994).

Segundo Franzluebbers *et al.*, (2001), as influências climáticas têm grande impacto sobre a porção potencialmente ativa da matéria orgânica, mas um impacto relativamente baixo sobre a atividade respiratória do carbono da biomassa microbiana. Os mesmos autores afirmam ainda que temperaturas médias anuais elevadas resultam em maior respiração basal do solo, maior mineralização de N e maior carbono da biomassa microbiana quando comparadas com as regiões frias. Já altas precipitações médias anuais resultam em consistentemente baixa respiração basal do solo úmido quando comparado com regiões secas e baixo carbono da biomassa microbiana, mas teve inconsistente efeito na mineralização do N, mostrando que este último depende do regime de temperatura. Entretanto, as regiões quentes não têm habilidade em reter/armazenar os altos níveis de carbono orgânico como nas

regiões frias, devido às altas taxas de decomposição e atividade biológica nas frações do solo. A variação temporal da biomassa microbiana é um importante componente do seu volume, e sua contribuição para um modelo de liberação e mineralização de nutrientes no solo (Wardle, 1998). Não só a temperatura, mas a umidade do solo interferem significativamente na relação C microbiano: C orgânico (Insam & Parkinson, 1989).

A biomassa microbiana declina rapidamente com a diminuição do teor de água do solo e aumenta com a recuperação deste teor (Wardle & Hungria, 1994). Isso porque, segundo os mesmos autores, é composta de diversas espécies, que apresentam diferentes graus de suscetibilidade à secagem. Mamilov & Dilly (2002), verificaram que a disponibilidade de água aumenta a disponibilidade de N e induz a um alto nível de atividade da biomassa microbiana. A falta de água pode prejudicar consideravelmente a atividade microbiana e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes no solo. Segundo Fierer & Schimel (2002), os ciclos de secagem e umedecimento do solo impõem um significativo estresse na comunidade microbiana, induzindo grandes mudanças na dinâmica do C e N microbianos; estes efeitos podendo prolongar-se por alguns meses após o estresse. Variações em curto prazo nas condições ambientais promovem os processos de decomposição influenciando a fisiologia dos microrganismos do solo. Clima, composição do substrato (C:N), conteúdo de lignina e componentes solúveis são importantes fatores que regulam a taxa de decomposição da matéria orgânica. Fatores ambientais e suas variações a curto e longo prazos afetam a taxa de decomposição através da atividade e crescimento microbiano (Mamilov & Dilly, 2002).

Solos argilosos e francos oferecem maior proteção física à matéria orgânica. A relação C:N da biomassa microbiana foi mais alta em solos arenosos quando comparados com os francos e argilosos, e foi positivamente correlacionada com a taxa de mineralização de N por unidade de biomassa microbiana (Hassink *et al.*, 1993). Segundo Gama-Rodrigues (1999), a argila aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, proporciona maior capacidade tampão de acidez e protege os microrganismos contra os predadores. Solos com elevado teor de argila apresentam maior imobilização de C e N pela biomassa microbiana.

Os valores obtidos para biomassa variam muito e com o tipo de solo, vegetação e clima. Os menores valores são geralmente encontrados em áreas degradadas pela mineração ou florestas queimadas, áreas sujeitas à inundação (várzeas) e solo sob cultivo intensivo ou contaminados com metais pesados, em comparação com as bem preservadas e com vegetação natural (Moreira & Siqueira, 2002).

A biomassa microbiana também está relacionada com o pH do solo, sendo esta relação normalmente positiva, mas esse efeito é geralmente menos importante que os teores de C ou N. Um fator relacionado ao baixo pH é o aumento no teor de alumínio (Al), que pode ser tóxico aos microrganismos do solo (Wardle & Hungria, 1994).

O revolvimento do solo é conhecido por causar a longo prazo efeitos na matéria orgânica e no reservatório lábil de nutrientes, mas em curto prazo as mudanças na dinâmica e atividade microbiana após o revolvimento são pouco entendidas. A longo prazo, reduz os teores de matéria orgânica e, conseqüentemente a biomassa microbiana. Longos períodos de revolvimento diminuem a capacidade do solo de reter N, promover a produção de NO_3^- através da nitrificação, e decresce a capacidade de imobilizar N devido ao decréscimo na disponibilidade de C (Calderón *et al.*, 2000).

Em sistemas de rotação de culturas com leguminosas e uso de esterco, Bolton Jr. *et al.*, (1985), verificaram maior atividade biológica (urease, fosfatase e desidrogenase, e níveis mais altos de biomassa microbiana) quando comparado com um sistema com uso de fertilizantes de síntese química. Insam & Parkinson (1989), verificaram resultados semelhantes. Gunadi *et al.* (2002), constataram aumento dos valores de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico no solo após adição de vermicomposto. Os mesmos autores afirmam ainda que as minhocas são essenciais para a fragmentação e mistura dos resíduos orgânicos no solo, e promovem a atividade microbiana.

As altas “entradas” de matéria orgânica nos sistemas orgânicos liberam NH_4^+ de forma gradual e, comparando com as baixas “entradas” de matéria orgânica nos sistemas convencionais, suporta maior atividade da biomassa microbiana com grande demanda de N, principalmente pela imobilização do NO_3^- (Burger & Jackson, 2003). Fließbach & Mäder (2000), afirmam que o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana e suas relações com as frações leve e reservatórios de C e N no solo de sistemas orgânicos de manejo são altas quando comparados com sistemas convencionais. Reforçam também a afirmação de que os reservatórios de formas lábeis da matéria orgânica são afetados a longo prazo pelas práticas de manejo. Degens *et al.*, (2000), afirmam que a manutenção do C orgânico no solo é fundamental para a preservação da atividade microbiana, e que o uso das terras tem causado diminuição dos estoques no solo, causando declínio na atividade catabólica de comunidades microbianas. Peacock *et al.* (2001), verificaram que a aplicação de esterco de curral provocou acúmulo de C orgânico e incrementou a atividade microbiana do solo quando comparado com a aplicação de Nitrato de Amônia.

Solos sob cultivo mínimo, como no sistema de plantio direto (SPD), apresentam maiores quantidades de biomassa que aqueles sob preparo intensivo. Portanto, o cultivo exerce grande impacto quantitativo na população microbiana dos solos tropicais (Moreira & Siqueira, 2002). Neste sentido, a Tabela 2 apresenta alguns parâmetros biológicos do solo em diferentes sistemas de manejo.

Tabela 2: Microartrópodes, biomassa microbiana (C e N) e respiração basal em plantio direto e convencional.

Parâmetro biológico	Plantio convencional	Plantio direto	Aumento relativo (%)
Microartrópodes ($n^{\circ}/m^2 \times 10^3$) ¹	28,9	83,1	+188
Biomassa C ² ($\mu\text{g.g solo seco}^{-1}$)	149,33	319,06	+114
Biomassa N ³ ($\mu\text{g.g solo seco}^{-1}$)	29,71	56,60	+91
Respiração basal ($\mu\text{g/g/dia de C-CO}_2$)	2,76	4,79	+74

¹ Colêmbola, Oribatídeos, Mesostigmata, Prostigmata, Astigmata e outros; ² Fumigação-incubação; ³ Método de Brookes *et al.*, 1985. **Fonte:** Moreira & Siqueira, 2002.

Com o crescimento, as raízes alteram as condições em sua proximidade imediata de várias maneiras (Parkinson, 1971), sendo um exemplo o pH (Marschner, 1991), e, por esta razão, exercem importantes efeitos sobre a diversidade da população microbiana do solo (Parkinson, 1971; Marschner, 1991), e segundo Paul & Clark (1989), a densidade e diversidade microbiana é tanto maior quanto mais perto das raízes e mais perto da superfície, diminuindo com o aumento da profundidade. A raiz ativa exsuda substâncias orgânicas e inorgânicas que normalmente reforçam a atividade microbiana, ainda que algumas delas exsudam substâncias que atuam contra certos microrganismos. Por descamação as raízes perdem células, provavelmente a partir das raízes jovens e em especial a partir da coifa, que aportam ao solo um substrato apto para o desenvolvimento microbiano (Parkinson, 1971). Segundo Wardle & Hungria, (1994), as plantas normalmente estimulam a biomassa microbiana, principalmente porque a rizosfera está constantemente exsudando formas prontamente disponíveis de C e N, que são absorvidos pela microflora.

Pesticidas, metais pesados, deposição de ácidos e uma série de produtos químicos industriais provenientes de diversas atividades antrópicas exercem vários impactos ecológicos, químicos e biológicos em vários sistemas e ecossistemas terrestres (Moreira & Siqueira, 2002; Edwards, 2002). Segundo Edwards (2002), esses impactos nos sistemas agrícolas, provocam efeitos sobre:

- a) O nível e população de organismos, em termos individuais (taxa de nascimento, número, crescimento, natalidade);
- b) A comunidade planta/planta, plantas/microrganismos, ou interações entre planta/fauna, diversidade de espécies e nas redes de alimentação no solo;
- c) O ecossistema, em relação à produtividade primária e secundária, redução dos teores de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes;
- d) A paisagem, promovendo mudanças na heterogeneidade espacial de plantas e organismos do solo, transferência de materiais e nutrientes no solo, e transferência hidrológica de nutrientes.

Muitos trabalhos realizados ao longo da história têm mostrado os efeitos negativos do uso de agrotóxicos sobre a atividade biológica do solo. Duah-Yentumi & Johnson (1986) verificaram redução significativa da biomassa microbiana pela aplicação de Carbofuran, redução dramática pela aplicação de Vinclozolin e redução principalmente de fungos pela aplicação de Paraquat. Smith *et al.*, (2000), observaram que aplicações do fungicida Benomil provocou em longo prazo redução de 80% na colonização de micorrizas, 20% na biomassa total de bactérias, 12% na abundância de fungos, 33% dos nematóides predadores e redução significativa na contribuição relativa dos fungos na atividade microbiana total. Ghani & Wardle (2001), verificaram uma baixa degradação do herbicida Metsulfuron (entre 38-42%) 131 dias após a aplicação, tendo reflexos negativos sobre a atividade microbiológica do solo. Schweiger *et al.* (2001), verificaram que o uso do fungicida Carbendazin inibiu completamente a atividade dos fungos solubilizadores de P no solo. Busse *et al.*, (2001), afirmam que o Glifosato é tóxico a fungos e bactérias do solo. Deneff *et al.*, (2001) verificaram que o crescimento das hifas de fungos foi significativamente reduzido em solos tratados com fungicidas, influenciando de forma negativa, a agregação e estruturação do solo.

Os metais pesados podem influenciar fortemente a biomassa microbiana, sendo bastante importante quando a contaminação ocorre de um modo contínuo por vários anos (Wardle & Hungria, 1994). Os mesmos autores afirmam que a biomassa microbiana é afetada por altos níveis de Cu. Frostegard *et al.*, (1996) afirmam que a contaminação por metais pesados afeta a composição das espécies na comunidade microbiana do solo. Chander & Brookes (1991) verificaram redução de 35% no carbono da biomassa microbiana em solos com altos teores de metais pesados quando comparados com solos com baixos teores. Sugerem que as “entradas” provenientes de plantas cultivadas em solos com metais pesados diminuem a eficiência de conversão do C em carbono da biomassa microbiana. Dahlin *et al.*

(1997), verificaram que concentrações de Cd, Cr, Cu, Pb e Zn provocaram redução entre 15 e 80% na atividade de redução do acetileno potencial (ARA) tanto em autotróficos quanto em heterotróficos, no número de rizóbio e na relação C biomassa : C orgânico. Rost *et al.* (2001) verificaram que o Zn tem grande efeito sobre a produção de CO₂ e sobre o quociente microbiano (qCO_2), efeito moderado sobre a mineralização do N e efeito relativamente pequeno sobre a atividade da protease, carbono da biomassa microbiana e amonificação da arginina. Khan & Scullion (2002) verificaram que Cd, Cu, Ni, Pb e Zn provocam redução da assimilação do N mineralizado.

Os níveis de P também limitam a biomassa microbiana em algumas situações. Baixos níveis de fósforo são prejudiciais ao crescimento microbiano. Há evidências, também, de que a biomassa microbiana pode mostrar uma relação positiva com o teor de S e K do solo (Wardle & Hungria, 1994).

2.5.1.3. Relações C microbiano/C orgânico e N microbiano/N total

As relações C microbiano/C orgânico e N microbiano/N total expressam índices de qualidade nutricional da matéria orgânica. Para solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana encontra-se sob condições de estresse, tornando-se incapaz de utilizar totalmente o N e o C orgânico. Nesse caso, as relações C microbiano/C orgânico e N microbiano/N total diminuem. A biomassa microbiana poderá aumentar rapidamente, ainda que os níveis de C orgânico permaneçam inalterados, quando for adicionado matéria orgânica de boa qualidade nutricional. A relação C:N microbiana também pode ser usada como índice para expressar a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C ou N, refletindo a qualidade nutricional da matéria orgânica (Gama-Rodrigues, 1999). Segundo Lützow *et al.*, (2002), mudanças nas relações C microbiano/C orgânico e no qCO_2 refletem as adições de matéria orgânica no solo, a eficiência de conversão microbiano de C, perdas de C no solo e a estabilização do C orgânico na fração mineral do solo.

2.6. Uma nova abordagem para o uso de dejetos de suínos – os Indicadores Biológicos e de Qualidade do Solo

Geralmente quando se faz uso de dejetos animais como adubo orgânico (camas, esterco líquido, etc.) para adubação do solo, usam-se indicadores químicos (análises químicas do solo e dos dejetos) para determinar sua composição e os possíveis efeitos que poderão causar no solo. Normalmente é levado em conta as análises químicas do solo e a necessidade das culturas, para então se chegar à quantidade de adubo a ser utilizado. Porém, em muitos casos nem mesmo o critério químico é levado em consideração para determinar a quantidade de adubo a ser aplicada, o que causa poluição e desequilíbrio de nutrientes no solo, podendo representar sérios riscos ambientais. Cabe ressaltar que as análises químicas não são sensíveis em curto espaço de tempo, podendo levar um longo prazo para se detectar alterações importantes nas propriedades do solo. Assim, as análises da biomassa microbiana do solo podem ser uma alternativa interessante para auxiliar os critérios de quantidades de adubo a ser usado, haja vista que são muito sensíveis a qualquer alteração ocorrida no ambiente. A utilização em conjunto de análises químicas e biológicas pode fornecer dados mais concretos para se chegar a uma proposta racional de quantidades de adubo a ser usado, evitando maiores problemas de poluição ao ambiente.

3. Indicadores biológicos no solo como uma alternativa para o uso racional de dejetos de suínos como adubo orgânico.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o Carbono e o Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo como indicadores de qualidade do solo em área sob plantio direto adubado com adubo de síntese química e dejetos de suínos.

3.1.2. Objetivos específicos

- Relacionar indicadores biológicos com atributos químicos do solo para definir a sua qualidade;
- Determinar o potencial fertilizante de diferentes fontes de dejetos de suínos;
- Contribuir para a redução da poluição ambiental e melhora da qualidade de vida da população rural e urbana;

3.2. Hipótese

H-0 – Atividade do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana, atributos químicos do solo e produtividade das culturas terão respostas diferenciadas tanto para as fontes de adubação (química ou orgânica) quanto para os níveis dentro de fontes.

3.3. Materiais e Métodos

O experimento desenvolvido foi instalado na Propriedade do Sr. Vilivaldo Michels, localizada na Estrada Geral Grão-Pará, na Bacia do Rio Cachorrinhos (Figura 1), Braço do Norte (SC). É uma média propriedade com 220 matrizes em ciclo completo criadas no sistema de confinamento. A área total da propriedade é de 15 hectares. Boa parte da propriedade é ocupada pelos galpões de suínos e pelos sistemas de tratamento de dejetos. As demais áreas da propriedade estão assim divididas: três hectares com pastagem, dois hectares de reflorestamento com pínus (*Pinus* sp.), e três hectares com mata nativa. A área onde está implantado o experimento é de aproximadamente mil metros quadrados ocupado anteriormente com pastagem, conforme pode ser verificado nas fotos em Anexos.

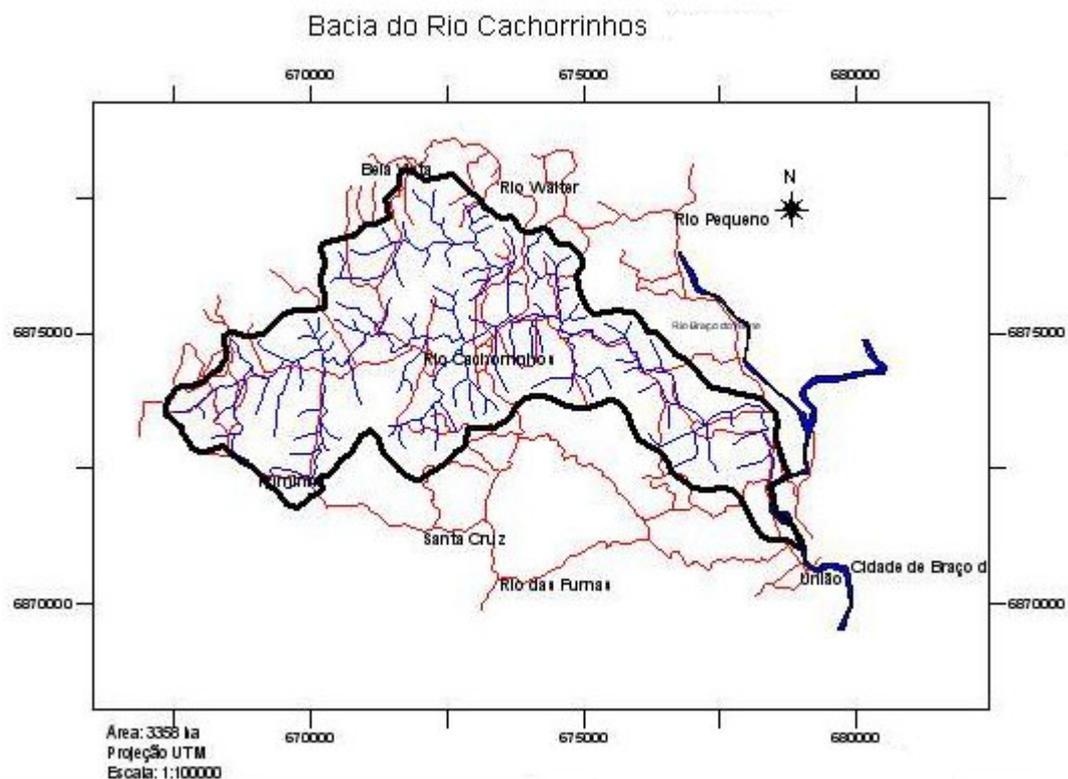


Figura 1: Mapa da Bacia do Rio Cachorrinhos. **Fonte:** EPAGRI/CIRAM, 2004.

Essa propriedade foi selecionada entre inúmeras do município por ser considerada de porte médio, por estar localizada em uma Bacia Hidrográfica onde boa parte das propriedades atua na atividade suinícola, e por conseqüência apresenta sérios problemas ambientais. Outro motivo foi o fato de ser uma granja relativamente antiga, apresentando muitos problemas em desacordo com a legislação vigente, como distâncias de estradas e divisas, ausência de mata

ciliar, área insuficiente para a aplicação de dejetos, dentre outras. Mas, um dos principais motivos de sua escolha foi o fato de seu proprietário ser uma pessoa acessível, uma liderança e uma referência entre os agricultores. Muitos projetos de pesquisa e modelos de tratamentos de dejetos foram desenvolvidos e testados no APL (arranjo produtivo local), dentre eles dois biodigestores, aproveitamento do biogás, sistema de lagoas anaeróbias e facultativas, filtros biológicos, sistema de cama sobreposta, capacidade de suporte do solo, etc. Os projetos foram desenvolvidos para atender a realidade e as condições locais (edafológicas, climáticas, relevo, entre outras).

A classificação climática do município, segundo a metodologia proposta por Köppen, é do tipo Cfa (clima subtropical úmido) (Ometto, 1981). A temperatura média anual da região é de 18,7° C, com máxima de 44,6° C e mínima de - 5,8° C, sendo janeiro e fevereiro os meses mais quentes e junho e julho os mais frios. O período com maior probabilidade de ocorrência de geadas é de maio a agosto. A precipitação total anual média da região é de 1.471 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos (EPAGRI, 2000).

A Unidade Geomorfológica que compõe a geomorfologia do município é a Serra do Tabuleiro/Itajaí, tendo como característica geral a intensa dissecação, que se acha, em grande parte, controlada estruturalmente, resultando em um modelo de dissecação diferencial. Os vales são profundos com encostas íngremes e sulcadas, separadas por cristas bem marcadas na paisagem. Essa formação favorece a atuação dos processos erosivos, principalmente nas encostas desmatadas, podendo inclusive ocorrer movimento de massa, uma vez que o manto de material fino resultante da decomposição da rocha é espesso, podendo atingir até 20m. Em muitas vertentes da área abrangida por esta unidade há anfiteatros de erosão ocasionados por movimentos de massa, na maioria das vezes subatuais, o que é comprovado pela cobertura de gramíneas e arbustos (EPAGRI, 2000).

Dos solos que ocorrem na região, destacam-se o Argissolo Vermelho Amarelo, o Cambissolo e os Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 1999). De uma maneira geral, são de muito baixa fertilidade, alto índice de saturação com alumínio (állicos) e baixa soma de bases. São solos muito rasos, inadequados para agricultura mecanizada, devido, principalmente, ao relevo acidentado, à pequena espessura, presença de pedras, calhaus e matacões na superfície. A deficiência de água também se constitui em fator limitante ao uso desses solos, pois a declividade propicia um maior escoamento da água em detrimento à infiltração, não permitindo o armazenamento suficiente. São derivados dos mais diferentes materiais de

origem, o que define os maiores ou menores graus de limitação por fertilidade. Devido à proximidade do material de origem, possuem atividade de argila normalmente média ou alta. O solo ocorrente na propriedade foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo típico.

O experimento teve o seu início em dezembro de 2002 e conclusão para fins de avaliação neste trabalho em maio de 2004, tendo ainda previsão de duração de mais quatro anos. Foi conduzido em sistema de plantio direto. No período de marcação das parcelas (dezembro de 2002), foi feita a aplicação de calcário de concha (PRNT = 87,5%) para correção da acidez do solo usando-se uma quantidade de 6 Ton.ha⁻¹, ou seja, aproximadamente 16,2 Kg.parcela⁻¹. Foi aplicado o herbicida (Round Up) na área, utilizando-se a dosagem recomendada pelo fabricante. Foi a única aplicação feita durante todo o período experimental.

A área experimental foi subdividida em quatro parte iguais medindo 4,5 x 42 m cada, os quais se chamou de blocos, separados entre si por um corredor com 1 m de largura (Figura 2). Em cada bloco os tratamentos foram alocados aleatoriamente às unidades experimentais. Cada unidade experimental (parcela) possuía 27 m² (6 x 4,5 m) sendo a área útil após eliminação da bordadura de 13,5 m², ou seja, 5 x 2,7 m. O delineamento adotado foi em blocos completos casualizados com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: adubação com cama sobreposta de suínos (CS), adubação com esterco líquido de suínos (EL), adubação química (AQ) com dois níveis de adubação, uma e duas vezes a necessidade de nitrogênio das culturas, mais uma testemunha (T) sem adubação. O fornecimento de N para as culturas do milho e da aveia preta foi calculado em função da análise do solo e a produtividade esperada.

O experimento foi conduzido em três etapas: etapa 1, primeiro cultivo de milho, utilizando-se a variedade Agroeste 3466; etapa 2, primeiro cultivo de aveia, utilizando-se a variedade IAPAR 61; etapa 3, segundo cultivo de milho, utilizando-se a variedade Agrocerec 5011. Essa sucessão de culturas é amplamente usada na região, sendo que o milho é usado tanto como ingrediente na elaboração das rações de suínos quanto para fazer silagem. A aveia é utilizada como pastagem de inverno, já que a bovinocultura leiteira também é destaque na produção pecuária do município.

O espaçamento utilizado para o milho foi de 0,9 m entre linhas, com cinco plantas por metro linear. Os dejetos de suínos foram aplicados a lanço na superfície do solo cinco dias antes da semeadura (dejetos sólidos e líquidos) do primeiro cultivo de milho. A adubação de

síntese química (somente adubação nitrogenada) foi parcelada segundo recomendação da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (1995), sendo aplicado 318,2 Kg.ha⁻¹ (recomendação) e 636,4 Kg. ha⁻¹ (dobro da recomendação). Para o cálculo de dejetos líquidos a serem aplicados foi usado como referência o laudo da análise química do dejetos da esterqueira presente na propriedade realizado pelo LIMA/UFSC (vide anexo) e a necessidade da cultura em N, chegando-se a um valor de aproximadamente 20,3 m³. ha⁻¹ (recomendação) e 40,6 m³. ha⁻¹ (dobro da recomendação). Para o cálculo da necessidade de cama a ser aplicada usou-se o laudo da análise química da mesma realizado pela CNPSA/EMBRAPA (vide anexo), a necessidade da cultura em N e fazendo-se o seguinte cálculo:

$$X = A \times B/100 \times C/100 \times 0,5$$

Onde:

X – necessidade de N (Kg. ha⁻¹) da cultura do milho;

A – quantidade de adubo a ser aplicado (Kg. ha⁻¹);

B – teor de matéria seca da cama em porcentagem;

C – teor de N da cama em porcentagem;

0,5 – taxa de liberação do nutriente (50%) para o primeiro cultivo.

A partir desse cálculo chegou-se a um valor de aproximadamente 13 Ton. ha⁻¹ (recomendação) e 26 Ton. ha⁻¹ (dobro da recomendação). A semeadura ocorreu no dia 21 de janeiro de 2003 e a colheita ocorreu no dia 27 de maio de 2003.

A semeadura da cultura da aveia foi feita a lanço nas entrelinhas do milho antes de sua colheita (27/5/2003), usando-se 450 sementes/m². Tanto os dejetos líquidos quanto a adubação química (NPK 4-14-8) foram aplicados a lanço na superfície do solo, sendo que 30% aplicados aproximadamente 15 dias após a emergência das plantas e o restante (70%), no início do perfilhamento da cultura. Os cálculos de quantidades de adubo a ser aplicado seguiram o mesmo raciocínio utilizado no cultivo anterior. Foram aplicados 4,35 e 8,7 m³.ha⁻¹ de dejetos líquidos, respectivamente e 750 e 1500 Kg. ha⁻¹ de NPK, respectivamente. Não houve nova aplicação de cama sobreposta devido a este material proporcionar uma liberação lenta dos nutrientes, tendo sido suficiente a aplicação no primeiro cultivo de milho para suprimento nutricional da cultura da aveia. No final do ciclo da aveia (25/10/2003), após a colheita de material para análise em laboratório de produção de matéria

verde (MV) e matéria seca (MS), a mesma foi acamada e mantida como cobertura na superfície.

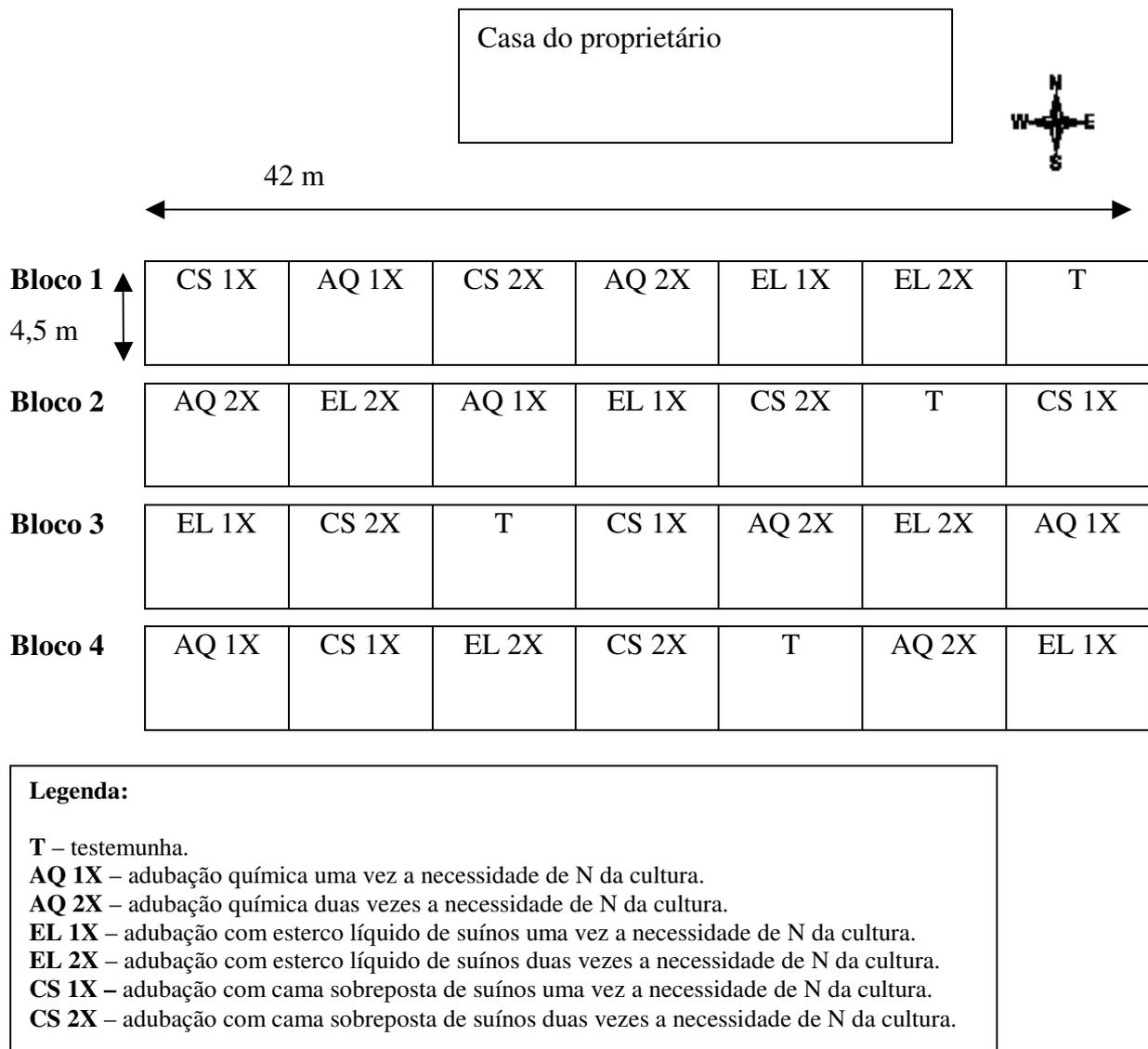


Figura 2: Croqui da área experimental.

A semeadura do segundo cultivo do milho ocorreu em 10/12/2003. Os dejetos de suínos foram aplicados a lanço na superfície do solo na ocasião da semeadura (cama sobreposta – única aplicação) e vinte dias após a emergência das plantas (dejetos e adubação de síntese química – NPK 4-14-8 – 30% da recomendação). O restante da adubação com dejetos líquidos e de síntese química foi feita no início do pendoamento da cultura, segundo recomendação da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (1995). Os cálculos de quantidade de adubo a ser aplicado seguiram o mesmo raciocínio supracitado. No total, foram aplicados 44,14 e 88,28 Ton. ha⁻¹ de cama sobreposta, respectivamente, 20,3 e 40,6 m³. ha⁻¹

de dejetos líquidos, respectivamente e 3,5 e 7 Ton. ha⁻¹ de adubo químico, respectivamente. A colheita ocorreu no dia 13/5/2004.

3.3.1. Metodologia de Avaliação

3.3.1.1. Produtividade

3.3.1.1.1. Milho

As avaliações de produção do primeiro cultivo de milho foram realizadas na área útil de cada parcela. O material colhido em cada parcela (espigas e 9 plantas) foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente identificado e etiquetado e levado para o Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (ENR/CCA/UFSC). As espigas foram debulhadas à mão e os grãos foram secos em estufa a 65° C com ar forçado até peso constante. A produtividade (Kg.ha⁻¹) foi feita com umidade dos grãos padronizada para 12%. As nove plantas colhidas em cada parcela, foram pesadas verdes e em seguida, secas em estufa a 65° C com ar forçado até peso constante, com a finalidade de se estimar a matéria seca (Kg.ha⁻¹). Três plantas foram pesadas verdes e secas individualmente para avaliar o peso seco médio por planta.

As avaliações de produção do segundo cultivo de milho foram realizadas na área útil de cada parcela. O material colhido em cada parcela (espigas e 9 plantas) foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente identificado e etiquetado e levado para o Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (ENR/CCA/UFSC). Devido ao excesso de umidade na ocasião da colheita, o material foi acondicionado em ambiente climatizado com temperatura constante de 35° C para retirar esse excesso. Após esse período, as espigas foram debulhadas com o auxílio de um debulhador manual e os grãos foram secos em estufa a 65° C com ar forçado até peso constante. A produtividade (Kg.ha⁻¹) foi feita com umidade dos grãos padronizada para 12%. As nove plantas colhidas em cada parcela, foram colocadas em estufa a 60° C para secagem, com a finalidade de se estimar a matéria seca (Kg.ha⁻¹). Não foi possível estimar a biomassa (Kg.ha⁻¹) das plantas devido ao excesso de umidade, sendo apenas estimado a matéria seca.

3.3.1.1.2. Aveia

Para as avaliações de biomassa da aveia, foi utilizado um quadrado de madeira (Figura 19 em anexos) com 50 cm de lado ($0,25 \text{ m}^2$) que foi jogado aleatoriamente quatro vezes (1 m^2) na área útil de cada parcela. O material colhido em cada parcela foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente identificado e etiquetado e levado para o Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (ENR/CCA/UFSC). O material foi pesado verde (Kg.ha^{-1}) e posteriormente foi seco em estufa a 65° C com ar forçado até peso constante com a finalidade de estimar a matéria seca (Kg.ha^{-1}).

3.3.1.2. Solo

3.3.1.2.1. Análise de Rotina

As amostras de solo para análise de rotina foram coletadas nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, coletando-se em cada parcela duas subamostras para formar uma amostra composta, com o uso de trados. As coletas foram realizadas antes da aplicação dos tratamentos (uma amostra composta de cada bloco), no final do primeiro cultivo do milho (todas as parcelas), no final do cultivo da aveia (todas as parcelas) e no final do segundo cultivo do milho (todas as parcelas), tendo por finalidade verificar a dinâmica e o acúmulo de nutrientes no perfil do solo. Após as coletas, as amostras foram colocadas em sacos plásticos, fechadas e acondicionadas em recipiente adequado e conduzidas ao Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (ENR/CCA/UFSC), onde passaram pelo processo de retirada de raízes e restos vegetais, foram secas e moídas em moinho de solos. Foram novamente embaladas e identificadas, e enviadas ao laboratório de Solos da EPAGRI de Chapecó-SC. A metodologia usada foi a adotada pelos laboratórios integrantes da ROLAS-Sul (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos do RS e SC). As tabelas com os resultados médios dos laudos podem ser vistos em anexos.

3.3.1.2.2. Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana

As coletas para determinação do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana foram feitas na profundidade de 0-7,5 cm. Sete subamostras foram coletadas em cada parcela para formar uma amostra composta, com o uso de um trado calador, totalizando 28 amostras por coleta. As coletas ocorreram antes da aplicação dos tratamentos, 50, 70, 90 dias após a aplicação dos dejetos e na ocasião da colheita do primeiro cultivo de milho; uma coleta no meio e outra na ocasião da colheita da cultura da aveia e, uma única coleta na ocasião da colheita do segundo cultivo de milho. As amostras referentes aos 50, 70 e 90 dias após a aplicação dos tratamentos no primeiro cultivo de milho foram descartadas pelo fato de terem sido armazenadas de forma inadequada, com umidade acima da recomendada, impossibilitando a sua análise.

As amostras foram coletadas, colocadas em sacos plásticos, fechadas, etiquetadas e acondicionadas em recipiente térmico adequado e conduzidas ao Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (ENR/CCA/UFSC). No laboratório, o primeiro procedimento foi a secagem das amostras ao ar livre quando estas apresentavam excesso de umidade. Em seguida, foi feita a eliminação de fragmentos de raízes, animais, restos vegetais através de catação e, tamisagem em peneira de malha 2 mm. Foram então armazenadas em saco plástico e etiquetadas individualmente e acondicionadas em freezer sob refrigeração controlada a 4°C. Esta temperatura mantém a atividade microbiana em baixo nível metabólico garantindo a manutenção dos componentes vivos presentes no solo. De acordo com De Polli *et al.* (2000), o congelamento das amostras não é aconselhável, pois pode causar a morte dos microorganismos. Moreira & Siqueira (2002), recomendam o armazenamento das amostras em temperatura de 2 a 4° C por um período de até 4 semanas.

Foi determinado também a umidade gravimétrica (UG) e a capacidade retenção de água (CRA) de todas as amostras do primeiro cultivo de milho e do primeiro cultivo de aveia. Para as amostras do segundo cultivo de milho, foi determinada a umidade gravimétrica de todas as amostras, e a determinação da capacidade de retenção de água foi feita com uma amostra composta de solo das sete parcelas de cada bloco. As metodologias adotadas podem ser verificadas nos anexos 3 e 4, respectivamente. Esses procedimentos foram realizados para padronizar a umidade das amostras em 60% da capacidade de retenção de água máxima, devido ao fato de que a eficiência do agente fumigante estar relacionada com a umidade do solo.

O peneiramento, o pré-acondicionamento das amostras e o ajuste da umidade são práticas que favorecem a operacionalização de um número grande de amostras, possibilita a comparação de amostras oriundas de locais diferentes auxiliando na padronização e redução do coeficiente de variação. No entanto, este procedimento vem sendo amplamente discutido no que diz respeito à maneira mais real de estudar os microorganismos do solo (Jenkinson & Powlson, 1976; Ferreira *et al.*, 1999; De-Polli & Guerra, 1999).

Para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana foi utilizado o método proposto por Brookes *et al.* (1985), Vance *et al.* (1987) e, Alef & Nannipieri (1995) (Anexo 1), e para o Nitrogênio da Biomassa Microbiana, o método proposto por Brookes *et al.* (1958) (Anexo 2).

3.3.2. Análise Estatística dos Dados

Para a análise estatística dos dados utilizou-se o software SAS volume 8.2. As variáveis analisadas foram:

- **CBM_1_1, CBM_2_2, CBM_1_3:** Carbono da Biomassa Microbiana (mgC.Kg ss^{-1}) avaliado ao final de cada ciclo de cultivo;
- **NBM_1_1, NBM_1_2, NBM_2_2, NBM_1_3:** Nitrogênio da Biomassa Microbiana (mgN.Kg ss^{-1}) avaliado ao final do primeiro ciclo de milho, no meio e no final do ciclo da aveia, e ao final do segundo ciclo de milho, respectivamente;
- **Produtividade_1_1, Produtividade_1_3:** Produtividade de grãos (Kg.ha^{-1}) avaliado ao final de cada ciclo de cultivo de milho;
- **MS_1_1, MS_1_2, MS_1_3:** Matéria seca das plantas (Kg.ha^{-1}) avaliada ao final de cada ciclo de cultivo;
- **MV_1_2:** Matéria verde das plantas (Kg.ha^{-1}) avaliada ao final do primeiro cultivo de aveia;
- **pH_1_1, pH_2_1, pH_1_2, pH_2_2, pH_1_3, pH_2_3:** pH do solo avaliado ao final de cada ciclo de cultivo respectivamente nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm;
- **MO_1_1, MO_2_1, MO_1_2, MO_2_2, MO_1_3, MO_2_3:** teor de matéria orgânica no solo (%) avaliada ao final de cada ciclo de cultivo respectivamente nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm;

- **Al_1_1, Al_2_1, Al_1_2, Al_2_2, Al_1_3, Al_2_3**: teor de alumínio no solo (ppm) avaliado ao final de cada ciclo de cultivo respectivamente nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm;
- **P_1_1, P_2_1, P_1_2, P_2_2, P_1_3, P_2_3**: teor de fósforo no solo (ppm) avaliado ao final de cada ciclo de cultivo respectivamente nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm;
- **K_1_1, K_2_1, K_1_2, K_2_2, K_1_3, K_2_3**: teor de potássio no solo (ppm) avaliado ao final de cada ciclo de cultivo respectivamente nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm.

3.3.2.1. Modelo de Análise

Para testar a hipótese geral formulada envolvendo cada variável avaliada (análise univariada), adotou-se o modelo para o delineamento em blocos casualizados, dado por:

$$y_{ij} = \mu + b_j + t_i + e_{ij}$$

Sendo que:

j = 1, 2, 3, 4 blocos;

i = 1, 2, ..., 7 tratamentos;

y_{ij} = é o valor da resposta correspondente à parcela pertencente ao bloco **j** e tratamento **i**;

μ = é a média da resposta no experimento;

b_j = é o efeitos de blocos;

t_i = é o efeito de tratamentos;

e_{ij} = é o erro experimental não observável mas estimável, suposto seguir a distribuição normal de média zero e variância constante σ^2 .

Além da hipótese geral sobre o efeito de tratamentos, foi submetida ao teste F com significância de 5 %. Outras hipóteses foram testadas envolvendo as seguintes partições dos 6 graus de liberdade para a fonte de variação devido a tratamentos:

- 1) Adubado vs Não Adubado: com um grau de liberdade (gl) associado;
- 2) Adubação e Dosagens: com 5 gl associados;
- 3) Tipos de Adubação: com 2 gl associados;

- 4) Adubação Química (AQ): contraste associado a 2 níveis de adubação;
- 5) Esterco Líquido (EL): contraste associado a 2 níveis de adubação;
- 6) Cama Sobreposta (CS): contraste associado a 2 níveis de adubação;
- 7) Química vs Orgânica: contraste envolvendo 2 níveis de adubação química vs 4 níveis de adubação orgânica;
- 8) AQ vs EL: contraste referente a 2 níveis para cada uma das adubações química e orgânica líquida;
- 9) AQ vs CS: contraste referente a 2 níveis para cada uma das adubações química e orgânica com cama sobreposta;
- 10) EL vs CS: contraste referente a 2 níveis para cada uma das adubações orgânicas líquida e cama sobreposta.

Essas dez hipóteses formuladas foram submetidas ao teste F da análise de variância e o nível de significância de rejeição da hipótese de nulidade foi também de 5 %, porém protegido pela significância, o teste F geral sobre o efeito de tratamentos. Da mesma forma, nos casos em que foi provado efeito de tratamentos, aplicou-se a teste t de Student, também ao nível de 5 % de significância, para as comparações duas a duas das médias. De acordo com Pimentel Gomes & Garcia (2002), o esquema da análise de variância (Anova) é dado de acordo com o que é apresentado na Tabela 3:

Tabela 3: Esquema de análise de variância adotado na análise deste trabalho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3				
Tratamentos	6				
Erro Experimental	18				
Total	27				
Aduado vs Não Aduado	1				
Aduação e Dosagens	5				
Tipos de Aduação	2				
Aduação Química (AQ)	1				
Esterco Líquido (EL)	1				
Cama Sobreposta (CS)	1				
Química vs Orgânica	1				
AQ vs EL	1				
AQ vs CS	1				
EL vs CS	1				
$\bar{R}^2 =$	$CV =$	$DPR =$	$Média Geral =$		

Onde:

\bar{R}^2 representa a porcentagem da variabilidade total que é explicada pelo modelo;

CV é o coeficiente de variação; expressa a relação entre o desvio padrão residual (DPR) e a média geral da resposta no experimento.

3.3.2.2. Análise Multivariada

Apesar das análises univariadas (ANOVA) serem tradicionalmente usadas na experimentação elas podem não refletir o verdadeiro efeito dos tratamentos estudados, além de que a ANOVA pressupõe independência mútua entre as variáveis envolvidas, o que raramente ocorre na experimentação Agronômica. Dessa forma Pimentel Gomes & Garcia (2002), sugerem o uso da análise de variância multidimensional ou multivariada (MANOVA). Além da MANOVA ser uma extensão natural da ANOVA (Seber, 1977) ela permite transformar um problema multivariado de difícil interpretação em uma função univariada denominada função discriminante canônica de Fisher (Mardia, 1979) e Pimentel Gomes & Garcia (2002).

Assim, estimou-se primeira função discriminante canônica de Fisher (CAN) obtida através de uma análise de variância multivariada envolvendo inicialmente três grupos de variáveis:

- Atributos microbiológicos (carbono e nitrogênio da biomassa microbiana);
- Produtividade das culturas;
- Atributos químicos do solo.

Os passos para o cálculo da primeira função discriminante canônica de Fisher foram:

- a) calculou-se as matrizes de erro (E) e dos tratamentos (H), sendo E correspondente à matriz da soma de quadrados e produtos dos erros e a matriz H, relativa à soma dos quadrados e produtos dos tratamentos, para o modelo de análise adotado nesse trabalho;
- b) calculou-se as raízes características ou autovalores (*Eigenvalue*) da matriz $V = E^{-1} \cdot H$;
- c) calculou-se o autovetor normalizado associado à maior raiz característica com seus respectivos coeficientes, resultando na seguinte função:

$$\begin{aligned} \text{CAN1} = & b_{11} \cdot \text{CBM}_{1_1} + b_{12} \cdot \text{CBM}_{2_2} + b_{13} \cdot \text{CBM}_{1_3} + b_{21} \cdot \text{NBM}_{1_1} + \\ & b_{22} \cdot \text{NBM}_{2_2} + b_{23} \cdot \text{NBM}_{1_3} + b_{31} \cdot \text{PRODUTIVIDADE}_{1_1} + b_{32} \cdot \text{MS}_{1_2} + \\ & b_{33} \cdot \text{PRODUTIVIDADE}_{1_3} + b_{41} \cdot \text{PH}_{1_1} + b_{42} \cdot \text{PH}_{1_2} + b_{43} \cdot \text{PH}_{1_3} + \\ & b_{51} \cdot \text{MO}_{1_1} + b_{52} \cdot \text{MO}_{1_2} + b_{53} \cdot \text{MO}_{1_3} + b_{61} \cdot \text{P}_{1_1} + b_{62} \cdot \text{P}_{1_2} + b_{63} \cdot \text{P}_{1_3}. \end{aligned}$$

A primeira função (CAN1) foi gerada a partir de seis variáveis (produtividade das culturas, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, pH do solo,

teor de matéria orgânica e teor de fósforo na profundidade de 0-15 cm) em três ciclos de cultivo (milho – aveia - milho), totalizando 18 variáveis.

Uma segunda função discriminante canônica (CAN2) foi obtida a partir de uma análise multivariada envolvendo as variáveis observadas dos atributos microbiológicos do solo (carbono e nitrogênio da biomassa microbiana) e produtividade das culturas nos três ciclos de cultivo (milho-aveia-milho), totalizando nove variáveis, cuja função discriminante a ser estimada é dada por:

$$\text{CAN2} = b_{11}*\text{CBM}_{1_1} + b_{12}*\text{CBM}_{2_2} + b_{13}*\text{CBM}_{1_3} + b_{21}*\text{NBM}_{1_1} + b_{22}*\text{NBM}_{2_2} + b_{23}*\text{NBM}_{1_3} + b_{31}*\text{PRODUTIVIDADE}_{1_1} + b_{32}*\text{MS}_{1_2} + b_{33}*\text{PRODUTIVIDADE}_{1_3}$$

Uma vez estimada CAN1 e CAN2 essas variáveis são tratadas normalmente como as demais variáveis pela Análise de Variância Univariada. Segundo Dagnelie (1982), e uma maneira de tratar o problema consiste em iniciar as análises de um experimento com abordagem multivariada, para então chegar às análises univariadas, não como premissa, mas sim pelas conseqüências dos resultados encontrados após uma exploração elaborada dos dados. Este será, portanto o procedimento adotado nesta dissertação.

Comentário: Nos casos de perdas de parcelas, as mesmas foram estimadas através da substituição da média das remanescentes. Esse procedimento foi necessário para possibilitar o uso da análise multivariada. Como esse método de estimação não altera a média dos tratamentos em comparação, adotou-se também as parcelas estimadas para as análises univariadas, apesar da possibilidade de aumento no número de hipóteses significativas, pelo fato de se aumentar a precisão do experimento com o aumento do número de repetições dos tratamentos em questão.

4. Resultados e Discussão

4.1. Funções Discriminantes Canônicas

As funções discriminantes canônicas obtidas da MANOVA foram:

$$\begin{aligned} \text{CAN1} = & -1,156227*\text{CBM}_{1_1} + 31,699959*\text{CBM}_{2_2} - 0,390970*\text{CBM}_{1_3} + \\ & 0,451008*\text{NBM}_{1_1} + 0,551220*\text{NBM}_{2_2} - 0,142300*\text{NBM}_{1_3} - \\ & 1,637986*\text{PRODUTIVIDADE}_{1_1} - 0,007939*\text{MS}_{1_2} - \\ & 2,022205*\text{PRODUTIVIDADE}_{1_3} + 126,471495*\text{pH}_{1_1} - 93,750158*\text{pH}_{1_2} + \\ & 2,650180*\text{pH}_{1_3} - 71,281632*\text{MO}_{1_1} + 58,248474*\text{MO}_{1_2} + 82,091129*\text{MO}_{1_3} + \\ & 0,886802*\text{P}_{1_1} - 0,703676*\text{P}_{1_2} - 0,451134*\text{P}_{1_3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CAN2} = & + 0,48266534*\text{CBM}_{1_1} + 2,55025843*\text{CBM}_{2_2} - 0,02506602*\text{CBM}_{1_3} - \\ & 0,01707068*\text{NBM}_{1_1} - 0,03836549*\text{NBM}_{2_2} + 0,01088396*\text{NBM}_{1_3} + \\ & 0,01947477*\text{PRODUTIVIDADE}_{1_1} - 0,00010869*\text{MS}_{1_2} - \\ & 0,01056543*\text{PRODUTIVIDADE}_{1_3} \end{aligned}$$

Legenda:

- **CBM_{1_1}** – Carbono da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de milho.
- **CBM_{2_2}** – Carbono da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de aveia.
- **CBM_{1_3}** – Carbono da Biomassa Microbiana no final do segundo cultivo de milho.
- **NBM_{1_1}** – Nitrogênio da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de milho.
- **NBM_{2_2}** – Nitrogênio da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de aveia.
- **NBM_{1_3}** – Nitrogênio da Biomassa Microbiana no final do segundo cultivo de milho.
- **Produtividade_{1_1}** – Produtividade de grãos (Kg.ha⁻¹) do primeiro cultivo de milho.
- **MS_{1_2}** – Matéria seca (Kg.ha⁻¹) do primeiro cultivo de aveia.
- **Produtividade_{1_3}** - Produtividade de grãos (Kg.ha⁻¹) do segundo cultivo de milho.
- **pH_{1_1}** – pH do solo na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de milho.
- **pH_{1_2}** – pH do solo na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de aveia.
- **pH_{1_3}** – pH do solo na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.
- **MO_{1_1}** – Matéria Orgânica na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de milho.
- **MO_{1_2}** – Matéria Orgânica na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de aveia.
- **MO_{1_3}** – Matéria Orgânica na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.
- **P_{1_1}** – Teor de Fósforo na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de milho.
- **P_{1_2}** – Teor de Fósforo na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de aveia.
- **P_{1_3}** – Teor de Fósforo na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.

Estas funções foram aplicadas ao conjunto de dados e passam a ser tratadas normalmente como as demais variáveis e analisadas individualmente, conforme o procedimento descrito no item 3.3.2.1.

4.2. Resultados da Anova

Na Tabela 4 é apresentado um resumo da análise de variância relativa às 45 variáveis analisadas.

Tabela 4: Resumo da Análise de variância, destacando a significância do teste F sobre o efeito geral de tratamentos, relativa às 45 variáveis analisadas (2 variáveis canônicas multivariadas geradas e 43 univariadas observadas).

Resultado	Variável	Teste F	Nível Mínimo de Significância (%)
Significativo	1 - CAN1	47865,88	0,0000
Significativo	2 - CAN2	847,63	0,0000
Significativo	3 - CBM_1_1	61,48	0,0000
Significativo	4 - CBM_2_2	616,78	0,0000
Significativo	8 - NBM_2_2	20,12	0,0000
Significativo	10 – Produtividade_1_1	2,70	4,7766
Significativo	11 - MS_1_1	2,72	4,6638
Significativo	12 – Produtividade_1_3	9,89	0,0069
Significativo	13 - MS_1_3	6,25	0,1093
Significativo	14 - MV_1_2	6,74	0,0719
Significativo	15 - MS_1_2	5,69	0,1816
Significativo	18 - pH_1_2	3,72	1,3900
Significativo	20 - pH_1_3	9,92	0,0068
Significativo	21 - pH_2_3	14,20	0,0006
Significativo	27 - MO_2_3	6,36	0,0997

Significativo	30 - AI_1_2	6,11	0,1237
Significativo	32 - AI_1_3	11,85	0,0021
Significativo	33 - AI_2_3	11,59	0,0024
Significativo	38 - P_1_3	5,96	0,1421
Significativo	39 - P_2_3	12,99	0,0011
Significativo	40 - K_1_1	13,25	0,0010
Significativo	42 - K_1_2	4,23	0,7872
Significativo	43 - K_2_2	5,60	0,1978
Significativo	44 - K_1_3	19,12	0,0001
Significativo	45 - K_2_3	17,24	0,0001
Não Significativo	5 - CBM_1_3	2,01	11,7674
Não Significativo	6 - NBM_1_1	0,60	72,5623
Não Significativo	7 - NBM_1_2	0,80	58,0980
Não Significativo	9 - NBM_1_3	1,97	12,4171
Não Significativo	16 - pH_1_1	1,73	17,2409
Não Significativo	17 - pH_2_1	0,47	81,8981
Não Significativo	19 - pH_2_2	2,50	6,1222
Não Significativo	22 - MO_1_1	0,76	61,3319
Não Significativo	23 - MO_2_1	0,46	83,1681
Não Significativo	24 - MO_1_2	1,22	34,0803
Não Significativo	25 - MO_2_2	0,90	51,7705
Não Significativo	26 - MO_1_3	2,47	6,3711
Não Significativo	28 - AI_1_1	0,50	80,1127
Não Significativo	29 - AI_2_1	0,32	91,9422
Não Significativo	31 - AI_2_2	1,78	16,0905
Não Significativo	34 - P_1_1	1,21	34,7355
Não Significativo	35 - P_2_1	0,40	87,0585

Não Significativo	36 - P_1_2	1,36	28,2204
Não Significativo	37 - P_2_2	2,11	10,2989
Não Significativo	41 - K_2_1	1,34	28,8952

4.3. Análise Multivariada.

De acordo com a Análise de Variância da variável CAN1 (Tabela 40 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e 99,99% da variabilidade total é explicada pelo modelo. Na Tabela 5 é possível observar o comportamento multivariado dos tratamentos envolvendo seis variáveis em três ciclos de cultivo, totalizando dezoito variáveis.

Tabela 5: Comportamento multivariado dos tratamentos envolvendo 6 variáveis X 3 ciclos de cultivo (CAN 1), em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	Média ± Erro Padrão
Experimento	886,76 ± 19,79
Testemunha	732,21 ± 10,66 g
Adubação Química 1X	864,79 ± 10,00 d
Esterco Líquido 1X	844,66 ± 10,15 e
Cama Sobreposta 1X	1046,99 ± 10,38 a
Adubação Química 2X	946,01 ± 10,12 c
Esterco Líquido 2X	795,58 ± 10,39 f
Cama Sobreposta 2X	977,09 ± 10,27 b

*médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

De acordo com os resultados apresentados, formaram-se sete grupos distintos onde, por ordem decrescente aparecem os tratamentos com cama sobreposta (1X), cama sobreposta (2X), adubação química (2X), adubação química (1X), esterco líquido (1X), esterco líquido (2X) e testemunha. Esperava-se um melhor desempenho do tratamento com esterco líquido em comparação com o tratamento com adubação química. As conseqüências deste fraco desempenho decorre de variações na composição desses dejetos e serão esclarecidas adiante na análise univariada. De um modo geral, o melhor tratamento, quando usadas essas dezoito variáveis, foi com cama sobreposta uma vez a necessidade da cultura em nitrogênio, tendo

além de maior produtividade geral das culturas, maior atividade microbiana, e os melhores resultados nos atributos químicos do solo. Cada uma dessas variáveis será abordada individualmente no item seguinte na análise univariada.

De acordo com a Análise de Variância da variável CAN2 (Tabela 41 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e 99,99% da variabilidade total dos dados foi explicada pelo modelo. Na Tabela 6 é possível observar o comportamento multivariado dos tratamentos envolvendo três variáveis em três ciclos de cultivo, totalizando nove variáveis.

Tabela 6: Comportamento multivariado dos tratamentos envolvendo 3 variáveis X 3 ciclos de cultivo (variável canônica 2), em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	Média ± Erro Padrão
Experimento	70,75 ± 2,62
Testemunha	44,19 ± 0,75 g
Adubação Química 1X	68,53 ± 0,87 e
Esterco Líquido 1X	72,36 ± 0,97 d
Cama Sobreposta 1X	91,04 ± 1,86 a
Adubação Química 2X	76,11 ± 0,65 c
Esterco Líquido 2X	63,87 ± 1,11 f
Cama Sobreposta 2X	79,18 ± 0,54 b

*médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

De acordo com os resultados apresentados, novamente formaram-se sete grupos distintos onde, por ordem decrescente aparecem os tratamentos com cama sobreposta (1X), cama sobreposta (2X), adubação química (2X), esterco líquido (1X), adubação química (1X), esterco líquido (2X) e testemunha. Nesta análise, o tratamento esterco líquido (1X) teve um melhor desempenho quando comparado o mesmo tratamento na CAN1. Mais uma vez, o tratamento com cama sobreposta uma vez a necessidade da cultura em nitrogênio se destacou perante os demais. A partir dos resultados dessas duas variáveis canônicas geradas, nota-se claramente que foi o melhor tratamento avaliado ao longo do período experimental.

4.4. Análise Univariada.

4.4.1. Atributos Microbiológicos do Solo

4.4.1.1. Carbono da Biomassa Microbiana.

De acordo com a Análise de Variância da variável CBM_1_1 (carbono da biomassa microbiana no final do primeiro cultivo de milho) (Tabela 42 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e 95,54% da variabilidade total foi explicada pelo modelo. Na Tabela 7 são apresentados os valores de carbono da biomassa microbiana no término do primeiro cultivo de milho.

Tabela 7: Carbono da Biomassa Microbiana (mg C.kg solo seco⁻¹) no término do primeiro cultivo de milho (27/5/2003) em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	Média ± Erro Padrão
Experimento	26.55 ± 0.65
Testemunha	20,27 ± 0,06 e
Adubação Química 1X	26,68 ± 0,50 c
Esterco Líquido 1X	28,10 ± 0,26 b
Cama Sobreposta 1X	31,33 ± 0,48 a
Adubação Química 2X	28,13 ± 0,67 b
Esterco Líquido 2X	23,82 ± 0,35 d
Cama Sobreposta 2X	27,54 ± 0,33 bc

*Média de dois blocos (dados referentes às determinações das amostras dos blocos 3 e 4. As amostras dos blocos 1 e 2 foram perdidas em virtude de armazenamento em temperatura inadequada). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

De acordo com os resultados, formaram-se cinco grupos distintos, onde o tratamento com cama sobreposta (1X) se destacou, diferindo significativamente dos demais. Um segundo grupo foi formado pelos tratamentos adubação química (2X), esterco líquido (1X) e cama sobreposta (2X). Essa última por sua vez não diferiu significativamente do tratamento com adubação química (1X), que formou o terceiro grupo. O quarto grupo foi formado pelo tratamento com esterco líquido (2X), que foi superior apenas à testemunha. Os maiores valores encontrados no tratamento com cama sobreposta (1X) se devem provavelmente à qualidade do material aplicado (Anexo 8, Tabela 32), tendo seus nutrientes gradualmente

utilizados pela biomassa microbiana para produção de protoplasma, que após sua morte são então liberados para serem absorvidos pelas plantas.

Ressalta-se também os valores encontrados para o tratamento com esterco líquido (1X), que não apresentou diferença em relação ao tratamento com adubação química (2X), mas diferiu significativamente do tratamento com adubação química (1X) e com esterco líquido (2X). Esses resultados demonstraram que tanto as aplicações de N mineral quando aplicações com o dobro da necessidade das culturas nem sempre proporcionam maior atividade microbiana. Ettema *et al.*, (1999) verificaram que a aplicação de N mineral no solo reduziu ligeiramente o carbono da biomassa microbiana e a respiração basal. Segundo Wardle & Hungria (1994), este efeito negativo pode estar relacionado a um estímulo da nitrificação, aos efeitos negativos do NO_3^- na microflora ou, ainda, ao estímulo do crescimento da planta, resultando em maior competição entre a planta e os microrganismos por nutrientes. Com relação às aplicações de esterco líquido com o dobro da necessidade da cultura, esse excesso de nutrientes pode estar causando impactos negativos sobre o carbono da biomassa microbiana, podendo esses nutrientes aplicados em excesso não serem aproveitados pela biomassa microbiana do solo e nem mesmo pela planta, ou até mesmo ser tóxico para ambos, representando riscos de poluição das águas superficiais e principalmente das águas subterrâneas, haja vista que o NO_3^- apresenta grande mobilidade no perfil do solo (Malavolta, 1976; Raij, 1981; Primavesi, 1982; Doran & Safley, 1997; Perdomo, 2001; Trebien, 2002; Pinheiro Machado, 2002; Bissani *et al.*, 2004).

A ausência de diferença na atividade do carbono da biomassa microbiana nos tratamentos com adubação química (2X) e com esterco líquido (1X) indica que boa parte do N aplicado na forma de adubo de síntese química ou se perde por volatilização ou por lixiviação, sendo pouco realmente aproveitado pela microbiota do solo e pelas plantas. Isso traz riscos de poluição, além de representar um custo expressivo, haja vista que o valor do N mineral é ajustado de acordo com o preço do dólar, e o esterco líquido é um recurso interno da propriedade, tendo custos apenas para a sua aplicação no solo. Segundo Baldani & Dobereimer (1999), os adubos nitrogenados são os mais caros e os mais poluentes, podendo ser lixiviados ou emitidos para a atmosfera na forma de N_2O , além de inibirem a fixação biológica de N (FBN). Devido a esse fato, a partir do primeiro cultivo de aveia, optou-se pelo parcelamento das adubações com esterco líquido e químico de forma a minimizar essas perdas.

De acordo com a Análise de Variância da variável CBM_2_2 (carbono da biomassa microbiana no final do primeiro cultivo de aveia) (Tabela 43 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e 99,52% da variabilidade total foi explicada pelo modelo. Na Tabela 8 são apresentados os valores de carbono da biomassa microbiana no término do primeiro cultivo de aveia.

Tabela 8: Carbono da Biomassa Microbiana (mg C.kg solo seco⁻¹) no término do primeiro cultivo de aveia (25/10/2003) em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	Média ± Erro Padrão
Experimento	25,49 ± 0,96
Testemunha	15,46 ± 0,07 g
Adubação Química 1X	24,67 ± 0,15 e
Esterco Líquido 1X	25,76 ± 0,33 d
Cama Sobreposta 1X	32,57 ± 0,70 a
Adubação Química 2X	27,25 ± 0,12 c
Esterco Líquido 2X	23,50 ± 0,36 f
Cama Sobreposta 2X	29,20 ± 0,16 b

*Média de dois blocos (dados referentes às determinações das amostras dos blocos 1 e 2. As amostras dos blocos 3 e 4 foram perdidas em virtude de armazenamento em temperatura inadequada). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

De acordo com os resultados apresentados, formaram-se sete grupos distintos, onde, por ordem decrescente, aparecem os tratamentos cama sobreposta (1X), cama sobreposta (2X), adubação química (2X), esterco líquido (1X), adubação química (1X), esterco líquido (2X) e testemunha. Novamente o destaque ficou com o tratamento cama sobreposta (1X), seguido desta vez do tratamento cama sobreposta (2X) que apresentou melhora considerável na atividade da microbiota em relação ao ciclo anterior. Isso provavelmente se deve em função da redução da relação C:N do composto, tornando-o mais suscetível ao ataque microbiano. O tratamento com adubação química (2X) novamente se destacou, tendo diferença considerável em relação ao tratamento com esterco líquido (1X). Este último, por sua vez, teve uma redução considerável na atividade do carbono da biomassa microbiana em relação ao mesmo tratamento no final do primeiro cultivo de milho. Atribui-se essas variações à composição do esterco líquido aplicado, que em função do manejo adotado pelo produtor teve qualidade inferior ao utilizado no primeiro ciclo de cultivo. Isto ocorreu porque não foram realizadas análises da composição dos dejetos a cada aplicação, utilizando-se para isso o laudo inicial fornecido pelo LIMA/UFSC (Tabela 31 em anexo). O ideal seria ter feito uso

de densímetro para com base em tabelas de referência calcular a sua composição química e aplicar a quantidade necessária. Mesmo assim, o tratamento com esterco líquido (1X) foi superior aos tratamentos com adubação química (1X), esterco líquido (2X) e testemunha, mais uma vez mostrando que no caso de aplicações com a mesma dosagem, o tratamento orgânico foi superior ao químico no parâmetro analisado, e que aplicações com o dobro da dosagem (esterco líquido 2X), parecem estar causando toxidez aos microrganismos. Este último, manteve-se praticamente estável em relação ao ciclo anterior, e a testemunha, teve uma redução considerável, demonstrando claramente a redução de substrato para o desenvolvimento microbiano.

Peacock *et al.* (2001), verificaram que a aplicação de esterco de curral além de ter provocado acúmulo de C orgânico, incrementou também a atividade microbiana do solo quando comparado com a aplicação de Nitrato de Amônia. Isso pode ser evidenciado no relativo aumento da atividade do carbono da biomassa microbiana do final do primeiro cultivo de milho para o final do primeiro cultivo de aveia, tanto no tratamento com cama sobreposta (1X), quanto no tratamento com cama sobreposta (2X), e nas pequenas reduções para ambos os tratamentos com adubação química.

De acordo com o Resumo da Análise de Variância da variável CBM_1_3 (carbono da biomassa microbiana no final do segundo cultivo de milho) (Tabela 4), os tratamentos não apresentaram diferença significativa (nível mínimo de significância de 11,77%), podendo esta diferença se dar por outros fatores que não os tratamentos. Se por um lado, os valores de carbono da biomassa microbiana no primeiro cultivo de milho e de aveia tiveram comportamento um tanto quanto semelhantes, por outro lado, nota-se claramente uma queda acentuada nos valores de carbono da biomassa microbiana no término do segundo cultivo de milho em praticamente todos os tratamentos, com exceção da testemunha e adubação química (1X) (Tabela 9). Uma das possíveis causas dessa queda acentuada em todos os tratamentos é o excesso de umidade do solo no dia em que foi realizada a coleta, haja vista a ocorrência de período chuvoso prolongado. Conforme citado no item 2.5.1.2, vários fatores afetam a biomassa microbiana do solo, dentre eles a umidade e aeração (Grant *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999; Franzluebbbers *et al.*, 2001), as influências climáticas como temperatura (Grant *et al.*, 1993; Gama-Rodrigues, 1999; Doran & Zeiss, 2000; Franzluebbbers *et al.*, 2001), pluviosidade (Grant *et al.*, 1993, Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; Friedel & Scheller, 2002), entre outros. Esse excesso de umidade pode ter provocado anaerobiose no solo, proporcionando um declínio acentuado na atividade microbiana do mesmo. Um valor

que pode ser usado como referência é o da testemunha, que no final do ciclo da aveia teve resultado muito semelhante ao obtido no final do segundo ciclo de milho, o que pode indicar que os demais tratamentos tiveram menor atividade em função do excesso de umidade do solo. Segundo Wardle (1998), as altas precipitações resultam em baixa respiração basal do solo úmido e, conseqüentemente, baixo carbono da biomassa microbiana. Insam & Parkinson (1989) ressaltam ainda que não somente a temperatura, mas a umidade do solo interfere significativamente na relação C microbiano/C orgânico.

Tabela 9: Valores do Carbono da Biomassa Microbiana (mg C.kg solo seco⁻¹) no término do segundo cultivo de milho (12/5/2004) em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	Média ± Erro Padrão
Experimento	14,16 ± 1,38
Testemunha	15,82 ± 4,77 ab
Adubação Química 1X	21,97 ± 2,66 a
Esterco Líquido 1X	14,06 ± 1,26 ab
Cama Sobreposta 1X	11,29 ± 3,37 b
Adubação Química 2X	6,98 ± 1,88 b
Esterco Líquido 2X	12,65 ± 0,26 ab
Cama Sobreposta 2X	16,31 ± 5,53 ab

Média de três blocos (dados referentes às determinações das amostras dos blocos 1, 2 e 3. O bloco 4 foi inutilizado definitivamente devido ao deslocamento de terra proveniente da terraplanagem para a construção dos sistemas de tratamento de dejetos de suínos na propriedade). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

Vargas & Scholles (2000), obtiveram, em um Argissolo Vermelho Escuro sob plantio direto e sucessão milho aveia no Rio Grande do Sul em clima cfa, valores de carbono da biomassa microbiana quase oito vezes maiores que os obtidos em Braço do Norte. Mesmo que a biomassa microbiana represente de 1 a 5% do C orgânico total do solo, a relação C_{mic}/C_{org} pode variar de 0,27 a 7%, segundo Anderson & Domsch (1989). Esse amplo espectro, segundo os mesmos autores, é devido às diferenças de tipo de manejo do solo, de épocas de amostragem e de métodos analíticos utilizados, podendo, portanto explicar em parte os resultados obtidos.

4.4.1.2. Nitrogênio da Biomassa Microbiana.

De acordo com a Análise de Variância das variáveis NBM_1_1 (nitrogênio da biomassa microbiana no final do primeiro cultivo de milho), NBM_1_2 (nitrogênio da biomassa microbiana no primeiro cultivo de aveia – coleta 1) e NBM_1_3 (nitrogênio da biomassa microbiana no final do segundo cultivo de milho) (Tabela 4), os tratamentos não apresentaram diferença significativa (nível mínimo de significância de 72,56%, 58,1% e 12,42%, respectivamente), podendo as diferenças (quando existentes) serem por outros motivos que não os tratamentos. A única variável que apresentou diferença significativa entre os tratamentos, segundo a Análise de Variância (Tabela 44 em anexo) foi NBM_2_2 (nitrogênio da biomassa microbiana no final do primeiro cultivo de aveia), sendo que 88,23% da variabilidade total é explicada pelo modelo. Na Tabela 10 são apresentados os resultados que não apresentaram diferença significativa (NBM_1_1, NBM_1_2 e NBM_1_3).

Tabela 10: Nitrogênio da Biomassa Microbiana (mg N.kg solo seco⁻¹) no término do primeiro cultivo de milho (27/5/2003), coleta 1 do primeiro cultivo de aveia (20/8/2003) e final do segundo cultivo de milho (12/5/2004) em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	Milho 1 - (27/5/2003) Média ± erro padrão	Aveia 1 - (20/8/2003) Média ± erro padrão	Milho 2 - (12/5/2004) Média ± erro padrão
Experimento	78,88 ± 6,40	114,30 ± 7,25	84,18 ± 7,03
Testemunha	93,70 ± 24,51 a	97,73 ± 4,51 a	51,05 ± 14,72 b
Adubação Química 1X	83,97 ± 16,39 a	123,57 ± 22,82 a	69,88 ± 26,71 ab
Esterco Líquido 1X	79,42 ± 14,65 a	128,97 ± 22,93 a	87,45 ± 14,13 ab
Cama Sobreposta 1X	78,15 ± 6,04 a	109,35 ± 19,77 a	105,26 ± 20,59 a
Adubação Química 2X	64,97 ± 19,18 a	123,96 ± 29,12 a	91,00 ± 18,12 a
Esterco Líquido 2X	64,92 ± 18,86 a	115,80 ± 23,70 a	83,95 ± 11,88 ab
Cama Sobreposta 2X	87,03 ± 22,52 a	100,74 ± 12,29 a	100,64 ± 20,04 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

Nota-se maiores valores médios de nitrogênio da biomassa microbiana na primeira coleta da aveia em relação ao final do primeiro cultivo de milho. Isso se deu em função do menor tempo decorrido para determinar o nitrogênio da biomassa microbiana das amostras (5 meses para a determinação das amostras do final do primeiro cultivo de milho e um mês e quinze dias para a primeira coleta do primeiro cultivo de aveia). O que pode ser verificado

durante o período de execução dos trabalhos é que conforme aumenta o tempo para fazer as determinações diminuí os valores de nitrogênio da biomassa microbiana, ou seja, quanto mais rápidas forem as determinações, menor será a variação encontrada. Segundo Nuernberg *et al.* (1984), as maiores populações de microorganismos são verificadas no período imediatamente após as colheitas, devido à maior disponibilidade de material orgânico servindo de substrato para o crescimento microbiano.

No término do segundo cultivo de milho também não houve diferença significativa entre os tratamentos, exceção à testemunha que diferiu apenas dos tratamentos com cama sobreposta. Conforme já citado anteriormente, houve um período muito chuvoso na época em que foi colhido o segundo cultivo de milho, que interferiu diretamente no carbono da biomassa microbiana, mas que não afetou de forma negativa o nitrogênio da biomassa microbiana. A pequena queda no nitrogênio da biomassa microbiana no final do segundo cultivo de milho em alguns dos tratamentos, pode estar relacionada a outros fatores, já que a mineralização do N não sofre efeitos das altas precipitações como ocorre com o C (Wardle, 1998). Porém, Moreira & Siqueira (2002), afirmam que as altas precipitações provocam anoxia no solo e reduzem a imobilização/mineralização do N no solo, sendo, portanto, um tema controverso entre os autores.

De acordo com a Análise de Variância da variável NBM_2_2 (nitrogênio da biomassa microbiana no final do primeiro cultivo de aveia) (Tabela 44 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e 88,23% da variabilidade total é explicada pelo modelo. Os dados referentes ao nitrogênio da biomassa microbiana no término do primeiro cultivo de aveia são apresentados na Tabela 11. De acordo com os resultados apresentados, houve a formação de quatro grupos. O tratamento que se destacou perante os demais foi o com cama sobreposta (2X). Em segundo lugar ficaram os tratamentos com esterco líquido (2X) e adubação química (2X), que não apresentaram diferença significativa para os tratamentos com esterco líquido (1X) e com cama sobreposta (1X). Esses dois últimos, por sua vez, não diferiram estatisticamente do tratamento adubação química (1X), que formou o terceiro grupo. Por último ficou a testemunha. Os maiores valores de nitrogênio da biomassa microbiana para o tratamento com cama sobreposta (2X) se devem provavelmente à redução da relação C:N do composto, propiciando uma maior imobilização dos nutrientes pela biomassa microbiana, evitando que esses nutrientes sejam perdidos. No segundo grupo, pode-se destacar os tratamentos com cama sobreposta (1X) e com esterco líquido (1X), que não diferiram significativamente dos tratamentos com adubação química (2X), esterco líquido (2X). Os

tratamentos orgânicos com a dosagem recomendada apresentaram atividade do nitrogênio da biomassa microbiana semelhantes ao tratamento químico e ao tratamento com esterco líquido com o dobro da necessidade, evidenciando que boa parte dos nutrientes aplicados em excesso não estão sendo imobilizados pela biomassa microbiana, podendo estar sendo perdidos ou por volatilização ou por lixiviação. O tratamento com adubação química (1X) apresentou atividade do nitrogênio da biomassa microbiana superior apenas à testemunha. Se for levado em conta os tratamentos com a dosagem recomendada, os tratamentos orgânicos não apresentaram diferença entre si, mas foram superiores ao tratamento químico. Segundo Nuernberg *et al.* (1984), os microrganismos utilizam o nitrogênio orgânico dos resíduos orgânicos para dar atendimento às suas necessidades metabólicas, sendo que sua concentração naqueles resíduos funciona como regulador da velocidade de decomposição dos mesmos e, conseqüentemente, sobre a liberação de CO₂ e concentração de amônio e nitrato no solo.

Tabela 11: Nitrogênio da Biomassa Microbiana (mg N.kg solo seco⁻¹) no término do primeiro cultivo de aveia (25/10/2003) em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	Média ± erro padrão
Experimento	149,97 ± 5,80
Testemunha	94,20 ± 5,45 d
Adubação Química 1X	137,65 ± 6,44 c
Esterco Líquido 1X	155,82 ± 9,88 bc
Cama Sobreposta 1X	151,84 ± 5,01 bc
Adubação Química 2X	160,48 ± 4,57 b
Esterco Líquido 2X	161,49 ± 3,98 b
Cama Sobreposta 2X	188,28 ± 14,67 a

Média de dois blocos (dados referentes às determinações das amostras dos blocos 3 e 4. As amostras dos blocos 1 e 2 foram perdidas em virtude de armazenamento em temperatura inadequada e período de tempo excessivo). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

Com os dados obtidos nos dois atributos microbiológicos avaliados, pode-se concluir que as adubações com o dobro da necessidade da cultura em geral não resultam em maior atividade microbiológica do solo, salvo algumas exceções. Outra conclusão que pode ser tirada é com relação a atividade biológica em função da adição de adubos de síntese química. Em boa parte das análises, salvo algumas exceções, a atividade biológica proporcionada por esses fertilizantes foi inferior a dos fertilizantes orgânicos. Tendo em vista que os fertilizantes orgânicos são um recurso interno da propriedade, e desde que bem manejados, podem aumentar tanto a atividade biológica quanto a fertilidade do solo, a aquisição de adubos de

síntese química só aumentaria os custos de produção além de que seus efeitos negativos sobre alguns atributos químicos do solo serão discutidos no item 4.4.2.

4.4.2. Atributos Químicos do Solo

4.4.2.1. pH

De acordo com a Tabela 4, que apresenta o resumo da Análise de Variância das variáveis avaliadas, a variável pH do solo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos no final do primeiro cultivo de milho nas profundidades de 0-15 cm (pH_1_1) e 15-30 cm (pH_2_1), e no final do primeiro cultivo de aveia na profundidade de 15-30 cm (pH_2_2). As diferenças (quando existentes), se devem a outros fatores que não os tratamentos. Porém, de acordo com a Análise de Variância das variáveis pH_1_2 (pH no final do primeiro cultivo de aveia na profundidade de 0-15 cm) - (Tabela 45 em anexo), pH_1_3 (pH no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 0-15 cm) – (Tabela 46 em anexo) e pH_2_3 (pH no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 15-30 cm) – (Tabela 47 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e 62,46%, 77,70% e 83,13% da variabilidade total, respectivamente, foi explicada pelo modelo.

Na Tabela 12 são apresentados os valores de pH na profundidade de 0-15 cm referentes ao início do experimento, e término de cada ciclo produtivo. De acordo com os dados apresentados, é possível verificar a variação do pH na profundidade de 0-15 cm ao longo dos ciclos de cultivo. Mesmo não havendo diferenças significativas devido aos tratamentos, nota-se, no final do primeiro cultivo de milho a formação de dois grupos. Há uma tendência dos tratamentos com cama sobreposta em aumentar o pH do solo, e do tratamento químico com o dobro da necessidade em acidificar o solo. No final do primeiro cultivo de aveia, pode-se notar diferenças significativas entre os tratamentos, havendo formação de dois grupos. Os maiores valores ficaram por conta dos tratamentos cama sobreposta (2X) e cama sobreposta (1X), que não diferiram significativamente dos tratamentos com esterco líquido (1X) e esterco líquido (2X). Um segundo grupo foi formado pelos tratamentos com adubação química (1X) e adubação química (2X), e pela testemunha. Os três últimos não diferiram significativamente dos tratamentos com esterco líquido. Todos

os tratamentos apresentaram elevação do pH no final do primeiro cultivo de aveia em relação ao pH do final do primeiro cultivo de milho. Isso se deve à reação do calcário aplicado no início do experimento, promovendo a redução do teor de Al na solução do solo nessa camada e, também devido ao relativo aumento nos teores de matéria orgânica conforme pode ser verificado na Tabela 14. A elevação do pH foi uniforme em praticamente todos os tratamentos no final do primeiro cultivo de aveia, à exceção dos tratamentos com adubação química (1X), adubação química (2X) e testemunha, que apresentaram os menores incrementos. Isso se deve ao fato dos fertilizantes de síntese química contribuírem para a redução do pH devido ao processo de nitrificação, que libera íons H^+ na solução do solo (Malavolta, 1976). A testemunha teve pequena variação ao longo dos ciclos, isso devido ao fato de não receber nenhum tipo de tratamento.

Tabela 12: pH na profundidade de 0-15 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	5,13	4,80 ± 0,04	5,23 ± 0,05	5,09 ± 0,08
Testemunha	5,13	4,83 ± 0,08 ab	5,05 ± 0,03 b	5,13 ± 0,09 bc
Adubação Química 1X	5,13	4,80 ± 0,11 ab	5,10 ± 0,11 b	4,97 ± 0,19 c
Esterco Líquido 1X	5,13	4,75 ± 0,14 ab	5,25 ± 0,09 ab	4,90 ± 0,14 c
Cama Sobreposta 1X	5,13	4,93 ± 0,05 a	5,43 ± 0,02 a	5,47 ± 0,12 ab
Adubação Química 2X	5,13	4,63 ± 0,05 b	5,05 ± 0,10 b	4,50 ± 0,04 d
Esterco Líquido 2X	5,13	4,73 ± 0,11 ab	5,25 ± 0,09 ab	4,97 ± 0,16 c
Cama Sobreposta 2X	5,13	4,98 ± 0,15 a	5,50 ± 0,19 a	5,70 ± 0,04 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

No final do segundo cultivo de milho, houve formação de quatro grupos para essa variável analisada. O destaque ficou por conta do tratamento com cama sobreposta (2X), que não apresentou diferença significativa para com o tratamento com cama sobreposta (1X). Esse último por sua vez não diferiu significativamente da testemunha. Um terceiro grupo foi formado pelos tratamentos com esterco líquido (2X), adubação química (1X) e esterco líquido (1X), que por sua vez não diferiram significativamente da testemunha. O quarto grupo foi formado pelo tratamento com adubação química (2X), que apresentou o menor valor de pH. O tratamento com cama sobreposta (1X) apresentou uma significativa elevação de pH do final

do primeiro cultivo de milho para o final do primeiro cultivo de aveia, mantendo-se praticamente estável no final do segundo cultivo de milho. O tratamento com cama sobreposta (2X) teve a maior elevação no final do segundo cultivo de milho, devido ao maior teor de matéria orgânica adicionado ao solo. Segundo Holanda *et al.*, (1984), Kiehl (1985) e Silva *et al.* (2004), a matéria orgânica influi no controle do pH do solo pelo aumento de sua capacidade de tamponamento, sendo que seus efeitos mais expressivos são observados principalmente em solos de baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Sua capacidade de tamponamento se deve aos vários ácidos fracos que a compõe (Kiehl, 1985), e favorece a diminuição do alumínio trocável (tóxico) do solo (Nuernberg & Stammel, 1989) mediante a complexação ou quelação desse íon pelos radicais orgânicos que apresentam cargas negativas em várias direções (Holanda *et al.*, 1984; Ernani & Gianello, 1983; Kiehl, 1985; Sidiras & Pavan, 1985; Meurer *et al.*, 2004), diminuindo dessa forma a necessidade de calcário (Kiehl, 1985). O aumento do pH tem inúmeros benefícios, principalmente o aumento da quantidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} em solução (conforme pode ser verificado nos laudos das coletas de solo em Anexos 9, 10 e 11), aumenta a quantidade de fósforo, molibdênio e enxofre em formas disponíveis para as plantas, diminui a disponibilidade de Cu, Zn e Mn (Bissani *et al.*, 2004), e dependendo da faixa de pH alcançada (>5), a matéria orgânica passa a ter efeito sobre a CTC efetiva do solo (Trebien, 2002). Franchini *et al.* (1999), observaram que a redução da acidez total e trocável fez aumentar a CTC efetiva em razão dos aumentos nos teores dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+).

O pH teve comportamento semelhante na profundidade de 15-30 cm (Tabela 13). De acordo com os resultados, quatro grupos foram formados. O destaque ficou por conta do tratamento com cama sobreposta (2X), que foi o que apresentou maior elevação do pH nesta profundidade. O segundo grupo foi formado pelo tratamento com cama sobreposta (1X). Um outro grupo foi formado pelos tratamentos com esterco líquido (1X), adubação química (1X) e esterco líquido (2X), que não diferiram significativamente da testemunha. Esta última, por sua vez, não apresentou diferenças significativas para com o tratamento com adubação química (2X), que obteve os menores valores de pH. Nota-se que a redução do pH pelo uso de fertilizantes de síntese química não ficou restrito apenas aos centímetros iniciais do solo, evidenciando a percolação do N. O tratamento com cama sobreposta (2X) foi o único que apresentou elevação do pH nesta profundidade. Os demais tratamentos apresentaram redução do pH, sendo a menor variação apresentada pelo tratamento com cama sobreposta (1X), e a maior redução em relação ao ciclo anterior para os tratamentos com esterco líquido (2X) e

com adubação química (2X). Este último ficou com o pH abaixo do pH no final do primeiro cultivo de milho.

Tabela 13: pH na profundidade de 15-30 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	5,08	4,70 ± 0,04	5,17 ± 0,04	4,97 ± 0,07
Testemunha	5,08	4,75 ± 0,03 a	5,08 ± 0,09 b	4,80 ± 0,04 cd
Adubação Química 1X	5,08	4,68 ± 0,05 a	5,05 ± 0,06 b	4,87 ± 0,15 c
Esterco Líquido 1X	5,08	4,78 ± 0,13 a	5,15 ± 0,12 ab	4,90 ± 0,08 c
Cama Sobreposta 1X	5,08	4,70 ± 0,16 a	5,28 ± 0,06 ab	5,23 ± 0,14 b
Adubação Química 2X	5,08	4,60 ± 0,13 a	5,00 ± 0,15 b	4,53 ± 0,02 d
Esterco Líquido 2X	5,08	4,60 ± 0,12 a	5,20 ± 0,09 ab	4,83 ± 0,02 c
Cama Sobreposta 2X	5,08	4,78 ± 0,19 a	5,43 ± 0,12 a	5,60 ± 0,08 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

Essa redução do pH no tratamento com adubação química (2X) se dá, segundo Franchini *et al.*, (2000), Bohnen *et al.*, (2000) e Bissani *et al.*, (2004), pela lixiviação do nitrato que acidifica a camada superficial do solo devido à requisição e arraste de cátions básicos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) como íons acompanhantes para manter a eletroneutralidade da solução do solo, enquanto os prótons produzidos pela nitrificação do amônio e, ou, do N orgânico permanecem na camada superficial como acidez potencial. Com a percolação desses cátions, os sítios de troca (CTC) são gradativamente ocupados pelo Al^{3+} , e, também, pelo Mn^{2+} em determinados solos, aumentando dessa forma a sua acidez. Santos & Siqueira (1996), observaram que a adubação nitrogenada com sulfato de amônio provocou acentuada acidificação do solo, principalmente, na camada superficial, aumentando a toxidez do alumínio (trocável e potencial) pela perda da reatividade do calcário. Bissani *et al.* (2004), acrescentam ainda que quando os fertilizantes nitrogenados são utilizados com frequência em solos com baixo poder tampão, promovem a redução do pH devido a absorção de um cátion (NH_4^+) pela planta, e excreção de íons H^+ pelas raízes para manter a eletroneutralidade.

4.4.2.2. Teor de Matéria Orgânica

De acordo com a Tabela 4 que apresenta o resumo da Análise de Variância das variáveis avaliadas, a variável matéria orgânica do solo não apresentou diferença significativa nos vários tratamentos no final do primeiro cultivo de milho nas profundidades de 0-15 cm (MO_1_1) e 15-30 cm (MO_1_2), no final do primeiro cultivo de aveia nas profundidades de 0-15 cm (MO_2_1) e 15-30 cm (MO_2_2), e no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 0-15 cm (MO_1_3), sendo que as diferenças (quando ocorrerem), se devem a outros fatores que não os tratamentos. Porém, de acordo com a Análise de Variância da variável MO_2_3 (matéria orgânica no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 15-30 cm) - (Tabela 48 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, sendo que 70,10% da variabilidade total foi explicada pelo modelo. Na Tabela 14 são apresentados os teores de matéria orgânica na profundidade de 0-15 cm referentes ao início do experimento, e término de cada ciclo produtivo.

Tabela 14: Teor de matéria orgânica (%) na profundidade de 0-15 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	3,075	2,64 ± 0,05	2,91 ± 0,05	3,16 ± 0,05
Testemunha	3,075	2,60 ± 0,09 a	2,85 ± 0,06 a	3,30 ± 0,12 ab
Adubação Química 1X	3,075	2,48 ± 0,11 a	2,73 ± 0,17 a	3,07 ± 0,12 bc
Esterco Líquido 1X	3,075	2,80 ± 0,15 a	3,10 ± 0,11 a	3,10 ± 0,07 bc
Cama Sobreposta 1X	3,075	2,53 ± 0,17 a	2,95 ± 0,05 a	3,17 ± 0,05 abc
Adubação Química 2X	3,075	2,70 ± 0,12 a	3,08 ± 0,15 a	2,97 ± 0,06 c
Esterco Líquido 2X	3,075	2,78 ± 0,27 a	2,78 ± 0,15 a	3,03 ± 0,14 bc
Cama Sobreposta 2X	3,075	2,58 ± 0,06 a	2,88 ± 0,11 a	3,47 ± 0,10 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

No final dos dois primeiros ciclos de cultivo, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, conforme pode ser verificado na Tabela 14. Do final do primeiro cultivo de aveia para o final do segundo cultivo de milho, houve aumento dos teores de matéria orgânica nos tratamentos testemunha, cama sobreposta (1X), cama sobreposta (2X), esterco líquido (2X) e adubação química (1X), manutenção dos níveis no tratamento

esterco líquido (1X), e redução no tratamento adubação química (2X). Esse aumento nos teores de matéria orgânica, em praticamente todos os tratamentos, se deve ao fato do experimento estar sendo conduzido em sistema de plantio direto (SPD). Bayer *et al.* (2000), verificaram que no sistema de plantio direto além de aumentarem os teores de matéria orgânica no solo, diminuem também a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera. As reduções nos teores de matéria orgânica no final do segundo cultivo de milho no tratamento com adubação química (2X) pode ser em função da sua baixa produção de matéria seca na cultura da aveia, e com a adição excessiva de N, pode estar fazendo com que a cobertura que fica no solo esteja sendo mais rapidamente decomposta pelos microrganismos. Prova disto foi a grande atividade do nitrogênio da biomassa microbiana no final do ciclo da aveia e do segundo ciclo de milho, e a atividade relativamente alta do carbono da biomassa microbiana observada no final do ciclo da aveia. No final do segundo ciclo de milho não foi possível uma melhor observação deste parâmetro em função da anoxia do solo, conforme já citado anteriormente. Na profundidade de 15-30 cm, de forma semelhante ao observado na profundidade de 0-15 cm, os dois primeiros ciclos de cultivo não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, conforme pode ser verificado na Tabela 15.

Tabela 15: Teor de matéria orgânica (%) na profundidade de 15-30 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	2,80	2,43 ± 0,04	2,63 ± 0,09	2,60 ± 0,06
Testemunha	2,80	2,40 ± 0,14 a	2,63 ± 0,10 a	2,53 ± 0,09 bc
Adubação Química 1X	2,80	2,38 ± 0,05 a	2,65 ± 0,13 a	2,50 ± 0,18 bc
Esterco Líquido 1X	2,80	2,43 ± 0,13 a	2,83 ± 0,14 a	2,53 ± 0,10 bc
Cama Sobreposta 1X	2,80	2,55 ± 0,05 a	2,13 ± 0,61 a	2,70 ± 0,15 b
Adubação Química 2X	2,80	2,48 ± 0,10 a	2,83 ± 0,09 a	2,30 ± 0,07 c
Esterco Líquido 2X	2,80	2,35 ± 0,09 a	2,55 ± 0,05 a	2,50 ± 0,04 bc
Cama Sobreposta 2X	2,80	2,40 ± 0,14 a	2,78 ± 0,02 a	3,13 ± 0,08 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

As diferenças entre os tratamentos evidenciaram-se apenas no final do segundo cultivo de milho. Houve redução em praticamente todos os tratamentos, à exceção dos tratamentos com cama sobreposta. Neste período houve a formação de três grupos. O destaque ficou por

conta do tratamento com cama sobreposta (2X). Em seguida, veio o tratamento com cama sobreposta (1X), que não diferiu significativamente dos tratamentos com esterco líquido (1X), testemunha, esterco líquido (2X) e adubação química (1X). A maior redução ficou por conta do tratamento com adubação química (2X). Esse último, por sua vez, não diferiu significativamente dos demais tratamentos (esterco líquido (1X), adubação química (1X), esterco líquido (2X) e testemunha). A maior redução do teor de matéria orgânica foi observada no tratamento com adubação química (2X), caindo a níveis abaixo dos encontrados no final do primeiro cultivo de milho. Os tratamentos testemunha e esterco líquido (2X) tiveram as menores reduções. A redução no conteúdo de matéria orgânica no solo tem sérias conseqüências, conforme foi observado por alguns autores. Silva *et al.* (1994), observaram que a redução no teor de matéria orgânica ocasionou diminuição da CTC do solo (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho-amarelo) em pH 7,0. Mendonça (1995), observou que durante o processo oxidativo da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-amarelo e de um Latossolo Vermelho-escuro, ocorreu aumento na contribuição das cargas dos ácidos fúlvicos para a acidez total do solo até determinado teor de matéria orgânica. Houve também liberação do alumínio para a solução do solo, indicando que parte do alumínio fortemente ligado à matéria orgânica pode passar para formas mais reativas durante o processo de oxidação. Os maiores teores de Al em solução podem ser visualizados no item 4.4.2.3, e vão ao encontro do que foi exposto acima.

Os maiores valores de matéria orgânica nos tratamentos com cama sobreposta se dão em função da composição desse material, apresentando um grande teor de matéria seca, conforme pode ser verificado nas Tabelas 32 e 33 em Anexo 8. Oliveira (2002), destaca que o sistema de camas produz um menor volume de dejetos, podendo a cama ser mais bem aproveitada como adubo devido à maior concentração de nutrientes e redução quase total da água contida nos dejetos, podendo aumentar os teores de matéria orgânica no solo. Além do mais, o seu uso como adubo pode reduzir os custos de produção pela diminuição do uso de fertilizantes de síntese química (Perdomo, 2001; Oliveira, 2002; Oliveira *et al.*, 2003), podendo inclusive ser uma fonte alternativa e extra de renda para o produtor. Com relação ao esterco líquido, houve uma variação da sua composição ao longo do período experimental, conforme já discutido anteriormente, ele por si só não contribui para o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, haja vista que possui uma quantidade pequena de matéria seca. Ao ser aplicado no solo, dependendo do manejo realizado neste último, muitos de seus nutrientes podem se perder por volatilização ou por lixiviação, e o pouco teor de matéria seca

difícilmente contribuirá para a elevação dos teores de matéria orgânica no solo. Portanto, a elevação dos teores de matéria orgânica observados nos demais tratamentos que não o com cama sobreposta, se devem provavelmente à adoção do sistema de plantio direto.

Mesmo com esses aumentos significativos em praticamente todos os tratamentos, somente nos tratamentos com cama sobreposta (2X), cama sobreposta (1X) e testemunha na profundidade de 0-15 cm, e nos tratamentos com cama sobreposta (2X) e cama sobreposta (1X) na profundidade de 15-30 cm, a matéria orgânica está contribuindo para a CTC efetiva do solo. Isso devido ao pH do solo nas profundidades de 0-15 (5,70, 5,47 e 5,13, respectivamente) e 15-30 cm (5,6 e 5,23, respectivamente) para os tratamentos supracitados. Segundo Trebien (2002), a matéria orgânica do solo apresenta cargas pH dependentes, ou seja, abaixo de pH 5 não contribui para a CTC efetiva do solo. Sua contribuição se inicia em pH 5 e é máxima em pH 7. Segundo Silva *et al.* (2000), a CTC da matéria orgânica pode ser de 2 a 20 vezes maior do que a das argilas. Esse aumento da CTC pela presença da matéria orgânica, segundo Meurer *et al.* (2004), se dá pela sua interação com os argilo-minerais e óxidos do solo, alterando suas cargas superficiais. A matéria orgânica é adsorvida à caulinita e aos óxidos de ferro, e essa interação resulta na diminuição das cargas positivas, aumentando dessa forma a CTC.

Além da elevação da CTC efetiva (Kiehl, 1979; Silva *et al.*, 2000; Pinheiro Machado, 2002; Trebien, 2002; Meurer *et al.*, 2004), a matéria orgânica tem inúmeras influências positivas sobre diversos atributos do solo, sejam eles biológicos, físicos ou químicos (Kiehl, 1977; Santos & Siqueira, 1996, Pinheiro Machado, 2002; Trebien, 2002). Silva *et al.* 2000 afirmam que no sistema de plantio direto a biomassa microbiana é favorecida pelo potencial de aumento no teor de matéria orgânica, dentre outros fatores. Muzilli (1983), verificou aumento dos teores de matéria orgânica no solo após cinco anos de plantio direto, bem como maior acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo e maior disponibilidade do nutriente para as culturas. Resultados semelhantes foram observados por Reinheimer *et al.* (1998). Santos & Siqueira (1996), obtiveram acréscimo de matéria orgânica no sistema de plantio direto em (0-5 cm), maior disponibilidade de P, devendo-se além da matéria orgânica, à baixa disponibilidade deste elemento e ao não revolvimento do solo. Bayer & Bertol (1999), verificaram que tanto o plantio direto quanto o preparo reduzido aumentaram os teores de C, N e outros nutrientes no solo, principalmente nas camadas superficiais, e elevação da CTC do solo devido a presença de matéria orgânica. Além disso, a matéria orgânica atua ainda na

complexação de vários metais, sendo responsável ainda pelo aumento da estabilidade de agregados no solo (Eltz *et al.*, 1989).

4.4.2.3. Teor de Alumínio (Al)

De acordo com a Tabela 4 que apresenta o resumo da Análise de Variância das variáveis avaliadas, a variável Al do solo não apresentou diferença significativa nos vários tratamentos no final do primeiro cultivo de milho nas profundidades de 0-15 cm (Al_1_1) e 15-30 cm (Al_2_1), e no final do primeiro cultivo de aveia na profundidade de 15-30 cm (Al_2_2), sendo que as diferenças (quando existentes), se devem a outros fatores que não os tratamentos. Porém, de acordo com a Análise de Variância das variáveis Al_1_2 (alumínio no final do primeiro cultivo de aveia na profundidade de 0-15 cm) - (Tabela 49 em anexo), Al_1_3 (alumínio no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 0-15 cm) - (Tabela 50 em anexo) e Al_2_3 (alumínio no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 15-30 cm) - (Tabela 51 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, sendo que 76,92%, 82,18% e 82,07% da variabilidade total, respectivamente, foi explicada pelo modelo.

Na Tabela 16 são apresentados os teores de Al na profundidade de 0-15 cm referentes ao início do experimento, e término de cada ciclo produtivo. No final do primeiro cultivo de milho, os tratamentos não apresentaram diferença significativa. Ao final do primeiro cultivo de aveia houve redução dos teores de Al em todos os tratamentos, e quatro grupos foram formados. Essa redução se deu pela maior reatividade do calcário, e em alguns tratamentos, principalmente os com cama sobreposta, aos maiores teores de MO adicionados ao solo, ajudando na complexação do Al. Os tratamentos com adubação química (1X) e adubação química (2X) e testemunha foram os tratamentos que apresentaram os maiores teores de Al em solução. A testemunha, por sua vez, não diferiu significativamente dos tratamentos com esterco líquido (1X) e esterco líquido (2X). Este não diferiu significativamente do tratamento cama sobreposta (2X), que por sua vez, não diferiu do tratamento cama sobreposta (1X). Os tratamentos químicos apresentaram os maiores teores de Al em solução juntamente com a testemunha. Isso se deve provavelmente à acidificação do meio provocada pelos fertilizantes químicos, conforme foi discutido no item 4.4.2.1. A maior redução ocorreu no tratamento

cama sobreposta (1X), sendo que o Al na profundidade de 0-15 cm foi praticamente neutralizado. No final do segundo cultivo de milho, a exemplo do que ocorreu no final do primeiro ciclo da aveia, quatro grupos foram formados. Os maiores teores de Al foram encontrados no tratamento adubação química (2X), que praticamente dobrou os teores existentes no solo no início do experimento. Logo em seguida vieram os tratamentos esterco líquido (1X) e esterco líquido (2X), que aumentaram consideravelmente o teor de Al em solução. Esses não apresentaram diferença significativa para com o tratamento adubação química (1X), que apresentou uma pequena redução em relação ao final do primeiro ciclo da aveia. Este último, por sua vez, não diferiu da testemunha, que também apresentou redução dos teores de Al no solo. Na seqüência, vieram os tratamentos cama sobreposta (2X), que neutralizou o Al em solução, e o tratamento cama sobreposta (1X), que praticamente manteve os teores do final do primeiro ciclo de aveia.

Tabela 16: Teor de alumínio (ppm) na profundidade de 0-15 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	0,75	0,63 ± 0,07	0,44 ± 0,06	0,57 ± 0,10
Testemunha	0,75	0,60 ± 0,07 a	0,63 ± 0,09 ab	0,26 ± 0,12 cd
Adubação Química 1X	0,75	0,73 ± 0,24 a	0,70 ± 0,18 a	0,57 ± 0,20 bc
Esterco Líquido 1X	0,75	0,63 ± 0,19 a	0,38 ± 0,13 bc	0,87 ± 0,25 b
Cama Sobreposta 1X	0,75	0,50 ± 0,08 a	0,08 ± 0,08 d	0,10 ± 0,07 d
Adubação Química 2X	0,75	0,73 ± 0,13 a	0,70 ± 0,16 a	1,40 ± 0,00 a
Esterco Líquido 2X	0,75	0,73 ± 0,36 a	0,35 ± 0,12 bcd	0,77 ± 0,29 b
Cama Sobreposta 2X	0,75	0,53 ± 0,20 a	0,28 ± 0,16 cd	0,00 ± 0,00 d

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

Na profundidade de 15-30 cm, o comportamento foi semelhante ao ocorrido na profundidade de 0-15 cm, conforme pode ser verificado na Tabela 17. Conforme pode ser verificado, no final do primeiro cultivo de milho não houve diferença significativa entre os tratamentos. No final do primeiro cultivo de aveia, apesar de não terem sido verificadas diferenças estatisticamente significantes, nota-se uma tendência de diminuição dos teores de Al em praticamente todos os tratamentos, principalmente nos tratamentos com cama sobreposta, e como exceção, os tratamentos com adubos químicos. No final do segundo

cultivo de milho, os tratamentos apresentaram diferença significativa, e houve formação de três grupos. O tratamento adubação química (2X) foi o que apresentou os maiores teores de Al, chegando praticamente a dobrar os teores encontrados no início do experimento. Este, por sua vez, não diferiu significativamente dos tratamentos adubação química (1X), esterco líquido (1X) e esterco líquido (2X). Estes três últimos não diferiram da testemunha, que apresentou aumento dos teores de Al em relação ao final do primeiro cultivo de aveia. Os tratamentos com cama sobreposta formaram um grupo à parte, diferindo significativamente dos demais. O tratamento cama sobreposta (1X) manteve os teores de Al do final do primeiro cultivo de aveia, e o tratamento cama sobreposta (2X) neutralizou o Al em solução, a exemplo do ocorrido na profundidade de 0-15 cm.

Tabela 17: Teor de alumínio (ppm) na profundidade de 15-30 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03	27/05/03 - Média ±	25/10/03 - Média ±	12/05/04 - Média ±
	Média*	erro padrão	erro padrão	erro padrão
Experimento	0,75	0,84 ± 0,08	0,54 ± 0,07	0,87 ± 0,11
Testemunha	0,75	0,88 ± 0,10 a	0,65 ± 0,15 ab	0,93 ± 0,18 b
Adubação Química 1X	0,75	1,00 ± 0,29 a	0,75 ± 0,13 a	1,17 ± 0,31 ab
Esterco Líquido 1X	0,75	0,83 ± 0,19 a	0,58 ± 0,20 ab	1,10 ± 0,23 ab
Cama Sobreposta 1X	0,75	0,85 ± 0,33 a	0,33 ± 0,13 ab	0,33 ± 0,14 c
Adubação Química 2X	0,75	0,80 ± 0,24 a	0,80 ± 0,23 a	1,47 ± 0,15 a
Esterco Líquido 2X	0,75	0,80 ± 0,23 a	0,48 ± 0,18 ab	1,07 ± 0,09 ab
Cama Sobreposta 2X	0,75	0,70 ± 0,17 a	0,23 ± 0,14 b	0,00 ± 0,00 c

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

De acordo com os resultados apresentados, o uso de cama sobreposta como adubo tem ajudado na neutralização do Al no solo. Em experimento semelhante, Ernani & Gianello (1983), avaliando o efeito da incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário no solo, observaram que sua incorporação ocasionou decréscimo nos teores de Al de forma linear com o aumento da quantidade de material orgânico aplicado. Nuernberg & Stammel (1989), obtiveram resultados semelhantes. Holanda *et al.* (1984), obtiveram uma correlação linear positiva de 0,023 unidades.T⁻¹ de esterco aplicada em Latossolo Amarelo e 0,016 unidades.T⁻¹ em Argissolo. As elevações de pH foram atribuídas em parte, segundo os autores, pela decomposição do esterco no solo. A magnitude da redução do Al trocável no solo é

dependente do tipo de esterco empregado e do estado de decomposição, e se deve à complexação gradativa do Al por moléculas orgânicas, mantendo-o na forma não-iônica no solo. Este efeito, no entanto, tem duração efêmera, cessadas as aplicações de esterco. A amplitude dessas alterações depende do valor inicial do pH do esterco, da sua soma de bases, do poder tampão do solo e da qualidade do esterco (Nuernberg & Stammel, 1989).

Alguns tratamentos apresentaram aumento do teor de Al no solo, e isso traz sérias conseqüências. O Al no solo causa toxidez às plantas, sendo o sintoma mais dramático a inibição do crescimento radicular, prejudicando dessa forma a absorção de nutrientes e água. Outros sintomas são ramificações deficientes, raízes curtas e grossas, o que diminui o volume de solo explorado, além de inibir a absorção e translocação de fósforo e cálcio (Kaminski & Rheinheimer, 2000).

4.4.2.4. Teor de Fósforo (P)

De acordo com a Tabela 4 que apresenta o resumo da Análise de Variância das variáveis avaliadas, a variável P do solo não apresentou diferença significativa nos vários tratamentos no final do primeiro cultivo de milho nas profundidades de 0-15 cm (P_1_1) e 15-30 cm (P_2_1), e no final do primeiro cultivo de aveia nas profundidades de 0-15 cm (P_1_2) e 15-30 cm (P_2_2), sendo que as diferenças (quando encontradas), se devem a outros fatores que não os tratamentos. Porém, de acordo com a Análise de Variância das variáveis P_1_3 (fósforo no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 0-15 cm) - (Tabela 52 em anexo), e P_2_3 (fósforo no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 15-30 cm) – (Tabela 53 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, sendo que 75,07% e 81,76% da variabilidade total, respectivamente, foi explicada pelo modelo.

Na Tabela 18 são apresentados os teores de P na profundidade de 0-15 cm referentes ao início do experimento, e término de cada ciclo produtivo. De acordo com os dados apresentados, os tratamentos não apresentaram diferença significativa no teor de P no final do primeiro cultivo de milho, e praticamente todos os tratamentos aumentaram os teores do início do experimento, exceção à testemunha. Mesmo não sendo significativo, há uma tendência de aumento principalmente nos tratamentos esterco líquido (2X), cama sobreposta (2X) e cama sobreposta (1X). No final do primeiro ciclo da aveia, apesar de não haver

diferença significativa entre os tratamentos, em praticamente todos eles houve aumento dos teores de P no solo, exceção aos tratamentos adubação química (2X) e cama sobreposta (1X). Já no final do segundo cultivo de milho, os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si, e houve formação de três grupos. O destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (2X), que não apresentou diferença significativa para o tratamento cama sobreposta (1X). Este, por sua vez, não apresentou diferença significativa para com os tratamentos esterco líquido (1X) e testemunha. Estes dois últimos não diferiram significativamente dos tratamentos esterco líquido (2X), adubação química (1X) e adubação química (2X).

Tabela 18: Teor de fósforo (ppm) na profundidade de 0-15 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	31,80	56,79 ± 8,53	79,91 ± 14,67	56,90 ± 7,76
Testemunha	31,80	29,55 ± 9,74 b	34,58 ± 7,58 b	57,20 ± 20,44 bc
Adubação Química 1X	31,80	49,73 ± 17,98 ab	50,10 ± 25,98 ab	27,50 ± 10,26 c
Esterco Líquido 1X	31,80	49,00 ± 21,02 ab	115,63 ± 43,96 ab	59,20 ± 30,11 bc
Cama Sobreposta 1X	31,80	91,05 ± 37,63 a	88,80 ± 47,31 ab	80,17 ± 4,01 ab
Adubação Química 2X	31,80	43,75 ± 17,51 ab	41,90 ± 16,91 ab	27,70 ± 6,44 c
Esterco Líquido 2X	31,80	64,10 ± 17,08 ab	93,73 ± 36,09 ab	35,57 ± 5,80 c
Cama Sobreposta 2X	31,80	70,38 ± 29,90 ab	134,63 ± 63,89 a	110,93 ± 19,85 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

Na profundidade de 15-30 cm, a exemplo do ocorrido na profundidade de 0-15 cm, nos dois primeiros ciclos de cultivo não houveram diferenças significativas entre os tratamentos, tendo as diferenças sido significativas no final do segundo cultivo de milho, conforme pode ser verificado na Tabela 19. De acordo com os dados apresentados, os tratamentos não apresentaram diferença significativa no teor de P no final do primeiro cultivo de milho, e praticamente todos os tratamentos aumentaram os teores do início do experimento, exceção à testemunha. Mesmo não sendo significativo, há uma tendência de aumento principalmente nos tratamentos esterco líquido (2X), cama sobreposta (2X) e cama sobreposta (1X). No final do primeiro ciclo da aveia, apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos, em praticamente todos eles houve aumento dos teores de P

no solo, exceção aos tratamentos adubação química (2X) e cama sobreposta (1X). Já no final do segundo cultivo de milho, os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si, e houve formação de três grupos. O destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (2X), que não apresentou diferença significativa para o tratamento cama sobreposta (1X). Este, por sua vez, não apresentou diferença significativa para com os tratamentos esterco líquido (1X) e testemunha. Estes dois últimos não diferiram significativamente dos tratamentos esterco líquido (2X), adubação química (1X) e adubação química (2X).

Tabela 19: Teor de fósforo (ppm) na profundidade de 15-30 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas vezes (2X) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	17,00	32,26 ± 4,59	52,21 ± 8,80	44,29 ± 8,71
Testemunha	17,00	20,85 ± 5,28 a	25,35 ± 2,55 b	27,33 ± 10,56 c
Adubação Química 1X	17,00	32,05 ± 11,20 a	35,15 ± 19,59 b	19,50 ± 7,48 c
Esterco Líquido 1X	17,00	29,33 ± 11,10 a	66,08 ± 25,92 ab	25,23 ± 11,75 c
Cama Sobreposta 1X	17,00	44,03 ± 20,20 a	65,93 ± 26,75 ab	68,13 ± 17,65 b
Adubação Química 2X	17,00	36,85 ± 11,42 a	27,50 ± 9,11 b	14,27 ± 1,71 c
Esterco Líquido 2X	17,00	31,75 ± 11,12 a	45,90 ± 12,97 ab	21,40 ± 3,95 c
Cama Sobreposta 2X	17,00	30,95 ± 17,03 a	99,58 ± 37,68 a	134,13 ± 19,22 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

No final do primeiro cultivo de milho os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si. Houve aumento dos teores de P em relação ao início do experimento em todos os tratamentos. No final do primeiro cultivo de aveia, as diferenças encontradas podem ter sido devido a outros fatores que não os tratamentos. Mesmo assim, cabe destacar a redução dos teores de P no tratamento adubação química (2X), e nos demais tratamentos, houve aumento. O tratamento cama sobreposta (2X) triplicou os teores de P nesta profundidade. Já no final do segundo cultivo de milho, os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si, e três grupos distintos foram formados. O destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (2X), que apresentou os maiores teores no solo. O segundo grupo foi formado pelo tratamento cama sobreposta (1X), que praticamente manteve os teores de P do final do primeiro cultivo de aveia. O terceiro grupo foi formado pelos demais tratamentos testemunha, esterco líquido (1X), esterco líquido (2X), adubação química (1X) e adubação

química (2X), que não diferiram significativamente entre si. Pode-se notar que o tratamento cama sobreposta (1X) foi o que apresentou a maior regularidade entre os tratamentos, mantendo o nível de P no solo praticamente idênticos ao encontrado no final do primeiro cultivo de aveia, mesmo sofrendo a exportação de aproximadamente 4,7 Kg de P.Ton⁻¹ de grão produzida (Yamada & Lopes, 1999), demonstrando ser um adubo equilibrado e de boa qualidade. O tratamento cama sobreposta (2X) teve um aumento muito grande nos teores de P e K, conforme poderá ser visto a seguir, além de ter aumentado os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, conforme pode ser visto nos laudos do solo nas Tabelas 38 e 39 em anexo. Holanda *et al.* (1984) obtiveram resultados semelhantes, tendo aumento dos teores de K, Ca²⁺, Mg²⁺ e P com o aumento da dose de esterco aplicada, além da diminuição do Al.

Esse aumento dos teores de P no solo em alguns tratamentos seria preocupante se o manejo adotado no solo não fosse o sistema de plantio direto. Conforme citado no item 2.2, o problema do excesso de fósforo se dá quando técnicas conservacionistas não são adotadas, e por erosão, o material chega aos corpos d'água podendo desencadear a eutrofização. Segundo Trebien (2002), Raij (1981), Mello (1983) e Tomé Jr. (1997), o P fica fortemente ligado no solo formando quelatos, possuindo baixa mobilidade ao longo do perfil, sendo mínimas as perdas por lixiviação. Raij (1981) destaca ainda que o P tem tendência a formar diversos compostos de solubilidade muito baixa com Fe, Al e Ca, entre outros elementos, podendo formar precipitados ou ficar adsorvido na superfície das partículas de argila, óxidos de ferro e alumínio, ou carbonato de cálcio em solos calcários. A natureza dessas ligações é covalente, ou seja, de alta energia. Sendo assim, a absorção de fosfatos no solo dá-se, então, por um mecanismo que não tem relação com a troca iônica. Um desses mecanismos foi mais bem abordado no item 2.6.1.1.

4.4.2.5. Teor de Potássio (K)

De acordo com a Tabela 4 que apresenta o resumo da Análise de Variância das variáveis avaliadas, a variável K do solo não apresentou diferença significativa nos vários tratamentos no final do primeiro cultivo de milho na profundidade de 15-30 cm (K_2_1), sendo que as diferenças (quando encontradas), se devem a outros fatores que não os tratamentos. Porém, de acordo com a Análise de Variância das variáveis K_1_1 (potássio no

final do primeiro cultivo de milho na profundidade de 0-15 cm), K_1_2 (potássio no final do primeiro cultivo de aveia na profundidade de 0-15 cm), K_2_2 (potássio no final do primeiro cultivo de aveia na profundidade de 15-30 cm), K_1_3 (potássio no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 0-15 cm) e K_2_3 (potássio no final do segundo cultivo de milho na profundidade de 15-30 cm) – (Tabelas 54, 55, 56, 57 e 58, respectivamente, em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, sendo que 82,27%, 60,41%, 66,39%, 86,53% e 85,63% da variabilidade total, respectivamente, foi explicada pelo modelo. Na Tabela 20 são apresentados os teores de K na profundidade de 0-15 cm referentes ao início do experimento, e término de cada ciclo produtivo.

Tabela 20: Teor de potássio (ppm) na profundidade de 0-15 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1x) e duas vezes (2x) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	147,75	161,25 ± 18,79	152,54 ± 21,05	232,14 ± 27,18
Testemunha	147,75	155,50 ± 20,90 c	111,25 ± 17,62 b	180,67 ± 35,98 b
Adubação Química 1X	147,75	75,75 ± 6,22 d	97,00 ± 18,86 b	139,33 ± 38,78 b
Esterco Líquido 1X	147,75	148,75 ± 31,96 cd	174,50 ± 61,40 b	166,00 ± 5,72 b
Cama Sobreposta 1X	147,75	236,25 ± 29,26 b	195,00 ± 24,50 b	403,00 ± 55,81 a
Adubação Química 2X	147,75	93,25 ± 8,58 cd	70,75 ± 7,59 b	116,00 ± 13,37 b
Esterco Líquido 2X	147,75	87,50 ± 18,98 cd	94,50 ± 20,94 b	152,67 ± 16,66 b
Cama Sobreposta 2X	147,75	331,75 ± 45,04 a	324,75 ± 82,41 a	467,33 ± 12,66 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

De acordo com os resultados, verifica-se a formação de quatro grupos no final do primeiro cultivo de milho. O destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (2X), formando o primeiro grupo. O segundo grupo foi formado pelo tratamento cama sobreposta (1X), o terceiro grupo foi formado pelos tratamentos testemunha, esterco líquido (1X), esterco líquido (2X) e adubação química (2X). Esses três últimos, por sua vez, não diferiram significativamente do tratamento adubação química (1X), que apresentou os mais baixos teores. No final do primeiro cultivo de aveia, não houve diferenças estatisticamente significantes observadas por consequência dos tratamentos, sendo as diferenças observadas foram devido a outros fatores. Mesmo assim, houve a formação de dois grupos, e o tratamento cama sobreposta (2X) se destacou perante os demais. Os outros tratamentos formaram o outro

grupo, que não apresentaram diferenças significativas entre si. Já no final do segundo cultivo de milho, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo formados dois grupos distintos. Um deles foi formado pelos tratamentos com cama sobreposta (2X) e cama sobreposta (1X), que não apresentaram diferenças significativas entre si, o mesmo ocorrendo com o outro grupo, que foi formado pelos demais tratamentos. Em todos os tratamentos foi observado aumento nos teores de K, exceção ao tratamento esterco líquido (1X) que diminuiu o teor em relação teor no final do primeiro ciclo de aveia. Um grande aumento no teor de K foi observado nos tratamentos com cama sobreposta, indo ao encontro dos resultados obtidos por Holanda *et al.* (1984). O comportamento do K no solo na profundidade de 15-30 cm foi semelhante ao observado na profundidade de 0-15 cm, conforme pode ser observado na Tabela 21.

Tabela 21: Teor de potássio (ppm) na profundidade de 15-30 cm ao longo do período experimental em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1x) e duas vezes (2x) a necessidade da cultura.

Tratamento	7/01/03 Média*	27/05/03 - Média ± erro padrão	25/10/03 - Média ± erro padrão	12/05/04 - Média ± erro padrão
Experimento	138,5	117,21 ± 10,71	140,54 ± 17,87	172,24 ± 23,91
Testemunha	138,5	122,50 ± 10,53 a	103,00 ± 17,79 bc	120,67 ± 23,33 c
Adubação Química 1X	138,5	77,25 ± 5,88 a	88,50 ± 18,06 bc	104,67 ± 29,69 c
Esterco Líquido 1X	138,5	121,75 ± 29,55 a	180,25 ± 72,23 b	134,67 ± 12,12 c
Cama Sobreposta 1X	138,5	150,00 ± 8,12 a	169,50 ± 6,29 b	230,00 ± 51,23 b
Adubação Química 2X	138,5	138,75 ± 48,63 a	67,50 ± 4,50 c	84,00 ± 1,63 c
Esterco Líquido 2X	138,5	67,50 ± 11,78 a	83,50 ± 16,52 bc	104,67 ± 14,88 c
Cama Sobreposta 2X	138,5	142,75 ± 39,23 a	291,50 ± 36,04 a	427,00 ± 43,13 a

*média das análises compostas dos blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

De acordo com os resultados, no final do primeiro cultivo de milho, os tratamentos não apresentaram diferenças estatisticamente significantes. Já no final do primeiro cultivo de aveia, os tratamentos tiveram diferença significativa, havendo a formação de três grupos. O destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (2X), apresentando os maiores teores. O segundo grupo foi formado pelos tratamentos esterco líquido (1X), cama sobreposta (1X), testemunha, adubação química (1X) e esterco líquido (2X). Esses três últimos, por sua vez, não diferiram significativamente do tratamento adubação química (2X), que apresentou os menores teores. É de difícil compreensão de como nos tratamentos (tanto químico como

esterco líquido) com a dosagem recomendada estão apresentando os maiores teores de K que a dosagem com o dobro da recomendação. Uma das hipóteses para isso é que esse excesso de nutrientes aplicado não está sendo aproveitado nem pelas plantas, nem pelos microrganismos, podendo estar sendo lixiviado, haja vista que o K apresenta uma certa mobilidade ao longo do perfil do solo (Mello, 1983; Tomé Jr., 1997).

No final do segundo cultivo de milho, os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si, e formaram-se três grupos distintos. O destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (2X). O segundo grupo foi formado pelo tratamento cama sobreposta (1X). O terceiro grupo foi formado pelos demais tratamentos, que não apresentaram diferenças significativas entre si.

De acordo com os resultados, os níveis de K no solo em ambas as profundidades são considerados altos para o Sul do Brasil (Comissão de Fertilidade do Solo do RS e SC, 1994). O grande problema do excesso de K no solo se deve ao fato do mesmo poder deslocar cátions como o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e até o Al^{3+} para a solução do solo (Meurer *et al.* 2004), podendo agravar a deficiência de Mg^{2+} no solo (Raij, 1981; Tomé Jr., 1997). Toda essa preocupação com o Mg^{2+} se dá pela sua importância na fisiologia vegetal, sendo componente da molécula de clorofila (Marschner, 1995). Tomé Jr. (1997), recomenda que a calagem deve ser o primeiro passo para uma recomendação equilibrada, e que os teores adequados de Mg^{2+} no solo devem ser maiores que $0,8 \text{ cmol/dm}^3$. Raij (1981), alerta que não se deve deixar o teor de K ultrapassar o de Mg no solo (ambos em cmol/dm^3). O mesmo autor recomenda manter níveis mínimos de Ca^{2+} no solo (1-2 meq/100g) para evitar perdas de K por lixiviação e reduzir o consumo de luxúria de K.

Conforme pode ser verificado nos laudos de solo do final do segundo cultivo de milho (Anexo 11), os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo também aumentaram, e não está havendo desbalanço na relação K:Mg. Holanda *et al.* (1984), observaram aumento dos teores de K, Ca + Mg e P no solo pelo aumento da dose de esterco.

4.4.3. Produtividade

4.4.3.1. Primeiro cultivo de milho

De acordo com a Análise de Variância das variáveis Produtividade_{1_1} e MS_{1_1} (produção de grãos e matéria seca do primeiro cultivo de milho) (Tabelas 59 e 60 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e respectivamente 63,12% e 50,32% da variabilidade total é explicada pelos modelos. Na Tabela 22 são apresentados os valores de produção de grãos e de matéria seca do primeiro cultivo de milho.

Tabela 22: Produção de grãos (Grãos) - (Kg.ha⁻¹) e de matéria seca (MS) - (Kg.ha⁻¹) do primeiro cultivo de milho em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura. Cultivar Agroeste 3466.

Tratamento	Grãos (Kg.ha⁻¹) Média ± erro padrão	MS (Kg.ha⁻¹) Média ± erro padrão
Experimento	4223,40 ± 166,60	17672,0 ± 584,30
Testemunha	3535,20 ± 453,00 c	16158,5 ± 647,64 bc
Adubação Química 1X	3966,00 ± 453,00 bc	14954,1 ± 1237,24 c
Esterco Líquido 1X	4938,60 ± 359,40 a	16254,2 ± 344,17 bc
Cama Sobreposta 1X	4915,80 ± 269,40 ab	20484,6 ± 1086,21 a
Adubação Química 2X	4151,40 ± 300,00 abc	16565,6 ± 985,92 abc
Esterco Líquido 2X	3795,00 ± 367,80 c	19181,2 ± 2183,73 ab
Cama Sobreposta 2X	4260,00 ± 564,60 abc	20105,5 ± 1686,86 ab

Média de quatro blocos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

De acordo com os dados apresentados, o tratamento que resultou em melhor produtividade de grãos foi o esterco líquido (1X), seguido pelos tratamentos cama sobreposta (1X), cama sobreposta (2X) e adubação química (2X). Um outro grupo foi formado pelo tratamento adubação química (1X), que diferiu apenas do tratamento esterco líquido (1X), e, por último, ficaram os tratamentos esterco líquido (2X) e a testemunha. Ressalta-se aqui a qualidade do esterco líquido utilizado, que aparentemente supriu as necessidades nutricionais das plantas no tratamento esterco líquido (1X). O tratamento cama sobreposta (1X) ficou logo atrás, mostrando-se também um bom material para ser utilizado como adubo orgânico. Este tratamento, por sua vez, libera gradativamente os nutrientes para as plantas, o que diminui os riscos de perdas de nutrientes via lixiviação ou volatilização. Os tratamentos cama sobreposta

(2X) e adubação química (2X) não apresentaram diferença significativa com seus respectivos tratamentos com a dosagem um, evidenciando que o dobro da dosagem não representa maiores produtividades de grãos, tendo como consequência apenas o aumento dos custos de produção e dos riscos de poluição. O mesmo pode-se dizer do tratamento esterco líquido (2X), que foi semelhante a testemunha, ou seja, nesse momento, se não fosse feita nenhuma adubação, a produtividade da testemunha teria sido a mesma caso fosse aplicado esterco líquido com o dobro da necessidade da cultura. Esse excesso de nutrientes pode estar causando toxidez tanto para as plantas e não representando aumento do nitrogênio da biomassa microbiana, haja vista que essa variável não apresentou diferença significativa nesse mesmo período. Segundo Malavolta (1976), o excesso de adubação nitrogenada pode reduzir a frutificação das culturas.

Em termos de produtividade de matéria seca, o destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (1X), sendo seguido pelos tratamentos cama sobreposta (2X), adubação química (2X) e esterco líquido (2X). Na seqüência ficaram os tratamentos esterco líquido (1X) e testemunha, e em último lugar, o tratamento adubação química (1X). Os únicos tratamentos que apresentaram diferença significativa foram a cama sobreposta (1X) e adubação química (1X), sendo que os demais tratamentos não diferiram significativamente. Em se tratando de produtividade, esses dados são suficientes para comprovar que adubações com o dobro da necessidade da cultura não resultam em maiores rendimentos, muito pelo contrário, pelo que se pôde notar, apenas o tratamento adubação química (2X) foi superior à adubação química (1X), o que possivelmente se deve ao fato de ocorrerem perdas por volatilização ou percolação da uréia no solo, e a planta não conseguir extrair o suficiente para o seu desenvolvimento. Cabe ressaltar que em virtude dos laudos de solo mostrando sua composição química no início do período experimental (Tabelas 27, 28, 29 e 30 em anexo), optou-se apenas pelo fornecimento de N nos tratamentos com adubação química, o que pode ter ocasionado essa menor produtividade de grãos e matéria seca.

Apesar das diferenças em produtividade de grãos e matéria seca, a produtividade média de grãos alcançada nos tratamentos ficou aquém da média alcançada pela cultivar. Segundo Vieira *et al.* (2003), essa mesma cultivar produziu nas safras de 99/00, 00/01 e 01/02, respectivamente, médias de 7908 Kg.ha⁻¹, 7029 Kg.ha⁻¹, 6268 Kg.ha⁻¹, com média de 7068 Kg.ha⁻¹ nas três safras. Em termos médios, a produtividade alcançada em Braço do Norte pelos tratamentos esterco líquido (1X) e cama sobreposta (1X) foi, respectivamente 30,12% e 39,73% inferiores a média obtida pela cultivar. Em relação à produtividade média

de milho no Estado na safra de 2002/2003 (5032 Kg.ha^{-1}) (Brugnago Neto, 2004), os tratamentos esterco líquido (1X) e cama sobreposta (1X) teriam produção respectivamente 1,89% e 2,36% inferiores à média estadual, ou seja, praticamente inexistiu diferença. Há de se ressaltar que a semeadura do primeiro cultivo de milho ocorreu muito tardiamente (21/1/2003), praticamente fora do período recomendado, sendo considerado como safrinha. Na figura 3 é apresentado um gráfico mostrando a produtividade alcançada pelos melhores tratamentos, a média do experimento e a média da variedade e a média de produtividade estadual de milho na safra 2002/03.

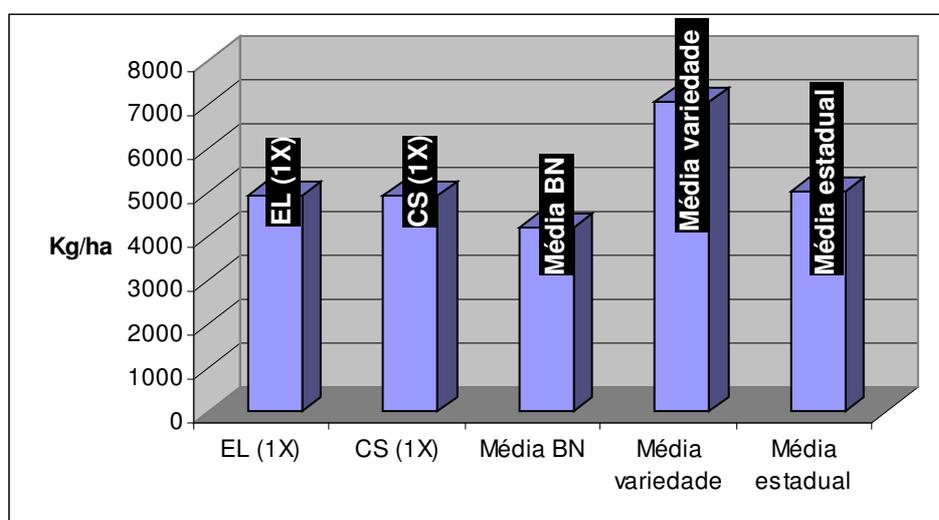


Figura 3: Produtividade (Kg.ha^{-1}) dos tratamentos que apresentaram os melhores resultados (esterco líquido (1X) e cama sobreposta (2X), média alcançada pelo experimento, e produtividade média da variedade utilizada (Agroeste 3466) e a media estadual de produtividade de milho na safra 2002/03.

4.4.3.2. Segundo cultivo de milho

De acordo com a Análise de Variância das variáveis Produtividade_{1_3} e MS_{1_3} (produção de grãos e matéria seca do segundo cultivo de milho) (Tabelas 61 e 62 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e respectivamente 77,12% e 72,43% da variabilidade total é explicada pelo modelo. Na Tabela 23 são apresentados os valores de produção de grãos e de matéria seca do segundo cultivo de milho. Segundo os dados apresentados, não houve diferença significativa entre os tratamentos em termos de produtividade de grãos, a não ser a testemunha que diferiu significativamente dos demais

tratamentos. Em termos de matéria seca, o destaque ficou por conta do tratamento cama sobreposta (1X), sendo seguido pelos tratamentos cama sobreposta (2X), esterco líquido (1X), adubação química (2X) e adubação química (1X). Esses últimos por sua vez não diferiram significativamente do tratamento esterco líquido (2X), que foi superior apenas à testemunha. Mesmo sem apresentar diferença significativa em termos de produtividade, a maior produtividade média tanto de grãos quanto de matéria seca ficou por conta do tratamento cama sobreposta (1X). Destaca-se também a queda de produtividade em relação ao primeiro cultivo de milho dos tratamentos esterco líquido (2X) e esterco líquido (1X). O laudo de composição do dejetos líquido usado para fins de referência foi o mesmo para todos os cultivos, e o que se notou foi que a composição dos dejetos variou ao longo do período em função do manejo adotado pelo produtor para o tratamento dos dejetos. Recomenda-se assim realizar na continuidade do experimento o uso de um densímetro todas as vezes que forem feitas aplicações de dejetos líquidos, para com base em tabelas de referência, fazer uma melhor aproximação da quantidade de dejetos a ser aplicada para suprir as necessidades das culturas em N.

Tabela 23: Produção de grãos (Kg.ha^{-1}) e de matéria seca (Kg.ha^{-1}) do segundo cultivo de milho em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura. Cultivar Agrocerees 5011.

Tratamento	Grãos (Kg.ha^{-1}) Média \pm erro padrão	MS (Kg.ha^{-1}) Média \pm erro padrão
Experimento	3708,6 \pm 286,8	22023,0 \pm 1318,81
Testemunha	760,8 \pm 157,2 b	10518,0 \pm 1446,98 c
Adubação Química 1X	4626,6 \pm 365,4 a	22663,7 \pm 3018,98 ab
Esterco Líquido 1X	3435,6 \pm 652,2 a	22906,1 \pm 2329,38 ab
Cama Sobreposta 1X	4711,2 \pm 276,6 a	28974,8 \pm 2992,23 a
Adubação Química 2X	4267,8 \pm 538,8 a	22784,7 \pm 1811,70 ab
Esterco Líquido 2X	3567,0 \pm 371,4 a	21761,3 \pm 4002,59 b
Cama Sobreposta 2X	4590,0 \pm 431,4 a	24552,8 \pm 1306,36 ab

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T ($p < 0,05$).

Em termos de produtividade média de grãos, os resultados ficaram aquém da produtividade média alcançada pela cultivar. Segundo Vieira *et al.* (2003), a média alcançada por esta mesma cultivar nas safras de 99/00, 00/01 e 01/02 foi, respectivamente, 8216 Kg.ha^{-1} , 7555 Kg.ha^{-1} e 6855 Kg.ha^{-1} , com média de 7542 Kg.ha^{-1} nas três safras avaliadas. Em termos médios, a produtividade alcançada em Braço do Norte pelos tratamentos cama sobreposta

(1X) e adubação química (1X) foi, respectivamente, 37,54% e 38,65% inferiores a média obtida pela cultivar. A época em que foi feita a semeadura (10/12/2003) ficou dentro do período recomendado para a semeadura do milho, mas por se tratar de uma cultivar de ciclo precoce, o seu ciclo de produção foi encurtado, ou seja, a planta logo atingiu a soma térmica necessária para o seu florescimento sem ter o tamanho ideal, resultando em espigas com tamanho reduzido, o que ocasionou perdas em termos de produtividade. Aliado a isso, a colheita foi realizada muito tardiamente (12/5/2004) e em um período chuvoso, com as plantas apresentando excesso de umidade além de que houve uma ocorrência muito grande de tombamento de plantas, o que aumentou ainda mais as perdas. A colheita deveria ter sido feita pelo menos duas ou três semanas antes, mas não ocorreu em virtude de problemas operacionais.

Apesar dessas perdas, a produtividade média alcançada no experimento (3708,6 Kg.ha⁻¹) ficou bem próximo à produtividade média de milho no Estado na safra 2003/2004 (4006 Kg.ha⁻¹) (Brugnago Neto, 2004). Se for levado em conta a produtividade média alcançada pelos tratamentos cama sobreposta (1X) (4711,2 Kg.ha⁻¹) e adubação química (1X) (4626,6 Kg.ha⁻¹), esses foram, respectivamente, 17,6% e 15,49% superiores à média estadual. Na figura 4 é apresentado um gráfico mostrando a produtividade alcançada pelos melhores tratamentos, a média do experimento e a média da variedade e a média de produtividade estadual de milho na safra 2003/04.

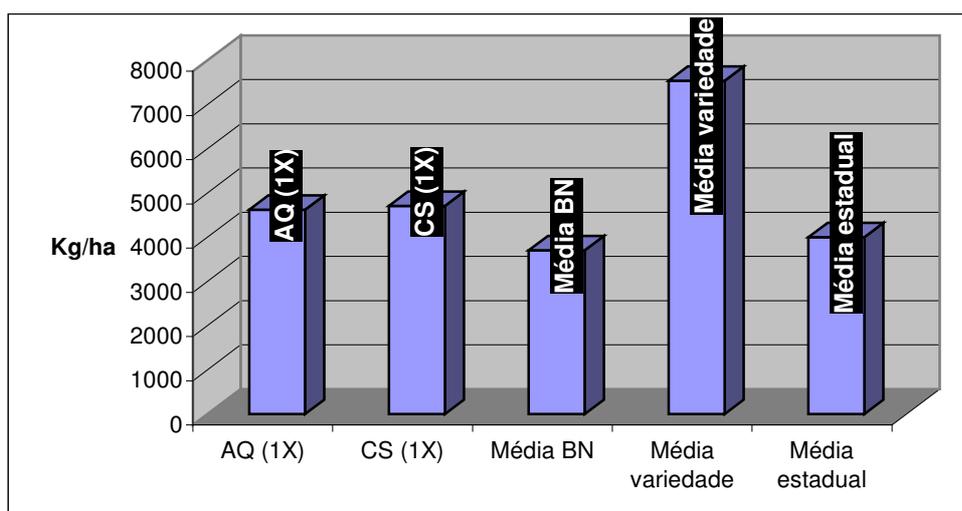


Figura 4: Produtividade (Kg.ha⁻¹) dos tratamentos que apresentaram os melhores resultados (esterco líquido (1X) e cama sobreposta (2X), média alcançada pelo experimento, e produtividade média da variedade utilizada (Agrocerec 5011) e a media estadual de produtividade de milho na safra 2003/04.

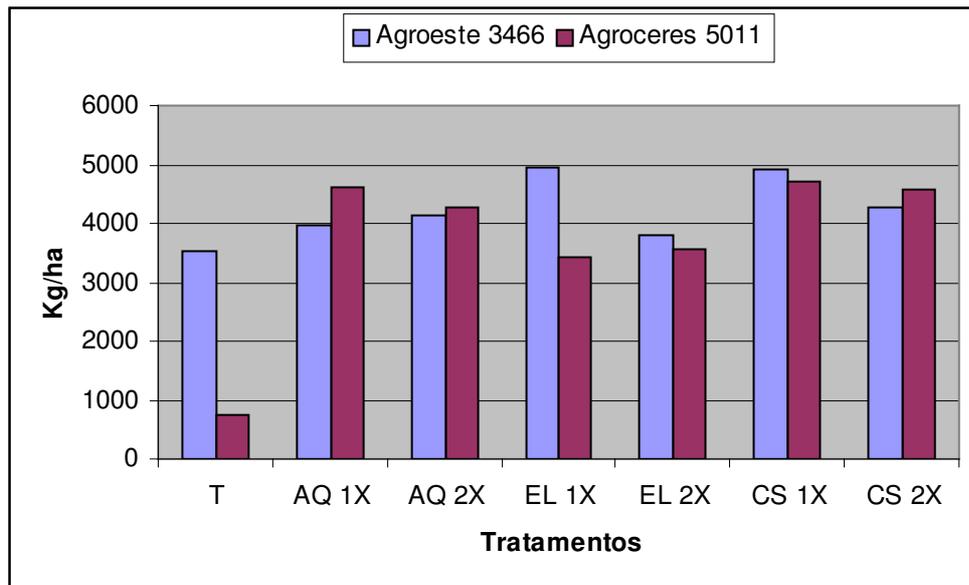


Figura 5: Produtividade de grãos (Kg/ha) dos dois cultivos de milho em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Os dados apresentados na figura 5 mostram as diferenças em termos de produtividade de grãos alcançada pelas duas variedades de milho submetidas aos diversos tratamentos. Nota-se uma queda de produtividade nos tratamentos com esterco líquido, devendo-se possivelmente à variação na composição do esterco, conforme citado anteriormente. Os tratamentos com adubação de síntese química no segundo cultivo foram melhores uma vez que foi usado, dessa vez, adubação NPK (4-14-8), enquanto que no primeiro ciclo de cultivo foi feita apenas adubação nitrogenada. A testemunha teve uma queda acentuada de produtividade, evidenciando a diminuição de nutrientes no solo pela falta de adubação. Os tratamentos com cama sobreposta tiveram produtividade praticamente igual nas duas safras avaliadas.

4.4.3.3. Primeiro cultivo de aveia

De acordo com a Análise de Variância das variáveis MV_1_2 e MS_1_2 (matéria verde e matéria seca do primeiro cultivo de aveia) (Tabelas 63 e 64 em anexo), os tratamentos apresentaram diferença significativa, e respectivamente 70,48% e 67,44% da variabilidade total foi explicada pelos modelos. Na Tabela 24 são apresentados os valores de matéria verde e de matéria seca do primeiro cultivo de aveia.

Tabela 24: Rendimento médio de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) de aveia (IAPAR 61) para cobertura de solo em um Argissolo Vermelho Amarelo típico com diferentes formas de adubação nitrogenada, com uma (1X) e duas (2X) vezes a necessidade da cultura.

Tratamento	MV (Kg.ha⁻¹) Média ± Erro Padrão	MS (Kg.ha⁻¹) Média ± Erro Padrão
Experimento	52736,5 ± 1676,87	11399,5 ± 464,04
Testemunha	40492,3 ± 1186,54 d	8943,2 ± 630,42 c
Adubação Química 1X	48547,5 ± 3147,88 cd	11341,2 ± 1151,82 bc
Adubação Química 2X	48472,0 ± 3470,47 cd	10147,6 ± 718,81 c
Esterco Líquido 1X	53395,7 ± 3049,03 bc	10698,4 ± 685,35 c
Esterco Líquido 2X	60830,9 ± 2609,40 ab	13291,8 ± 1135,96 ab
Cama Sobreposta 1X	62550,7 ± 4210,15 a	14940,8 ± 979,45 a
Cama Sobreposta 2X	54866,2 ± 1571,66 abc	10433,8 ± 471,80 c

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste T (p<0,05).

De acordo com os resultados apresentados, para a variável matéria verde formaram-se quatro grupos, e para a variável matéria seca, três. Na produção de matéria verde, destacou-se o tratamento com cama sobreposta (1X), seguido pelo tratamento com esterco líquido (2X) e, logo em seguida, o tratamento com cama sobreposta (2X). O tratamento esterco líquido (2X) não apresentou diferença significativa para com o tratamento com esterco líquido (1X). Esse último por sua vez, não diferiu significativamente dos tratamentos com adubação química (1X) e adubação química (2X). A testemunha formou o quarto grupo, que não apresentou diferença significativa para os tratamentos adubação química (1X) e adubação química (2X). Na produção de matéria seca, novamente o tratamento cama sobreposta (1X) se destacou perante os demais, sendo seguido pelo tratamento esterco líquido (2X). Esse, por sua vez, não apresentou diferença significativa para com o tratamento adubação química (1X), que da mesma forma não diferiu significativamente dos tratamentos esterco líquido (1X), cama sobreposta (2X), adubação química (2X) e testemunha.

Em experimento realizado no litoral catarinense na safra de 2000, porém em outras condições edáficas (Neossolo Quartzarênico) e somente com adubação de síntese química, Alves *et al.* (2001) obtiveram média de 26976 Kg.ha⁻¹ e 6481 Kg.ha⁻¹ de matéria verde e matéria seca, respectivamente, com a mesma variedade. Na safra seguinte, Alves *et al.* (2002b) obtiveram rendimentos médios de 19112 Kg.ha⁻¹ e 4775 Kg.ha⁻¹ de matéria verde e matéria seca, respectivamente. Em uma análise conjunta, Scheffer-Basso *et al.* (2001) obtiveram rendimento médio de 13652 Kg.ha⁻¹ (matéria seca) com a mesma variedade em uma safra, e rendimento médio de 8259 Kg.ha⁻¹ (matéria seca) em três safras consecutivas. Pelo seu ótimo desempenho, Alves *et al.* (2002a), recomendam a variedade IAPAR 61 como forrageira para a região litorânea de Santa Catarina. Quando comparados com os tratamentos de adubação química AQ 1 e AQ 2, onde obteve-se 48548 Kg.ha⁻¹ (matéria verde) e 11341 Kg.ha⁻¹ (matéria seca) e 48492 Kg.ha⁻¹ (matéria verde) e 10148 Kg.ha⁻¹ (matéria seca), respectivamente, os resultados obtidos em Braço do Norte foram 80% e 66% superiores em termos de matéria verde e matéria seca aos resultados obtidos por Alves *et al.* (2001), respectivamente, 22% inferior em termos de matéria seca obtidos por Scheffer-Basso *et al.* (2001) em uma safra, mas foram 30% superior em termos de matéria seca obtidos na média de 3 safras, e 153,82% superiores em termos de matéria verde, e 125,01% superiores em termos de matéria seca aos resultados obtidos por Alves *et al.* (2002b). Segundo Alves *et al.* (2002a), a baixa produção de matéria seca obtida no litoral catarinense na safra de 2001 se deu em função das altas temperaturas ocorridas durante o ciclo das plantas, ocasionando maior incidência de manchas foliares, ferrugem da folha e do colmo, pulgão e maior acamamento das plantas.

Os maiores valores de produção de matéria verde no tratamento cama sobreposta (1X) se dão em função do mesmo apresentar uma liberação mais lenta de seus nutrientes ao longo do tempo, ocorrendo uma melhor absorção e aproveitamento por parte das plantas, enquanto que os valores do tratamento esterco líquido (2X) se dão em função da variação da composição do esterco líquido, conforme já citado anteriormente. Por isso, o tratamento com esterco líquido com o dobro da necessidade de N da cultura foi melhor que aquele com uma vez a necessidade da cultura. Os tratamentos com adubação de síntese química (1X e 2X) não apresentaram diferenças significativas entre si e, da mesma forma, não apresentaram diferença significativa para com a testemunha.

No presente estudo o objetivo foi em cultivar aveia para a cobertura do solo; assim, o corte da aveia foi feito no final do seu ciclo produtivo (25/10/2003), aproximadamente 150 dias após a emergência das plantas. Se for levado em conta um período de aproximadamente 35 dias, seria possível realizar 4 cortes, ou seja, o material poderia ter sido pastoreado por 4 vezes durante este período, e levando-se em conta também uma produtividade média de matéria verde e matéria seca de 15638 Kg.ha⁻¹ e 3735 Kg.ha⁻¹ para o tratamento cama sobreposta (1X), e 15208 Kg.ha⁻¹ e 3323 Kg.ha⁻¹ para o tratamento esterco líquido (2X), respectivamente, e a necessidade média de consumo diário de matéria seca de uma vaca leiteira de 3,5% do seu peso vivo, seria possível manter aproximadamente 6,1 unidade animal.ha⁻¹ com o tratamento cama sobreposta (1X) e 5,4 unidade animal.ha⁻¹ com o tratamento esterco líquido (2X). Como no município de Braço do Norte as atividades se complementam (suinocultura/bovinocultura leiteira), uma correta adubação e um manejo adequado dos animais pode trazer resultados expressivos e importantes. Outra conclusão que pode ser tirada dos resultados é na superioridade da adubação orgânica em relação à adubação química. Os dejetos de suínos sejam eles na forma líquida ou na forma de cama, são um recurso interno das propriedades rurais, e desde que usados de forma adequada, podem melhorar os atributos químicos do solo, garantir boas produtividades das culturas, além de reduzir os custos de produção, resultando em maior renda para o agricultor.

5. CONCLUSÃO

Os tratamentos com cama sobreposta apresentaram os melhores desempenhos de acordo com os resultados da análise de variância das duas variáveis canônicas geradas. Devido a sua composição, seus nutrientes são gradativamente liberados para serem absorvidos pelas plantas, reduzindo consideravelmente as perdas por lixiviação e volatilização e, conseqüentemente, reduzindo os riscos de poluição ambiental. Proporcionam também aumentos dos teores de matéria orgânica no solo, influenciando dessa forma a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Os tratamentos com adubação química foram superiores aos tratamentos com esterco líquido. Isso ocorreu devido ao manejo dos dejetos adotado pelo produtor, tendo reflexos diretos na sua composição, e por conseqüência, apresentaram desempenho abaixo do esperado. Outra conclusão tirada dos resultados dessas variáveis é com relação ao desempenho dos tratamentos com o dobro da recomendação de N para as culturas. Os resultados mostraram que os tratamentos com a recomendação exata salvo algumas exceções, obtiveram desempenhos superiores. As aplicações em excesso só fazem aumentar os custos de produção, os riscos de poluição ambiental, além de não proporcionarem aumento de produtividade das culturas. Um exemplo é a atividade do carbono da biomassa microbiana no final do primeiro cultivo de milho, que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos esterco líquido (1X) e adubação química (2X). Esses dados indicam que boa parte do N aplicado na forma de adubo de síntese química pode estar sendo perdido por volatilização ou por lixiviação, sendo pouco realmente aproveitado pela microbiota do solo e pelas plantas. Isso traz riscos de poluição, além de representar um custo expressivo, haja vista que o valor do N mineral é ajustado de acordo com o preço do dólar, e o esterco líquido é um recurso interno da propriedade, tendo custos apenas para a sua aplicação no solo.

Quando comparados os dados da bibliografia, na qual a atividade do carbono da biomassa microbiana pode representar de 1 a 5% do C orgânico total do solo (Anderson & Domsch, 1989), os resultados obtidos em Braço do Norte foram quase oito vezes inferiores aos resultados obtidos por Vargas & Scholles (2000) com a mesma sucessão de culturas, porém em um Podzólico Vermelho Escuro. Segundo Anderson & Domsch (1989), a relação C_{mic}/C_{org} pode variar de 0,27 a 7%, sendo que esse amplo espectro é devido às diferenças de

tipo de manejo do solo, de épocas de amostragem e de métodos analíticos utilizados, o que explica em parte os resultados obtidos.

Para a variável nitrogênio da biomassa microbiana, inicialmente conclui-se que quanto maior o tempo entre a coleta de solo e as determinações, menores serão os valores e maior a variabilidade encontrada nos resultados. Com relação aos resultados do final do primeiro cultivo de aveia, os tratamentos orgânicos com a dosagem recomendada apresentaram atividade do nitrogênio da biomassa microbiana semelhantes ao tratamento químico e ao tratamento com esterco líquido com o dobro da necessidade. Mais uma evidência de que boa parte dos nutrientes aplicados em excesso não estão sendo imobilizados pela biomassa microbiana, podendo estar sendo perdidos ou por volatilização ou por lixiviação. A maior atividade do nitrogênio da biomassa microbiana no tratamento cama sobreposta (2X) no final do primeiro cultivo de aveia demonstra que a imobilização pelos microrganismos evita as perdas de nutrientes, isso em função do teor de matéria orgânica do material aplicado, que serve de substrato para o crescimento microbiano.

Com os resultados dos dois atributos microbiológicos avaliados, pode-se concluir que as adubações com o dobro da necessidade da cultura em geral não resultam em maior atividade microbiológica do solo, salvo algumas exceções. Outra conclusão que pode ser tirada é com relação a atividade biológica em função da adição de adubos de síntese química. Em boa parte das análises, salvo algumas exceções, a atividade biológica proporcionada por esses adubos foi inferior a dos adubos orgânicos. Tendo em vista que os adubos orgânicos são um recurso interno da propriedade, e desde que bem manejados, podem aumentar tanto a atividade biológica quanto a fertilidade do solo, a aquisição de adubos de síntese química só aumentaria os custos de produção além de terem efeitos negativos sobre alguns atributos químicos do solo.

Em se tratando dos atributos químicos do solo, os melhores resultados foram observados nos tratamentos com cama sobreposta. No final do período experimental, aumentaram os teores de matéria orgânica do solo, reduzindo dessa forma a disponibilidade de Al em solução e, conseqüentemente, proporcionaram maiores valores de pH, contribuindo para a participação da matéria orgânica na CTC do solo. Aumentaram também os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio. Essa melhora teve reflexos diretos na atividade microbiana, que foi maior nesses tratamentos, e também na produtividade das culturas. Os tratamentos com adubação de síntese química apresentaram teores de Al superiores aos teores do início do experimento, sendo que os teores aumentaram com o aumento da dosagem

utilizada, resultando nas maiores reduções do pH observadas. Além disso, apresentaram no final do experimento os menores teores de matéria orgânica e os menores teores de fósforo. Esses fatores em conjunto podem explicar a menor atividade microbiana desses tratamentos em comparação com os tratamentos com cama sobreposta. Enquanto os tratamentos com esterco líquido apresentaram resultados abaixo do esperado devido ao manejo dos dejetos, conforme já foi comentado. Recomenda-se, portanto, o uso de densímetros e tabelas de referência todas as vezes que for feito o uso de esterco líquido como adubo para calcular a real quantidade a ser aplicada.

Na produtividade das culturas, o tratamento com esterco líquido na dosagem recomendada apresentou o melhor desempenho no final do primeiro cultivo de milho, sendo seguido pelos tratamentos com cama sobreposta e pelo tratamento com adubação química com o dobro da recomendação. Com esses resultados, conclui-se que no caso da adubação com esterco líquido com o dobro da necessidade, esse excesso de nutrientes pode estar causando toxidez para os microrganismos e para as plantas, e no caso do tratamento com adubação química, na aplicação em dosagem única, ocorrem grandes perdas. Recomenda-se, portanto, a aplicação parcelada tanto do esterco líquido quanto do adubo químico para evitarem essas perdas e reduzir os riscos de poluição ambiental. A produtividade obtida ficou abaixo da produtividade da variedade utilizada, e abaixo da produtividade média obtida no Estado na mesma safra, mas cabe ressaltar que o milho foi plantado muito tardiamente. No segundo cultivo de milho, apesar dos tratamentos não apresentarem diferença significativa entre si, houve uma tendência a maior produtividade dos tratamentos com cama sobreposta. Os melhores resultados obtidos pelos tratamentos químicos podem se dar pelo uso de adubo NPK (já que no primeiro cultivo só foi feito adubação com N), e pelo parcelamento da aplicação do adubo. Os tratamentos com esterco líquido apresentaram a menor produtividade em decorrência da composição dos dejetos. A produtividade média poderia ter sido superior se fosse utilizada uma variedade recomendada para a época de plantio.

A produtividade alcançada pela cultura da aveia foi surpreendente. Primeiro pelo fato da semeadura ter sido feita a lanço na superfície sem incorporação, quebrando o mito de que as sementes devem ser incorporadas ao solo por gradagem. Segundo, que alguns tratamentos, como foi o caso da cama sobreposta, apresentou produtividade de matéria verde e matéria seca superiores aos verificados na literatura. A bovinocultura de leite é outra atividade muito importante no município de Braço do Norte, e, conseqüentemente, a sucessão milho-aveia é amplamente utilizada pelos agricultores. Um adequado manejo do solo, dos dejetos e da

pastagem pode trazer resultados expressivos, podendo aumentar consideravelmente a produtividade de leite, reduzir os custos de produção e, conseqüentemente, aumentar a renda dos agricultores.

Por fim, o Carbono da Biomassa Microbiana apresentou resultados muito baixos, não tendo um bom potencial como indicador de qualidade do solo. Já o Nitrogênio da Biomassa Microbiana avaliado nesse trabalho mostrou bom potencial como indicador de qualidade do solo a partir do uso dos dejetos de suínos como adubo orgânico, apresentando boa relação com a produtividade das culturas e com os atributos químicos do solo, comprovando a hipótese testada. Porém, há a necessidade de continuidade das pesquisas por um maior período de tempo para poder validar o que foi proposto como indicador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P., **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. 1995. US Edition published by ACADEMIC PRESS INC. San Diego, CA 92101. 576 p.

ALVES, A. C.; FANTINI, A. C.; RATTI, A. A. Desempenho de linhagens e cultivares de aveia forrageira no litoral do estado de Santa Catarina. p. 210-212. **In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia** (21.: 2001: Lages) Resultados Experimentais/XXI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia – Lages: UDESC, 2001. 365 p.

ALVES, A. C.; VOGT, G. A.; RATTI, A. A.; GAYA, J. P.; FANTINI, A. C. Desempenho de linhagens e cultivares de aveia forrageira no litoral do estado de Santa Catarina. p. 627-631. **In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia** (22.: 2002: Passo Fundo) Resultados Experimentais – Passo Fundo: UPF, 2002. 742 p.

ALVES, A. C.; VOGT, G. A.; RATTI, A. A.; GAYA, J. P.; FANTINI, A. C. Desempenho de linhagens e cultivares de aveia para cobertura do solo no litoral do estado de Santa Catarina. p. 670–672. **In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia** (22.: 2002: Passo Fundo) Resultados Experimentais – Passo Fundo: UPF, 2002. 742 p.

AMADO, T. J. C.; SPAGNOLLO, E. **A palha e o seqüestro de carbono em plantio direto**. Trabalho apresentado no IV Curso Sobre Aspectos Básicos de Fertilidade do Solo em Plantio Direto – Ijuí, 24-25 de julho de 2001. 11 p. il.:

ANDERSON, Traute-Heidi. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment** 98 (2003) 285-293. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em 20/6/2004.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **In: In: Soil Biology & Biochemistry**, 21 (1989) 471-479.

ANUALPEC, 2003. **Suinocultura e outras criações**. p. 287-311.

AOYAMA, M.; ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A.; BISSONNOTTE, N. Metabolism of ¹³C-labeled glucose in aggregates from soils with manure application. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 295-300. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment**, 88 (2002) 153-160. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 20/6/2004.

ASSAD, Maria Leonor Lopes. Fauna do Solo. **In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., ed. Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1997. 527 p.

AUBERT, Claude. **L’agriculture biologique: pourquoi et comment la pratiquer**. 4. ed. Paris: Lê Corrier du Livre, 1977. 384 p.

BALDANI, V. L. D.; DOBEREIMER, J. Alternativas para uma agricultura mais ecológica. **In: SIQUEIRA, José Oswaldo [et al.]. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.171-174.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **In: R. Brás. Ci. Solo**, 22:641-649, 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 24 (2000) 599-607.

BAYER, C., MIELNICZUK, J., COSTA, F. S., GOMES, J. **Ciclagem de carbono e fluxo de gases do efeito estufa em Agroecossistemas**. 2002.

BELLI FILHO, Paulo *et al.*, 2001. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5. n.1. p.166-170. 2001. Campina Grande, Paraíba.

BIRKÁS, M.; JOLÁNKAI, M.; GYUZIEZA, C.; PERCZE, A. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. **In: Soil & Tillage Research** (2004) – Article in Press – Editorial. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/still>. Acessado em 20/6/2004.

BISSANI, C. A.; MEURER, E. J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. **In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo**. 2^a ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 181-205.

BOHNEN, H., MEURER, E. J. & BISSANI, C. A. Solos ácidos e solos afetados por sais. **In: MEURER, E. J. Fundamentos de Química do Solo.** / Egon J. Meurer, editor – Porto Alegre; Gênese, 2000. 174 p.: il.

BOLTON JR, H.; ELLIOTT, L. F.; PAPENDICK, R. I. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 17 (1985) 297-302. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 16/12/2003.

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment**, 88 (2002) 129-136. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 20/6/2004.

BRAUN, J. A. O Alcance social da suinocultura no Brasil. **In: Pork World**, ano 2, n.14, Julho/2003. p. 22-23.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Cloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 17 (1985) 837-842. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

BURGER, M.; JACKSON, L. E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 35 (2003) 29-36. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

BUSSE, M. D.; RATCLIFF, A. W.; SHESTAK, C. J.; POWERS, R. F. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 1777-1789. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

CALDERÓN, F. J.; JACKSON, L. E.; SCOW, K. M. ROLSTON, D. E. Microbial responses to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 1547-1559. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico no solo. **In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** / Gabriel de Araújo Santos, Flávio A. de O. Camargo, editores -- Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.:il.

CASTILLO, X.; JOERGENSEN, R. G. Impact of ecological and conventional arable management systems on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 1591-1597. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

CECCHERINI, M. T.; CASTALDINI, M.; PIOVANELLI, C.; HASTINGS, R. C.; McCARTHY, A. J., BAZZICALUPO, M. MICLAUS, N. Effects of swine fertilization on autotrophic ammonia oxidizing bacteria in soil. **In: Applied Soil Ecology**, 7 (1998) 149-157. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apsoil>. Acessado em: 14/2/2004.

CERRI, Carlos C.; ANDREUX, Francis; EDUARDO, Brigitte P. O ciclo do carbono no solo. **In: CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira, coord. Microbiologia do Solo**, coordenado por E. J. B. N. Cardoso, S. M. Tsai e M. C. P. Neves. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P.; OATES, A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. **In: Soil & Tillage Research**, 63 (2002) 133-139. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/still>. Acessado em: 20/6/2004.

CHANDER, K.; BROOKES, P. C. Plant inputs of carbon to metal-contaminated soil and effects on the soil microbial biomass. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 23 (1991) 1169-1177. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 16/12/2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RS E SC. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3^a ed., Passo Fundo. SBCS. Núcleo Regional Sul, 1994. 224 p.

DAGNELIE, P. **Analyse Statistique à Plusieurs Variables**. 2^a reimpressão, Gembloux, Presses Agronomiques. 1982. 362 p.

DAHLIN, S.; WITTER, E.; MARTENSSON, A.; TURNER, A.; BAATH, E. Where's the limit? Changes in the microbiological properties of agricultural soils at low levels of metal contamination. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 29 (1997) 1405-1415. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 14/12/2003.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N E P na biomassa microbiana do solo. **In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 390-411.

DEGENS, B. P.; SCHIPPER, L. A.; SPARLING, G. P.; VOJVODIC-VUKOVIC, M. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 189-196. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 9/12/2003.

DENEF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S. D.; ELLIOTT, E. T. MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 1599-1611. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

DESBIEZ, A.; MATTHEWS, R.; TRIPATHI, B.; ELLIS-JONES, J. Perception and assessment of soil fertility by farmers in the mid-hills of Nepal. **In: Agriculture, Ecosystems and Environment**, 103 (2004) 191-206. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em 20/6/2004.

DONEGAN, K. K.; WATRUD, L. S.; SEIDLER, R. J.; MAGGARD, S. P.; SHIROYAMA, T.; PORTEUS, L. A.; Di GIOVANNI, G. Soil and litter organisms in Pacific northwest forests under different management practices. **In: Applied Soil Ecology**, 18 (2001) 159-175. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apsoil>. Acessado em 20/6/2004.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment**, 88 (2002) 119-127. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 20/6/2004.

DORAN, J. W.; SAFLEY, M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. **In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. Biological Indicators of Soil Health**. 1997. p. 1-28. CAB INTERNATIONAL, Oxon, UK.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **In: Applied Soil Ecology**, 15 (2000) 3-11. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apsoil>. Acessado em: 14/12/2003.

DUAH-YENTUMI, S.; JONSON, D. B. Changes in soil microflora in response to repeated applications of some pesticides. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 18 (1986) 629-635. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 12/12/2003.

EDGERTON, D. L.; HARRIS, J. A.; BIRCH, P.; BULLOCK, P. Linear relationship between aggregate stability and microbial biomass in three restored soils. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 27 (1995) 1499-1501. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 14/12/2003.

EDWARDS, C. A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. **In: European Journal of Soil Biology**, 38 (2002) 225-231. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ejsobi>. Acessado em: 12/12/2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. xxvi, 412 p.: il.

EPAGRI. 2000. CD-Room. **Inventário das Terras da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Coruja-Bonito, Município de Braço do Norte, SC**.

EPAGRI. **Avaliação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2002/2003**. Florianópolis, 2002. 140 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 119).

ERNANI, P. R., GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7:161-165, 1983.

ETTEMA, C. H.; LOWRANCE, R.; COLEMAN, D. C. Riparian soil response to surface nitrogen input: temporal changes in denitrification, labile and microbial C and N pools, and bacterial and fungal respiration. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 31 (1999) 1609-1624. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 9/12/2003.

FIERER, N.; SCHIMEL, J. P. Effects of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 34 (2002) 777-787. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

FILIP, Z. International approaches to assessing soil quality by ecologically – related biological parameters. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment**, 88 (2002) 167-174. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 20/6/2004.

FILIP, Z.; KUBÁT, J. Microbial utilization and transformation of humic substances extracted from soils of long-term field experiments. **In: European Journal of Soil Biology**, 37 (2001) 167-174. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ejsobi>. Acessado em 4/12/2003.

FILIP, Z.; KUBÁT, J. Aerobic short-term microbial utilization and degradation of humic acids extracted from soils of long-term field experiments. **In: European Journal of Soil Biology**, 39 (2003) 175-182. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ejsobi>. Acessado em 4/12/2003.

FLIEßBACH, A.; MÄDER, P. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 757-768. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

FLIEßBACH, A.; MÄDER, P.; NIGGLI, U. Mineralization and microbial assimilation of ¹⁴C-labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 1131-1139. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

FOTOQUÍMICA. **In: Enciclopédia Mirador Internacional**. São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil, 1979. P. 4832-4833.

FRANCAVIGLIA, R.; GATALETA, L.; MARCHIONNI, M.; TRINCHERA, A.; AROMOLO, R.; BENEDETTI, A.; NISINI, L.; MORSELLI, L.; BRUSORI, B.; OLIVIERI, P.; BERNARDI, E. Soil quality and vulnerability in a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy. **In: Chemosphere**, 55 (2004) 455-466. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/chemosphere>. Acessado em: 21/5/2004.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 24 (2000) 459-467.

FRANZLUEBBERS; A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **In: Soil & Tillage Research**, 66 (2002) 95-106. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/still>. Acessado em: 20/6/2004.

FRANZLUEBBERS; A. J.; HANEY, R. L.; HONEYCUTT, C. W.; ARSHAD, M. A.; SCHOMBERG, H. H.; HONS, F. M. Climatic influences on active fractions of soil organic matter. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 1103-1111. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

FRIEDEL, J. K.; SCHELLER, E. Composition of hydrolysable amino acids in soil organic matter and soil microbial biomass. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 34 (2002) 315-325. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

FROSTEGARD, A.; TUNLID, A.; BAATH, E. Changes in microbial community structure during long-term incubation in two soils experimentally contaminated with metals. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 28 (1996) 55-63. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 14/12/2003.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. **In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** / Gabriel de Araújo Santos, Flávio A. de O. Camargo, editores -- Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.:il.

GARDI, C.; TOMASELLI, M.; PARISI, V.; PETRAGLIA, A.; SANTINI, C. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. **In: European Journal of Soil Biology**, 38 (2002) 103-110. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ejsobi>. Acessado em 20/6/2004.

GHANI, A.; WARDLE, D.A. Fate of ^{14}C from glucose and the herbicide metsulfuron-methyl in a plant-soil microcosm system. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 777-785. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

GODEFROID, Sandrine. Temporal analysis of the Brussels flora as indicator of changing environmental quality. **In: Landscape an Urban Planning**, 52 (2001) 203-224. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/landurbplan>. Acessado em: 20/6/2004.

GRANT, R. F.; JUMA, N. G.; MCGILL, W. B. Simulation of carbon and nitrogen transformations in soil: mineralization. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 25 (1993) 1317-1329. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 14/12/2003.

GUNADI, B.; EDWARDS, C. A.; ARANCON, Q. Changes in trophic structure of soil arthropods after the application of vermicomposts. **In: European Journal of Soil Biology**, 38 (2002) 161-165. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ejsobi>. Acessado em: 17/4/2003.

HANSEN, B.; ALRØE, H. F.; KRISTENSEN, E. S. Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. **In: Agriculture, Ecosystems and Environment**, 83 (2001) 11-26. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em 20/6/2004.

HARGREAVES, P. R.; BROOKES, P. C.; ROSS, G. J. S.; POULTON, P. R. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 35 (2003) 401-407. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 17/4/2003.

HARPER, L. A. & SHARPE, R. R. Monitoring Methane. **In: Agricultural Research Service.** June, 1995. p. 12-14.

HASSINK, J. Density fractions of soil microorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N mineralization. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 27 (1995) 1099-1108. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 14/12/2003.

HASSINK, J.; BOUWMAN, L. A.; ZWART, K. B.; BLOEM, J.; BRUSSAARD, L. Relationship between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. **In: Geoderma**, 57 (1993) 105-128. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/journal/00167061>. Acessado em 4/2/2004.

HASTINGS, R. C.; CECCHERINI, M. T.; NICLAUS, N.; SAUNDERS, J. R.; BAZZICALUPO, M.; McCARTHY, A. J. Direct molecular biological analysis of ammonia oxidising bacteria populations in cultivated soil plots treated with swine manure. **In: FEMS Microbiology Ecology** 23 (1997) 45-54. Disponível em: <www.elsevier.com>. Acessado em: 5/2/2004.

HIGARASHI, M. M. Sistemas de tratamentos de dejetos suínos. **In: Pork World**, ano 2, n13, Mai-Jun 2003.

HODGKINSON, R. A.; CHAMBERS, B. J.; WITHERS, P. J. A.; CROSS, R. Phosphorus losses to surface waters following organic manure applications to a drained clay soil. **In: Agricultural Water Management**, 57 (2002) 155-173. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agwat> Acessado em: 12/2/2004.

HOLANDA, J. S.; TORRES FILHO, J.; BEZERRA NETO, F. Alterações na fertilidade de dois solos adubados com esterco de curral e cultivados com caupi. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8:301-304, 1984.

ICEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2000-2001**. Florianópolis, SC, 2001. Instituto CEPA. 248 p.

ICEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2001-2002**. Florianópolis, SC, 2002. Instituto CEPA. 204 p.

ICEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2002-2003**. Florianópolis, SC, 2003. Instituto CEPA. 287 p.

INDA JUNIOR, A. V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. Composição da fase sólida mineral do solo. **In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo**. 2ª ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 35-71.

INSAM, H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by climatic regime? **In: Soil Biology & Biochemistry**, 22 (1990) 525-532. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 16/12/2003.

INSAM, H.; PARKINSON, D. Influence of macroclimate on soil microbial biomass. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 21 (1989) 211-221. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 16/12/2003.

JONDREVILLE, C.; REVY, P. S.; DOURMAD, J. Y. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. **In: Livestock Production Science**, 84 (2000) 147-156. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/liveprosci>. Acessado em 12/2/2004.

KARLEN, D. L. Soil quality as an indicator or sustainable tillage practices. **In: Soil & Tillage Research**, (2004) – Article in Press – Editorial. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/still>. Acessado em 20/6/2004.

KHAN, M.; SCULLION, J. Effects of metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) enrichment of sexage-sludge on soil micro-organisms and their activities. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 20 (2002) 145-155. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/2/2004.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba – SP. Editora Agronômica Ceres Ltda., 1985. 492 p.: il.

KOGEL-KNABNER, Ingrid. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 34 (2002) 139-162. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. **In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. et al. Soil Management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 1-7.

LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L.; WIENHOLD, B. J. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. **In: Soil & Tillage Research**, (2004) – Article in Press – Editorial. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/still>. Acessado em 20/6/2004.

LIMA, Magda Aparecida. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **In: Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. p. 38-43. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna – SP. 2002.

LIMA, Magda Aparecida. **Emissão de gases**. Disponível em: <magda@cnpma.embrapa.br> em: 4 novembro 2002 – comunicação pessoal.

LONGSDON, S.; KARLEN, D. L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **In: Soil & Tillage Research**, (2004) – Article in Press – Editorial. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/still>. Acessado em 20/6/2004.

LUDKE, J. V.; LUDKE, M. C. M. M. Produção de suínos com ênfase na preservação do ambiente. **In: Suinocultura Industrial**, v. 25, n. 168, p. 10-12. 2003.

MALAVOLTA, Eurípides. Manual de química agrícola. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1976. – v. ilustr. 528 p.

MAMILOV, A. S.; DILLY, O. M. Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 34 (2002) 1283-1290. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. Londres, Academic Press. 1979. 518 p.

MARSCHNER, Horst. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **In: Plant and Soils**, V.134, p.1-20, 1991.

MARSCHNER, Horst. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2^o Edition. Academic Press. London, 1995. 889 p.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 14 (1982) 469-475. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 16/12/2003.

MELLO, Francisco de A. F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. . **In: MEURER, E. J. In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo**. 2^a ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 131-179.

MIELNICZUK, João. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. **In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** / Gabriel de Araújo Santos, Flávio A. de O. Camargo, editores -- Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.:il.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **In: Biomass and Bioenergy**, (2003) – Article in Press. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/biombio>. Acessado em 14/02/2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo** / Fátima Maria de Souza Moreira, José Osvaldo Siqueira. – Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.:il.

NAHM, K. H. Efficient feed nutrient utilization to reduce pollutants in poultry and swine manure. **In: Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 23 (1):1 16 (2002). Disponível em: <www.elsevier.com> Acessado em: 12/2/2004.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U. S. A.) – Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Production Agriculture. **Alternative Agriculture**. 3^a impr. 1991. Washington D. C.: National Academy Press, 1989. 448 p.

NUERNBERG, N. J.; STAMMEL, J. G. Rendimento de culturas e características químicas do solo sob diferentes sucessões e adubações orgânica e mineral. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 13 (1989) 87-93.

NUERNBERG, N. J.; VIDOR, C.; STAMMEL, J. G. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo. **In: R. Bras. Ci. Solo**, 8:197-203. 1984.

OLIVEIRA, P. A. V. Produção e aproveitamento do biogás. **In: Oliveira, P. A. V. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p.; 29 cm.

OLIVEIRA, P. A. V. Suínos em cama sobreposta. **In: Suinocultura Industrial**, v. 24, n. 161, 2002. EMBRAPA, CNPSA.

OLIVEIRA, Paulo Armando V. de, *et al.* Cama sobreposta: perguntas e respostas. **In: Pork World**. v.2., n.8. Set-Out/2002. p.110-116.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Efeito Estufa. **In: Suinocultura Industrial**, v.25, n.172, p. 16-20, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V., MENDES, G. L., NUNES, M. L. A. Viabilidade técnico-econômica da produção de suínos em cama sobreposta. **In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS E TECNOLOGIA D PRODUÇÃO DE RAÇÕES**. 2002. Campinas, SP. Anais... Campinas: CBNA, 2002. p.89-102.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. José Carlos Ometto. – São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440 p.: il.

PARKINSON, D. Los microorganismos del suelo y las raíces de las plantas. **In: BURGÉS, A. & RAW, F. Biología del suelo**. Ediciones Omega, S. A, Barcelona, 1971. 596 p.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.

PEACOCK, A. D.; MULLEN, M. D.; RINGELBERG, D. B.; TYLER, D. D.; HEDRICK, D. B.; GALE, P. M.; WHITE, D. C. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 1011-1019. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

PERDOMO, C. C. Alternativas para o manejo e tratamento de dejetos suínos. **In: Suinocultura Industrial**, v. 23, n. 152 – Jun-Jul 2001 – EMBRAPA, CNPSA.

PERDOMO, C. C. Custos do dejetos suíno. **In: Suinocultura Industrial**, v. 24, n. 163, 2002. EMBRAPA, CNPSA.

PEREIRA, Antônio Augusto Alves. Apêndice 2, p.121-128. **In: Estudos das variações da difusividade do solo aos gases durante processos de drenagem**. Tese de Doutorado. 1995. ESALQ, Piracicaba. 129 p.

PILLON, C. N. Agricultura e efeito estufa: desafios e oportunidades. **In: Suinocultura Industrial**, v.23, n. 154 - Out-Nov 2001 – EMBRAPA, CNPSA.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada à experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PINHEIRO MACHADO, L. C. Apontamentos da Disciplina Desenvolvimento Rural Sustentável (PGA/UFSC). Primeiro trimestre de 2002.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. (1987). Measurements of soil microbial biomass provides an early indicator of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **In: Soil Biology and Biochemistry**, 19 (1987) 159-164. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. II. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation with chloroform or methyl bromide. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 19 (1976) 179-188.

PRIMAVESI, A. C.; GODOY, R.; PRIMAVESI, O. Ensaio Nacional de aveias forrageiras para cobertura de solos. São Carlos, SP, 2000. p. 236-239. **In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia** (21.: 2001: Lages) Resultados Experimentais/XXI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia – Lages: UDESC, 2001. 365 p.

QUEVEDO, A. C. Bem-estar animal: a ciência diz que sim. **In: Suinocultura Industrial**, v. 21, n. 141, Out-Nov/1999. EMBRAPA, CNPSA.

RAIJ, Bernardo van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto s Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.: il.

RAIJ, Bernardo van. **Fertilidade do solo e adubação**. - - São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p.: il.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Poluição Ambiental. **In: RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes**. 3. Ed. – Viçosa: NEPUT, 1999. 338 p.: il.

ROPPA, Flávia. Mercado russo e sua importância para a suinocultura. **In: Pork World**. Ano 2, n. 13 Mai-Jun/2003. p.32-35.

ROPPA, Luciano. A Suinocultura na América Latina. **In: Pork World**. v.2., n.8. Set-Out/2002. p.16-22.

ROPPA, Luciano. Suinocultura 2002. As perspectivas para o ano. **In: Pork World**. v.1., n.4. Jan-Fev/2002. p.12-15.

ROST, U.; JOERGENSEN, R. G.; CHANDER, K. Effects of Zn enriched sewage sludge on microbial activities and biomass in soil. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 633-638. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

SANTOS, H. P.; SIQUEIRA, O. J. W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 20 (1996) 163-169.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; PRIMAVESI, A. C.; ALVES, A. C.; LAJÚS, C. A.; PEGORARO, D.; OLIVEIRA, J. C.; ASSMANN, I.; ALMEIDA, J. L.; MATZENBACHER, R. G. Ensaio Nacional de aveias forrageiras, 2001. Análise conjunta. p. 614-617. **In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia** (22.: 2002: Passo Fundo) Resultados Experimentais – Passo Fundo: UPF, 2002. 742 p.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; PRIMAVESI, A. C.; ALVES, A. C.; LAJÚS, C. A.; PEGORARO, D.; OLIVEIRA, J. C.; ASSMANN, I.; ALMEIDA, J. L.; MATZENBACHER, R. G. Ensaio Nacional de aveias para cobertura, 2001. Análise conjunta. p. 683-686. **In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa da Aveia** (22.: 2002: Passo Fundo) Resultados Experimentais – Passo Fundo: UPF, 2002. 742 p.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment**, 98 (2003) 255-262. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 20/6/2004.

SCHWEIGER, P. F.; SPLIID, N. H.; JAKOBSEN, I. Fungicide application and phosphorus uptake by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi into field-grown peas. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 33 (2001) 1231-1237. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

SEBER, G. A. F. **Linear Regression Analysis**. New York, John Wiley & Sons. 1977. 465 p.

SHARPE, R. R.; HARPER, L. A.; BYERS, F. M. Methane emissions from swine lagoons in Southeastern US. **In: Agriculture, Ecosystem and Environment**, 90 (2002) 17-24. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 14/02/2004.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 9 (1985) 249-254.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **In: Revista Brasileira de Ciência do Solos**, Campinas, 18 (1994) 541-547.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. **In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., ed. Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1997. 527 p.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. de O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. **In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo.** 2^a ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 73-97.

SIMIONI, J. **Suinocultura, dejetos e riscos ambientais – avaliação do risco de acumulação de Cu e Zn nos solos fertilizados com dejetos de suínos.** Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Dissertação de Mestrado. 143 p.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Brasília: MEC Ministério da Educação, ABEAS; Lavras: ESALQ, FAEPE, 1988. 236 p.: il.

SMITH, K. A.; CHARLES, D. R.; MOORHOUSE, D. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters. Part 2: pigs and poultry. **In: Bioresource Technology**, 71(2000) 183-194. Disponível em: <www.elsevier.com> Acessado em: 14/12/2003.

SMITH, M. D.; HARTNETT, D. C.; RICE, C. W. Effects of long-term fungicide applications on microbial properties in tallgrass prairie soil. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 935-946. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 4/12/2003.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. **In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. Biological Indicators of Soil Health.** 1997. CAB International, Oxon, UK. P. 97-119.

SPARLING, G. P.; SCHIPPER, L. A.; BETTJEMAN, W.; HILL, R. Soil quality monitoring in New Zeland: practical lessons from a 6-years trial. **In: Agriculture, Ecosystems & Environment** (2004) – Article in Press. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 20/6/2004.

SUL-SC. **Municípios da Região Sul Catarinense.** 2004. Disponível em: <www.sul-sc.com.br/afolha/cidades/bracon.html>. Acessado em: 4/2/2004.

TAYLOR, D. A. A less polluting pig. **In: Environmental Health Perspective.** V. 108, n. 1, p. A14. Jan. 2000.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. **In: Bioresource Technology**, 65 (1998) 43-49. Disponível em: <www.elsevier.com>. Acessado em 14/2/2004.

TOMÉ JR, J. B. **Manual de interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 32 (2000) 1867-1875. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

TREBIEN, Darci Odílio Paul. **Apontamentos da disciplina Processos Físicos e Geoquímicos do Solo**. Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, CCA/UFSC. 2º trimestre. Ano letivo: 2002.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. Microbial biomass measurements in forest soils: the use of chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 19 (1987b) 697-702. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 19 (1987c) 703-707. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 5/12/2003.

VARGAS, L. K. SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solos sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **In: R. Bras. Ci. Solo**, 22:411-417, 1998.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **In: R. Brás. Ci. Solo**, 24:35-42, 2000.

VICTORIA, Reynaldo L.; PICCOLO, Marisa C.; VARGAS, Álvaro A. T. O Ciclo do nitrogênio. **In: CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira, coord. Microbiologia do Solo**, coordenado por E. J. B. N. Cardoso, S. M. Tsai e M. C. P. Neves. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

VIEIRA, L. C.; DUFLOTH, J. H.; NUSS, C. L. Milho. **In: EPAGRI. Avaliação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2003/2004**. Florianópolis, 2003. 141 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 120).

VIVAN, Jorge Luiz. **Agricultura e Florestas: princípios de uma integração vital**. Guaíba: Agropecuária, 1998. 207 p.

von LÜTZOV, M.; LEIFELD, J.; KAINZ, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; MUNCH, J. C. Indications for soil organic matter quality in soils under different management. **In: Geoderma**, 105 (2002) 243-258. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/geoderma>. Acessado em: 4/2/2004.

WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 30 (1998) 1627-1637. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 14/12/2003.

WARDLE, D. A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. **In: ARAÚJO, R. S. & HUNGRIA, M. Microorganismos de importância agrícola**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão: Centro Nacional de Pesquisa da Soja. – Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 236 p. – (EMBRAPA-CNPFA. Documentos. 44).

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W.; NICHOLSON, K. S.; BONNER, K. I.; WATSON, R. N. Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-years period. **In: Soil Biology & Biochemistry**, 31 (1999) 1707-1720. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/soilbio>. Acessado em 9/12/2003.

WIDDOWSON, R. W. **Hacia una agricultura holística – un enfoque científico**. Editora Emisferio Sur S. A. Buenos Aires – Argentina. 1ª Edición. 1993. 270 p.

WILLIAMS, P. E. V. Animal production and European pollution problems. **In: Animal Feed Science and Technology** 53 (1995) 135-144. Disponível em: <www.elsevier.com>. Acessado em: 12/2/2004.

WONG, M. H. Heavy metal contamination of soil and crops from auto traffic, sewage sludge, pig manure and chemical fertilizer. **In: Agriculture, Ecosystems and Environment**, 13 (1985) 139-149. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/agee>. Acessado em: 14/02/2004.

YAMADA, T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. p **In: SIQUEIRA, José Oswaldo [et al.]. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 171-174.

ANEXOS

ANEXO 1: Método para Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana segundo Brookes *et al.* (1985), Vance *et al.* (1987) e, Alef & Nannipieri (1995).

Princípios do Método:

Fumigação: a fumigação do solo com clorofórmio isento de etanol mata e lisa as células microbianas e libera o conteúdo citoplasmático na solução do solo. Desta maneira, o material celular pode ser extraído do solo (Powlsons & Jenkinson, 1976). O C orgânico (Vance *et al.*, 1987) é extraído com sulfato de potássio (K_2SO_4) 0,5 M.

Cada amostra peneirada em peneira de 2mm é subamostrada 6 vezes, 10 g cada subamostra com umidade ajustada para 60% da capacidade de retenção de água (CRA). Três subamostras (triplicata) são extraídas imediatamente, enquanto as outras seguem para fumigação. As amostras que serão fumigadas são colocadas em Becker de 40 mL contendo uma etiqueta com o número da amostra escrito à lápis. As amostras que não serão fumigadas são colocadas em tubos de extração.

A fumigação é feita em dessecador contendo papel umedecido no fundo e um Becker contendo bolinhas com aproximadamente 80 mL de clorofórmio isento de etanol ($CHCl_3$). As amostras são acondicionadas no dessecador em volta do Becker contendo o clorofórmio. O dessecador é acoplado a uma bomba de vácuo e esta é ligada por mais ou menos 5 minutos para a retirada do ar e para criar uma atmosfera com vapores de clorofórmio. Quando se dá início a formação de bolhas no clorofórmio, a bomba é desligada e o dessecador é hermeticamente fechado e colocado no escuro por 24 horas a 25° C. Cessado esse período, o dessecador é aberto e retira-se o Becker contendo o clorofórmio. O dessecador é novamente acoplado a bomba de vácuo e esta é novamente ligada para a completa remoção do $CHCl_3$. Repete-se a operação de 5 a 6 vezes, em torno de 6 minutos cada operação.

As amostras que não são fumigadas vão direto para a extração. São adicionados 40 mL de K_2SO_4 0,5 M (relação solo:extrator de 1:4) e vão para agitador horizontal a 220 rpm por 30 minutos. Terminada a agitação, os extratos são deixados parados para permitir que ocorra a decantação. Após, os extratos são filtrados com filtro Whatman 42. Os extratos são armazenados à -15° C se não forem determinado no mesmo dia. O mesmo procedimento é feito com as amostras fumigadas.

Padrões de Sacarose

Para fazer a solução A, 0,625 g de glicose são dissolvidos em 100 mL de extrator K_2SO_4 0,5 M. Esta solução contém 2,5 g de carbono. L^{-1} . Para fazer a solução B, é retirada uma alíquota de 10 mL da solução A, transferida para um balão com capacidade de 100 mL, e completado o seu volume com extrator K_2SO_4 0,5 M. A solução B é utilizada para fazer os padrões de sacarose de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 25: Necessidades da solução B para perfazer os diversos padrões e suas concentrações finais na reação colorimétrica.

Volume Sol. B (mL)	Conc. de C (mg.L ⁻¹)	Conc. Final (mg.L ⁻¹)
0	0	0
4	10	4
8	20	8
12	30	12
16	40	16
20	50	20
24	60	24

Colorimetria:

O processo colorimétrico é uma adaptação do método descrito por Yakovchenko & Sikora. É transferida uma alíquota de 2 mL do extrato filtrado e padrões para tubos de 150-180 mm, adicionado 3 mL da solução de digestão e colorimetria (H_2SO_4 26,7 N + $K_2Cr_2O_7$ 0,018 N), agitados em um Vortex e os tubos cobertos com papel alumínio. Os tubos são então levados em estufa pré-aquecida à 140° C por 20 minutos. Após a digestão na estufa, é feita a determinação medindo a absorvância do Cr_2O_7 residual em espectrofotômetro em λ de 460 nm. Os valores de absorvância das curvas padrão de sacarose obtidas para cada determinação são apresentada na tabela 26.

Tabela 26: Valores de ABS das curvas padrão de sacarose obtidas para cada determinação de CBM.

Vol. Sol. B (ml)	1º cultivo de Milho ABS	1º cultivo de Aveia – coleta 1 ABS	1º cultivo de Aveia – coleta 2 ABS	2º cultivo de Milho – curva 1 ABS	2º cultivo de Milho – curva 2 ABS
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,007	0,051	0,110	0,013	0,015
8	0,130	0,111	0,157	0,069	0,084
12	0,200	0,160	0,222	0,113	0,134
16	0,260	0,241	0,286	0,163	0,173
20	0,330	0,293	0,340	0,214	0,238
24	0,370	0,331	0,415	0,284	0,276

Determinação da Curva Padrão de Carbono:

A curva padrão de sacarose é obtida a partir da leitura da absorvância do Cr_2O_7 residual em espectrofotômetro em λ de 460 nm em função da concentração de carbono. Segundo a Lei de Lambert-Beer (também chamada Lei de Bourguer), ocorre um decréscimo exponencial do feixe luminoso à medida que atravessa a solução e, portanto, o aumento da energia absorvida pelo feixe à medida que aumenta a sua espessura (Enciclopédia Mirador Internacional, 1979). Por se tratar de um fenômeno não-linear, foi usada uma curva logística para a determinação da função de cada curva, que é mais recomendada para este tipo de fenômeno. As equações para a determinação da concentração de C de cada cultura foram, respectivamente:

Primeiro Cultivo de Milho: $29,9918/(1 + \text{EXP}((-1)*(-2,41611 - 9,881*ABS)))$.

Segundo Cultivo de Milho: $25,2698/(1 + \text{EXP}((-1)*(-2,19974 - 16,6017*ABS)))$.

Cultivo de Aveia (1ª determinação): $27,2151/(1 + \text{EXP}((-1)*(-2,39288 - 12,2404*ABS)))$.

Cultivo da Aveia (2ª determinação): $26,6456/(1 + \text{EXP}((-1)*(-2,92566 - 12,0138*ABS)))$.

Determinação do C da Biomassa Microbiana:

Os valores de absorvância de cada amostra (fumigada e não fumigada) são adicionados na fórmula da equação correspondente, e os valores do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) são calculados a partir da fórmula abaixo:

$$\text{CBM (mg C.kg solo seco}^{-1}\text{)} = (\text{ABS Fum} - \text{ABS NFum})/0,4$$

Sendo:

ABS Fum – valor da absorvância da amostra fumigada.

ABS Nfum - valor da absorvância da amostra não fumigada.

O valor final é representado pela média das três repetições.

ANEXO 2: Método para determinação do Nitrogênio da Biomassa Microbiana segundo Brookes *et al.* (1958).

Cada amostra peneirada em peneira de 2mm é subamostrada 6 vezes, 15 g cada subamostra com umidade ajustada para 60% da CRA. Três subamostras (triplicata) são extraídas imediatamente, enquanto as outras seguem para fumigação. A fumigação segue o mesmo procedimento descrito no Anexo 1.

As amostras que não são fumigadas vão direto para a extração. São adicionados 60 mL de K_2SO_4 0,5 M (relação solo:extrator de 1:4) e vão para agitador horizontal a 220 rpm por 30 minutos. Após a agitação, as amostras são centrifugadas para acelerar o processo. De cada amostra é retirada uma alíquota de 40 mL da solução e, posteriormente adicionado 6 mL de H_2SO_4 concentrado. Se a digestão não for realizada no mesmo dia, os extratos devem ser armazenados a $-15^\circ C$. Para realizar a digestão, os extratos são transferidos para tubos de digestão, e à solução são adicionados 2g de catalisador para Nitrogênio (relação 1 Na_2SO_4 : 0.1 $CuSO_4$: 0.001 Selênio em pó). Os tubos com as amostras são colocados no bloco digestor, e a digestão procede por 90 minutos a 150° e 180 minutos a $300^\circ C$. Terminada a digestão, as amostras são então destiladas. Aos tubos são adicionados 10 mL de H_2O destilada e 10 mL de $NaOH$ 10 M. Um erlenmeyer de 100 mL contendo 5 mL de solução indicadora de ácido bórico recebe o produto da destilação, aproximadamente 35 a 40 mL. Imediatamente após a destilação, é feita a titulação com H_2SO_4 0,0005 M. O cálculo de Nitrogênio da Biomassa Microbiana é feito usando-se a fórmula a seguir:

$$NBM \text{ (mg Kg solo seco}^{-1}\text{)} = FNT K_N^{-1}$$

Sendo:

FNT = Fluxo obtido da diferença entre a quantidade de N total recuperado no extrato da amostra fumigada e o recuperado na amostra não fumigada;

K_N = fator de correção. Em situações que exijam maior exatidão deverá ser calculado para cada tipo de solo. O valor de 0,54 determinado por Brookes et al. (1985) pode ser utilizado para expressar a fração de N da BMS recuperado após os processos de fumigação-extração.

ANEXO 3: Metodologia para determinação da Umidade Gravimétrica do solo (UG).

A UG é obtida pesando-se 10g de solo em triplicata para cada uma das amostras de solo e mantidas por 24h em estufa a 105°C. Após esse período, as amostras são pesadas novamente, e a partir da diferença de massa entre as amostras úmidas e as amostras secas, obtêm-se a UG das amostras a partir da fórmula abaixo:

$$UG = \frac{Sum - Ssec}{Ssec}$$

Sendo:

UG – Umidade Gravimétrica.

Sum – solo úmido.

Ssec – solo seco.

O valor de UG de cada amostra é a média obtida das três repetições.

Fonte: Pereira, 1995.

ANEXO 4: Metodologia para determinação da Capacidade de Retenção de Água no Solo (CRA).

Para a determinação da CRA são utilizados cilindros de metal (volume aproximado de 76 cm³) com filtros de papel na parte inferior colados com cola de silicone quente. Os cilindros são etiquetados com o número referente da amostra, pesados e recebem uma quantidade de solo de aproximadamente 70 g. Posteriormente, os cilindros são colocados em um recipiente (bandeja plástica) com uma lâmina de água de aproximadamente 2 cm. As amostras ficam na bandeja por um período de 24 horas ou mais, até que atinjam 100% de sua capacidade de retenção de água. As amostras são então colocadas em placa porosa previamente saturada acoplada a uma coluna de mercúrio e a uma bomba de vácuo. A sucção recomendada é de 0,3 atm (aproximadamente 4,42 bar). A sucção força a entrada de ar nas amostras retirando a água retida nos poros. As amostras atingem a capacidade de campo quando a quantidade de água retirada for menor que 1g.hora⁻¹.

As amostras são então retiradas da placa porosa, colocadas em uma placa de Petri e é obtido o peso úmido. Após a pesagem, são colocadas em estufa a 105° C por 24 horas. Terminado esse período, as amostras são novamente pesadas, e a partir da diferença de massa entre as amostras úmidas e as amostras secas, obtêm-se a UG das amostras a partir da fórmula abaixo, descontando-se o peso do cilindro e da placa de Petri:

$$UG = \frac{Sum - Ssec}{Ssec}$$

Sendo:

UG – Umidade gravimétrica.

Sum – solo úmido.

Ssec – solo seco.

Fonte: Pereira, 1995.

ANEXO 5: Laudo de análise composta do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos – amostra enviada para o Laboratório de solos da CIDASC – Florianópolis/SC.

Tabela 27: Laudo de análise composta do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos – amostra enviada para o Laboratório de solos da CIDASC – Florianópolis/SC.

Parâmetro	Resultado	Unidade
Textura	34,00 (classe 3)	%
PH	4,80	
Índice SMP	5,40	
Fósforo	+ 50,00	Ppm
Potássio	187,00	Ppm
Matéria Orgânica	3,20	%
Alumínio	1,00	cmolc/L
Cálcio	3,10	cmolc/L
Magnésio	1,10	cmolc/L
Sódio (Na)	7,00	Ppm
H + Al	6,13	cmolc/L
pH – CaCl ₂	4,30	
Soma de Bases – S	4,71	cmolc/L
Capacidade de troca de cátions – CTC	10,84	cmolc/L
Saturação de Bases – V	43,47	%

Fonte: extraído do laudo original número 07814 emitido em 22/11/2002.

ANEXO 6: Laudos de análise do solo antes da implantação do experimento. Amostras enviadas ao Laboratório de solos da EPAGRI – Chapecó/SC .

Tabela 28: Laudo de análise composta do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos (profundidade de 0-15 cm).

Argila (%)	PH	SMP	P (ppm)	K (ppm)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
38,00	5,20	5,40	216,00	218,00	3,00	0,70	3,10	1,30

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 25/11/2002.

Tabela 29: Laudo de análise composta do solo dos blocos da área experimental antes da aplicação dos tratamentos (profundidade de 0-30 cm).

Bloco	Argila (%)	pH	SMP	P (ppm)	K (ppm)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
1	35,00	5,40	5,40	11,00	80,00	3,50	1,00	2,60	0,90
2	33,00	5,10	5,50	39,00	200,00	3,00	0,80	2,60	1,00
3	34,00	5,30	5,70	51,70	166,00	2,80	0,50	2,80	1,00
4	34,00	5,00	5,70	170,80	108,00	3,00	0,30	3,20	1,30

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 18/12/2002.

Tabela 30: Laudo de análise composta do solo dos blocos da área experimental antes da aplicação dos tratamentos. Profundidades de 0-15 e 15-30 cm.

Bloco	Argila (%)	Ph	SMP	P (ppm)	K (ppm)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
1 ^a	33,00	5,20	5,60	12,60	144,00	3,30	0,80	3,30	0,90
1 ^b	37,00	5,00	5,30	8,10	117,00	2,70	1,30	2,90	0,60
2 ^a	31,00	5,00	5,30	15,40	105,00	2,60	1,10	2,80	0,60
2 ^b	37,00	5,10	5,60	15,90	150,00	2,90	0,60	3,00	0,20
3 ^a	35,00	5,10	5,60	29,90	142,00	3,30	0,60	3,20	1,00
3 ^b	37,00	5,10	5,70	14,40	127,00	2,90	0,60	3,20	0,80
4 ^a	32,00	5,20	5,70	69,30	+200,00	3,10	0,50	3,20	1,20
4 ^b	33,00	5,10	6,00	29,60	160,00	2,70	0,50	2,80	0,70

a – amostras de 0-15 cm de profundidade.

b – amostras de 15-30 cm de profundidade.

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 11/02/2003.

ANEXO 7: Laudo de análise do esterco líquido de suínos da propriedade do Sr. Villibaldo Michels. Determinação realizada no LIMA/UFSC.

Tabela 31: Laudo de análise do esterco líquido de suínos da propriedade do Sr. Villibaldo Michels. Determinação realizada no LIMA/UFSC.

Parâmetros	Fundo da Esterqueira (mg/L)	Sobrenadante da Esterqueira (mg/L)	Chegada do Dejeito Bruto (mg/L)
ST – Sólidos Totais	20.740	104.800	36.980
STV – Sólidos Totais Voláteis	15.500	87.440	28.480
STF – Sólidos Totais Fixos	5.240	17.360	8.500
NTK – nitrogênio total Kjeldhal	2.901,02	6.952,62	3.475,02
PT – fósforo total	536,95	1.964,00	944,15
DQO t – demanda química de oxigênio total	41.184	29.671	51.199

Fonte: dados extraídos dos laudos originais, emitidos em outubro de 2002.

ANEXO 8: Laudos de análise das camas sobrepostas utilizadas no primeiro cultivo de milho e de aveia (tabela 8.1) e no segundo cultivo de milho e aveia (tabela 8.2). Amostras enviadas para o Laboratório de Solos da EPAGRI de Chapecó/SC.

Tabela 32: Laudo de análise de cama sobreposta de suínos utilizada no primeiro cultivo de milho e aveia. Composição: palha. Número de lotes de animais: 5.

Tipo de Material	pH	MS (%)	N (%)	P (%)	K (%)
Cama sobreposta de suínos	9,20	57,18	3,50	0,77	1,98
Cama sobreposta de suínos	9,30	62,70	3,69	0,79	2,04
Média das duas amostras	9,25	59,94	3,60	0,78	2,01

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 19/02/2003.

Tabela 33: Laudo de análise de cama sobreposta de suínos utilizada no segundo cultivo de milho e aveia. Composição: maravalha. Número de lotes de animais: 3.

Tipo de Material	pH	MS	N	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
		(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Cama sobreposta de suínos	7,4	66,78	0,95	0,61	1,82	18,02	3,84	327,39	13,89

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 17/11/2003.

ANEXO 9: Laudo de análise do solo de cada parcela no término do primeiro cultivo de milho. Profundidades de 0-15 e 15-30 cm. Amostras enviadas para o Laboratório de Solos da EPAGRI de Chapecó/SC.

Tabela 34: Laudo de análise de solo de cada parcela no término do primeiro cultivo de milho, profundidade de 0-15 cm. Média dos 4 blocos.

Trat	Argila (%)	pH	SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
T	33,75 ^a	4,83 ^{ab}	5,73 ^a	29,55 ^b	155,5 ^c	2,60 ^a	0,60 ^a	2,08 ^a	0,75 ^a
AQ 1X	31,75 ^a	4,80 ^{ab}	5,78 ^a	49,73 ^{ab}	75,8 ^d	2,48 ^a	0,73 ^a	2,25 ^a	0,75 ^a
AQ 2X	31,50 ^a	4,63 ^b	5,80 ^a	43,75 ^{ab}	93,3 ^{cd}	2,70 ^a	0,73 ^a	2,10 ^a	0,75 ^a
EL 1X	33,25 ^a	4,75 ^{ab}	5,75 ^a	49,00 ^{ab}	148,8 ^{cd}	2,80 ^a	0,63 ^a	2,53 ^a	0,88 ^a
EL 2X	32,50 ^a	4,73 ^{ab}	5,78 ^a	64,10 ^{ab}	87,5 ^{cd}	2,78 ^a	0,73 ^a	2,40 ^a	0,83 ^a
CS 1X	33,75 ^a	4,93 ^a	5,75 ^a	91,05 ^a	263,3 ^b	2,53 ^a	0,50 ^a	2,33 ^a	0,75 ^a
CS 2X	33,50 ^a	4,98 ^a	5,80 ^a	70,38 ^{ab}	331,8 ^a	2,58 ^a	0,53 ^a	2,10 ^a	0,83 ^a

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 05/08/2003. Médias seguidas da mesma letra não diferem no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 35: Laudo de análise de solo de cada parcela no término do primeiro cultivo de milho, profundidade de 15-30 cm. Média dos 4 blocos.

Trat	Argil a (%)	PH	SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
T	33 ^a	4,75 ^a	5,73 ^a	20,85 ^a	122,50 ^a	2,40 ^a	0,88 ^a	1,95 ^a	0,60 ^a
AQ 1X	33,3 ^a	4,68 ^a	5,75 ^a	32,05 ^a	77,25 ^a	2,38 ^a	1,00 ^a	1,80 ^a	0,58 ^a
AQ 2X	34 ^a	4,60 ^a	5,70 ^a	36,85 ^a	138,80 ^a	2,48 ^a	0,80 ^a	1,95 ^a	0,70 ^a
EL 1X	33,3 ^a	4,78 ^a	5,65 ^a	29,33 ^a	121,80 ^a	2,43 ^a	0,83 ^a	2,08 ^a	0,68 ^a
EL 2X	33,8 ^a	4,60 ^a	5,73 ^a	31,75 ^a	67,50 ^a	2,35 ^a	0,80 ^a	1,95 ^a	0,65 ^a
CS 1X	34,8 ^a	4,7 ^a	5,73 ^a	44,03 ^a	150,00 ^a	2,55 ^a	0,85 ^a	1,90 ^a	0,68 ^a
CS 2X	34 ^a	4,78 ^a	5,78 ^a	30,95 ^a	142,80 ^a	2,40 ^a	0,70 ^a	2,10 ^a	0,73 ^a

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 05/08/2003. Médias seguidas da mesma letra não diferem no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

ANEXO 10: Laudo de análise do solo de cada parcela no término do primeiro cultivo de aveia. Profundidades de 0-15 e 15-30 cm. Amostras enviadas para o Laboratório de Solos da EPAGRI de Chapecó/SC.

Tabela 36: Laudo de análise de solo de cada parcela no término do primeiro cultivo de aveia, profundidade de 0-15 cm. Média dos 4 blocos.

Trat	Argila (%)	pH	SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
T	35,25 ^a	5,05 ^b	5,58 ^{bc}	34,58 ^b	111,3 ^b	2,85 ^a	0,63 ^{ab}	1,88 ^a	0,83 ^a
AQ 1	34,75 ^a	5,10 ^b	5,65 ^{abc}	50,1 ^{ab}	97 ^b	2,73 ^a	0,70 ^a	2,08 ^a	0,68 ^b
AQ 2	33,50 ^a	5,05 ^b	5,55 ^c	41,9 ^{ab}	70,8 ^b	3,08 ^a	0,70 ^a	2,48 ^a	0,73 ^{ab}
EL 1X	32,50 ^a	5,25 ^{ab}	5,65 ^{abc}	115,6 ^{ab}	174,5 ^b	3,10 ^a	0,38 ^{bc}	2,98 ^a	1,05 ^a
EL 2X	35,00 ^a	5,25 ^{ab}	5,68 ^{abc}	93,73 ^{ab}	94,5 ^b	2,78 ^a	0,35 ^{cd}	2,58 ^a	0,98 ^{ab}
CS 1X	34,75 ^a	5,43 ^a	5,80 ^{ab}	88,80 ^{ab}	195 ^b	2,95 ^a	0,08 ^d	3,20 ^a	0,88 ^{ab}
CS 2X	32,50 ^a	5,5 ^a	5,85 ^a	134,6 ^a	324,8 ^a	2,88 ^a	0,28 ^{cd}	2,78 ^a	1,03 ^{ab}

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 15/12/2003. Médias seguidas da mesma letra não diferem no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 37: Laudo de análise de solo de cada parcela no término do primeiro cultivo de aveia, profundidade de 15-30 cm. Média dos 4 blocos.

Trat	Argila (%)	pH	SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
T	35,5 ^a	5,08 ^b	5,65 ^a	25,35 ^b	103,0 ^{bc}	2,63 ^a	0,65 ^{ab}	1,83 ^a	0,68 ^b
AQ 1X	36,3 ^a	5,05 ^b	5,63 ^a	35,15 ^b	88,5 ^{bc}	2,65 ^a	0,75 ^a	1,73 ^a	0,63 ^b
AQ 2X	34,5 ^a	5,00 ^b	5,55 ^a	27,50 ^b	67,5 ^c	2,83 ^a	0,80 ^a	2,23 ^a	0,65 ^b
EL 1X	36,0 ^a	5,15 ^{ab}	5,65 ^a	66,08 ^{ab}	180,3 ^b	2,83 ^a	0,58 ^{ab}	2,38 ^a	0,88 ^{ab}
EL 2X	35,5 ^a	5,2 ^{ab}	5,68 ^a	45,90 ^{ab}	83,5 ^{bc}	2,55 ^a	0,48 ^{ab}	2,03 ^a	0,83 ^{ab}
CS 1X	34,5 ^a	5,28 ^{ab}	5,78 ^a	65,93 ^{ab}	169,5 ^b	2,13 ^a	0,33 ^{ab}	2,53 ^a	0,78 ^{ab}
CS 2X	33,5 ^a	5,43 ^a	5,78 ^a	99,58 ^a	291,5 ^a	2,78 ^a	0,23 ^b	2,53 ^a	1,05 ^a

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 15/12/2003. Médias seguidas da mesma letra não diferem no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

ANEXO 11: Laudo de análise do solo de cada parcela no término do segundo cultivo de milho. Profundidades de 0-15 e 15-30 cm. Amostras enviadas ao Laboratório de Solos da EPAGRI de Chapecó/SC.

Tabela 38: Laudo de análise de solo de cada parcela no término do segundo cultivo de milho, profundidade de 0-15 cm. Média dos 4 blocos.

Trat	Argila (%)	pH	SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
T	35,67 ^a	5,13 ^{bc}	5,70 ^{bc}	57,20 ^{ab}	180,7 ^b	3,30 ^{ab}	0,26 ^b	12,87 ^a	5,93 ^a
AQ 1X	35,67 ^a	4,97 ^{bcd}	5,70 ^{bc}	27,50 ^b	139,3 ^b	3,07 ^{ab}	0,57 ^{bc}	8,90 ^a	5,40 ^a
AQ 2X	35,00 ^a	4,5 ^d	5,43 ^d	27,70 ^b	116,0 ^b	2,97 ^b	1,40 ^a	7,87 ^a	4,90 ^a
EL 1X	34,67 ^a	4,90 ^{cd}	5,57 ^{cd}	59,20 ^{ab}	166,0 ^b	3,10 ^{ab}	0,87 ^{ab}	11,20 ^a	5,63 ^a
EL 2X	36,33 ^a	4,97 ^{bcd}	5,57 ^{cd}	35,57 ^b	152,7 ^b	3,03 ^{ab}	0,77 ^b	6,67 ^a	4,13 ^a
CS 1X	34,33 ^a	5,47 ^{ab}	5,9 ^{ab}	80,17 ^{ab}	403,0 ^a	3,17 ^{ab}	0,10 ^c	7,60 ^a	4,77 ^a
CS 2X	34,33 ^a	5,70 ^a	6,07 ^a	110,90 ^a	467,3 ^a	3,47 ^a	0,00 ^c	8,10 ^a	4,33 ^a

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 30/06/2004. Médias seguidas da mesma letra não diferem no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 39: Laudo de análise de solo de cada parcela no término do segundo cultivo de milho, profundidade de 15-30 cm. Média dos 4 blocos.

Trat	Argila (%)	pH	SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	MO (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)
T	38,00 ^a	4,80 ^{ab}	5,53 ^c	27,33 ^{bc}	120,7 ^{bc}	2,53 ^b	0,93 ^{ab}	6,00 ^{ab}	0,93 ^b
AQ 1	36,67 ^a	4,87 ^{bc}	5,73 ^{bc}	19,50 ^{bc}	104,7 ^{bc}	2,50 ^b	1,17 ^a	3,97 ^{ab}	1,67 ^b
AQ 2	37,33 ^a	4,53 ^c	5,47 ^c	14,27 ^c	84,0 ^c	2,30 ^b	1,47 ^a	4,80 ^{ab}	1,07 ^b
EL 1	38,33 ^a	4,90 ^{bc}	5,53 ^c	25,23 ^{bc}	134,7 ^{bc}	2,53 ^b	1,10 ^a	2,70 ^b	1,40 ^{ab}
EL 2X	38,33 ^a	4,83 ^{bc}	5,60 ^{bc}	21,40 ^{bc}	104,7 ^{bc}	2,50 ^b	1,07 ^a	3,00 ^b	1,27 ^{ab}
CS 1X	35,33 ^a	5,23 ^a	5,87 ^{ab}	68,13 ^b	230,0 ^a	2,70 ^{ab}	0,33 ^{bc}	5,43 ^{ab}	2,83 ^a
CS 2X	36,33 ^a	5,60 ^{bc}	6,07 ^a	134,10 ^a	427,0 ^b	3,13 ^a	0,00 ^c	9,00 ^a	2,10 ^{ab}

Fonte: dados extraídos do laudo original, emitido em 30/06/2004. Médias seguidas da mesma letra não diferem no teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

ANEXO 12: Fotos da área experimental no período de marcação dos blocos e das parcelas.



Figura 6: Vista lateral da área experimental. **Fonte:** João Paulo Gaya, dezembro de 2002.



Figura 7: Vista frontal da área experimental. **Fonte:** João Paulo Gaya, dezembro de 2002.

ANEXO 13: Fotos do primeiro cultivo de milho.



Figura 8: Vista parcial do bloco 2. Plantas em pleno desenvolvimento. Ao fundo, Sr. Villibaldo Michels, dono da propriedade. **Fonte:** João Paulo Gaya, fevereiro de 2003.



Figura 9: Vista geral do experimento. Plantas emitindo o pendão floral. **Fonte:** João Paulo Gaya, março de 2003.

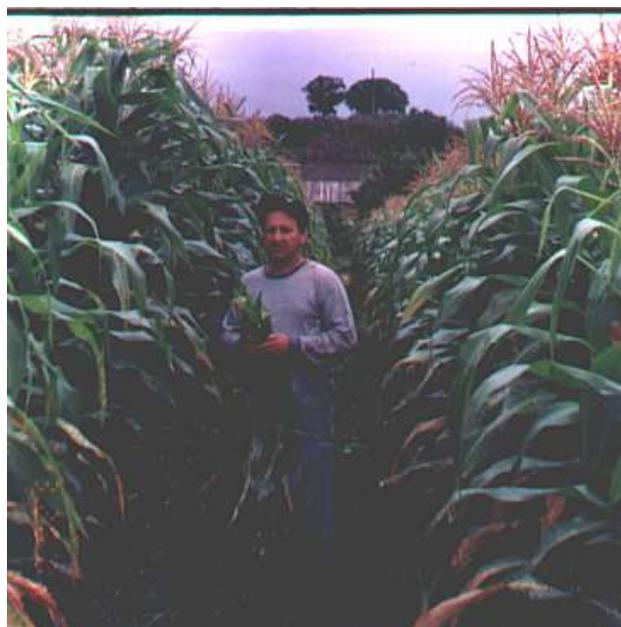


Figura 10: Vista geral do corredor localizado entre os blocos 2 e 3. Plantas iniciando o enchimento dos grãos. Ao fundo técnico Francisco Vetúlio Wagner (CCA/UFSC). **Fonte:** João Paulo Gaya, março de 2003.



Figura 11: Vista parcial da área experimental. **Fonte:** João Paulo Gaya, abril de 2003.

ANEXO 14: Fotos do primeiro cultivo de aveia.



Figura 12: Germinação da cultura da aveia. Notar a palhada do milho nas parcelas. **Fonte:** João Paulo Gaya, julho de 2003.



Figura 13: Desenvolvimento da cultura da aveia. **Fonte:** João Paulo Gaya, agosto de 2003.



Figura 14: Desenvolvimento da cultura da aveia. **Fonte:** João Paulo Gaya, agosto de 2003.



Figura 15: Porte atingido pela cultura da aveia. Vista frontal do experimento. **Fonte:** João Paulo Gaya, outubro de 2003.



Figura 16: Técnico Luiz A. da Silva (CCA/UFSC) roçando a aveia. **Fonte:** João Paulo Gaya, outubro de 2003.



Figura 17: Quadrado de madeira com 0,5 m de lado ($0,25 \text{ m}^2$) utilizado para colher a aveia. **Fonte:** João Paulo Gaya, outubro de 2003.

ANEXO 15: Fotos do segundo cultivo de milho.



Figura 18: Florescimento das plantas do segundo cultivo de milho. **Fonte:** João Paulo Gaya, 2004.



Figura 19: Vista lateral da área experimental no segundo cultivo de milho. **Fonte:** João Paulo Gaya, 2004.

ANEXO 16: Tabelas de Análise de Variância (ANOVA) das variáveis que apresentaram significância no experimento.

Tabela 40: ANOVA da variável Canônica 1.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	8868,19	2956,06	2956,05	0
Tratamentos	6	287196,70	47866,12	47865,88	0
Erro Experimental	18	18,00	1,00	.	.
Total	27	296082,89	10966,03	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	111470,91	111470,91	111470,35	0
Adubação e Dosagens	5	175725,78	35145,16	35144,98	0
Tipos de Adubação	2	147943,90	73971,95	73971,58	0
Adubação Química(AQ)	1	13191,01	13191,01	13190,94	0
Esterco Líquido(EL)	1	4818,23	4818,23	4818,21	0
Cama Sobreposta(CS)	1	9772,64	9772,64	9772,59	0
Química vs Orgânica	1	608,50	608,50	608,50	0
AQ vs EL	1	29090,21	29090,21	29090,07	0
AQ vs CS	1	45490,24	45490,24	45490,01	0
EL vs CS	1	147335,40	147335,40	147334,66	0
R² = 99,99%	CV = 0,11%	DPR = 1,00	Média Geral = 886,76		

Tabela 41: ANOVA da variável Canônica 2.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	74,13	24,71	24,71	0
Tratamentos	6	5085,80	847,63	847,63	0
Erro Experimental	18	18,00	1,00	.	.
Total	27	5177,93	191,78	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	3292,03	3292,03	3292,04	0
Adubação e Dosagens	5	1793,76	358,75	358,75	0
Tipos de Adubação	2	1253,68	626,84	626,84	0
Adubação Química(AQ)	1	114,70	114,70	114,70	0
Esterco Líquido(EL)	1	144,04	144,04	144,04	0
Cama Sobreposta(CS)	1	281,34	281,34	281,34	0
Química vs Orgânica	1	98,15	98,15	98,15	0
AQ vs EL	1	70,84	70,84	70,84	0
AQ vs CS	1	654,15	654,15	654,15	0
EL vs CS	1	1155,53	1155,53	1155,53	0
R² = 99,99%	CV = 1,41%	DPR = 1,00	Média Geral = 70,75		

Tabela 42: ANOVA da variável Carbono da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,01	0,00	0,00	99,98
Tratamentos	6	302,53	50,42	61,48	0,00
Erro Experimental	18	14,76	0,82	.	.
Total	27	317,29	11,75	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	184,17	184,17	224,58	0,00
Adubação e Dosagens	5	118,36	23,67	28,86	0,00
Tipos de Adubação	2	48,82	24,41	29,77	0,00
Adubação Química(AQ)	1	4,16	4,16	5,08	3,69
Esterco Líquido(EL)	1	36,70	36,70	44,75	0,00
Cama Sobreposta(CS)	1	28,67	28,67	34,96	0,00
Química vs Orgânica	1	0,46	0,46	0,56	46,44
AQ vs EL	1	8,36	8,36	10,19	0,50
AQ vs CS	1	16,51	16,51	20,13	0,03
EL vs CS	1	48,36	48,36	58,97	0,00
R² = 95,34%	CV = 3,41%	DPR = 0,91	Média Geral = 26,55		

Tabela 43: ANOVA da variável Carbono da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	6,11	2,04	10,92	0,03
Tratamentos	6	689,54	114,92	616,78	0,00
Erro Experimental	18	3,35	0,19	.	.
Total	27	699,00	25,89	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	469,31	469,31	2518,73	0,00
Adubação e Dosagens	5	220,23	44,05	236,39	0,00
Tipos de Adubação	2	173,95	86,97	466,78	0,00
Adubação Química(AQ)	1	13,27	13,27	71,23	0,00
Esterco Líquido(EL)	1	10,24	10,24	54,94	0,00
Cama Sobreposta(CS)	1	22,78	22,78	122,24	0,00
Química vs Orgânica	1	17,23	17,23	92,46	0,00
AQ vs EL	1	7,10	7,10	38,11	0,00
AQ vs CS	1	97,10	97,10	521,13	0,00
EL vs CS	1	156,72	156,72	841,09	0,00
R² = 99,52%	CV = 1,69%	DPR = 0,43	Média Geral = 25,49		

Tabela 44: ANOVA da variável Nitrogênio da Biomassa Microbiana no final do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	2362,10	787,37	4,74	1,31
Tratamentos	6	20042,99	3340,50	20,12	0,00
Erro Experimental	18	2988,68	166,04	.	.
Total	27	25393,76	940,51	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	14511,55	14511,55	87,40	0,00
Adubação e Dosagens	5	5531,44	1106,29	6,66	0,11
Tipos de Adubação	2	1768,31	884,16	5,33	1,53
Adubação Química(AQ)	1	1043,02	1043,02	6,28	2,20
Esterco Líquido(EL)	1	64,34	64,34	0,39	54,14
Cama Sobreposta(CS)	1	2655,77	2655,77	15,99	0,08
Química vs Orgânica	1	1247,86	1247,86	7,52	1,34
AQ vs EL	1	368,09	368,09	2,22	15,38
AQ vs CS	1	1763,92	1763,92	10,62	0,44
EL vs CS	1	520,45	520,45	3,13	9,36
R² = 88,23%	CV = 8,59%	DPR = 12,89	Média Geral = 149,97		

Tabela 45: ANOVA da variável pH na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,26	0,09	2,54	8,89
Tratamentos	6	0,77	0,13	3,72	1,39
Erro Experimental	18	0,62	0,03	.	.
Total	27	1,66	0,06	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,15	0,15	4,47	4,87
Adubação e Dosagens	5	0,62	0,12	3,57	2,03
Tipos de Adubação	2	0,60	0,30	8,70	0,23
Adubação Química(AQ)	1	0,01	0,01	0,14	70,85
Esterco Líquido(EL)	1	0,00	0,00	0,00	100,00
Cama Sobreposta(CS)	1	0,01	0,01	0,32	57,58
Química vs Orgânica	1	0,42	0,42	12,18	0,26
AQ vs EL	1	0,12	0,12	3,54	7,63
AQ vs CS	1	0,60	0,60	17,34	0,06
EL vs CS	1	0,18	0,18	5,21	3,48
R² = 62,46%	CV = 3,56%	DPR = 0,19	Média Geral = 5,23		

Tabela 46: ANOVA da variável pH na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,20	0,07	1,07	38,62
Tratamentos	6	3,72	0,62	9,92	0,01
Erro Experimental	18	1,13	0,06	.	.
Total	27	5,05	0,19	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,01	0,01	0,14	71,55
Adubação e Dosagens	5	3,71	0,74	11,88	0,00
Tipos de Adubação	2	3,16	1,58	25,26	0,00
Adubação Química(AQ)	1	0,44	0,44	6,96	1,67
Esterco Líquido(EL)	1	0,01	0,01	0,14	71,06
Cama Sobreposta(CS)	1	0,11	0,11	1,74	20,35
Química vs Orgânica	1	1,47	1,47	23,51	0,01
AQ vs EL	1	0,16	0,16	2,56	12,71
AQ vs CS	1	2,89	2,89	46,21	0,00
EL vs CS	1	1,69	1,69	27,02	0,01
R² = 77,70%	CV = 4,91%	DPR = 0,25	Média Geral = 5,09		

Tabela 47: ANOVA da variável pH na profundidade de 15-30 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,12	0,04	1,16	35,08
Tratamentos	6	2,88	0,48	14,20	0,00
Erro Experimental	18	0,61	0,03	.	.
Total	27	3,61	0,13	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,13	0,13	3,83	6,59
Adubação e Dosagens	5	2,75	0,55	16,27	0,00
Tipos de Adubação	2	2,25	1,13	33,28	0,00
Adubação Química(AQ)	1	0,22	0,22	6,57	1,95
Esterco Líquido(EL)	1	0,01	0,01	0,26	61,44
Cama Sobreposta(CS)	1	0,27	0,27	7,95	1,13
Química vs Orgânica	1	1,04	1,04	30,77	0,00
AQ vs EL	1	0,11	0,11	3,29	8,66
AQ vs CS	1	2,05	2,05	60,77	0,00
EL vs CS	1	1,21	1,21	35,79	0,00
R² = 83,13%	CV = 3,70%	DPR = 0,18	Média Geral = 4,97		

Tabela 48: ANOVA da variável Matéria Orgânica na profundidade de 15-30 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,26	0,09	2,00	15,01
Tratamentos	6	1,65	0,28	6,36	0,10
Erro Experimental	18	0,78	0,04	.	.
Total	27	2,69	0,10	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,02	0,02	0,48	49,79
Adubação e Dosagens	5	1,63	0,33	7,54	0,06
Tipos de Adubação	2	1,17	0,59	13,56	0,03
Adubação Química(AQ)	1	0,08	0,08	1,85	19,10
Esterco Líquido(EL)	1	0,00	0,00	0,05	82,34
Cama Sobreposta(CS)	1	0,38	0,38	8,67	0,87
Química vs Orgânica	1	0,53	0,53	12,34	0,25
AQ vs EL	1	0,05	0,05	1,26	27,71
AQ vs CS	1	1,07	1,07	24,64	0,01
EL vs CS	1	0,64	0,64	14,77	0,12
R² = 70,10%	CV = 8,01%	DPR = 0,28	Média Geral = 2,60		

Tabela 49: ANOVA da variável Alumínio na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,87	0,29	7,76	0,16
Tratamentos	6	1,37	0,23	6,11	0,12
Erro Experimental	18	0,67	0,04	.	.
Total	27	2,91	0,11	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,15	0,15	4,15	5,66
Adubação e Dosagens	5	1,21	0,24	6,51	0,13
Tipos de Adubação	2	1,13	0,57	15,18	0,01
Adubação Química(AQ)	1	0,00	0,00	0,00	100,00
Esterco Líquido(EL)	1	0,00	0,00	0,03	85,68
Cama Sobreposta(CS)	1	0,08	0,08	2,14	16,03
Química vs Orgânica	1	0,99	0,99	26,59	0,01
AQ vs EL	1	0,46	0,46	12,21	0,26
AQ vs CS	1	1,10	1,10	29,56	0,00
EL vs CS	1	0,14	0,14	3,77	6,80
R² = 76,92%	CV = 43,61%	DPR = 0,19	Média Geral = 0,44		

Tabela 50: ANOVA da variável Alumínio na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	0,98	0,33	3,98	2,45
Tratamentos	6	5,83	0,97	11,85	0,00
Erro Experimental	18	1,48	0,08	.	.
Total	27	8,28	0,31	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,44	0,44	5,32	3,32
Adubação e Dosagens	5	5,39	1,08	13,16	0,00
Tipos de Adubação	2	3,96	1,98	24,18	0,00
Adubação Química(AQ)	1	1,39	1,39	16,94	0,06
Esterco Líquido(EL)	1	0,02	0,02	0,24	62,73
Cama Sobreposta(CS)	1	0,02	0,02	0,24	62,73
Química vs Orgânica	1	1,61	1,61	19,68	0,03
AQ vs EL	1	0,11	0,11	1,36	25,95
AQ vs CS	1	3,48	3,48	42,50	0,00
EL vs CS	1	2,35	2,35	28,68	0,00
R² = 82,18%	CV = 50,61%	DPR = 0,29	Média Geral = 0,57		

Tabela 51: ANOVA da variável Alumínio na profundidade de 15-30 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	1,17	0,39	4,29	1,90
Tratamentos	6	6,34	1,06	11,59	0,00
Erro Experimental	18	1,64	0,09	.	.
Total	27	9,15	0,34	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,02	0,02	0,23	63,91
Adubação e Dosagens	5	6,32	1,26	13,86	0,00
Tipos de Adubação	2	5,91	2,96	32,43	0,00
Adubação Química(AQ)	1	0,18	0,18	1,97	17,70
Esterco Líquido(EL)	1	0,00	0,00	0,02	87,77
Cama Sobreposta(CS)	1	0,22	0,22	2,44	13,59
Química vs Orgânica	1	2,55	2,55	27,99	0,00
AQ vs EL	1	0,22	0,22	2,39	13,96
AQ vs CS	1	5,29	5,29	58,03	0,00
EL vs CS	1	3,36	3,36	36,87	0,00
R² = 82,07%	CV = 34,84%	DPR = 0,30	Média Geral = 0,87		

Tabela 52: ANOVA da variável Fósforo na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	11626,06	3875,35	6,15	0,46
Tratamentos	6	22553,72	3758,95	5,96	0,14
Erro Experimental	18	11351,18	630,62	.	.
Total	27	45530,96	1686,33	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	0,43	0,43	0,00	97,94
Adubação e Dosagens	5	22553,29	4510,66	7,15	0,08
Tipos de Adubação	2	19542,96	9771,48	15,50	0,01
Adubação Química(AQ)	1	0,08	0,08	0,00	99,11
Esterco Líquido(EL)	1	1117,07	1117,07	1,77	19,98
Cama Sobreposta(CS)	1	1893,18	1893,18	3,00	10,03
Química vs Orgânica	1	10262,85	10262,85	16,27	0,08
AQ vs EL	1	1565,52	1565,52	2,48	13,25
AQ vs CS	1	18468,81	18468,81	29,29	0,00
EL vs CS	1	9280,11	9280,11	14,72	0,12
R² = 75,07%	CV = 44,14%	DPR= 25,11	Média Geral = 56,90		

Tabela 53: ANOVA da variável Fósforo na profundidade de 15-30 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	1594,48	531,49	0,91	45,38
Tratamentos	6	45323,64	7553,94	12,99	0,00
Erro Experimental	18	10464,52	581,36	.	.
Total	27	57382,64	2125,28	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	1341,12	1341,12	2,31	14,62
Adubação e Dosagens	5	43982,52	8796,50	15,13	0,00
Tipos de Adubação	2	35186,36	17593,18	30,26	0,00
Adubação Química(AQ)	1	54,78	54,78	0,09	76,24
Esterco Líquido(EL)	1	29,39	29,39	0,05	82,46
Cama Sobreposta(CS)	1	8712,00	8712,00	14,99	0,11
Química vs Orgânica	1	10964,62	10964,62	18,86	0,04
AQ vs EL	1	165,55	165,55	0,28	60,01
AQ vs CS	1	28392,25	28392,25	48,84	0,00
EL vs CS	1	24221,73	24221,73	41,66	0,00
R² = 81,76%	CV = 54,45%	DPR= 24,11	Média Geral = 44,29		

Tabela 54: ANOVA da variável Potássio na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	10469,25	3489,75	1,33	29,65
Tratamentos	6	209031,50	34838,58	13,25	0,00
Erro Experimental	18	47320,50	2628,92	.	.
Total	27	266821,25	9882,27	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	154,29	154,29	0,06	81,13
Adubação e Dosagens	5	208877,21	41775,44	15,89	0,00
Tipos de Adubação	2	182521,08	91260,54	34,71	0,00
Adubação química(AQ)	1	612,50	612,50	0,23	63,51
Esterco Líquido(EL)	1	7503,13	7503,13	2,85	10,84
Cama Sobreposta(CS)	1	18240,50	18240,50	6,94	1,68
química vs Orgânica	1	72463,02	72463,02	27,56	0,01
AQ vs EL	1	4522,56	4522,56	1,72	20,61
AQ vs CS	1	159201,00	159201,00	60,56	0,00
EL vs CS	1	110058,06	110058,06	41,86	0,00
R² = 82,27%	CV = 31,80%	DPR= 51,27	Média Geral = 161,25		

Tabela 55: ANOVA da variável Potássio na profundidade de 0-15 cm no final do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	15250,68	5083,56	0,69	56,99
Tratamentos	6	187156,71	31192,79	4,23	0,79
Erro Experimental	18	132629,57	7368,31	.	.
Total	27	335036,96	12408,78	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	7954,38	7954,38	1,08	31,26
Adubação e Dosagens	5	179202,33	35840,47	4,86	0,55
Tipos de Adubação	2	131354,08	65677,04	8,91	0,20
Adubação química(AQ)	1	1378,13	1378,13	0,19	67,05
Esterco Líquido(EL)	1	12800,00	12800,00	1,74	20,40
Cama Sobreposta(CS)	1	33670,13	33670,13	4,57	4,65
química vs Orgânica	1	68478,52	68478,52	9,29	0,69
AQ vs EL	1	10251,56	10251,56	1,39	25,35
AQ vs CS	1	123904,00	123904,00	16,82	0,07
EL vs CS	1	62875,56	62875,56	8,53	0,91
R² = 60,41%	CV = 56,27%	DPR= 85,84	Média Geral = 152,54		

Tabela 56: ANOVA da variável Potássio na profundidade de 15-30 cm no final do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	8702,11	2900,70	0,64	59,72
Tratamentos	6	151641,21	25273,54	5,60	0,20
Erro Experimental	18	81189,64	4510,54	.	.
Total	27	241532,96	8945,67	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	6575,01	6575,01	1,46	24,29
Adubação e Dosagens	5	145066,21	29013,24	6,43	0,14
Tipos de Adubação	2	95695,08	47847,54	10,61	0,09
Adubação química(AQ)	1	882,00	882,00	0,20	66,36
Esterco Líquido(EL)	1	18721,13	18721,13	4,15	5,66
Cama Sobreposta(CS)	1	29768,00	29768,00	6,60	1,93
química vs Orgânica	1	56787,52	56787,52	12,59	0,23
AQ vs EL	1	11610,06	11610,06	2,57	12,60
AQ vs CS	1	93025,00	93025,00	20,62	0,03
EL vs CS	1	38907,56	38907,56	8,63	0,88
R² = 66,39% CV = 47,79% DPR= 67,16 Média Geral = 140,54					

Tabela 57: ANOVA da variável Potássio na profundidade de 0-15 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	3494,57	1164,86	0,28	84,01
Tratamentos	6	479802,54	79967,09	19,12	0,00
Erro Experimental	18	75266,10	4181,45	.	.
Total	27	558563,21	20687,53	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	12365,72	12365,72	2,96	10,26
Adubação e Dosagens	5	467436,81	93487,36	22,36	0,00
Tipos de Adubação	2	457714,81	228857,41	54,73	0,00
Adubação química(AQ)	1	1088,89	1088,89	0,26	61,60
Esterco Líquido(EL)	1	355,56	355,56	0,09	77,39
Cama Sobreposta(CS)	1	8277,56	8277,56	1,98	17,65
química vs Orgânica	1	153378,70	153378,70	36,68	0,00
AQ vs EL	1	4011,11	4011,11	0,96	34,04
AQ vs CS	1	378225,00	378225,00	90,45	0,00
EL vs CS	1	304336,11	304336,11	72,78	0,00
R² = 86,53% CV = 27,86% DPR= 64,66 Média Geral = 232,14					

Tabela 58: ANOVA da variável Potássio na profundidade de 15-30 cm no final do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	13277,24	4425,75	1,28	31,05
Tratamentos	6	356916,19	59486,03	17,24	0,00
Erro Experimental	18	62107,43	3450,41	.	.
Total	27	432300,86	16011,14	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	12411,52	12411,52	3,60	7,40
Adubação e Dosagens	5	344504,67	68900,93	19,97	0,00
Tipos de Adubação	2	264232,44	132116,22	38,29	0,00
Adubação química(AQ)	1	854,22	854,22	0,25	62,48
Esterco Líquido(EL)	1	1800,00	1800,00	0,52	47,94
Cama Sobreposta(CS)	1	77618,00	77618,00	22,50	0,02
química vs Orgânica	1	89787,00	89787,00	26,02	0,01
AQ vs EL	1	2567,11	2567,11	0,74	39,97
AQ vs CS	1	219336,11	219336,11	63,57	0,00
EL vs CS	1	174445,44	174445,44	50,56	0,00
R² = 85,63% CV = 34,10% DPR = 58,74 Média Geral = 172,24					

Tabela 59: ANOVA da variável Produtividade de grãos do primeiro cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	1727,47	575,82	4,88	1,18
Tratamentos	6	1911,45	318,58	2,70	4,78
Erro Experimental	18	2125,98	118,11	.	.
Total	27	5764,91	213,52	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	613,19	613,19	5,19	3,51
Adubação e Dosagens	5	1298,26	259,65	2,20	9,97
Tipos de Adubação	2	313,96	156,98	1,33	28,95
Adubação química(AQ)	1	19,03	19,03	0,16	69,28
Esterco Líquido(EL)	1	726,62	726,62	6,15	2,32
Cama Sobreposta(CS)	1	238,65	238,65	2,02	17,23
química vs Orgânica	1	259,72	259,72	2,20	15,54
AQ vs EL	1	105,56	105,56	0,89	35,70
AQ vs CS	1	311,14	311,14	2,63	12,20
EL vs CS	1	54,24	54,24	0,46	50,66
R² = 63,12% CV = 15,44% DPR = 10,87 Média Geral = 70,39					

Tabela 60: ANOVA da variável Matéria Seca do primeiro cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	13797093,49	4599031,16	0,65	59,57
Tratamentos	6	116086301,15	19347716,86	2,72	4,66
Erro Experimental	18	128219581,91	7123310,11	.	.
Total	27	258102976,55	9559369,50	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	10688858,34	10688858,34	1,50	23,64
Adubação e Dosagens	5	105397442,81	21079488,56	2,96	4,03
Tipos de Adubação	2	82782550,79	41391275,40	5,81	1,13
Adubação química(AQ)	1	5193864,50	5193864,50	0,73	40,44
Esterco Líquido(EL)	1	17133682,35	17133682,35	2,41	13,83
Cama Sobreposta(CS)	1	287345,17	287345,17	0,04	84,31
química vs Orgânica	1	56211704,61	56211704,61	7,89	1,16
AQ vs EL	1	15332184,40	15332184,40	2,15	15,96
AQ vs CS	1	82270795,61	82270795,61	11,55	0,32
EL vs CS	1	26570846,18	26570846,18	3,73	6,93
R² = 50,32%					
CV = 15,10%		DPR= 2668,95		Média Geral = 17671,97	

Tabela 61: ANOVA da variável Produtividade do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	294,75	98,25	0,45	72,21
Tratamentos	6	13024,09	2170,68	9,89	0,01
Erro Experimental	18	3952,41	219,58	.	.
Total	27	17271,25	639,68	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	11263,14	11263,14	51,29	0,00
Adubação e Dosagens	5	1760,95	352,19	1,60	20,96
Tipos de Adubação	2	1671,71	835,86	3,81	4,18
Adubação química(AQ)	1	71,40	71,40	0,33	57,56
Esterco Líquido(EL)	1	9,65	9,65	0,04	83,63
Cama Sobreposta(CS)	1	8,19	8,19	0,04	84,90
química vs Orgânica	1	204,38	204,38	0,93	34,74
AQ vs EL	1	994,37	994,37	4,53	4,74
AQ vs CS	1	45,86	45,86	0,21	65,31
EL vs CS	1	1467,34	1467,34	6,68	1,87
R² = 77,12%					
CV = 23,98%		DPR= 14,82		Média Geral = 61,81	

Tabela 62: ANOVA da variável Matéria Seca do segundo cultivo de milho.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	196627536,52	65542512,17	3,25	4,59
Tratamentos	6	755723131,62	125953855,27	6,25	0,11
Erro Experimental	18	362536055,13	20140891,95	.	.
Total	27	1314886723,26	48699508,27	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	617704586,30	617704586,30	30,67	0,00
Adubação e Dosagens	5	138018545,32	27603709,06	1,37	28,15
Tipos de Adubação	2	96259893,40	48129946,70	2,39	12,01
Adubação química(AQ)	1	29282,00	29282,00	0,00	97,00
Esterco Líquido(EL)	1	2621201,92	2621201,92	0,13	72,25
Cama Sobreposta(CS)	1	39108168,00	39108168,00	1,94	18,04
química vs Orgânica	1	17755042,94	17755042,94	0,88	36,02
AQ vs EL	1	609961,00	609961,00	0,03	86,38
AQ vs CS	1	65275028,64	65275028,64	3,24	8,86
EL vs CS	1	78504850,46	78504850,46	3,90	6,39
R² = 72,43% CV = 20,38% DPR= 4487,86 Média Geral = 22023,05					

Tabela 63: ANOVA da variável Matéria Verde do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	88306863,19	29435621,06	0,84	48,75
Tratamentos	6	1409843686,13	234973947,69	6,74	0,07
Erro Experimental	18	627640193,88	34868899,66	.	.
Total	27	2125790743,20	78732990,49	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	699621751,96	699621751,96	20,06	0,03
Adubação e Dosagens	5	710221934,17	142044386,83	4,07	1,19
Tipos de Adubação	2	481543878,37	240771939,18	6,91	0,59
Adubação química(AQ)	1	11400,50	11400,50	0,00	98,58
Esterco Líquido(EL)	1	110566033,83	110566033,83	3,17	9,18
Cama Sobreposta(CS)	1	118100621,47	118100621,47	3,39	8,23
química vs Orgânica	1	471365513,34	471365513,34	13,52	0,17
AQ vs EL	1	296082913,84	296082913,84	8,49	0,93
AQ vs CS	1	416054538,68	416054538,68	11,93	0,28
EL vs CS	1	10178365,03	10178365,03	0,29	59,56
R² = 70,48% CV = 11,20% DPR= 5904,99 Média Geral = 52736,47					

Tabela 64: ANOVA da variável Matéria Seca do primeiro cultivo de aveia.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Nível mínimo de significância (%)
Blocos	3	9193143,28	3064381,09	1,04	39,84
Tratamentos	6	100601145,58	16766857,60	5,69	0,18
Erro Experimental	18	53000639,92	2944480,00	.	.
Total	27	162794928,77	6029441,81	.	.
Adubado vs Não Adubado	1	28157800,48	28157800,48	9,56	0,63
Adubação e Dosagens	5	72443345,10	14488669,02	4,92	0,52
Tipos de Adubação	2	15516407,71	7758203,85	2,63	9,92
Adubação química(AQ)	1	2849345,95	2849345,95	0,97	33,83
Esterco Líquido(EL)	1	13451535,23	13451535,23	4,57	4,65
Cama Sobreposta(CS)	1	40626056,20	40626056,20	13,80	0,16
química vs Orgânica	1	13599770,34	13599770,34	4,62	4,55
AQ vs EL	1	6257520,04	6257520,04	2,13	16,21
AQ vs CS	1	15100454,16	15100454,16	5,13	3,61
EL vs CS	1	1916637,36	1916637,36	0,65	43,03
<hr/>					
R² = 67,44%	CV = 15,05%	DPR= 1715,95	Média Geral = 11399,54		