

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL
DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES,
ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

TESE DE DOUTORADO

Carla Maria Pandolfo

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL DO
USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES,
ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

por

Carla Maria Pandolfo

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Área de Concentração Processos Químicos e Ciclagem de
Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

Orientador: Carlos Alberto Ceretta

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

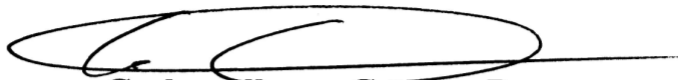
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL DO USO DE
FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS
DE PREPARO DO SOLO**

elaborada por
Carla Maria Pandolfo

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

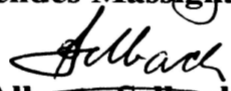
COMISSÃO EXAMINADORA:



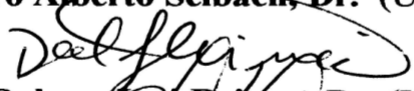
Carlos Alberto Ceretta, Dr.
(Presidente/Orientador)



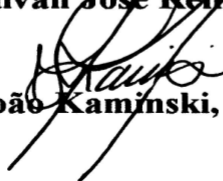
Ângelo Mendes Massignam, Dr. (EPAGRI)



Pedro Alberto Selbach, Dr. (UFRGS)



Dalvan José Reinert, Dr. (UFSM)



João Kaminski, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 24 de junho de 2005.

Ao meu pai Euclides (*in memoriam*),

À minha mãe Eni,

À minha irmã Cristina,

Ao meu esposo Milton,

Aos meus filhos Arthur e Renata,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Solo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela possibilidade de realização do curso de doutorado e deste trabalho.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) que, através do seu programa de Pós-Graduação, possibilitou a realização do curso de doutorado e à Gerência Regional e Estação Experimental de Campos Novos pelos recursos humanos e materiais na realização dos trabalhos de campo e de laboratório.

Ao Professor Carlos Alberto Ceretta, pela orientação, pela confiança, constante estímulo, companheirismo e dedicação à Ciência do Solo.

Aos professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos, profissionalismo e convivência.

Aos colegas pesquisadores da Estação Experimental de Campos Novos pelo apoio e estímulo, especialmente ao Ângelo Mendes Massignam pelas sugestões ao trabalho, estímulo e pronta disposição no auxílio das análises dos dados.

Aos colegas contemporâneos de curso, especialmente Paulo S. Pavinato, Jorge L. Mattias, Ben-Hur de Campos, Milton da Veiga e Valmir J. de Quadros pelas discussões, aprendizado, companheirismo e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela ajuda e prestatividade.

Aos bolsistas de iniciação científica, Isabel L. Moreira, Eduardo Giroto, Éder Trentin e Elisandra Pocojeski, pelo auxílio recebido nas atividades de campo e de laboratório.

Ao meu esposo Milton e aos meus filhos Arthur e Renata, por em conjunto aceitarem este desafio com compreensão, estímulo e amor.

A todos, indistintamente, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO

AUTORA: CARLA MARIA PANDOLFO

ORIENTADOR: CARLOS ALBERTO CERETTA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 24 de junho de 2005.

Os esterco têm sido utilizados como fontes orgânicas de nutrientes em diversas condições edafoclimáticas e seu desempenho nos aspectos técnico, econômico e ambiental são dependentes de suas características e alterados pela forma como o solo é manejado. Muitos estudos foram realizados analisando-os sob aspectos específicos, porém, poucos estudos têm analisado conjuntamente os aspectos técnico, econômico e ambiental. Uma avaliação mais ampla do uso continuado dos esterco como fontes de nutrientes através de ferramentas integradoras, pode contribuir no entendimento de seus efeitos no sistema e embasar a tomada de decisão no uso destas fontes, assegurando o seu uso de forma racional. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar os aspectos técnico, econômico e ambiental do uso de fontes de nutrientes, associadas a sistemas de preparo do solo, comparando as fontes de nutrientes entre si, bem como fazer uma análise conjunta dos três aspectos estudados e testar o modelo de análise utilizado. Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado um experimento conduzido por dez anos na Estação Experimental da Epagri de Campos Novos/SC, em um Nitossolo Vermelho. Os tratamentos constituíram-se da combinação de cinco sistemas de preparo (plantio direto; preparo reduzido; preparo convencional; preparo convencional com resíduos queimados e; preparo convencional com resíduos retirados) com cinco fontes de nutrientes (testemunha, sem aplicação de nutrientes (TES); adubação mineral de acordo com a recomendação para cada cultura (AM); 5 Mg ha⁻¹ de matéria úmida de cama de aves (EA); 60 m³ ha⁻¹ de esterco líquido de bovinos (ELB) e; 40 m³ ha⁻¹ de esterco líquido de suínos (ELS). Para avaliação do uso das fontes de nutrientes nos aspectos técnico, econômico, ambiental e no conjunto destes, foi utilizado um modelo com atributos de solo, de planta, econômicos e de opinião pessoal. As saídas deste modelo, para cada fonte de nutriente dentro de cada sistema de preparo do solo, foram figuras triangulares e a área das mesmas com intervalo de confiança a 90% de probabilidade. Os atributos utilizados no aspecto técnico foram pH em água, ISMP,

P e K disponíveis, matéria orgânica, alumínio trocável, Ca e Mg trocáveis, macroporosidade, densidade do solo, conteúdo de água disponível, estabilidade de agregados em água, matéria seca das plantas de cobertura de inverno, comprimento e distribuição de raízes de milho em profundidade. No aspecto econômico foram utilizados os custos variáveis, a receita bruta e o custo de uma adubação corretiva mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes. No aspecto ambiental foram utilizados os atributos Zn e Cu disponíveis, formas lábeis e moderadamente lábeis de P, índice de diversidade da mesofauna do solo e dois questionários de opinião sobre o impacto ambiental do uso dos esterco e dos sistemas de preparo do solo. Verificou-se que as fontes de nutrientes promoveram melhorias na maioria dos aspectos analisados e o desempenho foi diferenciado nos sistemas de preparo. As fontes orgânicas não se diferenciaram quanto ao aspecto técnico após nove anos de uso. Porém, houve diferença no aspecto econômico, onde o EA e o ELS foram os que apresentaram o melhor desempenho. Quanto ao aspecto ambiental, o ELS foi a fonte orgânica que apresentou o pior desempenho. Na análise conjunta dos aspectos, o EA e o ELS foram as fontes de nutrientes que apresentaram o melhor desempenho, superando o ELB. O melhor desempenho geral das fontes de nutrientes ocorreu nos sistemas de preparo conservacionistas e o pior nos sistemas que envolvem maior mobilização do solo e remoção ou queima dos resíduos culturais.

Palavras-chaves: Esterco, Manejo do solo, Modelo de análise.

ABSTRACT

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

TECHNICAL, ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ORGANIC NUTRIENT SOURCES ASSOCIATED WITH SOIL TILLAGE SYSTEMS

AUTHOR: CARLA MARIA PANDOLFO
ADVISER: CARLOS ALBERTO CERETTA
Place and Date: Santa Maria, June 24, 2005.

The manures have been used as organic nutrient sources in many soil and climatic conditions, and their effects on technical, economic and environmental aspects are dependent on their characteristics and it can be changed by soil tillage. Many studies have been performed to analyse these aspects, however a few of them have analysed the interactions of these three aspects. The analyse of long-term use of manure can contribute to understand of their impact on the agricultural system. Furthermore, it also can contribute to make decision about their use as fertilizer with aim the rational use. The objectives of this study were to quantify and analyse the technical, economical and environmental aspects of organic nutrient sources, do a combine analyse of these three aspects, and to compare the different nutrient sources. The study was carried out at Epagri Experimental Station of Campos Novos, in a Haplorthox, using a long-term experiment. The treatments were a combination of five tillage systems (no-till, chisel plow, conventional tillage, conventional tillage with crop residues burned, and conventional tillage with crop residues removed from the field) with five nutrient sources (TES = control, no fertilizer; AM = mineral fertilizer according with technical recommendation for each crop; EA = 5 Mg ha⁻¹ of moisture poultry litter; ELB = 60 m³ ha⁻¹ of liquid cattle manure; and ELS = 40 m³ ha⁻¹ of liquid pig manure). A model was used to quantify and analyse the effect of nutrient sources in the technical, economic, and environmental aspects, for each nutrient source within each soil tillage. The model had attributes from soil, plant, economic, as well as personal opinion. The outputs were triangular pictures and theirs areas with 90% confidence limits. The attributes in the technical aspect were soil pH in water, potential acidity at soil pH, available P and K, organic matter, exchangeable Al, Ca and Mg, macroporosity, bulk density, available water content, water stability of aggregates, dry-matter of winter cover crops, and root length and distribution in the soil profile. In the economical aspect, the attributes were variable costs of production, total

income, and the cost of the necessity of lime and fertilizers application to improve soil chemical condition after nine years of applying treatments. For the environmental aspect, the attributes were available Cu and Zn, moderately and labile P compounds, diversity index of soil mesofauna, and questioner with technical opinion about nutrient sources and soil tillage impacts. Nutrient sources promoted improvement in the majority of analysed aspects, but the effect was variable among tillage systems. Organic sources did not differ in technical aspect after nine years of applying treatments. However, there was difference in the economical aspect, when the EA and ELS sources showed better performance. Regarding to environmental aspect, the ELS had the worst performance. In the combine analysis of the three aspects, the EA and ELS sources had better performance than ELB source. The better overall performance of nutrient sources was found in the conservation tillages, and the worse in the tillage systems with greater soil mobilization and burning or remotion of crop residues.

Key words : Manure, Soil management, Analysis model.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Quantidades de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O adicionadas ao solo pelas fontes de nutrientes nos nove anos de condução do experimento.....	36
Tabela 1.2 - Culturas, espaçamento entre linhas, sementes por metro linear, densidade de plantas e quantidade de sementes por hectare.....	36
Tabela 1.3 - Média, limite superior e inferior da área do aspecto técnico, do índice de planta, do índice físico e do índice químico do solo para as fontes de nutrientes, associadas a sistemas de preparos de solo.....	57
Tabela 1.4 - Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice de planta para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	62
Tabela 1.5 - Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice físico do solo para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	64
Tabela 1.6 - Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice químico do solo para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	66
Tabela 1.7 - Correlações obtidas entre a área do aspecto técnico, o IP, o IQS e o IFS com a produtividade acumulada de grãos em nove anos.....	68
Tabela 2.1 - Modelo de planilha utilizada para cálculo da receita bruta do sistema cultura de inverno/milho.....	73
Tabela 2.2 - Coeficientes técnicos utilizados para cálculo do custo variável do sistema cultura de inverno/culturas de milho, feijão e soja e no processo de fenação ou silagem das plantas de cobertura.	74
Tabela 2.3 - Exemplo da planilha utilizada para calcular os custos variáveis no sistema cultura de inverno/milho.....	76
Tabela 2.4 - Média, limite superior e inferior da área do aspecto econômico e dos atributos valorados custo de uma adubação mais calagem, custos variáveis e receita bruta, para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	86
Tabela 3.1 - Média, limite superior e inferior da área do aspecto ambiental e dos índices de carbono e nitrogênio, risco ambiental e de diversidade, para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	102
Tabela 3.2 - Média, limite superior e inferior dos índices que compõem o risco ambiental para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	103
Tabela 3.3 - Média, limite superior e inferior do índice de Simpson e dos atributos valorados que compõem o índice de carbono e nitrogênio para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.....	104
Tabela 4.1 - Média, limite inferior e superior da área conjunta dos aspectos técnico, econômico e ambiental para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo e para o conjunto destes.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da relação entre os capítulos que compõe a tese e o número de atributos e/ou índices em cada aspecto estudado	21
Figura 1.1 - Esquema do modelo para análise das fontes orgânicas de nutrientes.....	40
Figura 1.2 - Esquema dos três triângulos que compõem a área total	41
Figura 1.3 - Curvas de valoração para o pH em água nos sistemas de plantio direto e preparo convencional.....	44
Figura 1.4 - Curva de valoração para os teores de fósforo disponível no solo	44
Figura 1.5 - Curva de valoração para os teores de potássio disponível no solo	45
Figura 1.6 - Curva de valoração para os teores de matéria orgânica do solo	45
Figura 1.7 - Curva de valoração para a saturação de alumínio do solo	46
Figura 1.8 - Curva de valoração para os teores de Ca+Mg trocáveis do solo	47
Figura 1.9 - Curva de valoração para a macroporosidade do solo	48
Figura 1.10 - Curva de valoração para a densidade do solo	49
Figura 1.11 - Aspecto técnico do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelo índice de planta (IP), índice químico do solo (IQS) e índice físico do solo (IFS).....	52
Figura 1.12- Área do aspecto técnico, IP, IQS e IFS versus a produtividade acumulada de grãos de milho, soja e feijão durante nove anos	68
Figura 2.1 - Curva de valoração para o custo de uma adubação com NPK + calagem, após nove anos de condução do experimento	81
Figura 2.2 - Aspecto econômico do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelos atributos receita bruta (RB_r), custos variáveis (CV_r) e custo de uma adubação mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes (CC_v)	85
Figura 3.1 - Curva de valoração para o Índice de diversidade de Simpson.....	96
Figura 3.2 - Aspecto ambiental do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelo índice de risco ambiental (IRA), índice de diversidade (ID) e índice de carbono e nitrogênio (ICN).....	101
Figura 4.1 - Aspecto geral do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelos aspectos técnico, econômico e ambiental.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AM	Adubo mineral
(Ca+Mg)	Cálcio mais magnésio disponíveis no solo
(Ca+Mg) _v	Cálcio mais magnésio valorados
CAD	Conteúdo de água disponível no solo
CAD _v	Conteúdo de água disponível no solo valorado
CC	Custo de uma adubação corretiva mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes
CC _v	Custo de uma adubação corretiva mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes valorado
COT	Carbono orgânico total do solo
COT _r	Carbono orgânico total relativizado
CR	Comprimento de raízes
CR _r	Comprimento de raízes relativizado
CV	Custos variáveis
CV _r	Custos variáveis relativizados
DMG _{ea}	Diâmetro médio geométrico dos agregados estáveis em água
DMG _{sa}	Diâmetro médio geométrico dos agregados secos ao ar
DP	Desvio de fósforo total
DP _r	Desvio de fósforo total relativizado
DR	Distribuição de raízes
DR _v	Distribuição de raízes valorada
ds	Densidade do solo
ds _v	Densidade do solo valorada
EA	Cama de aves
ELB	Esterco líquido de bovinos
ELS	Esterco líquido de suínos
ICN	Índice de carbono e nitrogênio
ICu	Índice de cobre
ID	Índice de diversidade
IEA	Índice de estabilidade dos agregados
IEA _r	Índice de estabilidade dos agregados relativizado
IFS	Índice físico do solo
IM	Índice de metais
IP	Índice de planta
IPo	Índice de fósforo

IPT	Índice de percepção dos técnicos
IQS	Índice químico do solo
IRA	Índice de risco ambiental
IS	Índice de Simpson
IZn	Índice de zinco
K	Potássio disponível no solo
K _v	Potássio disponível valorado
<i>m</i>	Saturação do solo por alumínio
<i>m_v</i>	Saturação por alumínio valorada
mac	Macroporosidade do solo
mac _v	Macroporosidade do solo valorada
MO	Matéria orgânica do solo
MO _v	Matéria orgânica do solo valorada
MS	Matéria seca das plantas de cobertura
MS _r	Matéria seca das plantas de cobertura relativizada
NT	Nitrogênio total do solo
NT _r	Nitrogênio total do solo relativizado
P	Fósforo disponível no solo
P _v	Fósforo disponível valorado
PCO	Preparo convencional
PCQ	Preparo convencional com resíduos vegetais queimados
PCR	Preparo convencional com resíduos vegetais retirados
PD	Plantio direto
pH _v	pH em água
pH _v	pH em água valorado
PRE	Preparo reduzido
Pt	Fósforo total (formas lábeis e moderadamente lábeis)
Pt _r	Fósforo total (formas lábeis e moderadamente lábeis) relativizado
RB	Receita bruta
RB _r	Receita bruta relativizada
TES	Testemunha (sem aplicação de nutrientes)

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes, ao longo dos nove anos do experimento	132
APÊNDICE B - Matéria seca das plantas de cobertura de inverno em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes, ao longo dos nove anos do experimento	133
APÊNDICE C - Comprimento e distribuição de raízes de milho em quatro profundidades, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	134
APÊNDICE D - pH em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.	135
APÊNDICE E - Fósforo disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	136
APÊNDICE F - Potássio disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	137
APÊNDICE G - Matéria orgânica em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	138
APÊNDICE H - Alumínio trocável em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	139
APÊNDICE I - Cálcio trocável em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	140
APÊNDICE J - Magnésio trocável em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	141
APÊNDICE K - Densidade do solo (12 a 17 cm), macroporosidade (12 a 17 cm), índice de estabilidade de agregados-IEA _{DMG} (0 a 5 cm) e conteúdo de água disponível-CAD (0 a 40 cm), após nove anos de condução do experimento, em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	142
APÊNDICE L - Saturação de alumínio no solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.	143
APÊNDICE M - Preços históricos dos insumos utilizados na análise econômica e o número de observações que compunham a série histórica de julho de 1994 a junho de 2003*	144

APÊNDICE N - Índice SMP em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	145
APÊNDICE O - Custos variáveis e receita bruta para milho, soja e feijão e custo de uma adubação mais calagem para cinco sistemas de preparo e cinco fontes de nutrientes	146
APÊNDICE P – Formas lábeis e moderadamente lábeis de fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total (Pt) em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	147
APÊNDICE Q - Zinco disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	149
APÊNDICE R - Cobre disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	150
APÊNDICE S - Número de organismos da mesofauna edáfica, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	151
APÊNDICE T - Carbono orgânico total e nitrogênio total do solo na profundidade de 0-20 cm, após nove anos de condução do experimento, em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes	153
APÊNDICE U - Formulário utilizado para estimar o risco ambiental das fontes de nutrientes mediante pesquisa de opinião	154
APÊNDICE V - Formulário utilizado para estimar o risco ambiental dos sistemas de preparo de solo mediante pesquisa de opinião	155
APÊNDICE W - Pontuação média obtida nas perguntas dos formulários utilizados para estimar o risco ambiental das fontes de nutrientes e dos sistemas de preparo de solo, mediante pesquisa de opinião ¹	156
APÊNDICE X - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no aspecto técnico e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo, considerando-se o total de vezes	157
APÊNDICE Y - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no aspecto econômico e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo, considerando-se o total de vezes	159
APÊNDICE Z - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no aspecto econômico e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo, considerando-se o total de vezes	160
APÊNDICE AA - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no conjunto dos aspectos e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo, considerando-se o total de vezes	161

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	18
REVISÃO DE LITERATURA	22
1.1 Aspecto técnico	22
1.2 Aspecto econômico	24
1.3 Aspecto ambiental	25
1.4 Manejo do solo	27
1.5 Formas de avaliação do uso das fontes orgânicas de nutrientes	29
CAPÍTULO 1. ASPECTO TÉCNICO DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO....	33
1.1 Introdução	33
1.2 Material e métodos	34
1.2.1 Descrição do experimento	34
1.2.2 Avaliações do experimento	37
1.2.2.1 Produtividade de grãos de milho, soja e feijão	37
1.2.2.2 Matéria seca das plantas de cobertura	37
1.2.2.3 Comprimento de raízes de milho	37
1.2.2.4 Atributos químicos do solo	38
1.2.2.5 Atributos físicos do solo	38
1.2.3 Modelo para análise do uso de fontes de nutrientes	39
1.2.3.1 Aspecto Técnico	41
1.2.3.1.1 Índice de planta e valoração dos atributos	41
1.2.3.1.2 Índice químico do solo e valoração dos atributos	42
1.2.3.1.2.1 pH do solo	43
1.2.3.1.2.2 Fósforo disponível	43
1.2.3.1.2.3 Potássio disponível	44
1.2.3.1.2.4 Matéria orgânica	45
1.2.3.1.2.5 Saturação por Al	46
1.2.3.1.2.6 Cálcio + magnésio trocáveis	46
1.2.3.1.2.7 IQS	47
1.2.3.1.3 Índice físico do solo e valoração dos atributos	47
1.2.3.1.3.1 Macroporosidade	48
1.2.3.1.3.2 Densidade do solo	48
1.2.3.1.3.3 Conteúdo de água disponível (CAD)	49

1.2.3.1.3.4 Índice de estabilidade de agregados	49
1.2.3.1.3.5 IFS	50
1.3 Resultados e discussão	50
1.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos	50
1.3.2 Avaliação das fontes de nutrientes pela área das figuras	53
1.3.2.1 Índices químico e físico do solo e índice de planta	54
1.3.2.2 Atributos que compuseram os índices	59
1.3.2.3 Validação do modelo de análise	61
1.4 Conclusões	69
CAPÍTULO 2 - ASPECTO ECONÔMICO DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES ASSOCIADAS, A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.....	70
2.1 Introdução	70
2.2 Material e métodos	71
2.2.1 Aspecto econômico	71
2.2.2 Cálculo dos atributos econômicos	71
2.2.2.1 Receita bruta	71
2.2.2.2 Custos variáveis	72
2.2.3 Valoração dos atributos econômicos	81
2.3 Resultados e discussão	82
2.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos	82
2.3.2 Avaliações das fontes de nutrientes pelas áreas das figuras	82
2.3.3 Atributos que compuseram o aspecto econômico	87
2.4 Conclusões	88
CAPÍTULO 3 - ASPECTO AMBIENTAL DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.....	89
3.1 Introdução	89
3.2 Material e Métodos	90
3.2.1 Aspecto ambiental	90
3.2.2 Avaliações do experimento	91
3.2.2.1 Formas lábeis e moderadamente lábeis de fósforo total (inorgânico + orgânico)	91
3.2.2.2 Cobre e zinco disponíveis	91
3.2.2.3 Mesofauna do solo	92
3.2.2.4 Carbono orgânico total e nitrogênio total	93
3.2.2.5 Avaliação da percepção de técnicos a respeito do impacto ambiental do uso de fontes de nutrientes e de preparos do solo	93
3.2.3 Índices ambientais e valoração dos atributos	94
3.2.3.1 Índice de risco ambiental	94
3.2.3.2 Índice de diversidade	95

3.2.3.3 Índice carbono-nitrogênio	96
3.3 Resultados e discussão	96
3.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos	97
3.3.2 Avaliação das fontes de nutrientes pelas áreas das figuras	97
3.3.3 Índices que compuseram o aspecto ambiental	98
3.3.4 Atributos que compuseram os índices ambientais	100
3.4 Conclusões	106
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE CONJUNTA DOS ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.....	107
4.1 Introdução	107
4.2 Material e Métodos	108
4.3 Resultados e discussão	109
4.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos	109
4.3.2 Avaliação das fontes de nutrientes pelas áreas das figuras	110
4.4 Conclusões	114
CONCLUSÕES GERAIS	115
CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	117
REFERÊNCIAS	120
APÊNDICES	132

INTRODUÇÃO GERAL

Anteriormente ao desenvolvimento da indústria de fertilizantes comerciais no século XIX os esterco foram, por muitos séculos, a mais importante fonte de nutrientes adicionada ao solo (Randall et al., 2000). Em função do aumento populacional e da demanda de alimentos, houve necessidade de incremento da produção agrícola e pecuária ao longo dos anos, resultando na intensificação de algumas atividades, entre as quais a bovinocultura, a suinocultura e a avicultura.

A criação de bovinos, suínos e aves têm sido uma alternativa economicamente expressiva, principalmente nas propriedades do sul do Brasil. Apenas no Estado de Santa Catarina, estimou-se que o rebanho efetivo de bovinos, suínos e aves era de, respectivamente, 3,2, 108 a 115 e 5,5 milhões de cabeças conforme o Levantamento Agropecuário de Santa Catarina 2002-2003 (ICEPA/SC, 2005). O aumento do rebanho de bovinos, suínos e aves e a concentração da atividade ao longo dos anos, principalmente a suinícola, têm levado a um aumento do volume de esterco e a necessidade de descarte no solo, muitas vezes em quantidades que extrapolam as recomendações como fertilizante. No caso dos esterco de suínos, considerando-se uma produção média diária de 7 litros de esterco por animal (EMBRAPA, 2003), obtém-se um volume de aproximadamente 14 milhões de m³ de esterco por ano no Estado, constituindo-se em volume expressivo, para o qual é necessário um destino adequado.

O grande volume de esterco tem acentuado o potencial poluidor destes materiais no ambiente, devido a sua aplicação em quantidades elevadas em solos com desconhecida capacidade de suporte, a recomendação das doses de adubo orgânico pelo elemento mais limitante no solo e, em muitos casos, o lançamento do excedente de esterco nas águas superficiais. Apesar dos possíveis problemas decorrentes do uso dos esterco como fonte de nutrientes, a sua aplicação no solo se constitui em uma opção tecnicamente viável, observando-se as características dos esterco, do solo e do ambiente. A espécie, a alimentação e o manejo dos animais resultam na produção de esterco que variam entre si na sua composição, principalmente quanto aos teores de nutrientes, e isto têm levado a se considerar os esterco como uma fonte desequilibrada de nutrientes. O manejo de diferentes esterco, considerando-os como fontes de nutrientes, ainda necessita de mais estudos, buscando-se ao mesmo tempo um retorno financeiro pelo uso destes materiais e a não degradação do ambiente.

Muitos trabalhos de pesquisa já foram realizados visando o estudo do uso dos esterco de animais para fins de fertilização do solo, variando desde o conhecimento da sua composição até seu efeito nas características químicas, físicas e biológicas do solo e na produtividade das plantas. O aspecto econômico do uso destes esterco também tem sido estudado, embora com menor intensidade, principalmente no que se refere à viabilidade de transporte dos esterco (distância viável economicamente) e a substituição parcial ou total da adubação mineral pela adubação orgânica. Mais recentemente, a preocupação com o aspecto ambiental do uso dos esterco tem impulsionado um maior número de trabalhos a respeito do assunto, com maior ênfase aos esterco líquidos de suínos, com enfoque na redução da carga orgânica destes materiais (tecnologias para tratamento e custos) e nos efeitos potencialmente poluidores ao ambiente como acúmulo de metais pesados no solo, patógenos (bactérias fecais, protozoários, etc.) no solo e na água, eutroficação das águas superficiais e contaminação do lençol freático por nitrato.

Os esterco têm sido utilizados como fertilizantes em diversos sistemas de preparo do solo e, como tal, seus efeitos sobre os aspectos técnico, econômico e ambiental são alterados pela forma com o que o solo é manejado e podem ter seus efeitos potencializados ou minimizados em vários aspectos.

A análise particularizada dos esterco enfocando apenas um aspecto (técnico, econômico ou ambiental), tem levado, muitas vezes, a uma maximização dos potenciais ou limitações no uso destes materiais. No entanto, a tomada de decisão sobre o uso destes, normalmente está embasada em atributos isolados, sejam eles técnicos, ambientais ou econômicos. A possibilidade de, sempre que possível, agregar vários aspectos, embasa melhor a tomada de decisão sobre o uso destas fontes, pois possibilita a visualização do balanço qualitativo ou quantitativo dos vários aspectos desta prática agrícola, permitindo uma visão mais sistêmica do assunto.

Poucos são os estudos de metodologias para identificar e agregar atributos dentro de aspectos isolados ou agregar aspectos variados dentro de um contexto único de uso de tecnologias ou produtos tais como os esterco. A contextualização dos aspectos do uso de fontes orgânicas de nutrientes implica em dar pesos aos atributos escolhidos, valorar ou relativizar os dados coletados, bem como estabelecer modelos que facilitem a visualização dos potenciais e entraves ao seu uso, considerando aspectos individuais ou de forma conjunta. Uma avaliação mais ampla do uso continuado dos esterco como fontes de nutrientes através de ferramentas integradoras, pode contribuir no entendimento de seus efeitos no sistema onde

estão sendo utilizados e embasar a tomada de decisão no uso destas fontes, assegurando o seu uso técnico, econômico e ambiental de forma racional.

Este trabalho foi dividido em quatro capítulos, onde os três primeiros se referem aos aspectos técnico, econômico e ambiental do uso de fontes orgânicas de nutrientes e o quarto se refere a uma análise conjunta dos três aspectos estudados. A figura 1 apresenta o número de atributos e/ou índices dentro de cada aspecto e a relação entre os capítulos que compõem a tese.

Hipóteses

As fontes orgânicas de nutrientes apresentam desempenhos diferenciados entre si nos aspectos técnico, econômico, ambiental e na análise conjunta dos mesmos. Porém, uma mesma fonte de nutriente não apresenta vantagens em todos os aspectos estudados.

Os sistemas de preparo do solo tornam as diferenças entre as fontes orgânicas mais evidentes.

É possível avaliar o desempenho das fontes orgânicas de nutrientes através de um modelo de análise que integre diferentes aspectos do uso destas fontes ou que integre atributos dentro de cada aspecto.

Objetivos

Avaliar os aspectos técnico, econômico e ambiental do uso de fontes de nutrientes, associadas a sistemas de preparo do solo, comparando as fontes de nutrientes entre si, bem como fazer uma análise conjunta destes aspectos e testar o modelo de análise utilizado no trabalho, visando oferecer subsídios para a tomada de decisão sobre o uso das fontes orgânicas de nutrientes.

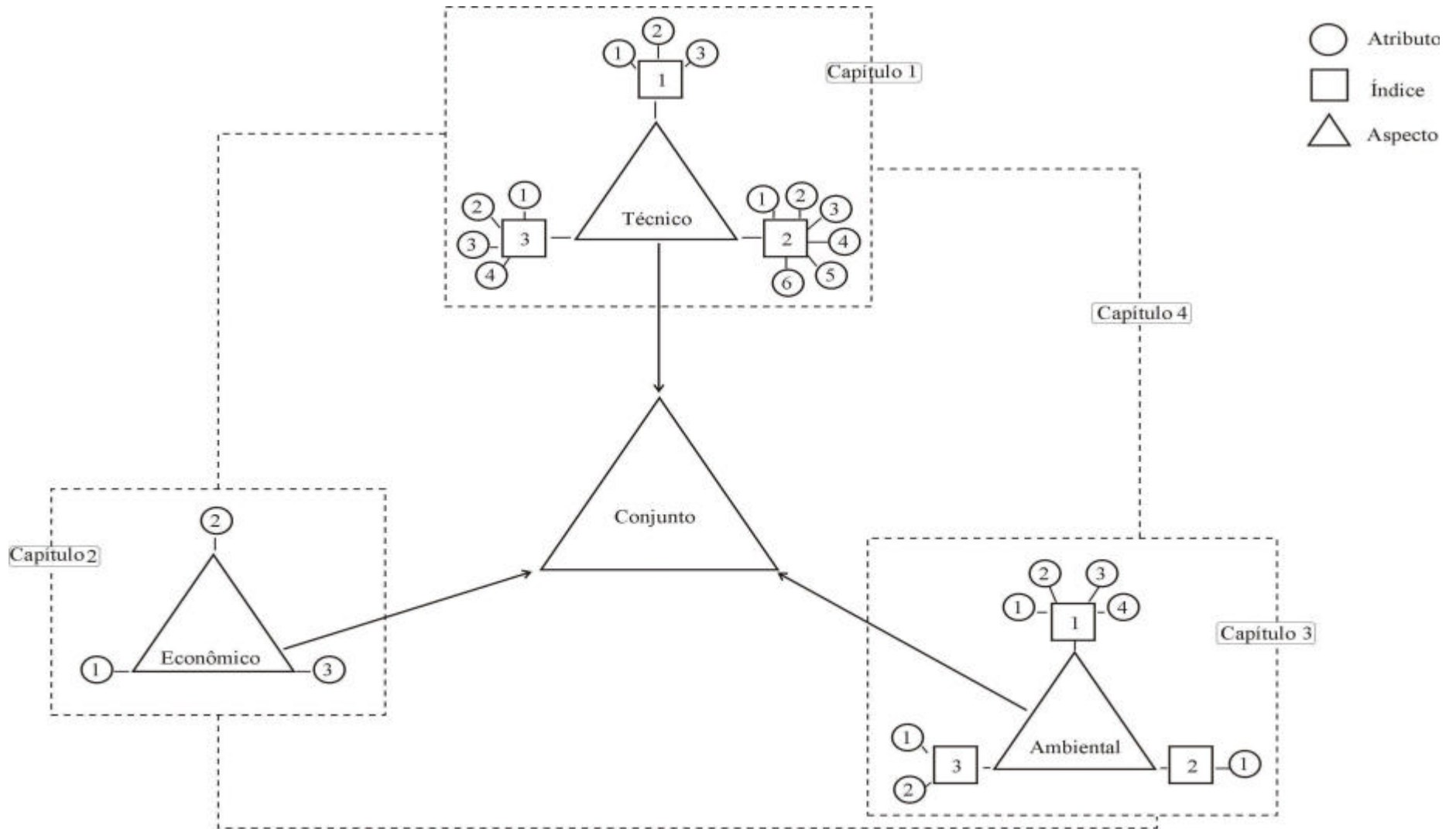


Figura 1 – Esquema da relação entre os capítulos que compõem a tese e o número de atributos e/ou índices em cada aspecto estudado.

REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo da história, o solo tem desempenhado um papel importante para a humanidade, pois este tem provido ao homem muito dos seus alimentos e nutrientes necessários à sua sobrevivência (McNeill & Winiwarter, 2004). Desta forma, é antiga a preocupação do homem em manter o solo produtivo à medida que ele passa a ser cultivado, principalmente quando havia escassez deste recurso natural. O uso de esterco como fertilizante remonta de muito tempo, sendo que a sua importância já era conhecida desde o início da domesticação dos animais e é amplamente citado em textos antigos. Posteriormente, práticas de manejo do solo foram desenvolvidas para atender dois desafios de igual importância, a depleção de nutrientes e a erosão, à semelhança de problemas comuns como a salinização e a compactação do solo (McNeill & Winiwarter, 2004). Embora remonte há mais tempo, Araji et al. (2001) ressaltam que desde o início da década de 40 pesquisas indicam que o esterco animal é um recurso biológico viável, com efeitos no ambiente e benefícios ecológicos. Além disto, os esterco também podem ser considerados como um recurso devido a sua capacidade de melhorar as propriedades do solo (White & Safley Jr., 1984). Porém, os esterco que até há pouco eram considerados como recursos dentro da propriedade, atualmente estão sendo considerados como dejetos (Risse et al., 2001) que necessitam ser tratados para sua disposição no meio ambiente. A reciclagem de resíduos através de seu uso agrônomo é interessante, desde que analisadas as suas características, potencial e conseqüências do uso destes materiais (Prezotto, 1992).

1.1 Aspecto técnico

Até o desenvolvimento da indústria de fertilizantes comerciais no século XIX, a adubação do solo através de esterco constituiu-se, por muitos séculos, na mais importante fonte de nutrientes às plantas (Randall et al., 2000). Em conseqüência da elevação do preço dos fertilizantes minerais ao longo dos últimos anos e do aumento da disponibilidade de materiais orgânicos nas propriedades, originados do incremento da criação de bovinos, suínos e aves, estes passaram a ser utilizados como fertilizantes em substituição parcial ou total às fontes minerais.

Os efeitos no solo, na planta e no ambiente, pelo uso de esterco são variáveis, já que estes vão depender da composição química e física dos esterco, da dose aplicada, do modo de

aplicação, da época, da frequência e do período de aplicação. Pesquisas têm indicado que a aplicação dos esterco têm um significativo impacto nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo muitos dos efeitos atribuídos ao aumento do teor de matéria orgânica (Sommerfeldt & Chang, 1985; Risse et al., 2001; Kanchikerimath & Singh, 2001), resultando no aumento da produtividade do solo (Muchovej & Obreza, 1996). Os esterco são fontes dos principais nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, S e de alguns micronutrientes essenciais às plantas. A aplicação de esterco de suínos tem aumentado o teor de N, P, K, Ca e Mg no solo e aumentado a produtividade de cereais, legumes e outros vegetais (Choudhary et al., 1996; Scherer et al., 1984). O esterco de aves, disponível em grande quantidade e de fácil manejo, além dos macro e micronutrientes pode aumentar o conteúdo de carbono e nitrogênio no solo, aumentar a porosidade e a atividade microbiana do solo (Nyakatawa et al., 2001), a qualidade dos grãos (Nyakatawa et al., 2001) e permitir altos rendimentos das culturas (Scherer & Bartz, 1984; Nyakatawa et al., 2001).

Muitos estudos têm demonstrado que a produção e a qualidade das plantas são equivalentes ou superiores quando comparados os esterco com os fertilizantes minerais (Risse et al., 2001). Weil & Kroontje (1979), em revisão de literatura colocam que o efeito dos esterco sobre as propriedades físicas é variável em função do tipo do esterco, da dose aplicada e do modo de aplicação. Entre os efeitos benéficos relatados pelo uso de esterco em geral estão o decréscimo da densidade do solo, aumento do tamanho e da estabilidade dos agregados em água, decréscimo do encrostamento superficial, aumento da condutividade hidráulica e melhoria na capacidade de retenção de água. Como efeito negativo citam formação de torrões, aumento da desagregação do solo pelas gotas da chuva e formação de substâncias graxas repelentes à água e contraditoriamente, encrostamento superficial e decréscimo da condutividade hidráulica quando estiver presente algum componente que cause dispersão das partículas do solo.

Um grande número de pesquisas e abordagens já foram efetuadas, muitas das quais visando o uso dos esterco para fins de fertilização do solo, variando desde a determinação da sua composição até seu efeito nas características químicas, físicas e biológicas do solo e na produtividade das plantas (Weil & Kroontje, 1979; Scherer & Bartz, 1984; Barcellos, 1991; Choudhary et al., 1996; Liang et al., 1996; Scherer et al., 1996; Houtin et al., 1997; Scherer, 1998; Durigon, 2000; Freitas et al., 2004). Entre os esterco mais utilizados, o de aves é considerado o melhor para uso como fertilizante devido, entre outras razões, ao seu baixo conteúdo de água (Moore Jr. et al., 1995) que facilita o transporte e a aplicação. A disponibilidade imediata dos nutrientes nas fontes minerais é maior do que nos esterco,

porém a liberação gradativa nos últimos aumenta a eficiência de utilização pelas plantas, contribuindo na diminuição das perdas de nutrientes por escoamento superficial e por lixiviação para o lençol freático (Risse et al., 2001). Sendo assim, de uma forma geral, as produções são iguais ou mesmo superiores às aquelas obtidas com fertilizantes minerais quando há fornecimento de outros nutrientes em regime de deficiência, ou condições não providas pelos fertilizantes minerais.

A adição de fontes de nutrientes e de energia (compostos orgânicos) são fatores importantes para o desenvolvimento dos organismos do solo, sendo que estes são afetados pelas práticas de manejo (Doran & Zeiss, 2000). Entre os organismos que habitam o solo, a mesofauna exerce um importante papel na fragmentação e incorporação de materiais vegetais ao solo, favorecendo a ação de microorganismos como fungos e bactérias. A ação do homem, ao usar o solo por meio das práticas agrícolas, afeta em maior ou menor grau os microorganismos e a fauna que utilizam o solo como habitat (Lavelle & Pashanasi, 1989) os quais, por sua vez, exercem funções importantes no solo como, por exemplo, a ciclagem de nutrientes (Assad, 1997). De maneira geral, estes organismos são afetados pela compactação do solo (aeração, água e mobilidade), diminuição da quantidade e qualidade do material orgânico (fonte de energia) e pelas mudanças nas condições pedoclimáticas, como seca prolongada e inundação (Assad, 1997). Além disto, há irregularidade na distribuição dos grupos da fauna edáfica nos sistemas de produção e as práticas de manejo do solo adotadas podem diminuir o número ou diversidade desta, dependendo do grau de revolvimento do solo, da permanência ou não dos resíduos culturais no sistema (Santos et al., 2003) e do tipo de material orgânico adicionado ao solo (Merlim et al., 2005).

1.2 Aspecto econômico

A questão econômica talvez seja para o agricultor, o componente mais importante na tomada de decisões na atividade agrícola, o qual atribui importância econômica desde a utilização de uma prática dentro do sistema de produção até a atividade econômica como um todo. Referindo-se à agricultura orgânica, Altmann & Oltramari (2004) ressaltam que “A dimensão econômica exerce uma importante influência, senão a principal, na decisão dos produtores para continuar na atividade, realizar novos investimentos ou até mesmo abandonar o setor”. Os resíduos orgânicos nem sempre substituem completamente a fertilização mineral e, dependendo da dose aplicada, não suprem totalmente os nutrientes necessários às plantas.

No entanto, quando utilizados em conjunto com as fontes minerais, podem reduzir a entrada destes insumos na propriedade e diminuir os custos de produção (Muchovej & Obreza, 1996).

Trabalhos sobre os aspectos econômicos relativos aos esterco são em menor número e estão centrados, principalmente, no estudo da viabilidade de transporte dos esterco (distância viável economicamente) e na substituição parcial ou total da adubação mineral pela adubação orgânica, visando a redução de custos. Estudos sobre a viabilidade econômica do tratamento dos dejetos de suínos também têm sido realizados (Seganfredo & Girotto, 2004). O problema no uso dos esterco como alternativa aos fertilizantes comerciais é o efeito da sua natureza e composição na distância e custo de aplicação (Araji et al. 2001). Os autores encontraram para os sistemas de rotação batata-trigo-trigo, um custo de aplicação de esterco de bovinos e de aves de, respectivamente, 91% e 25% em relação ao custo de fertilizantes comerciais, com distância viável para transporte de 1 a 35 km, dependendo da concentração de nutrientes no esterco e da fertilidade do solo considerado. Por sua vez, ao tomar por base o teor médio de matéria seca de 98 amostras de dejetos de suínos provenientes da região Oeste de Santa Catarina, Scherer (2005) verificou que a distância máxima de transporte foi de 30 km e que esta pode ser aumentada para 84 km, quando o teor de matéria seca passa de 3% para 6%.

No Sul do Brasil, os esterco de bovinos, suínos e de aves são aqueles de maior disponibilidade, em função de se tratarem das três atividades pecuárias principais. Destes, apenas o esterco de aves apresenta valor de venda e, normalmente, é comercializado pelos agricultores quando há disponibilidade na propriedade. Pelo fato dos esterco serem fontes de nutrientes relativamente baratas em comparação aos fertilizantes minerais, o seu desempenho econômico geralmente é melhor, quando disponível na propriedade ou adquirido a baixo custo. Em um estudo do efeito residual de esterco de aves, Nyakatawa et al. (2001) observaram que o efeito do esterco aplicado no algodão dois anos antes foi capaz de suprir parte do N requerido pelo milho, o que sugere redução de custos com fertilizantes minerais. No caso de esterco de suínos, um referencial de dose é relatado por Scherer (1998) no sistema milho-feijão, o qual observou que o emprego de dose única se justifica economicamente até $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, independente do tipo de solo, enquanto que no sistema feijão-milho, os melhores resultados foram os obtidos com a aplicação de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na primeira cultura ou $40 \text{ kg de N-uréia ha}^{-1}$ nas duas culturas.

1.3 Aspecto ambiental

A atividade antrópica, seja ela agrícola ou industrial, determina uma situação de risco em termos de degradação dos recursos naturais, quando estes são utilizados acima da sua capacidade de suporte. Nos últimos tempos, a poluição do solo tem sido reconhecida como um problema ambiental que pode representar sérios riscos para a saúde humana e para a qualidade do ambiente (Guilherme, 1999). Adicionalmente a isto, a valorização dos recursos hídricos fez aumentar a preocupação com o aspecto ambiental do uso dos esterco na agricultura, refletindo-se no aumento do número de estudos a respeito do assunto, com ênfase aos esterco líquidos de suínos, pelo seu grande volume produzido e potencial poluidor.

O enfoque do estudo do impacto do uso dos esterco no ambiente está concentrado na redução da carga orgânica destes materiais, através do uso de tecnologias para tratamento e avaliação de custos (Campos & Ferreira, 1998), e nos fatores potencialmente poluidores ao ambiente. Entre estes fatores estão o acúmulo de metais pesados no solo com possibilidade de inserção na cadeia alimentar (King, 1996; Muchovej & Obreza, 1996), transmissão de patógenos (bactérias fecais, protozoários, etc.) no solo e na água (McMurry et al., 1998; Stoddard et al., 1998; Hunter et al., 2000), eutroficação das águas superficiais e contaminação do lençol freático por nitrato, entre outros (Chang et al., 1991; Bouchard et al., 1992, Angle et al., 1993; Boyd, 1994; Moore Jr. et al., 1995; Menzi, 2000). Os metais pesados como o cobre e o zinco estão presentes nos esterco porque eles são usados como aditivos na alimentação dos animais (King, 1996). Problemas ambientais também têm sido estudados associando os esterco com o preparo do solo (Angle et al., 1993; Stoddard et al., 1998).

O impacto ambiental da produção concentrada de suínos em algumas regiões é muito grande e o manuseio inadequado do esterco tem causado grande dano ao ambiente, sendo a principal causa da poluição do Oeste Catarinense (Oliveira et al., 2001). Com relação à qualidade da água, Baldissera (2002) constatou que de 1.340 amostras de água de poços superficiais e fontes, provenientes do meio rural da região do Meio Oeste Catarinense no período de 1999 a 2001, 55,5% apresentavam coliformes fecais sendo atribuído a grande produção de esterco de suínos na região.

O N e o P são os dois nutrientes mais freqüentemente associados com o risco ambiental (Darst & Murphy, 1994) em função, respectivamente, da presença de nitrato nas águas subsuperficiais e eutroficação das águas superficiais. O acúmulo de P no solo pela adição dos esterco, principalmente esterco de aves, se deve à relação N:P mais baixa do esterco (em média 3:1) do que a extraída pela planta (em média 8:1) (Moore Jr. et al., 1995) e às doses aplicadas que normalmente estão baseadas na necessidade de N pelas culturas. Este acúmulo de P no solo aumenta o risco de transporte do mesmo para as águas através do

escoamento superficial (dissolvido ou aderido às partículas), o que também aumenta o risco de eutroficação destas águas. Além dos esterco, outras fontes tais como resíduos industriais (lodo de esgoto), detergente, fertilizantes, erosão do solo, e resíduos de plantas também contribuem para elevação do P na água, levando à eutroficação (Darst & Murphy, 1994). A eutroficação traz problemas para a água utilizada para consumo humano, criação de peixes, recreação ou uso pela indústria, devido ao aumento no crescimento de algas e inços aquáticos e pela deficiência de oxigênio causada pela decomposição das mesmas (Sharpley et al., 1995). Segundo este autor, tanto o N como o C e o P aceleram a eutroficação, porém mais atenção tem sido dada ao P por causa da dificuldade em controlar as trocas de N e C entre a atmosfera e os corpos d'água e pela fixação atmosférica de N pelas algas cianobacterias. De qualquer forma, os riscos advindos da adição de N ao solo estão presentes quer a fonte seja de origem mineral ou orgânica (Darst & Murphy, 1994). O alto teor de metais pesados em decorrência da aplicação de resíduos no solo, também pode afetar a fixação biológica do nitrogênio em leguminosas. McGrath et al. (1987) encontraram, em um solo com 9% de argila e com alto teor de metais pela aplicação de lodo de esgoto, pequeno tamanho de nódulos e coloração branca em maior número de nódulos, do que aqueles em solo com baixo teor de metais, o que resultou em redução da produção de trevo branco.

O principal problema para o manejo dos esterco é a sua disposição segura no solo, sendo que em muitos países desenvolvidos está aumentando o controle na sua aplicação, via legislação (Isherwood, 1999). A liberação gradativa dos nutrientes aumenta a sua utilização pelas plantas, contribuindo para diminuição das perdas de nutrientes pela superfície e para o lençol freático (Risse et al. 2001) e o risco de problemas ambientais têm sido associadas com as doses aplicadas (Houtin et al., 1997; Choudhary et al., 1996; Boyd, 1994), que normalmente excedem a capacidade do solo em reciclar os esterco. Fatores como o tempo, taxa e método de aplicação dos esterco influenciam na probabilidade da degradação ambiental, especialmente a da água (Muchovej & Obreza, 1996). A aplicação de esterco de aves no solo é considerada a alternativa que oferece a melhor solução para manejar o montante de volume de esterco gerado nos EUA (Moore Jr. et al. 1995).

1.4 Manejo do solo

Para atingir bons níveis de produção, é importante tanto a capacidade de um solo em contribuir para esta produção quanto a disponibilidade de outras entradas no sistema, como a

adição de fertilizantes e o uso de práticas de melhoria e conservação do solo (Popp et al., 2002). Entre os fatores que tem levado à insustentabilidade do sistema de produção agrícola estão a erosão do solo, a ineficiência energética, a salinização do solo, a poluição, o desmatamento, a diminuição da biodiversidade e dos recursos genéticos, o superpastoreio e a dilapidação dos recursos não-renováveis (Resende et al., 2002). Por outro lado, a implementação de manejos adequados dos recursos naturais, a utilização de técnicas adequadas no sistema de produção agrícola e animal e a crescente conscientização do homem quanto à importância de um ambiente saudável, levam a uma perspectiva de diminuição da degradação ambiental. O tipo de manejo que é dado ao solo cultivado conduz à degradação ou recuperação de sua estrutura, pois os fatores químicos, físicos e biológicos estão continuamente interagindo (Silva & Mielniczuk, 1997). A degradação do solo oriunda da erosão não é apenas uma função dos tipos de preparo, mas depende também do grau de cobertura remanescente na superfície, a qual preserva a estrutura do solo contra os agentes erosivos (Siqueira, 2002).

Um solo bem manejado apresenta maior infiltração, maior retenção de água e fornecimento adequado de nutrientes necessários para as plantas, resultando em maior produtividade (Castro Filho, 2002). Os sistemas de preparo afetam as características químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, afetam os processos de erosão, disponibilidade de nutrientes, estruturação do solo, etc. Perdas de solo e de água por erosão, compactação, densidade do solo, resistência à penetração, estabilidade dos agregados do solo, disponibilidade de água, temperatura e disponibilidade de nutrientes são afetados em maior ou menor grau pelo tipo de preparo do solo utilizado. Com relação às perdas de solo, o preparo convencional apresenta a maior perda, seguido pela escarificação e pelo não preparo do solo (Siqueira, 2002).

A intensidade de revolvimento do solo ou a manutenção ou não dos resíduos de colheita podem interferir na mineralização da fonte orgânica aplicada e nas perdas de nutrientes. Entre os sistemas mais utilizados está o plantio direto, onde não há o revolvimento do solo ou este é mínimo (sulcos de semeadura), e os resíduos são mantidos quase integralmente na superfície, promovendo a proteção do solo contra a ação do sol e da chuva. Os preparos conservacionistas, com incorporação parcial dos resíduos e mobilização do solo intermediária entre o plantio direto e o preparo convencional, têm efeito intermediário nesta proteção. Por outro lado, preparos que resultam na degradação do solo podem ter seus efeitos minimizados com a aplicação de fontes orgânicas de nutrientes (Veiga et al., 1998).

O tipo de preparo do solo condiciona a incorporação dos resíduos vegetais e a degradação da matéria orgânica (Etana et al., 1999) e pode afetar a eficiência das fontes orgânicas e minerais de nutrientes. A retirada (silagem ou fenação) ou queima dos resíduos deixa a superfície praticamente sem proteção contra os agentes erosivos, independente do preparo do solo subsequente. A adição de materiais orgânicos ao solo, por sua vez, pode minimizar os efeitos adversos da retirada dos resíduos ou sua queima. Mesmo quando a resteva é incorporada ou deixada sobre a superfície, a adição de esterco pode aumentar a produção das culturas, pelo suprimento de nutrientes durante sua decomposição (Scherer et al., 1984; Scherer et al., 1991). A matéria orgânica, importante indicador de qualidade do solo, pode ser incrementada, entre outros fatores, pela adição de resíduos vegetais e esterços, bem como pelo cultivo de culturas de cobertura/adubação verde, pela redução do preparo do solo e evitando a queima dos resíduos (Baligar & Fageria, 1999).

1.5 Formas de avaliação do uso das fontes orgânicas de nutrientes

Os esterços vêm sendo estudados pelos seus aspectos agronômicos e econômicos (fonte de nutriente) ao longo dos anos e mais recentemente pelos aspectos ambientais, embora quase sempre apenas um aspecto tem sido considerado. Mais recentemente, os estudos acerca do efeito ambiental pela aplicação de esterços animais vêm aumentando em número e várias preocupações com relação à degradação dos solos e qualidade da água estão sendo levantadas. Estas preocupações e outras informações relacionadas, em particular às fontes de nutrientes, poderiam ser consideradas em conjunto para uma avaliação mais ampla do uso destas e, assim, obter-se maior embasamento na tomada de decisão sobre seu uso. Tradicionalmente, a recomendação e o manejo dos nutrientes têm envolvido a otimização do retorno econômico das doses empregadas na fertilização das plantas, o que ainda é feito. Porém, o processo está sendo ampliado para incluir o potencial de impactos ambientais dos nutrientes em todas as operações da propriedade (Risse et al., 2001), o que aumenta o custo e a complexidade do planejamento de seu uso.

Em qualquer avaliação de um sistema de interesse, neste caso um sistema agrícola, há indicação de que deva ser alicerçado não só nos aspectos técnicos/agronômicos, mas também nos aspectos ecológicos, sociais e econômicos (Resende et al., 2002). Segundo Mattos & Mattos (2004), “o ambiente é considerado uma dimensão de desenvolvimento e como tal deve ser internalizado em todos os níveis de decisão”. Embora o estudo do aspecto social seja de

relevada importância, ainda é pouco usual a sua inclusão na avaliação conjunta de vários aspectos das práticas agrícolas.

Dentro dos aspectos técnicos, têm-se utilizado atributos químicos, físicos e biológicos de solo e de planta para os estudos com esterco (Kanchikerimath & Singh, 2001; Liebhardt, 1976; Mawdsley et al., 1995; Nuernberg & Stammel, 1989; Queiroz et al., 2004; Scherer et al., 1991; Tiarks et al., 1974; Weil & Kroontje, 1979). As condições químicas do solo afetam, entre outros, a relação solo-planta, a qualidade da água, a capacidade tamponante, a disponibilidade de nutrientes e de água para os organismos e a mobilidade dos contaminantes (Santana & Bahia Filho, 1999). A análise química do solo avalia a suficiência de nutrientes disponíveis e a presença de elementos em níveis tóxicos, com o propósito de orientar a recomendação de uma quantidade adequada de fertilizantes e/ou de calcário para corrigir as limitações químicas e propiciar condições mais favoráveis para o crescimento vegetal. Assim, há necessidade de que os macro e micronutrientes estejam suficientemente disponíveis no solo de forma a assegurar às plantas uma boa nutrição mineral e, conseqüentemente, um bom crescimento e desenvolvimento. Medições de pH, salinidade, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, teores dos nutrientes, concentração de elementos que podem ser potencialmente contaminantes ou aqueles que são essenciais às plantas têm sido utilizados como indicadores químicos da qualidade do solo (Santana & Bahia Filho, 1999).

A condição física do solo influencia a produção agrícola, a susceptibilidade do solo à erosão e a eficiência do solo em absorver a água de precipitações (Weil & Kroontje, 1979). Considerando-se as propriedades físicas que são importantes na produção vegetal, estas estão separadas em fatores que afetam diretamente daqueles que afetam indiretamente o crescimento da planta (Letey, 1985). Segundo o mesmo autor, disponibilidade de água, temperatura (processos metabólicos), oxigênio (respiração) e mecanismos de resistência mecânica à emergência ou ao crescimento de raízes afetam diretamente o crescimento da planta. Fatores que afetam indiretamente o crescimento das plantas incluem densidade do solo, textura, agregação, estabilidade de agregados e distribuição do tamanho de poros. A relação destes fatores com a produção vegetal se dá através dos seus efeitos na água, aeração, temperatura e mecanismos de resistência, por isso denominados de fatores indiretos. Os fatores que afetam indiretamente o crescimento das plantas como densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e outros permitem a avaliação da estrutura do solo (relacionados ao arranjo das partículas sólidas e dos poros). Estes atributos podem servir como indicadores de adensamento, compactação, encrostamento e suscetibilidade do solo à erosão, subsidiando o controle da perda da produtividade e da

degradação ambiental (Martins et al., 2002). A densidade do solo, porosidade total, microporosidade, resistência do solo à penetração são algumas características que devem ser monitoradas ao longo do tempo de uso do solo e estão relacionadas às propriedades físicas do solo importantes tanto para a produtividade das plantas quanto à conservação do solo (Jorge et al., 2003).

O solo está entre os sistemas de habitats mais complexos, no qual o seu sistema biológico é pobremente entendido. Muitos organismos, como insetos e outros invertebrados, são importantes na produção e manutenção de solos saudáveis e, conseqüentemente, são elementos chaves no desenvolvimento de uma agricultura e silvicultura sustentáveis (Stork & Eggleton, 1992). A abundância e diversidade dos organismos afetam o funcionamento do solo (Loranger et al., 1998). Em agroecossistemas, a redução na quantidade e qualidade do aporte de material orgânico e os preparos do solo perturbam o habitat solo e, freqüentemente, levam à perda da diversidade e prejuízo das funções exercidas pelos animais do solo (Loranger et al., 1998). Indicadores biológicos utilizados para a avaliação da qualidade do solo têm incluído medições de micro e macroorganismos, suas atividades e subprodutos e medições de taxas de decomposição de resíduos de plantas (Santana & Bahia Filho, 1999).

Modelos que não os numéricos, mas que permitam a análise dos dados e embasamento nas tomadas de decisões, são ferramentas que podem ser utilizadas para o estudo de alguns aspectos do uso das fontes orgânicas de nutrientes. Segundo Hanks & Ritchie (1991), “modelos também podem ser usados como uma técnica para organizar o que é conhecido acerca de um assunto dentro de um sistema, mostrando o efeito da inter-relação de muitos fatores em alguns resultados gerados”. Programas de computador que avaliam os riscos de determinadas ações e auxiliam nas análises de dados e tomadas de decisão já são utilizados em diversas áreas de conhecimento (Jones, 1993; Lindqvist & Westoo, 2000; LeCoultre, 2001; Auweele & Vandendriesseche, 2001). Por outro lado, índices também tem sido utilizados em avaliações desta natureza. Simard et al. (2001) utilizaram um índice multiplicativo composto por transporte, carga e manejo no local para identificar áreas de maior risco de transferência do P para corpos de águas superficiais e identificar práticas que podem ser prejudiciais ou benéficas para a qualidade da água. Argumentaram, ainda, que “ferramentas de avaliação mais abrangente, semelhante ao índice de P utilizado no trabalho, podem ajudar a identificar melhor os locais de risco, mas necessitam ser adaptados à realidade da área/região. Eles são mais versáteis desde que integrem noções de hidrologia, agronomia e ciência do solo”. Um índice de qualidade física do solo (S) foi proposto por Dexter (2004), o qual é uma medida da microestrutura do solo que controla muitas propriedades físicas chaves

do solo e é dado pela declividade da curva de retenção de água no solo a partir de seu ponto de inflexão. Rizzi (2001) calculou um índice simplificado para uso diário de análise da qualidade de água de uma estação de tratamento, a partir de três índices já existentes. Pesos correspondentes a cada parâmetro e/ou valoração qualitativa e/ou pesquisa de opinião que permitiram definir funções que relacionam valores de parâmetros com atributos de valoração foram utilizados nos três índices já existentes. Mafra et al. (2003), avaliando a erosão atual e potencial do solo para fins de planificação de uso no Brasil (RJ) e Espanha (Valência), realizou uma valoração do grau de erosão atribuindo valores de 2 a 10 às classes dos fatores (tipo de solo, topografia, vegetação, etc.), onde o valor crescia com o aumento do grau de erosão. Posteriormente, atribuiu pesos entre os fatores, dando maior importância àqueles considerados mais significativos no potencial de processo erosivo.

Diversos indicadores químicos e/ou físicos e/ou biológicos têm sido propostos e/ou discutidos e/ou utilizados para avaliar a qualidade do solo (Parr et al., 1992; Larson & Pierce, 1991; Santana & Bahia Filho, 1999; Leonardo, 2003; Souza et al., 2003; Valarini et al., 2002) e da água (Leonardo, 2003), bem como indicadores agro-ambientais têm sido utilizados para descrever a sustentabilidade da agricultura (Bellini, 2001). O enfoque para estudar a qualidade do solo deve ser holístico e útil na identificação de sistemas de manejo agrícola que conservem os recursos naturais (Santana & Bahia Filho, 1999) e a avaliação da sustentabilidade de muitos aspectos da atividade humana deve levar em conta as dimensões temporal e espacial, bem como as dimensões social, econômica, ambiental e a correlação entre eles (Bellini, 2001). Da mesma forma, Payraudeau & van der Werf (2005), em revisão de métodos para avaliação do impacto ambiental em uma região agrícola, consideram que os métodos para uma análise da sustentabilidade de um sistema agrícola deveriam integrar além dos objetivos ambientais, a equidade social e a viabilidade econômica. Para a avaliação da qualidade do solo normalmente consideram-se três aspectos principais que são o físico, o químico e o biológico, e sua importância reside na avaliação da melhoria ou degradação das terras e na identificação de práticas para o uso sustentável das mesmas (Dexter, 2004).

Dentro da área tecnológica, trabalhos mais abrangentes, utilizando informações/dados que contemplem vários aspectos podem ser interessantes no auxílio de tomada de decisão com relação às práticas a serem adotadas dentro de um sistema de produção. Portanto, uma avaliação mais ampla do uso continuado dos esterco como fontes de nutrientes, através de ferramentas integradoras dos atributos avaliados, pode contribuir no entendimento dos efeitos destes no sistema onde está sendo utilizado e embasar a tomada de decisão no uso destas fontes, assegurando um desempenho técnico, econômico e ambiental de forma mais racional.

CAPÍTULO 1. ASPECTO TÉCNICO DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.

1.1 Introdução

Considerando-se que a maioria dos solos cultivados são pobres em determinados nutrientes essenciais às plantas, há necessidade da sua aplicação para elevar os teores até níveis suficientes, de forma a assegurar às plantas uma boa nutrição mineral e, conseqüentemente, um bom crescimento e desenvolvimento. O uso dos esterco como fonte de nutrientes às plantas remonta de muito tempo e foi se intensificando com o crescimento e concentração da atividade pecuária. Os esterco geralmente são fontes desbalanceadas de nutrientes necessitando, na maioria das vezes, de complementação com adubo mineral para uma fertilização do solo adequada. Para o cálculo da quantidade de esterco a ser aplicado, deve-se tomar por base o nutriente que determina uma menor dose, a qual é estabelecida a partir da concentração do nutriente no esterco, da disponibilidade no solo e da exigência da cultura. No entanto, a aplicação de doses muito elevadas no solo para descarte destes materiais, ou mesmo seu lançamento nos mananciais de água, têm sido práticas ainda muito utilizadas, principalmente no que se refere ao esterco de suínos.

Os efeitos do uso de esterco no solo e na planta são variáveis, já que vão depender da composição química destes quanto ao teor e forma dos nutrientes, da dose aplicada, do modo de aplicação, da época, da frequência de aplicação, do tipo de solo, do manejo do solo, etc. Muito conhecimento já foi gerado visando o uso dos esterco para fins de fertilização do solo, variando desde o conhecimento da sua composição até seu efeito nas características químicas, físicas e biológicas do solo e na produtividade das plantas, com respostas variadas quando comparadas com a dos fertilizantes minerais. Sob este aspecto, a avaliação dos esterco como fonte de nutrientes tem se baseado, principalmente, em alguns atributos químicos do solo e na resposta das plantas em termos de rendimento absoluto ou relativo. A condição física do solo também afeta a produção agrícola e é influenciada positiva ou negativamente pela aplicação de altas quantidades de materiais orgânicos. Estudos neste aspecto são mais escassos do que a influência dos esterco nas condições químicas do solo. O tipo de preparo efetuado no solo pode afetar a eficiência das fontes orgânicas e minerais de nutrientes, bem como afetar os atributos de solo e de planta. A combinação de fatores como preparo do solo e fonte de

nutrientes podem provocar interações que serão expressas pela planta de modo diferenciado quanto ao seu desenvolvimento e sua produção.

Avaliações do aspecto técnico/agronômico, integrando-se atributos químicos e físicos do solo e de planta, quando do uso destas fontes de nutrientes por um período de médio e longo prazo ainda são incipientes. Entende-se por atributo aquilo que é próprio do solo ou da planta e a junção de vários atributos de natureza diferente, com o objetivo de gerar uma informação integrada, passa pelo uso de modelos. Segundo Hanks & Ritchie (1991), “modelos podem ser usados como uma técnica para organizar o que é conhecido acerca de um assunto dentro de um sistema, mostrando o efeito da inter-relação de muitos fatores em alguns resultados gerados”.

O objetivo geral deste capítulo foi avaliar as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo quanto ao aspecto técnico. Os objetivos específicos foram comparar as fontes orgânicas de nutrientes e testar o modelo proposto para análise do aspecto técnico.

1.2 Material e métodos

O material e métodos foi dividido em três partes: descrição do experimento com seus detalhes e avaliações efetuadas, descrição do modelo de análise do uso das fontes de nutrientes e do estudo do aspecto técnico propriamente dito.

1.2.1 Descrição do experimento

O experimento foi conduzido de 1994 a 2003, na área da Estação Experimental da Epagri de Campos Novos, situada no município de Campos Novos, localizado na região fisiográfica do Planalto Sul Catarinense do estado de Santa Catarina (27°24'S, 51°13'O, 970 metros de altitude). O clima da região é do tipo “Cfb”, de acordo com a classificação climática de Köppen (Pandolfo et al., 2002) e o solo foi classificado como Nitossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 5x5, aplicados em faixas, com três repetições, em parcelas de 6 x 6 m. Dois fatores foram analisados, sistemas de preparo do solo e fontes de nutrientes, sendo estes aplicados em faixas. As faixas de preparo do solo eram transversais ao declive do terreno e as faixas de aplicação das fontes de nutrientes eram no sentido do declive (aproximadamente 5% de

declividade), ambas com 6 m de largura e 30 m de comprimento. Foram aplicados cinco sistemas de preparo do solo: plantio direto (PD); preparo reduzido com uma escarificação mais uma gradagem (PRE); preparo convencional com uma lavração mais duas gradagens (PCO); preparo convencional com palha queimada (PCQ) e preparo convencional com palha retirada (PCR). As operações de preparo do solo, efetuadas apenas na primavera, foram: PD – semeadura sem preparo tanto das culturas de verão como de inverno, com os resíduos mantidos sobre a superfície do solo. Procedeu-se a rolagem e dessecação das plantas de cobertura do solo e/ou das plantas daninhas, antes da semeadura das culturas de verão; PRE - efetuado antes da implantação das culturas de verão, através de uma escarificação e uma gradagem; PCO - realizado antes da implantação das culturas de verão, através de uma lavração e duas gradagens. Procedeu-se a incorporação dos resíduos através de aração, apenas antes da implantação da cultura de verão (antes da cultura de inverno o resíduo não foi incorporado); PCQ – procedeu-se a rolagem e dessecação das plantas de cobertura de inverno e/ou das ervas daninhas; esperou-se secar, fez-se o aceiro e colocou-se fogo, procurando-se queimar todos os resíduos. O mesmo procedimento foi efetuado com os resíduos de culturas comerciais de verão. O preparo do solo foi igual ao descrito no PCO, após a queima dos resíduos e; PCR - foram retirados os resíduos após a colheita da cultura comercial. No caso das plantas de cobertura do solo, a matéria seca foi retirada antes da dessecação. O preparo do solo foi igual ao PCO, após a retirada dos resíduos. Estes sistemas de preparo do solo foram escolhidos por serem utilizados na região onde o experimento foi instalado.

Em faixas perpendiculares às de preparo do solo, foram aplicadas anualmente quatro fontes de nutrientes: 5 t ha⁻¹ ano⁻¹ de cama de aviário (EA), base úmida; 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco líquido de suínos (ELS); 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco líquido de bovinos confinados (ELB); adubação mineral de reposição (AM) e; uma testemunha sem aplicação de nutrientes (TES). As fontes orgânicas de nutrientes e o fertilizante mineral de base foram aplicados antes da última gradagem, quando esta estava prevista. No caso do PD, não houve incorporação das fontes de nutrientes. Para adubação mineral foi utilizada a adubação de reposição, conforme recomendado pela Comissão de Fertilidade do Solo (1995), sendo 140 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 100 kg ha⁻¹ de K₂O para o milho, 0 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 90 kg ha⁻¹ de K₂O para a soja e, 85 kg ha⁻¹ de N, 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O para o feijão. As fontes do adubo mineral foram a uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. As fontes orgânicas de nutrientes procederam de locais diferentes e, por isso, apresentaram diferente composição química e física durante os anos. Quantidades de N, P₂O₅ e K₂O adicionadas ao solo durante os nove anos estudados são apresentadas na tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Quantidades de N, P₂O₅ e K₂O adicionadas ao solo pelas fontes de nutrientes nos nove anos de condução do experimento.

Fontes de nutrientes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		kg ha ⁻¹	
EA	1106	847	882
ELB	732	531	1019
ELS	1000	1507	526
AM	675	450	690

Legenda: EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

Utilizou-se no experimento rotação de culturas com ciclos de três anos, onde no primeiro ciclo foram utilizadas as culturas de triticales/soja/ervilhaca comum/milho/aveia preta/feijão/trigo mourisco, sendo que a partir do segundo ciclo o triticales foi substituído por centeio e o trigo mourisco por nabo forrageiro. A semeadura das culturas de verão foi efetuada com semeadeira para plantio direto e convencional, na mesma direção do preparo. As culturas de inverno foram semeadas com semeadeira para plantio direto, no sentido longitudinal ao declive (maior comprimento), sem adubação. As quantidades de sementes foram corrigidas para 100% de germinação. As cultivares utilizadas foram as recomendadas para a região. Os coeficientes técnicos utilizados na implantação das culturas são apresentados na tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Culturas, espaçamento entre linhas, sementes por metro linear, densidade de plantas e quantidade de sementes por hectare.

Culturas	Espaçamento entrelinhas	Sementes	Densidade de plantas	Quantidade de sementes
	cm	n°. metro linear ⁻¹	pl ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Milho	70	4,5	55.000	-
Feijão	45	12	200.000	-
Soja	45	15	250.000	-
Aveia preta	17	-	-	80
Ervilhaca comum	17	-	-	100
Centeio	17	-	-	100
Nabo forrageiro	17	-	-	15

O controle de plantas espontâneas foi efetuado apenas nas culturas comerciais, através da aplicação de herbicidas pós-emergentes. Os herbicidas e as doses utilizadas foram os recomendados para cada cultura.

1.2.2 Avaliações do experimento

1.2.2.1 Produtividade de grãos de milho, soja e feijão

A produtividade de grãos da cultura do milho foi determinada coletando-se as seis fileiras centrais da parcela com 4 m de comprimento (16,8 m² de área útil). Para soja e feijão foram coletadas as cinco fileiras centrais (correspondendo a uma passada da semeadeira) com 2 m de comprimento (4,5 m² de área útil). Os dados das produtividades de grãos nos nove anos encontram-se no apêndice A e foram corrigidos para 13% de umidade.

1.2.2.2 Matéria seca das plantas de cobertura

A matéria seca das plantas de cobertura (MS) foi determinada antes do seu manejo, incluindo-se também as plantas espontâneas porventura existentes, em uma área de 0,25 m², cortada rente ao solo utilizando-se um quadro amostrador e tesoura para corte das plantas. O material colhido foi seco em estufa a 60° C até peso constante. Os dados de matéria seca nos nove anos de condução do experimento encontram-se no apêndice B.

1.2.2.3 Comprimento de raízes de milho

O comprimento das raízes de milho (CR) foi determinado em amostras coletadas por ocasião do florescimento da cultura, no décimo ano de condução do experimento (Apêndice C).

As amostras de solo com as raízes foram coletadas utilizando-se trado tipo copo com 75 mm de diâmetro, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Foi coletada uma amostra por parcela, na entre linha, a 10 cm de uma planta de milho. As amostras de solo com raízes foram acondicionadas em potes plásticos, onde foi adicionado NaOH 0,2 N na proporção de 2:1 para dispersão do solo, até cobertura completa da amostra. Após uma noite de imersão, as amostras foram transferidas para um recipiente plástico, agitadas manualmente e lavadas com jato de água sobre peneira de 0,5 mm de abertura de malha. Estas amostras foram guardadas em potes plásticos com água, submetidas ao processo manual de remoção das impurezas e então armazenadas em potes plásticos com álcool 40%.

A determinação do comprimento das raízes foi efetuada com o uso do programa “rootedge” descrito por Kaspar & Ewing (1997). Para efetuar esta determinação, as raízes foram colocadas sobre um quadro de vidro de 16 x 24 cm, com bordas laterais de 5 mm de altura e espalhadas aleatoriamente sobre o quadro, imersas na solução conservante. O quadro de vidro foi colocado sobre um scanner e foi tirada uma cópia colorida das raízes com definição de 600 dpi (pontos por polegada). Este procedimento foi baseado naquele indicado pelos autores, com a diferença de que as raízes não foram escurecidas com o uso do produto indicado. Em função da falta de contraste entre as raízes e o fundo, as imagens foram previamente processadas com o programa SPRING (Câmara et al., 1996), o qual é utilizado para tratamento de imagens.

1.2.2.4 Atributos químicos do solo

As análises químicas de rotina foram realizadas em amostras de solo ao final do nono ano de experimento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. As amostras foram constituídas de subamostras coletadas em quatro posições em cada parcela. O pH em água-pH (Apêndice D), fósforo disponível-P (Apêndice E), potássio disponível-K (Apêndice F), matéria orgânica-MO (Apêndice G), alumínio trocável (Apêndice H)-Al, cálcio trocável-Ca (Apêndice I) e magnésio trocável-Mg (Apêndice J) foram determinados no laboratório de análises de solos do Centro de Pesquisa para a Agricultura Familiar (CEPAF) da Epagri de Chapecó/SC, que utilizou a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

1.2.2.5 Atributos físicos do solo

Como atributos físicos do solo foram utilizados a densidade do solo (d_s) e a macroporosidade (mac), determinados na profundidade de 12,5-17,5 cm conforme EMBRAPA (1979), o conteúdo de água disponível (CAD) na profundidade de 0-40 cm e o índice de estabilidade de agregados em água (IEA) determinado na profundidade de 0-5 cm (Apêndice K). O IEA corresponde à relação DMG_{Gea}/DMG_{Gsa} e a estabilidade dos agregados em água (DMG_{Gea}) e seco ao ar (DMG_{Gsa}) foi determinada conforme Kemper & Chepil (1965).

1.2.3 Modelo para análise do uso de fontes de nutrientes

O estudo do aspecto técnico do uso das fontes de nutrientes envolveu a utilização de um modelo de análise com a geração de figuras triangulares e da média e dos intervalos de confiança das áreas destas figuras e dos índices que a compõem, dentro de cada sistema de preparo do solo, fazendo-se uso de atributos transformados em índices, através de valorações e pesos (Figura 1.1). As valorações foram feitas através de equações ou relativizações considerando o dado máximo ou mínimo. Os pesos foram conferidos aos atributos para refletir a importância destes na composição do índice. A apresentação gráfica dos dados, aglutinando os atributos escolhidos, facilitou a visualização das informações geradas e orientou as discussões iniciais dos resultados. Cada raio do gráfico radial é composto por um índice que consiste de dois ou mais atributos. Os atributos foram valorados e/ou relativizados e assim transformados em índices de forma que este apresentassem valor entre zero e um, sempre se levando em conta que valores de 1,0, ou próximos a ele, refletem o potencial do uso das fontes de nutrientes e, ao contrário, valores de zero ou próximo a zero refletem um gargalo no uso destas fontes de nutrientes. A união dos pontos inseridos nos raios do gráfico resultou na figura de um triângulo. A área da figura triangular correspondeu a soma das áreas de três triângulos, cujos lados correspondem ao comprimento dos raios (valoração de cada índice ou atributo), tomados dois a dois, os quais formam um ângulo interno de 120°. A fórmula para cálculo da área de um triângulo qualquer é:

$$A = L1 * L2 * \frac{\text{sen } a}{2} \quad (1.1)$$

onde: L1 e L2 são os comprimentos dos raios considerados e a é o ângulo interno formado por eles (Figura 1.2).

A análise de risco foi incorporada pelo programa @RISK 4.5 para Excel (www.palisade.com), para se obter os intervalos de confiança dos índices de planta, químico e físico e da área do aspecto técnico a 90% de probabilidade. Os dados de entrada do modelo foram a média, o desvio padrão, o valor máximo e o mínimo de todos os atributos ou índices envolvidos neste estudo, em cada um dos tratamentos. O programa rodou 1.000 combinações dos atributos, considerando que estes tenham uma distribuição normal dentro do intervalo dos dados máximos e mínimos. Considerou-se que as áreas ou índices foram diferentes

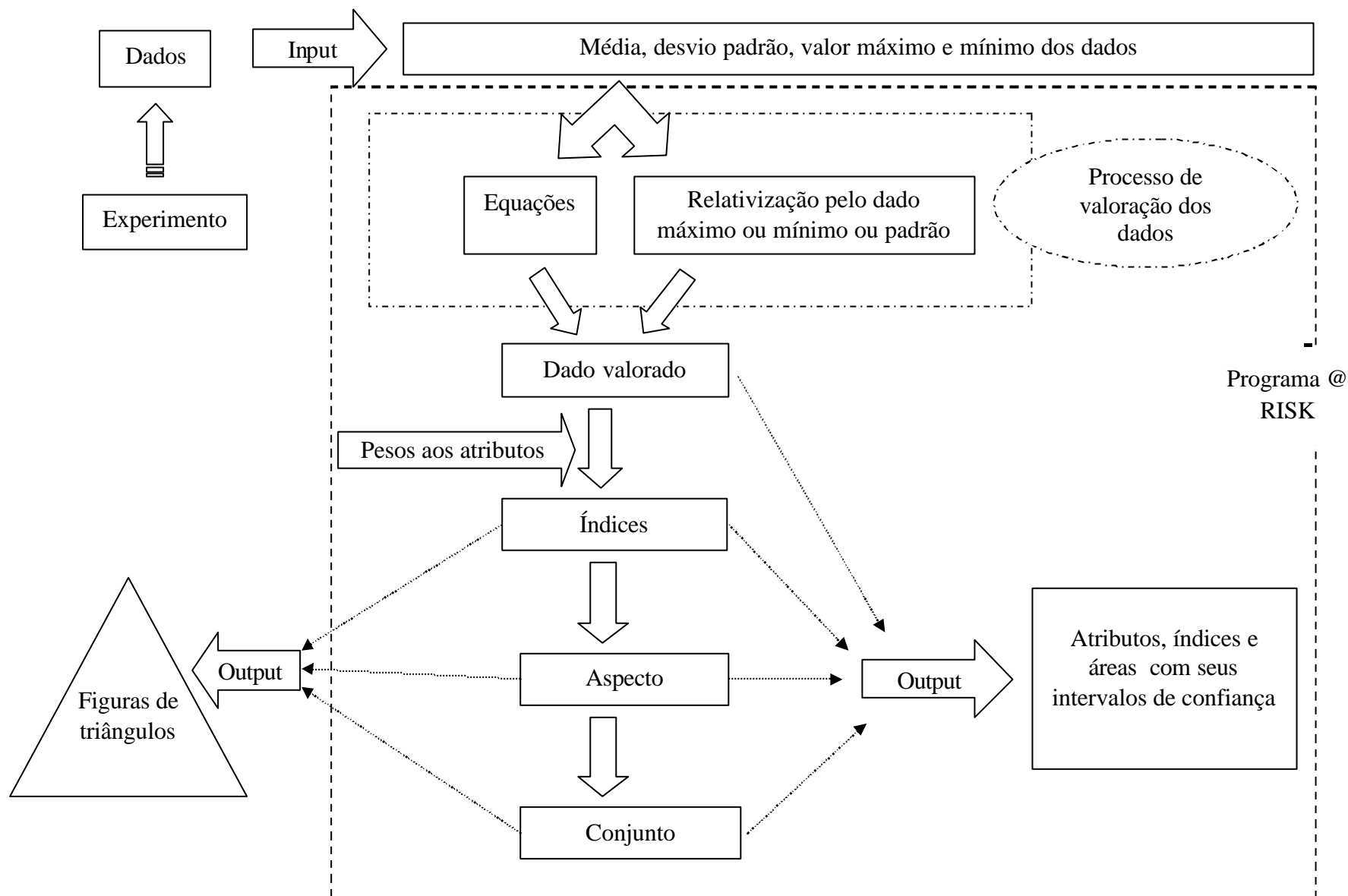


Figura 1.1 – Esquema do modelo para análise das fontes orgânicas de nutrientes.

estatisticamente quando os intervalos a 90 % de probabilidade, tomados dois a dois, não se sobrepuseram entre eles.

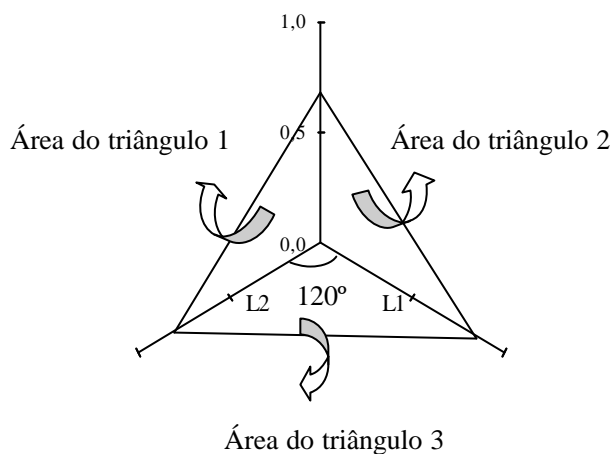


Figura 1.2 – Esquema dos três triângulos que compõem a área total.

1.2.3.1 Aspecto Técnico

Para o estudo do aspecto técnico foram utilizados três índices: índice de planta, índice químico do solo e índice físico do solo. O aspecto técnico foi avaliado pela área do triângulo resultante do gráfico radial composto por três raios, onde em cada raio está alocado um dos índices acima referenciado.

1.2.3.1.1 Índice de planta e valoração dos atributos

O índice de planta (IP) foi composto pelos atributos produção de matéria seca das plantas de cobertura, comprimento e distribuição de raízes da cultura do milho, na profundidade de 0-40 cm e no décimo ano de experimentação.

A não inclusão da produtividade de grãos se deve ao fato de que esta está correlacionada diretamente com a maioria dos outros atributos e, portanto, estaria sobrevalorizada, com um peso superior aos demais atributos caso viesse a compor também o índice de planta. Sendo assim, preferiu-se deixar a produtividade de grãos como um atributo econômico. Para a matéria seca acumulada das plantas de cobertura atribuiu-se um peso de

70% e para o conjunto dos atributos de raízes um peso de 30%, já que estes foram determinados apenas para uma cultura e ano. Assumiu-se, ainda, que o comprimento e a distribuição de raízes das culturas de soja e feijão seriam semelhantes à do milho, caso estas culturas tivessem sido cultivadas naquela safra. Com relação aos atributos de raízes, atribuiu-se um peso de 20% para a distribuição e 10% para o comprimento de raízes.

A valoração da produção de matéria seca (MS_r) das plantas de cobertura foi feita pela maior produção acumulada dos nove anos, em cada parcela. A valoração do atributo comprimento de raízes (CR_r) foi realizada por meio da relativização do comprimento total da parcela (soma das profundidades) em relação ao máximo valor de comprimento obtido no experimento. Na valoração da distribuição de raízes (DR_v), assumiu-se o valor de 1 para uma distribuição de raízes eqüitativa de 25% nas quatro profundidades amostradas. A distribuição eqüitativa nas profundidades objetivou atender a função de absorção de nutrientes das raízes nas camadas mais superficiais e a absorção de água nas camadas inferiores do perfil. Em cada parcela foram somados os desvios em relação à distribuição pretendida nas quatro profundidades e a soma destes desvios foram relativizados considerando-se que o valor máximo possível da soma dos desvios seria de 150 (representando uma condição extrema onde todas as raízes estariam concentradas em uma só profundidade). Assim, quanto maior o índice de distribuição de raízes (1 ou próximo a ele), mais eqüitativa é a distribuição em relação aos 25% ideais em cada profundidade. Para se obter o índice de distribuição de raízes em cada parcela, considerando-se as quatro profundidades, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$DR_v = 1 - \left(\sum_{i=1}^4 (|\%Ri - 25|) \right) / 150 \quad (1.3)$$

onde: %Ri = percentagem do comprimento de raízes na profundidade i em relação ao total obtido na profundidade de 0-40cm. As barras indicam que se tratam de valores absolutos.

O IP foi calculado pela equação abaixo, onde o subscrito *r* indica que o atributo foi relativizado e o subscrito *v* que o atributo foi valorado:

$$IP = (MS_r * 0,70) + (DR_v * 0,20 + CR_r * 0,10) \quad (1.2)$$

1.2.3.1.2 Índice químico do solo e valoração dos atributos

O índice químico do solo (IQS) foi composto pelos atributos pH_v , MO_v , P_v disponível, K_v disponível, saturação por alumínio trocável (m_v) (Apêndice L), e $(Ca+Mg)_v$ trocáveis na profundidade de solo de 0-20 cm para os preparos PRE, PCO, PCQ e PCR e na profundidade

de 0-10 cm para o PD. Os atributos químicos que compõe o IQS foram valorados por meio de equações elaboradas através das expectativas de resposta da planta nas faixas de teores existentes para os atributos. Utilizou-se como referência as expectativas de resposta da planta às faixas de interpretação para P e para K (muito baixo-até 40%, baixo-40 a 75%, médio-75 a 90% e alto - maior que 90%) (CQFS-NRS, 2004). Na confecção dos gráficos, foi utilizado o valor superior da classe. Ressalta-se que estas equações foram obtidas apenas para efeito de estimativa da valoração dos dados dos atributos, não cabendo, portanto, coeficientes de correlação ou de regressão. A valoração dos dados, na maioria das vezes, restringiu-se à faixa de dados obtidos no experimento, aplicável para esta condição ou situação de avaliação.

1.2.3.1.2.1 pH do solo

A valoração dos resultados de pH do solo (Apêndice D) foi efetuada utilizando-se as classes de pH e sua interpretação em dois sistemas de preparo do solo: plantio direto, com recomendação para elevar o pH até 5,5 e preparo convencional, com recomendação para elevar o pH até 6,0 (CQFS-NRS, 2004). Com os dados de pH e a valoração se obteve duas curvas sigmóides com quatro coeficientes (Figura 1.3), uma para o sistema plantio direto e outra para sistema de preparo convencional, onde nas equações: y é a valoração das classes de pH (expectativa de rendimento) e x é o pH obtido na análise de solo.

1.2.3.1.2.2 Fósforo disponível

A valoração dos teores de fósforo do solo (Apêndice E) foi feita através do uso das classes de fósforo e de sua interpretação para um solo de classe 1 (>60% de argila), na qual se enquadrava o solo em estudo (CQFS-NRS, 2004). Com os dados, foi obtida uma curva sigmóide com quatro coeficientes (Figura 1.4), onde na equação: y é a valoração do teor de P (expectativa de rendimento) e x é o teor de P obtido na análise de solo.

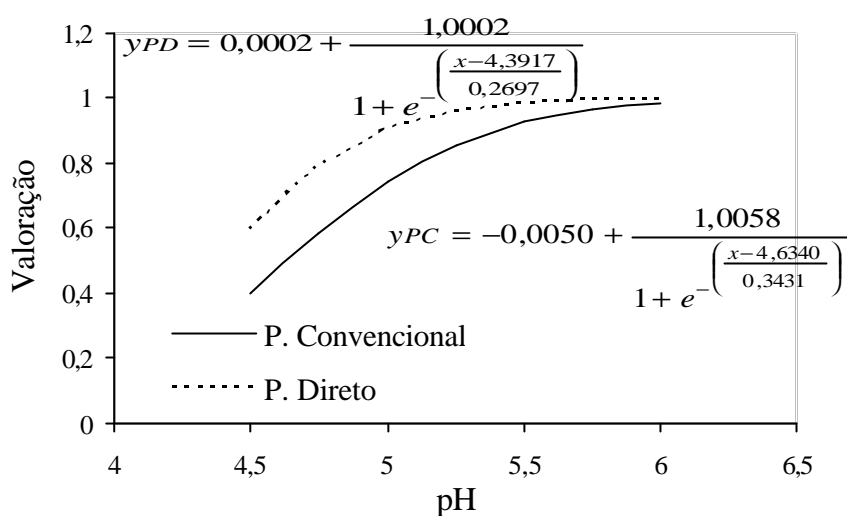


Figura 1.3 - Curvas de valoração para o pH em água nos sistemas de plantio direto e preparo convencional.

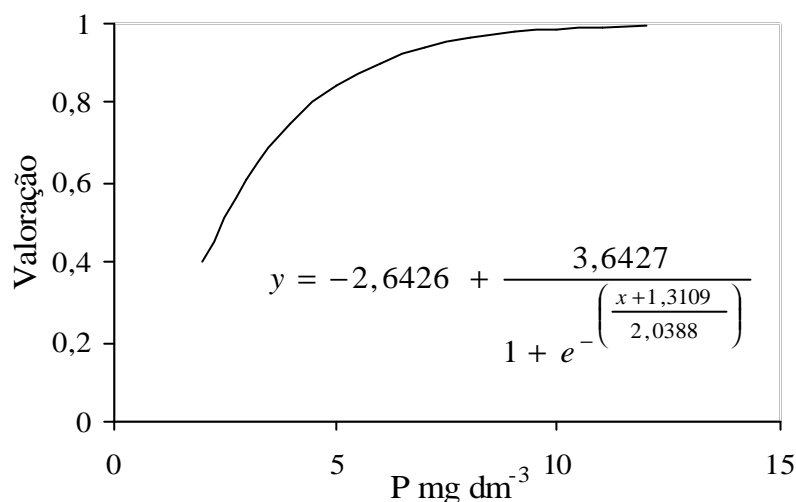


Figura 1.4 - Curva de valoração para os teores de fósforo disponível do solo.

1.2.3.1.2.3 Potássio disponível

A valoração dos teores de K determinados na análise do solo (Apêndice F) foi feita, à semelhança do P, através do uso das classes de potássio e de sua interpretação para um solo com CTC pH 7,0 de 5,1-15,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (CQFS-NRS, 2004). Com os teores de K valorados se obteve uma curva sigmóide, com quatro coeficientes (Figura 1.5), onde na equação: y é a valoração do teor de K (expectativa de rendimento) e x é o teor de K obtido na análise de solo.

1.2.3.1.2.4 Matéria orgânica

A valoração dos teores de matéria orgânica do solo (Apêndice G) foi efetuada em função das interpretações para as classes, conforme indicadas na CQFS-NRS (2004). Com os valores superiores das classes de matéria orgânica e a valoração dos teores se obteve uma curva sigmóide com quatro coeficientes (Figura 1.6), onde na equação: y é a valoração do teor de MO (expectativa de rendimento) e x é o teor de MO obtido na análise de solo.

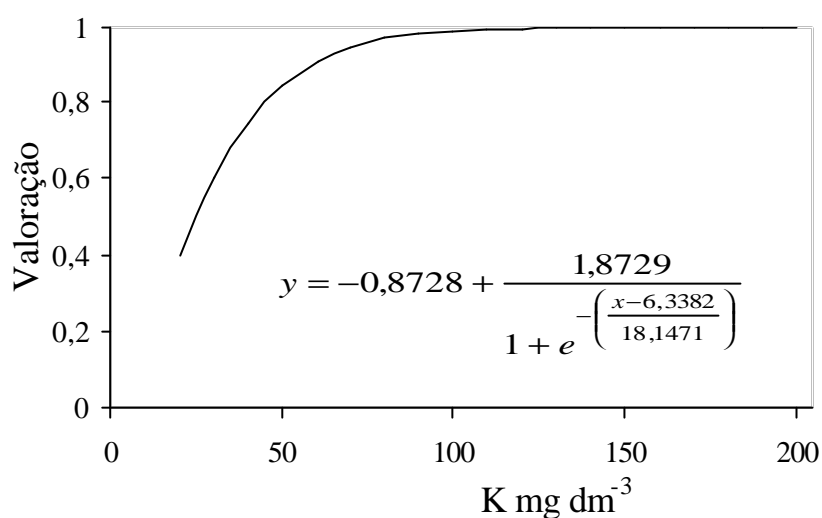


Figura 1.5 - Curva de valoração para os teores de potássio disponível no solo.

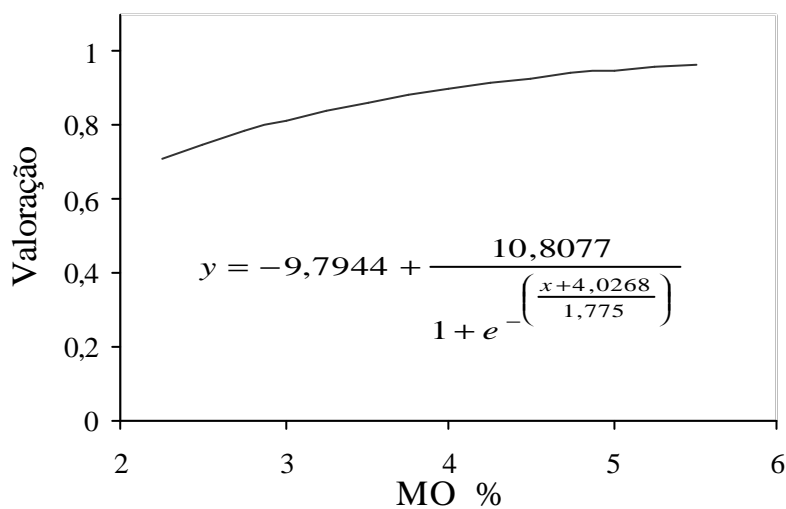


Figura 1.6 - Curva de valoração para os teores de matéria orgânica do solo.

1.2.3.1.2.5 Saturação por Al

A valoração da porcentagem de saturação por alumínio (Apêndice L) foi efetuada em função das classes de interpretação conforme indicada em CQFS-NRS (2004). Com os dados valorados, obteve-se uma curva (Figura 1.7), onde na equação: y é a valoração da saturação por alumínio (expectativa de rendimento) e x é a porcentagem de saturação por alumínio em função da análise do solo.

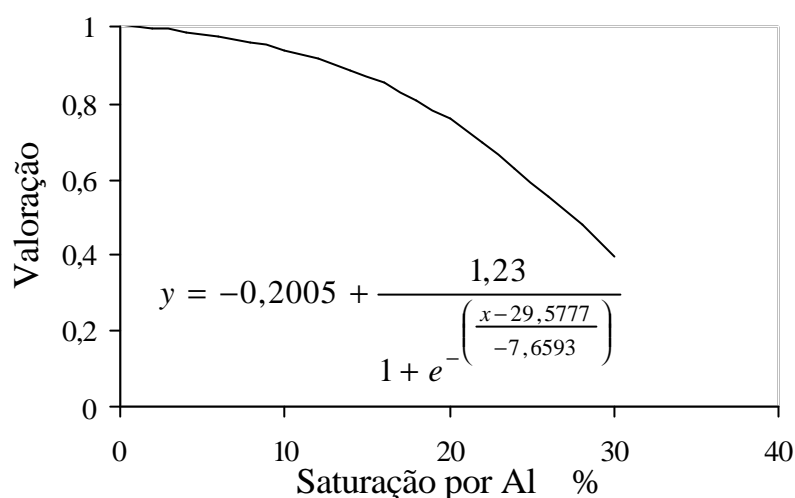


Figura 1.7 - Curva de valoração para a saturação de alumínio no solo.

1.2.3.1.2.6 Cálcio + magnésio trocáveis

A valoração dos teores de cálcio mais magnésio trocáveis (Ca+Mg) obtidos na análise do solo (Apêndices I e J) foi em função das classes de interpretação para cada nutriente conforme indicada na CQFS-NRS (2004), considerando-se a soma deles como consta em Comissão de Fertilidade do Solo (1995). Com os valores superiores das classes de cálcio mais magnésio trocáveis e a valoração, se obteve uma curva sigmóide com quatro coeficientes (Figura 1.8), onde na equação: y é a valoração dos teores de Ca+Mg trocáveis (expectativa de rendimento) e x são os teores de Ca+Mg trocáveis obtidos na análise de solo.

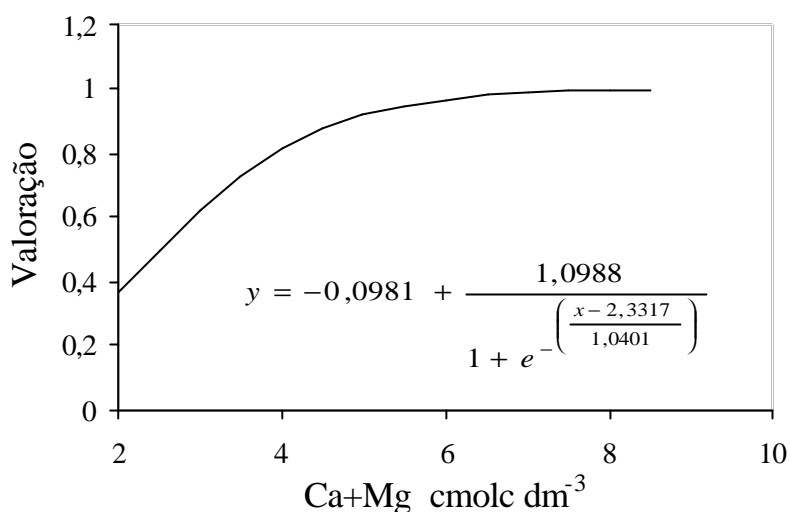


Figura 1.8 - Curva de valoração para os teores de Ca+Mg trocáveis do solo.

1.2.3.1.2.7 IQS

Para a composição do Índice químico do solo (IQS), foram assumidos pesos de 1 para os atributos P_v , K_v e MO_v , pois recomendam adubação específica (fosfatada, potássica e nitrogenada, respectivamente). Entretanto, para o pH_v , saturação por alumínio (m_v) e $(Ca+Mg)_v$, atribuiu-se um peso de 1/3 para cada um, pois de alguma forma, estes atributos estão associados à prática da calagem, ou seja, atingir determinado pH em água com a neutralização do alumínio trocável e o fornecimento de Ca e/ou Mg. O IQS está representado na equação abaixo, onde o subscrito v indica que o atributo foi valorado:

$$IQS = \frac{P_v + K_v + MO_v + 1/3 pH_v + 1/3 m_v + 1/3 (Ca + Mg)_v}{4} \quad (1.4)$$

1.2.3.1.3 Índice físico do solo e valoração dos atributos

O índice físico do solo (IFS) foi composto pelos atributos ligados à estrutura do solo: densidade do solo (ds_v) e macroporosidade (mac_v) na profundidade de 12,5-17,5 cm; conteúdo de água disponível (CAD_r) na profundidade de 0-40 cm; e por um atributo dinâmico que é o índice de estabilidade de agregados (IEA_r) na profundidade de 0-5 cm. A profundidade de 12,5-17,5 cm para os atributos ligados à estrutura foi escolhida por ser a profundidade diagnóstica para os sistemas de preparo e a de 0-5 cm para o índice de estabilidade de

agregados porque é a que sofre o impacto da gota da chuva, importante para diagnosticar a susceptibilidade do solo à erosão. Para o conteúdo de água disponível foi escolhida a camada de 0-40 cm, onde está concentrada grande parte do sistema radicular (Merten e Mielniczuck, 1991 e Rosolen et al, 1992).

1.2.3.1.3.1 Macroporosidade

A valoração da macroporosidade baseou-se nos dados obtidos por Baver & Farnsworth, (1940), que correlacionaram a porosidade de aeração com a produção de beterraba açucareira. Com base nos resultados deste estudo, obteve-se uma curva sigmóide, com quatro coeficientes (Figura 1.9), onde na equação: y é a valoração da % de macroporosidade (expectativa de rendimento) e x é a percentagem de macroporosidade no solo ao final do nono ano.

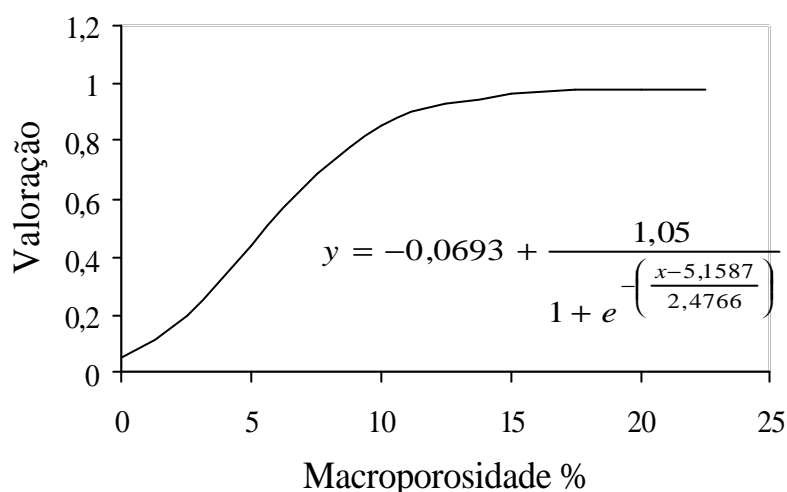


Figura 1.9 - Curva da valoração para a macroporosidade do solo.

1.2.3.1.3.2 Densidade do solo

No caso da densidade do solo, considerou-se que os valores de densidade quando o solo argiloso atinge 10% de macroporosidade é de aproximadamente 1,1 a 1,2 g cm⁻³ (relação entre porosidade total e a densidade de partículas, considerando-se que a microporosidade é pouco variável e situa-se ao redor de 45%). Assim sendo, a maior valoração deste atributo que corresponde à expectativa de rendimento relativo das plantas dividido por 100, é quando os dados de densidade encontram-se nesta faixa, decrescendo à esquerda e à direita (maior

intensidade) deste patamar. Com estes dados, obteve-se uma equação de Gaussian com quatro coeficientes (Figura 1.10), onde na equação: y é a valoração da densidade do solo (expectativa de rendimento) e x é a densidade do solo ao final do nono ano.

1.2.3.1.3.3 Conteúdo de água disponível (CAD)

O CAD foi determinado em laboratório em amostra com estrutura preservada, e resultou da soma das diferenças de umidade volumétrica a 10 kPa de sucção (capacidade de campo) e a 1.500 kPa de sucção (ponto de murcha permanente), ambas transformadas em lâmina (mm), para cada uma das quatro camadas. A valoração foi feita considerando-se que há um maior benefício para a planta quanto maior for o teor do CAD e os resultados foram relativizados pelo maior teor encontrado no experimento.

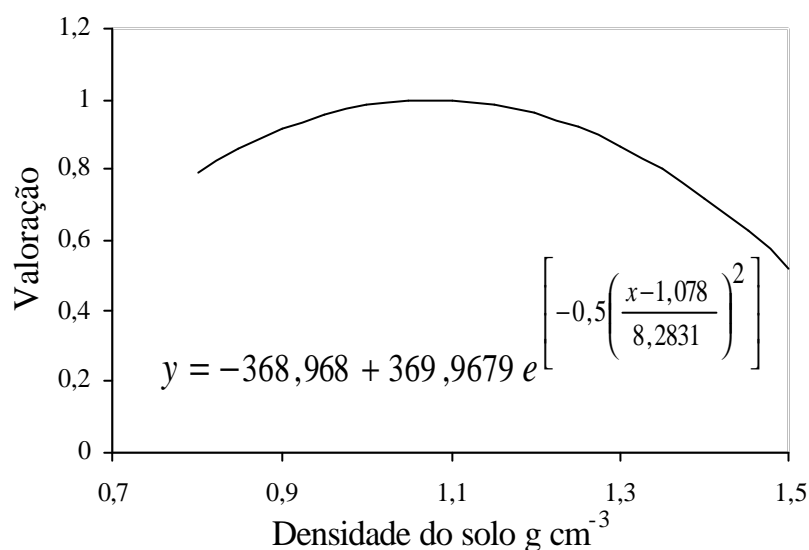


Figura 1.10 – Curva de valoração para a densidade do solo.

1.2.3.1.3.4 Índice de estabilidade de agregados

Os índices de estabilidade de agregados, que correspondem à relação entre o diâmetro médio geométrico dos agregados estáveis em água (DMG_{ea}) e o diâmetro médio geométrico dos agregados secos ao ar (DMG_{sa}), foram relativizados para o valor máximo obtido entre todas as parcelas. Este procedimento foi adotado porque o índice de estabilidade é dependente

do método utilizado, cujos valores dependem, principalmente, da velocidade de umedecimento das amostras e da intensidade de agitação (Veiga, 2004).

1.2.3.1.3.5 IFS

Na composição do Índice físico do solo (IFS), foi conferido um peso de 40% para o Índice de estabilidade de agregados (IEA_r) e 20% para a macroporosidade (mac_v), densidade do solo (ds_v) e conteúdo de água disponível (CAD_r). O IFS foi calculado usando a equação abaixo, onde o subscrito r indica que o atributo foi relativizado e o subscrito v que o atributo foi valorado:

$$IFS = (IEA_r^* 0,4) + (mac_v^* 0,2) + (ds_v^* 0,2) + (CAD_r^* 0,2) \quad (1.5)$$

1.3 Resultados e discussão

Os resultados foram originados de duas saídas do modelo de análise das fontes orgânicas de nutrientes. Na análise das figuras dos triângulos considerou-se que, quanto maior a figura, melhor a avaliação. O atributo limitante ou gargalo do uso da fonte foi identificado quando os lados dos triângulos apresentam variabilidade entre os índices ou atributos, sendo mais limitante quanto mais curto for o raio (menor valor dos índices ou atributos valorados). Neste caso, a figura não permite a diferenciação das fontes de nutrientes com base estatística. Na segunda saída do modelo estão as áreas das figuras dos triângulos e seus respectivos intervalos de confiança. Considerou-se que quando as áreas não se sobrepõem, estas foram diferentes estatisticamente. Neste caso, quanto maior a área da figura, melhor é o desempenho técnico do uso daquela fonte de nutrientes.

1.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos

O uso de diferentes fontes para fornecimento de nutrientes às plantas, com enfoque nas fontes orgânicas, foi avaliado quanto ao seu aspecto técnico por um conjunto de atributos que foram transformados em três índices (IP, IQS e IFS). Na figura 1.11 está representado graficamente o aspecto técnico do uso das fontes de nutrientes nos sistemas de preparo do

solo e para o conjunto dos sistemas de preparo. Visualmente, observou-se que houve diferenças do aspecto técnico entre as fontes de nutrientes, cuja amplitude variou com o sistema de preparo do solo utilizado e, portanto, os diferentes sistemas de preparo do solo afetaram o resultado do aspecto técnico das fontes. Estes resultados podem ser explicados pelas características que identificam o tipo de preparo como o grau de mobilização do solo, que resulta em maior ou menor incorporação dos resíduos vegetais, ou do manejo específico dos resíduos vegetais, ou seja, se foram removidos ou queimados. Estas diferenças entre os sistemas de preparo do solo são ressaltadas por Derpsch et al. (1991) destacando que podem influenciar de modo diferenciado as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, também, na magnitude da erosão do solo em função da maior ou menor cobertura do solo remanescente após as operações de preparo.

A maior amplitude de diferenciação do aspecto técnico das fontes de nutrientes foi observada no IP em todos os sistemas de preparo. Comparado aos outros índices, o IFS variou mais em magnitude entre os sistemas de preparo do que entre as fontes de nutrientes, alcançando o maior valor nos sistemas PD seguido pelo PRE, e menores índices no PCQ e no PCR. A magnitude do efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é afetada pelo tempo de uso dos mesmos, umidade do solo por ocasião das operações de campo, sistemas de culturas, classe do solo e condições climáticas (Costa et al., 2003). Além disto, a qualidade física do solo está fortemente associada com o aporte e manejo do material orgânico adicionado ao solo que, por sua vez, afeta a densidade do solo, a distribuição de diâmetro de poros, a estabilidade de agregados, entre outros.

No PD e PRE houve uma menor variabilidade entre os índices e no PCO, PCQ e PCR, observa-se uma distorção das figuras ocasionada principalmente pelo IFS, mostrando que todas as fontes estão mais desequilibradas nestes sistemas de preparo. Entre os três preparos convencionais, o menor desequilíbrio entre os índices foram obtidos no PCO. Entre os índices, o IFS apresenta os valores mais baixos e foi aquele que limitou o desempenho do aspecto técnico das fontes, gerando uma figura mais imperfeita. Diferenças de sistemas de preparo sobre as propriedades físicas do solo foram comprovadas por Costa et al. (2003), os quais verificaram que o sistema PD promoveu uma melhoria nas propriedades avaliadas, quando comparado ao sistema PC, com reflexos no aumento da produtividade da soja (42%) e de milho (22%).

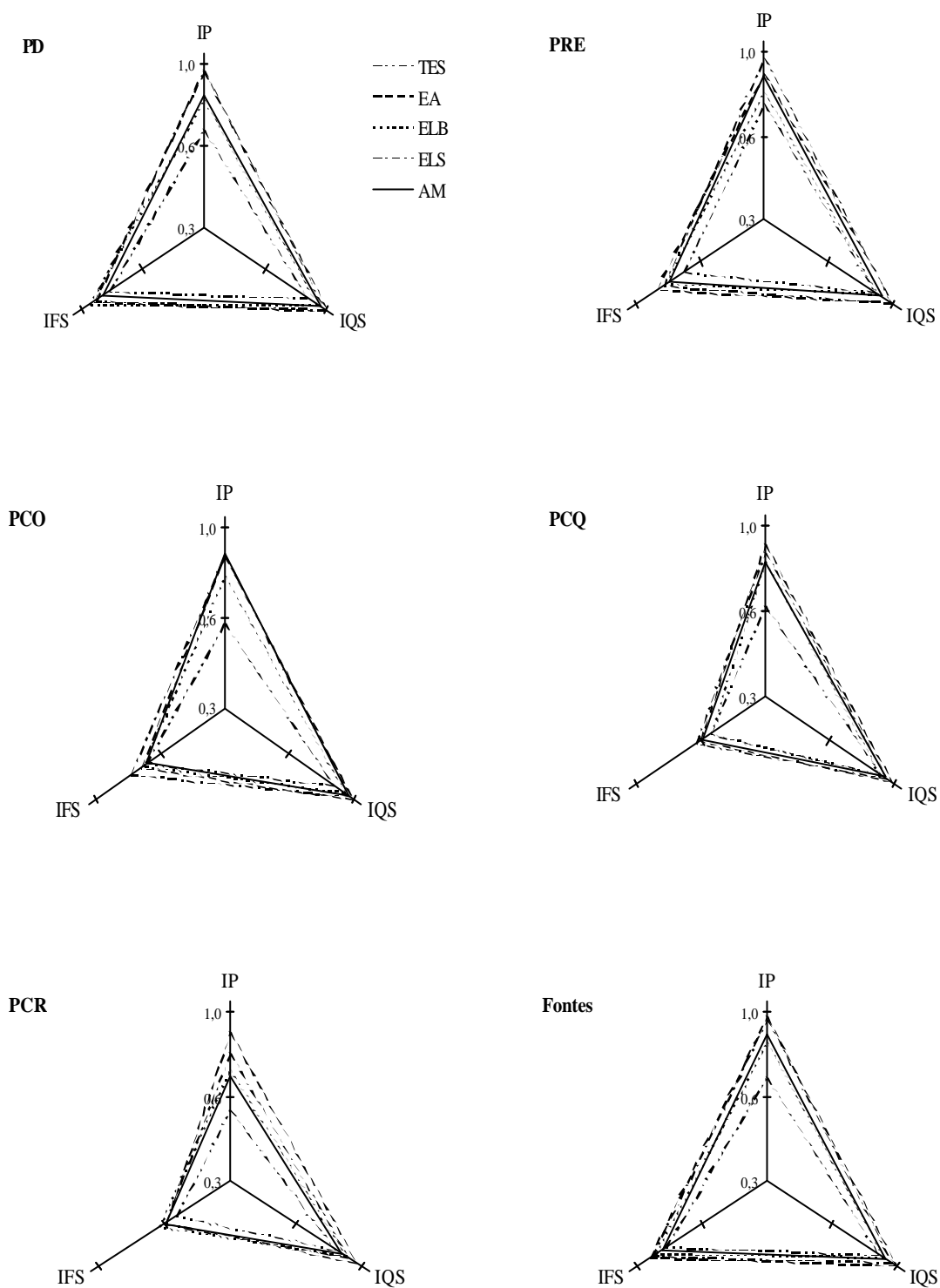


Figura 1.11 – Aspecto técnico do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelo índice de planta (IP), índice químico do solo (IQS) e índice físico do solo (IFS).

A adição dos esterco nas doses preconizadas para fornecimento de nutrientes em substituição à adubação mineral, não está sendo suficiente para compensar a retirada dos resíduos vegetais e manter ou melhorar a condição física nos sistemas PCQ e PCR. A retirada ou queima da palha nestes sistemas, representa um déficit de aporte de uma das principais fontes de matéria orgânica, a qual é importante na estabilidade estrutural do solo (Oades, 1984). Limitações como estas podem levar a um colapso destes sistemas, já que todos os processos são afetados, comprometendo a capacidade produtiva do solo com reflexos na produção das plantas. Quando se observou o aspecto técnico das fontes levando-se em conta todos os preparos de solo conjuntamente, verificou-se que houve diferenças entre estas, principalmente em relação à testemunha, sem aplicação de fonte de nutrientes.

1.3.2 Avaliação das fontes de nutrientes pela área das figuras

A maior área da figura do aspecto técnico foi obtida, de forma geral, com o EA, seguido pelo ELS (Tabela 1.3), ELB e AM (os dois últimos alternando-se quanto à magnitude) e testemunha. Porém, não houve diferenças entre as áreas das fontes EA e ELS, bem como entre as áreas do ELB e AM em qualquer dos sistemas de preparo. A maior área encontrada para o EA sugere um potencial de melhor desempenho técnico desta fonte quando comparada às outras. Entre os três esterco utilizados neste estudo, o EA é considerado na literatura como a melhor fonte de nutrientes em função do seu baixo teor de umidade (Moore Jr. et al., 1995), seu alto pH e baixa relação C/N (Araji et al., 2001). Excetuando-se a testemunha, somente duas comparações entre os esterco foram diferentes significativamente (Apêndice X) e ocorreram no sistema PRE, onde o EA diferiu do ELB e ELB diferiu do ELS, mostrando que não houve diferenças entre os esterco quanto ao aspecto técnico. O mesmo comportamento foi apresentado quando se considerou as fontes sem a separação por sistema de preparo do solo, com nenhuma das fontes de nutrientes diferindo entre si. Neste caso, ressalta-se, que ao considerar-se os sistemas de preparo do solo para analisar conjuntamente as fontes de nutrientes, reduz-se a possibilidade de haver diferenças significativas entre elas em função da maior amplitude dos dados de entrada no modelo. O desempenho semelhante entre as fontes quanto ao aspecto técnico está de acordo com resultados obtidos em outros estudos que comprovam que a aplicação de esterco ao solo pode substituir a necessidade de fertilizantes comerciais (Scherer & Bartz, 1984; Scherer et al, 1984; Sutton, 1994). Adicionalmente, embora os esterco são considerados como fontes de nutrientes, muitas vezes

são considerados também como condicionadores do solo pelas alterações positivas nas suas características físicas e químicas (Tiarks et al, 1974; Sommerfeldt & Chang, 1987; Chang et al., 1991; Houtin et al., 1997). A menor área sempre foi apresentada pela testemunha, o que atende às expectativas de que a aplicação de fontes de nutrientes foi importante para o sistema de produção estudado e esta foi a que mais vezes se diferenciou das outras fontes, diferindo do EA e ELS em todos os sistemas de preparo do solo (Apêndice X). A área da testemunha diferenciou-se do ELB apenas nos sistemas de preparo PD e PCR. Este comportamento é esperado, pois as doses dos esterco foram aplicadas em função das doses recomendadas pela pesquisa na época para o fornecimento de nutrientes em substituição à adubação mineral, considerando-se a resposta das plantas às doses de esterco estudadas.

Entre os sistemas de preparo do solo, o maior número de vezes em que houve diferenças significativas entre as áreas das fontes de nutrientes ocorreu no PCR e o menor número de vezes no PD, PCO e PCQ. A não incorporação ou a incorporação parcial das fontes de nutrientes e/ou dos resíduos vegetais possibilita o acúmulo de nutrientes e alterações físicas e biológicas na superfície do solo com magnitude variando em função do tipo, tempo, dose do fertilizante adicionado e do manejo do solo. Quando se compara a mesma fonte nos diferentes sistemas de preparo do solo, verificou-se que as áreas de todas as fontes de nutrientes decresceram no sentido PD, PRE, PCO, PCQ e PCR, com muitas comparações diferentes significativamente, indicando que o sistema de preparo do solo afetou o aspecto técnico das fontes. Todas as fontes apresentaram maior área média no PD e menor no PCQ e PCR sendo diferentes entre si e ao comparar-se as áreas das mesmas fontes entre os sistemas de preparo PD e PRE e entre o PCQ e PCR, estas não foram diferentes.

1.3.2.1 Índices químico e físico do solo e índice de planta

Com relação ao IP, de modo geral as maiores valorações foram obtidas com o EA e o ELS, porém estes não se diferenciaram entre si em nenhum dos sistemas de preparo do solo (Tabela 1.3). Com exceção das comparações entre a testemunha e as demais fontes, o EA foi a fonte que mais vezes se diferenciou das demais, sendo que a maior frequência na diferenciação foi com o ELB (3 vezes das 5 possíveis) (Apêndice X). Na comparação entre fontes, considerando-se os sistemas de preparo em conjunto, somente a testemunha se diferenciou das outras fontes de nutrientes.

Visualmente, o IP diferenciou melhor as fontes de nutrientes comparado ao IQS (Figura 1.11), entretanto apresentou um menor número de comparações significativas (Apêndice X). Em contraste, as fontes apresentaram visualmente uma menor dispersão nos valores do IQS, porém este apresentou um maior número de comparações entre fontes que diferiram significativamente. Isto demonstrou a importância de se associar, neste tipo de estudo, a figura (que mostra qual o componente ou o índice que está mais afastado em relação a um referencial), com a área desta figura (que permite uma análise do conjunto dos dados utilizados e a separação das fontes estatisticamente diferentes).

O IQS, de uma forma geral, apresentou valores maiores do que os de IP e IFS (Tabela 1.3) indicando que o solo apresentava uma boa condição química, considerando-se os atributos e valorações utilizados. Os maiores valores de IQS, em todos os sistemas de preparo, foram apresentados pelo EA e os menores valores pela testemunha ou ELB e, de maneira geral, houve diferenças significativas entre estas comparações. As fontes de nutrientes se diferenciaram mais vezes no PD e em menor número de vezes no PCQ e PCR. A escolha do preparo e das práticas de manejo dos resíduos de plantas se constitui em um dos principais fatores que regulam a disponibilidade de nutrientes de várias fontes (Power, 1994). O EA (IQS mais altos) e a testemunha (IQS mais baixos) foram os que mais vezes estiveram presentes nas comparações que diferiram estatisticamente. Em termos de IQS, o EA se diferenciou do AM em todos os sistemas de preparo. Em termos de quantidades de nutrientes adicionadas ao solo, o EA aportou menos P e mais K do que o ELS, porém as quantidades de N foram semelhantes (Tabela 1.1).

Embora o N não tenha sido avaliado diretamente neste aspecto, o efeito indireto do fornecimento do N às plantas faz com que haja uma maior produção não só de grãos, mas também de resíduos vegetais (palha). Isto é importante em várias propriedades químicas (reciclagem de nutrientes), físicas (temperatura e umidade do solo, etc.) e biológicas (energia e alimento) e poderia explicar porque o EA não se diferenciou do ELS. Mesmo se considerando os diferentes resultados nas comparações dentro de cada sistema de preparo, o EA diferiu do ELB e da testemunha no conjunto deles, comprovando que as características químicas do EA favoreceram o acúmulo de nutrientes. Por outro lado, as diferentes taxas de decomposição dos esterco (Ajwa & Tabatabai, 1994) pode resultar na disponibilização diferenciada de nutrientes, principalmente de N.

As fontes de nutrientes não se diferenciaram quando se analisou o IFS, porém, este variou entre os sistemas de preparo do solo. Alterações nas propriedades físicas do solo pela adição de materiais orgânicos têm sido verificadas em solos com teor de argila não muito alto

e com grandes doses aplicadas (Weil & Kroontje, 1979). Os autores verificaram diferenças em algumas propriedades físicas em um solo franco argiloso que recebeu $110 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de cama de aviário durante 5 anos. O IFS médio das fontes variou de 0,661 na testemunha a 0,738 no ELS (Tabela 1.3). Por outro lado, nos sistemas de preparo, o IFS variou de 0,599 no PCQ a 0,851 no PD, com 14 combinações diferentes entre as 50 possíveis. Os valores do IFS médio decresceram na seguinte ordem PD, PRE, PCO, PCR, PCQ. Os dois últimos sistemas de preparo procuram representar duas situações ainda utilizadas na atividade agrícola em algumas regiões ou sistema de produção, que são as queimadas (PCQ) e as práticas de cultivo de plantas para fenação ou silagem (PCR). Os resultados sugerem que a remoção dos resíduos da parcela ou a queima deles está afetando a qualidade física do solo sob estes sistemas, já que o solo fica sem cobertura, susceptível à erosão e, conseqüentemente, sensível a uma degradação maior do que os outros sistemas de preparo, além da falta de MO para os processos biológicos.

Tabela 1.3 – Média, limite superior e inferior da área do aspecto técnico, do índice de planta, do índice físico e do índice químico do solo para as fontes de nutrientes, associadas a sistemas de preparos de solo.

Preparos	Fontes	Área			Índice de planta			Índice físico do solo			Índice químico do solo		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	Testemunha	0,778	0,677	0,880	0,675	0,599	0,756	0,793	0,670	0,910	0,859	0,827	0,884
	E. aves	1,087	1,028	1,128	0,903	0,866	0,929	0,875	0,807	0,911	0,968	0,965	0,970
	E.L. bovinos	0,973	0,909	1,029	0,793	0,760	0,826	0,892	0,812	0,957	0,914	0,908	0,920
	E.L. suínos	1,077	1,017	1,133	0,917	0,885	0,944	0,865	0,796	0,925	0,951	0,943	0,957
	A. mineral	0,952	0,868	1,032	0,820	0,743	0,892	0,828	0,760	0,896	0,923	0,892	0,942
PRE	Testemunha	0,761	0,691	0,839	0,736	0,669	0,801	0,698	0,616	0,785	0,867	0,831	0,897
	E. aves	1,007	0,946	1,062	0,858	0,818	0,898	0,834	0,769	0,888	0,953	0,949	0,956
	E.L. bovinos	0,867	0,812	0,921	0,781	0,749	0,813	0,786	0,714	0,855	0,885	0,872	0,896
	E.L. suínos	1,024	0,975	1,069	0,919	0,884	0,949	0,803	0,754	0,847	0,944	0,929	0,957
	A. mineral	0,919	0,830	1,008	0,854	0,739	0,956	0,771	0,723	0,820	0,901	0,875	0,920
PCO	Testemunha	0,653	0,580	0,733	0,597	0,546	0,654	0,687	0,589	0,794	0,856	0,829	0,880
	E. aves	0,904	0,810	1,004	0,836	0,748	0,922	0,718	0,621	0,813	0,957	0,949	0,965
	E.L. bovinos	0,806	0,716	0,902	0,762	0,715	0,808	0,701	0,583	0,819	0,908	0,888	0,925
	E.L. suínos	0,933	0,856	1,018	0,840	0,787	0,891	0,768	0,675	0,861	0,939	0,929	0,948
	A. mineral	0,874	0,820	0,934	0,855	0,816	0,894	0,688	0,625	0,756	0,928	0,916	0,939

Legenda: E. aves=Esterco de aves; E.L. bovinos=Esterco líquido de bovinos; E.L. suínos= Esterco líquido de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.3 – Média, limite superior e inferior da área do aspecto técnico, do índice de planta, do índice físico e do índice químico do solo para as fontes de nutrientes, associadas a sistemas de preparos de solo (continuação).

Preparos	Fontes	Área			Índice de planta			Índice físico do solo			Índice químico do solo		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PCQ	Testemunha	0,620	0,558	0,682	0,635	0,549	0,718	0,565	0,521	0,608	0,893	0,873	0,911
	E. aves	0,837	0,777	0,897	0,866	0,824	0,907	0,618	0,551	0,684	0,943	0,930	0,953
	E.L. bovinos	0,724	0,661	0,793	0,801	0,732	0,872	0,567	0,511	0,631	0,890	0,880	0,898
	E.L. suínos	0,816	0,754	0,878	0,840	0,784	0,891	0,638	0,581	0,702	0,913	0,886	0,932
	A. mineral	0,769	0,726	0,810	0,806	0,777	0,832	0,606	0,552	0,657	0,913	0,894	0,929
PCR	Testemunha	0,538	0,494	0,584	0,563	0,512	0,617	0,559	0,512	0,607	0,827	0,803	0,850
	E. aves	0,819	0,753	0,889	0,864	0,809	0,919	0,607	0,538	0,679	0,930	0,913	0,942
	E.L. bovinos	0,712	0,636	0,789	0,721	0,669	0,773	0,639	0,556	0,726	0,869	0,805	0,914
	E.L. suínos	0,747	0,691	0,803	0,786	0,753	0,820	0,616	0,547	0,686	0,886	0,858	0,913
	A. mineral	0,673	0,603	0,737	0,697	0,612	0,781	0,616	0,582	0,648	0,855	0,803	0,894
Fontes	Testemunha	0,750	0,618	0,893	0,678	0,563	0,806	0,747	0,598	0,900	0,860	0,812	0,898
	E. aves	1,021	0,874	1,144	0,901	0,799	0,953	0,811	0,647	0,941	0,951	0,930	0,962
	E.L. bovinos	0,889	0,750	1,029	0,808	0,707	0,919	0,787	0,618	0,925	0,888	0,838	0,922
	E.L. suínos	0,990	0,856	1,124	0,893	0,807	0,951	0,804	0,654	0,950	0,924	0,894	0,949
	A. mineral	0,903	0,751	1,047	0,842	0,703	0,956	0,763	0,621	0,909	0,898	0,845	0,930

Legenda: E. aves=Esterco de aves; E.L. bovinos=Esterco líquido de bovinos; E.L. suínos= Esterco líquido de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

1.3.2.2 Atributos que compuseram os índices

Com relação aos atributos que compuseram o IP, observou-se que as fontes de nutrientes se diferenciaram pela distribuição das raízes (DR_v) e pela matéria seca das plantas de cobertura (MS_r), de forma mais ou menos equitativa entre os preparos do solo (Tabela 1.4 e Apêndice X). O comprimento de raízes (CR_r) foi o atributo em que as fontes menos se diferenciaram entre si, pois somente quatro das cinquenta combinações possíveis foram diferentes. O maior número de comparações diferentes entre as fontes ocorreu entre a testemunha e as demais, tanto para a DR_v quanto para a MS_r . Na comparação entre as fontes de nutrientes com exclusão da testemunha, as maiores valorações na DR_v ocorreram para o ELS ou AM (maior frequência) e as menores para ELB (maior frequência) ou AM ou EA. Neste caso, as diferenças entre as maiores e as menores valorações foram significativas, exceto no PRE.

Em termos médios, as maiores valorações para a MS_r nos sistemas de preparo do solo, excluindo-se a testemunha, foram encontrados para EA (maior frequência) ou ELS e as menores para ELB ou AM. O ELB (menores valorações) diferiu do EA e do ELS nos sistemas PD e PRE e diferiu do EA no PCR. O AM diferiu do EA nos sistemas PCQ e PCR, apresentando menores valorações. Como o EA e o ELS adicionaram ao solo maiores quantidades de N e de P_2O_5 em relação ao ELB e ao AM (Tabela 1.1), os dados sugerem que estas maiores quantidades de N e P aplicadas ao solo podem ter tido um efeito acumulado sobre o desenvolvimento das plantas de cobertura, refletindo-se na produtividade das plantas comerciais. Em todos os sistemas de preparo do solo, as diferenças entre as fontes com as maiores e menores valorações médias foram significativas. Não houve diferenças entre a testemunha e as fontes de nutrientes e entre estas quanto à DR_v de milho e MS_r , quando a comparação foi feita considerando-se todos os sistemas de preparo conjuntamente.

Poucas vezes as fontes de nutrientes e a testemunha se diferenciaram entre si quanto aos atributos que compuseram o IFS (Tabela 1.5 e Apêndice X). Somente sete comparações entre fontes diferiram entre si quanto à macroporosidade (mac_v) (4 no PRE e 3 no PCR); quatro comparações entre fontes de nutrientes diferiram quanto à densidade do solo (ds_v) (1 no PD, 2 no PRE e 1 no PCO) e quanto ao conteúdo de água disponível (CAD_r) apenas o EA e o ELB foram diferentes no PD. As fontes não se diferenciaram em nenhuma vez quanto ao Índice de estabilidade de agregados (IEA_r), provavelmente devido às baixas quantidades de esterco aplicadas anualmente e ao alto teor de argila do solo. Essa observação também foi feita por Nuernberg et al. (1986), os quais verificaram que a estabilidade dos agregados,

densidade e porosidade do solo não foram influenciados pelo uso de AM ou 12 t ha^{-1} de EA mais 2 t ha^{-1} (manutenção) a cada cultura, sendo o resultado atribuído às boas características físicas do solo (70% argila), ao aumento da MO estável e em decomposição, tempo decorrido desde a aplicação, doses, entre outras. Por outro lado, Mazurak et al. (1977) verificou um aumento na estabilidade de agregados do solo em água, quando aplicadas altas doses de esterco de bovinos por três anos consecutivos.

No IQS, um maior número de comparações diferentes foram encontradas entre as fontes para os atributos químicos P_v (27) e K_v (29) (Tabela 1.6 e Apêndice X). As quantidades de N, P_2O_5 e de K_2O adicionadas por meio dos esterco nos nove anos foram maiores do que aquelas adicionadas via adubação mineral (reposição), com exceção do K_2O no ELS que ficou abaixo da adubação mineral (Tabela 1.1).

Quanto ao pH_v , excetuando-se a testemunha, o EA diferenciou-se do adubo mineral (exceto PCQ), do ELS (PCO, PCQ e PCR), do ELB (PCO), apresentando as maiores valorações. A manutenção ou um pequeno aumento do pH do solo pela aplicação repetida de EA, têm sido abordado pela literatura (Risse et al. 2001; Caithness, 2001). Os efeitos no pH do solo são atribuídos ao carbonato de cálcio fornecido na alimentação das aves e à amônia contida na cama. Outro aspecto que pode ter contribuído para um aumento do pH é a presença de residual de óxido de cálcio aplicado sobre a cama por razões sanitárias, tendo em vista o uso repetido da cama por vários lotes de aves. Um aumento do pH do solo pela aplicação de esterco de bovinos também foi verificado por Whalen et al. (2000), onde constataram que a aplicação do esterco aumentou por algumas semanas o pH do solo, quando comparado ao mesmo sem aplicação, e foi atribuído ao tamponamento de bicarbonatos e ácidos orgânicos presentes no esterco.

Com relação ao P_v , as comparações que mais vezes se diferenciaram, excluindo a testemunha, foram o ELB com o EA e com o ELS. As maiores valorações foram obtidas no EA e as menores, excetuando-se a testemunha, ocorreram na maioria das vezes para o ELB. Para o atributo K_v , excetuando-se a testemunha, as menores valorações foram obtidas no ELS, que diferiu do EA (exceto PCR), do ELB e do AM (exceto PCR), devido a menor quantidade de K adicionada ao solo pelo ELS, se comparada às demais fontes de nutrientes (Tabela 1.1).

Das 50 comparações possíveis entre fontes e testemunha, somente 12 delas foram diferentes nos atributos MO_v , saturação por Al (m_v) e Ca+Mg trocáveis ($Ca+Mg)_v$. Para o atributo MO_v , as maiores diferenciações foram entre a testemunha e as demais fontes. Para o pH_v , m_v e ($Ca+Mg)_v$, a comparação entre EA e AM foi a que se diferenciou em um maior

número de vezes, apesar das valorações médias estarem acima de 0,913 para saturação por alumínio e 0,986 para $(Ca+Mg)_v$.

Por ocasião da implantação do experimento, somente o teor de P era considerado baixo e os teores de K, Ca+Mg encontravam-se altos e variaram pouco no período, o que pode ser explicado pelo poder tampão do solo. Devido a isto, as valorações dos atributos que se encontravam em teores altos no solo também foram altas e, muitas vezes, pouco diferiram entre as fontes de nutrientes.

Com o uso de EA houve um decréscimo do teor de alumínio trocável, principalmente na camada de 0-20 cm de profundidade (Apêndice H), e um maior teor de cálcio, principalmente na camada de 0-10 cm (Apêndice I). O decréscimo do Al trocável pela aplicação de esterco têm sido constatado (Ernani & Gianello, 1982) com magnitude dependente da quantidade aplicada (Ernani & Gianello, 1983), porém o pH do solo nem sempre é afetado (Ernani & Gianello, 1982). As diferenças nos atributos valorados foram, então, dependentes da condição química inicial do solo, do sistema de preparo do solo e da quantidade de nutrientes adicionadas ao solo pelas fontes de nutrientes.

Considerando-se as fontes de nutrientes de forma geral (sistemas de preparo em conjunto), estas se diferenciaram somente em relação ao P_v , com diferenças entre a testemunha e o EA, a testemunha e o ELS e entre o EA e o ELB.

1.3.2.3 – Validação do modelo de análise

As correlações entre a área do aspecto técnico dos 25 tratamentos, o IP, o IQS e o IFS com a produtividade acumulada relativa de grãos (Tabela 1.3 e Apêndice A) são apresentadas na tabela 1.7 e figura 1.12. A correlação do aspecto técnico e a produtividade acumulada foi alta, indicando que a metodologia foi adequada para o estudo do uso das fontes orgânicas de nutrientes. Portanto, os atributos escolhidos e as valorações utilizadas são consistentes com um comportamento biológico esperado.

Tabela 1.4 - Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice de planta para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.

Preparo	Fonte	Índice de planta								
		Comprimento de raízes - CR _r			Distribuição de raízes - DR _v			MS das plantas de cobertura -MS _r		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	Testemunha	0,766	0,722	0,811	0,725	0,706	0,744	0,648	0,536	0,764
	E. aves	0,701	0,624	0,775	0,730	0,662	0,797	0,981	0,932	1,000
	E.L. bovinos	0,628	0,496	0,761	0,769	0,736	0,804	0,823	0,779	0,867
	E.L. suínos	0,669	0,516	0,826	0,822	0,810	0,833	0,980	0,938	1,000
	A. mineral	0,735	0,665	0,803	0,789	0,763	0,815	0,841	0,731	0,941
PRE	Testemunha	0,820	0,736	0,914	0,743	0,680	0,801	0,723	0,630	0,812
	E. aves	0,746	0,656	0,841	0,858	0,817	0,900	0,874	0,817	0,928
	E.L.bovinos	0,748	0,699	0,797	0,855	0,804	0,905	0,765	0,722	0,807
	E.L. suínos	0,774	0,722	0,828	0,858	0,848	0,868	0,957	0,908	1,000
	A. mineral	0,705	0,662	0,750	0,912	0,851	0,970	0,859	0,697	1,000
PCO	Testemunha	0,695	0,633	0,752	0,740	0,700	0,779	0,542	0,469	0,622
	E. aves	0,658	0,539	0,779	0,880	0,852	0,910	0,849	0,721	0,971
	E.L. bovinos	0,743	0,553	0,945	0,828	0,769	0,888	0,745	0,691	0,805
	E.L. suínos	0,589	0,448	0,731	0,842	0,833	0,852	0,875	0,803	0,947
	A. mineral	0,787	0,606	0,971	0,913	0,897	0,930	0,848	0,799	0,895

Legenda: E. aves=Estercos de aves; E.L. bovinos=Estercos líquidos de bovinos; E.L. suínos= Estercos líquidos de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.4 - Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice de planta para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo (continuação).

Preparo	Fonte	Índice de planta								
		Comprimento de raízes - CR _r			Distribuição de raízes - DR _v			MS das plantas de cobertura -MS _r		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PCQ	Testemunha	0,589	0,577	0,602	0,754	0,651	0,847	0,608	0,493	0,723
	E. aves	0,608	0,537	0,676	0,849	0,786	0,915	0,907	0,852	0,963
	E.L. bovinos	0,640	0,559	0,715	0,775	0,687	0,856	0,831	0,733	0,933
	E.L. suínos	0,686	0,589	0,793	0,833	0,761	0,904	0,863	0,790	0,931
	A. mineral	0,608	0,473	0,748	0,919	0,907	0,932	0,802	0,764	0,835
PCR	Testemunha	0,505	0,427	0,582	0,680	0,557	0,794	0,538	0,475	0,609
	E. aves	0,779	0,666	0,901	0,842	0,824	0,860	0,882	0,803	0,961
	E.L. bovinos	0,771	0,649	0,892	0,800	0,779	0,821	0,691	0,618	0,762
	E.L. suínos	0,617	0,580	0,657	0,893	0,838	0,953	0,779	0,735	0,825
	A. mineral	0,744	0,583	0,920	0,777	0,718	0,835	0,668	0,548	0,781
Fontes	Testemunha	0,672	0,482	0,862	0,729	0,604	0,837	0,664	0,507	0,837
	E. aves	0,703	0,555	0,861	0,818	0,714	0,908	0,953	0,819	1,000
	E.L. bovinos.	0,710	0,524	0,908	0,803	0,710	0,890	0,824	0,680	0,981
	E.L. suínos	0,650	0,479	0,813	0,848	0,776	0,922	0,941	0,811	1,000
	A. mineral	0,711	0,507	0,922	0,856	0,747	0,956	0,857	0,659	1,000

Legenda: E. aves=Estercos de aves; E.L. bovinos=Estercos líquidos de bovinos; E.L. suínos= Estercos líquidos de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.5 – Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice físico do solo para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.

Preparo	Fontes	Índice físico do solo											
		Densidade do solo - ds_v			Macroporosidade - mac_v			Água disponível - CAD_r			Índice de estab.de agregados - IEA_r		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	Testemunha	0,978	0,957	0,995	0,701	0,549	0,834	0,842	0,766	0,907	0,723	0,433	1,000
	E. aves	0,928	0,911	0,944	0,729	0,689	0,768	0,820	0,734	0,896	0,948	0,786	1,000
	E.L. bovinos	0,948	0,907	0,982	0,746	0,542	0,898	0,974	0,901	1,000	0,896	0,728	1,000
	E.L. suínos	0,961	0,911	0,996	0,791	0,765	0,816	0,896	0,825	0,949	0,839	0,674	0,994
	A. mineral	0,885	0,719	0,986	0,805	0,742	0,861	0,919	0,848	0,971	0,764	0,615	0,908
PRE	Testemunha	0,932	0,914	0,949	0,582	0,401	0,733	0,889	0,821	0,936	0,544	0,364	0,733
	E. aves	0,950	0,879	0,997	0,802	0,653	0,900	0,871	0,798	0,930	0,773	0,626	0,892
	E.L. bovinos	0,954	0,924	0,980	0,634	0,428	0,811	0,927	0,845	1,000	0,708	0,554	0,842
	E.L. suínos	0,986	0,985	0,987	0,919	0,879	0,950	0,892	0,792	0,991	0,610	0,497	0,708
	A. mineral	0,973	0,946	0,992	0,887	0,837	0,927	0,862	0,795	0,913	0,566	0,449	0,681
PCO	Testemunha	0,902	0,874	0,930	0,490	0,330	0,643	0,810	0,717	0,910	0,616	0,397	0,866
	E. aves	0,926	0,907	0,942	0,482	0,164	0,779	0,913	0,811	1,000	0,634	0,469	0,810
	E.L. bovinos	0,876	0,819	0,927	0,340	0,221	0,455	0,892	0,825	0,940	0,699	0,426	1,000
	E.L. suínos	0,952	0,927	0,972	0,500	0,242	0,728	0,912	0,844	0,963	0,737	0,552	0,928
	A. mineral	0,912	0,865	0,950	0,496	0,442	0,556	0,843	0,745	0,935	0,594	0,446	0,755

Legenda: E. aves=Esterco de aves; E.L. bovinos=Esterco líquido de bovinos; E.L. suínos= Esterco líquido de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.5 – Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice físico do solo para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo (continuação).

Preparo	Fontes	Índice físico do solo											
		Densidade do solo - ds_v			Macroporosidade - mac_v			Água disponível - CAD_r			Índice de estab.de agregados - IEA_r		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PCQ	Testemunha	0,930	0,898	0,959	0,345	0,250	0,454	0,894	0,787	1,000	0,329	0,251	0,408
	E. aves	0,930	0,867	0,976	0,311	0,215	0,410	0,900	0,801	0,991	0,474	0,324	0,641
	E.L. bovinos	0,887	0,828	0,938	0,280	0,086	0,525	0,871	0,777	0,964	0,399	0,312	0,484
	E.L. suínos	0,941	0,913	0,965	0,566	0,375	0,751	0,862	0,791	0,922	0,410	0,302	0,526
	A. mineral	0,873	0,804	0,926	0,441	0,263	0,621	0,803	0,740	0,852	0,455	0,368	0,530
PCR	Testemunha	0,915	0,880	0,944	0,352	0,161	0,546	0,887	0,816	0,943	0,320	0,257	0,378
	E. aves	0,905	0,853	0,952	0,283	0,138	0,433	0,912	0,823	1,000	0,467	0,327	0,629
	E.L. bovinos	0,917	0,887	0,945	0,380	0,263	0,489	0,908	0,813	1,000	0,495	0,306	0,699
	E.L. suínos	0,962	0,910	0,999	0,431	0,188	0,666	0,905	0,815	0,991	0,390	0,279	0,505
	A. mineral	0,970	0,934	0,995	0,598	0,553	0,641	0,904	0,831	0,966	0,305	0,235	0,376
Fontes	Testemunha	0,936	0,883	0,983	0,503	0,204	0,786	0,909	0,786	1,000	0,694	0,367	1,000
	E. aves	0,933	0,863	0,989	0,554	0,183	0,869	0,926	0,809	1,000	0,821	0,474	1,000
	E.L. bovinos	0,914	0,835	0,975	0,493	0,134	0,840	0,959	0,858	1,000	0,784	0,430	1,000
	E.L. suínos	0,962	0,913	0,997	0,660	0,260	0,927	0,935	0,839	1,000	0,732	0,399	1,000
	A. mineral	0,918	0,779	0,992	0,655	0,329	0,896	0,904	0,801	1,000	0,668	0,364	1,000

Legenda: E. aves=Esterco de aves; E.L. bovinos=Esterco líquido de bovinos; E.L. suínos= Esterco líquido de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.6 – Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice químico do solo para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.

Manejo	Fontes	Índice químico do solo																	
		pH _v			P _v			K _v			MO _v			Saturação Al- m _v			(Ca+Mg) _v		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	Testemunha	0,923	0,893	0,949	0,621	0,495	0,721	0,985	0,974	0,992	0,862	0,856	0,867	0,984	0,975	0,991	0,997	0,993	0,999
	E. aves	0,960	0,946	0,971	0,999	0,997	1,000	1,000	0,999	1,000	0,886	0,877	0,896	0,999	0,997	1,000	1,001	1,001	1,001
	E.L. bovinos	0,961	0,927	0,985	0,787	0,769	0,807	1,000	1,000	1,000	0,883	0,877	0,889	0,995	0,986	1,003	1,000	0,998	1,001
	E.L. suínos	0,924	0,839	0,977	0,986	0,979	0,992	0,964	0,953	0,975	0,880	0,877	0,883	0,995	0,985	1,003	1,000	1,000	1,001
	A. mineral	0,885	0,851	0,916	0,858	0,738	0,932	1,000	1,000	1,000	0,880	0,873	0,886	0,974	0,965	0,983	0,998	0,996	1,000
PRE	Testemunha	0,841	0,811	0,870	0,702	0,560	0,816	0,966	0,948	0,979	0,855	0,846	0,865	0,993	0,988	0,999	1,000	0,998	1,000
	E. aves	0,891	0,870	0,908	0,981	0,969	0,990	1,000	0,999	1,000	0,866	0,861	0,871	1,000	0,998	1,003	1,001	1,000	1,001
	E.L. bovinos	0,865	0,775	0,933	0,711	0,671	0,745	1,000	1,000	1,000	0,873	0,869	0,877	0,996	0,986	1,003	1,000	0,999	1,001
	E.L. suínos	0,895	0,747	0,980	0,960	0,921	0,985	0,985	0,961	0,997	0,868	0,861	0,875	0,995	0,985	1,003	1,000	1,000	1,001
	A. mineral	0,715	0,674	0,752	0,836	0,729	0,906	1,000	1,000	1,000	0,871	0,868	0,874	0,984	0,981	0,987	0,999	0,997	1,000
PCO	Testemunha	0,797	0,750	0,842	0,670	0,563	0,762	0,974	0,963	0,982	0,855	0,844	0,865	0,977	0,963	0,990	0,997	0,994	0,999
	E. aves	0,900	0,878	0,923	0,976	0,944	0,993	1,000	0,999	1,000	0,887	0,867	0,905	0,999	0,997	1,001	1,000	1,000	1,001
	E.L. bovinos	0,804	0,728	0,867	0,833	0,754	0,895	0,998	0,998	0,999	0,870	0,868	0,872	0,988	0,972	1,001	0,999	0,996	1,000
	E.L. suínos	0,748	0,638	0,838	0,985	0,977	0,992	0,979	0,969	0,986	0,881	0,866	0,896	0,987	0,971	0,998	0,999	0,998	1,000
	A. mineral	0,746	0,691	0,799	0,917	0,876	0,950	0,999	0,993	1,000	0,889	0,869	0,908	0,980	0,978	0,982	0,997	0,994	0,999

Legenda: E. aves=Esterco de aves; E.L. bovinos=Esterco líquido de bovinos; E.L. suínos= Esterco líquido de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.6 – Média, limite superior e inferior dos atributos valorados que compõem o índice químico do solo para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo (continuação).

Manejo	Fontes	Índice químico do solo																	
		pH _v			P _v			K _v			MO _v			Saturação Al - m _v			(Ca+Mg) _v		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PCQ	Testemunha	0,792	0,660	0,893	0,801	0,731	0,855	0,993	0,990	0,997	0,861	0,856	0,865	0,966	0,908	1,001	0,996	0,987	1,000
	E. aves	0,859	0,806	0,899	0,944	0,896	0,974	0,999	0,996	1,000	0,877	0,862	0,892	0,996	0,988	1,003	0,999	0,995	1,000
	E.L. bovinos	0,754	0,653	0,838	0,789	0,771	0,807	0,999	0,999	0,999	0,864	0,859	0,869	0,969	0,937	0,992	0,997	0,990	1,000
	E.L. suínos	0,686	0,581	0,782	0,932	0,826	0,985	0,983	0,964	0,994	0,857	0,848	0,865	0,955	0,899	0,994	0,996	0,980	1,001
	A. mineral	0,746	0,649	0,836	0,883	0,820	0,932	1,000	1,000	1,000	0,867	0,857	0,877	0,966	0,928	0,993	0,992	0,967	1,000
PCR	Testemunha	0,717	0,647	0,776	0,655	0,588	0,717	0,911	0,839	0,958	0,862	0,856	0,867	0,932	0,838	0,990	0,992	0,971	1,000
	E. aves	0,844	0,812	0,871	0,922	0,853	0,964	0,983	0,962	0,996	0,870	0,859	0,882	0,995	0,990	1,000	1,000	0,999	1,000
	E.L. bovinos	0,754	0,624	0,856	0,734	0,475	0,899	0,989	0,961	0,999	0,861	0,855	0,867	0,938	0,855	0,988	0,990	0,974	0,998
	E.L. suínos	0,670	0,549	0,771	0,927	0,838	0,979	0,909	0,834	0,963	0,852	0,849	0,855	0,913	0,796	0,984	0,987	0,969	0,996
	A. mineral	0,652	0,544	0,756	0,719	0,515	0,863	0,982	0,959	0,994	0,864	0,851	0,876	0,930	0,871	0,971	0,986	0,974	0,994
Fontes	Testemunha	0,786	0,670	0,881	0,699	0,523	0,835	0,967	0,900	0,995	0,857	0,846	0,867	0,965	0,898	1,001	0,996	0,983	1,000
	E. aves	0,872	0,816	0,917	0,972	0,891	0,999	0,997	0,984	1,000	0,879	0,861	0,900	0,997	0,990	1,003	1,000	0,998	1,001
	E.L. bovinos	0,806	0,651	0,920	0,760	0,562	0,888	0,997	0,983	1,000	0,871	0,858	0,885	0,972	0,917	1,002	0,998	0,991	1,001
	E.L. suínos	0,784	0,573	0,948	0,951	0,858	0,991	0,961	0,879	0,995	0,869	0,850	0,889	0,961	0,880	1,001	0,998	0,988	1,001
	A. mineral	0,705	0,576	0,817	0,833	0,624	0,944	0,998	0,986	1,000	0,875	0,854	0,897	0,963	0,916	0,992	0,994	0,976	1,000

Legenda: E. aves=Esterco de aves; E.L. bovinos=Esterco líquido de bovinos; E.L. suínos= Esterco líquido de suínos; A. mineral=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

Tabela 1.7 – Correlações obtidas entre a área do aspecto técnico, o IP, o IQS e o IFS com a produtividade acumulada de grãos em nove anos.

Aspecto ou índice	Correlação (r)
Aspecto técnico	0,76
IP	0,90
IQS	0,83
IFS	0,39

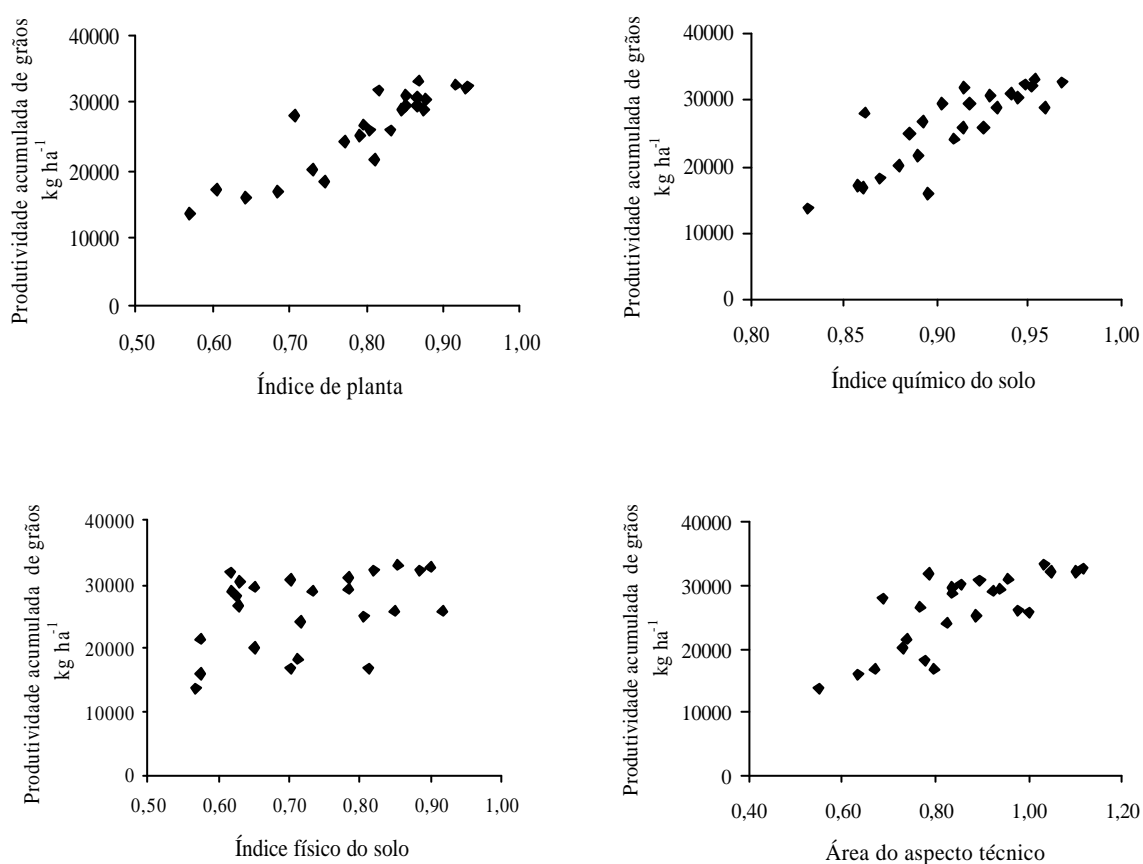


Figura 1.12 – Área do aspecto técnico, IP, IQS e IFS versus a produtividade acumulada de grãos de milho, soja e feijão durante nove anos.

As correlações obtidas para o IP e o IQS também foram altas, ao contrário do IFS. Uma das possíveis explicações poderia ser que o IFS foi o índice onde somente a macroporosidade foi correlacionada com a expectativa de rendimento de plantas e, mesmo

assim, para uma cultura que não foi utilizada no experimento em estudo, ou seja, a beterraba açucareira (Baver & Farnsworth, 1940). Por outro lado, densidade do solo, textura, agregação, estabilidade de agregados e distribuição do tamanho de poros são fatores que afetam indiretamente o crescimento das plantas e a relação destes fatores com a produção vegetal é através dos seus efeitos na disponibilidade de água, aeração, temperatura e mecanismos de resistência mecânica à emergência ou ao crescimento de raízes (Letey, 1985). Os fatores que afetam indiretamente o crescimento das plantas permitem a avaliação da estrutura do solo e estão relacionados ao arranjo das partículas sólidas e dos poros. Atributos como densidade, macroporosidade e estabilidade de agregados podem servir como indicadores de adensamento, compactação, encrostamento e suscetibilidade do solo à erosão, subsidiando o controle da perda da produtividade e da degradação ambiental (Martins et al., 2002).

1.4 Conclusões

As fontes de nutrientes melhoraram o aspecto técnico após nove anos de sua aplicação e as fontes orgânicas não se diferenciaram entre si. Porém, o aspecto técnico variou quando houve alteração no sistema de preparo do solo.

Quando as fontes foram analisadas pelos índices que compuseram o aspecto técnico, o esterco de aves apresentou um melhor desempenho quanto ao índice de planta e índice químico do solo, seguido pelo esterco líquido de suínos, adubo mineral e esterco líquido de bovinos. O índice físico do solo não foi afetado pelas fontes de nutrientes, o que ocorreu apenas quando houve variação nos sistemas de preparo do solo.

As diferenças nos atributos valorados entre os tratamentos foram dependentes da condição química inicial do solo, do sistema de preparo do solo e da quantidade de nutrientes adicionadas ao solo pelas fontes de nutrientes.

O modelo utilizado para análise do aspecto técnico foi eficiente na avaliação e diferenciação do uso das fontes orgânicas de nutrientes.

CAPÍTULO 2 - ASPECTO ECONÔMICO DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.

2.1 Introdução

A obtenção de um retorno financeiro satisfatório é o objetivo de qualquer empreendimento comercial, não sendo diferente na atividade agropecuária. A diminuição dos custos de produção, com a manutenção das receitas dentro do sistema de produção agrícola, pode ser uma das formas de maximizar o lucro do produtor e tornar a atividade viável economicamente. Em muitas propriedades da região sul a atividade pecuária (suínos, aves e bovinos), juntamente com a produção de grãos (principalmente, soja, milho e feijão), são as atividades mais importantes na composição da renda do produtor. Nas propriedades onde a atividade pecuária e lavoura co-existem, a disponibilidade de materiais orgânicos (esterços) podem auxiliar na diminuição dos custos da atividade agrícola pelo seu uso como fonte de nutrientes na lavoura em substituição aos fertilizantes minerais. Utilizados como fertilizantes, os esterços podem contribuir na diminuição dos custos de um sistema de produção cuja “eficiência econômica” depende do tipo e composição do esterco, doses, sistema de preparo do solo, tipo de solo e a distância entre a esterqueira e a lavoura.

Dentro de uma visão simplificada, uma análise econômica do uso dos esterços poderia ser feita por meio do conjunto de alguns atributos sem, no entanto, chegar a uma análise econômica convencional. Para isso, é importante incluir atributos que levem em conta receitas e custos. Em uma análise econômica mais abrangente poderiam ser incluídos, também, atributos econômicos que refletissem uma depreciação do recurso natural utilizado para a produção agrícola ao longo do tempo, neste caso o solo, caso a opção do agricultor seja a de não utilizar fertilizantes no seu sistema de produção. No caso específico deste estudo, por se tratar de um estudo econômico com base em um experimento e não uma propriedade, optou-se por trabalhar com a receita bruta e dois tipos de custos: os custos variáveis e o custo de uma adubação corretiva mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes. A receita bruta e os custos variáveis são atributos utilizados em uma análise econômica convencional. Já, o custo de uma adubação corretiva mais calagem pode, após um determinado tempo de uso das fontes de nutrientes, refletir economicamente os efeitos no solo e na melhoria do potencial produtivo do mesmo.

O objetivo geral deste trabalho foi o de efetuar uma avaliação econômica de fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. O objetivo específico foi o de comparar as fontes orgânicas de nutrientes quanto ao aspecto econômico, utilizando-se um modelo para analisar conjuntamente três atributos.

2.2 Material e métodos

O estudo do aspecto econômico das fontes orgânicas de nutrientes foi conduzido utilizando-se um modelo de análise das fontes orgânicas de nutrientes como recurso para orientação e discussão deste aspecto, com três atributos econômicos selecionados. Os atributos econômicos utilizados foram a receita bruta (RB), os custos variáveis (CV) e o custo de uma adubação corretiva mais calagem após nove anos de aplicação das fontes (CC).

O aspecto econômico foi avaliado pelas áreas de triângulos, resultantes de um gráfico radial composto por três raios onde em cada raio está alocada a valoração dos atributos econômicos, bem como pelo intervalo de confiança desta área a 90% de probabilidade. Na análise dos triângulos considerou-se que, quanto maior a figura, melhor a avaliação. O atributo limitante ou gargalo do uso da fonte foi identificado quando os lados dos triângulos apresentam variabilidade entre os atributos, sendo mais limitante quanto mais curto for o raio (menor valor dos atributos valorados). A descrição do modelo de análise e do experimento de onde os três atributos foram calculados encontra-se no material e métodos do capítulo 1 – Aspecto técnico.

2.2.1 Aspecto econômico

2.2.2 Cálculo dos atributos econômicos

2.2.2.1 Receita bruta

A receita bruta calculada para cada tratamento foi obtida multiplicando-se a produção física de grãos ou de feno (média de três anos para cada cultura) pelo valor unitário (preço histórico do grão ou feno) de cada cultura. Considerou-se que no sistema de preparo do solo com palha removida da parcela, o material retirado poderia ser utilizado para fenação ou para silagem, e assim sendo, apresentava valor de venda. Um exemplo da planilha para o cálculo

da receita bruta anual do sistema cultura de inverno/milho, em cada parcela, encontra-se na tabela 2.1.

2.2.2.2 Custos variáveis

Para o cálculo dos custos variáveis utilizaram-se parâmetros básicos que fazem parte do cálculo do custo de produção das culturas fornecido pelo ICEPA/SC para outubro de 2003 (ICEPA, 2003). Para o milho, tomou-se como base o custo de produção por hectare para lavoura sob alta tecnologia, com área média de 40 ha e produtividade de grãos de 7.500 kg ha⁻¹. No caso da soja, a análise foi baseada no custo de produção para área média cultivada de 70 ha e produtividade de grãos de 2.700 kg ha⁻¹, enquanto que para o feijão o custo de produção foi para uma área média de 20 ha e produtividade de 1.800 kg ha⁻¹.

Foram utilizados preços históricos do período de julho de 1994 a junho de 2003 (ICEPA/SC, banco de dados, informação pessoal, 2003), com atualização dos preços pelo Índice de Preços ao Consumidor Ampliado (IPCA/IBGE) (Apêndice M). Quando não estavam disponíveis os preços históricos de algum produto fitossanitário, os preços foram estimados a partir do valor histórico em dólar de três produtos fitossanitários e sua relação entre este e os produtos que não dispunham deste preço, considerando o preço em reais em 30/04/2004 (Copercampos, 2004, Campos Novos/SC, informação departamento comercial). O valor em reais considerado para hora máquina ou hora trator foi o de outubro de 2003, fornecido pelo ICEPA/SC (ICEPA, 2003). Os coeficientes técnicos foram obtidos de várias fontes (Tabela 2.2) e incluíram o custo de aquisição dos insumos e o custo de horas máquina para aplicação dos insumos, semeadura das culturas, tratamentos fitossanitários e colheita. Além disto, foram incluídos os custos de assistência técnica, seguro agrícola e outros custos não previstos.

Para efeito de comparação, os valores referenciados em reais (R\$) apresentados nas tabelas, equivalem aproximadamente ao câmbio em dólar de R\$ 2,92 por um dólar (média anual para o ano de 2004, cotação oficial/livre/Banco Central, obtido na página da internet www.financeone.com.br). Um modelo resumido da planilha utilizada para o cálculo dos custos variáveis na cultura do milho encontra-se na tabela 2.3.

Tabela 2.1 – Modelo de planilha utilizada para cálculo da receita bruta do sistema cultura de inverno/ milho.

Parc.	Bloco	Preparo	Fontes	Milho		Feno ou silagem		Receita bruta total
				Produção	Receita	Matéria seca da ervilhaca	Receita ¹	
...				sc ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
6	1	PCR	EA	83,7	1134,8	2755,3	1267,5	2402,2
7	1	PCR	TES	32,6	442,2	1518,7	698,6	1140,8
8	1	PCR	AM	90,7	1228,7	1354,7	623,1	1851,8
9	1	PCR	ELB	55,6	753,0	1796,0	826,2	1579,2
10	1	PCR	ELS	88,5	1198,5	2336,0	1074,6	2273,1
...								
16	1	PD	EA	111,4	1509,7	-	-	1509,7
17	1	PD	TES	47,2	639,9	-	-	639,9
18	1	PD	AM	91,7	1242,3	-	-	1242,3
19	1	PD	ELB	84,9	1150,7	-	-	1150,7
20	1	PD	ELS	120,0	1626,0	-	-	1626,0
...								

¹ Considerado o mesmo preço da alfafa para a ervilhaca; para o centeio e a aveia preta foi utilizado o preço de venda da alfafa dividido por dois (Vasconcelos, 2004, Herval D'Oeste/SC, informação pessoal).

Tabela 2.2 - Coeficientes técnicos utilizados para cálculo do custo variável do sistema cultura de inverno/culturas de milho, feijão e soja e no processo de fenação ou silagem das plantas de cobertura.

Componentes	Especificação	Unidade referência	Coeficientes			Fonte
			Milho ¹⁾	Feijão ³⁾	Soja ²⁾	
Semente	Milho híbrido simples	Mil sementes	60	-	-	ICEPA/SC (2003)
Semente	Feijão e Soja	kg	-	50	70	ICEPA/SC (2003)
Semente adubo verde ⁵⁾	Ervilhaca, aveia, centeio	kg	40	100	80	EPAGRI (2003)
Plantio cultura + adubo verde ⁶⁾	trator + plantadeira	hora-trator	1,8	1,8	1,8	ICEPA/SC (2003)
Aplicação uréia	trator + distribuidor	hora-trator	0,5	0,5	-	ICEPA/SC (2003)
Aplicação esterco aves ⁷⁾	carregar + distribuir	hora-trator	1	1	1	-
Aplicação esterco líq. suínos ⁸⁾	carregar + distribuir	hora-trator	2	2	2	-
Aplicação esterco líq. bovinos ⁹⁾	carregar + distribuir	hora-trator	3	3	3	-
Aplicação dessecante	trator + pulverizador	hora-trator	0,5	-	0,5	ICEPA/SC (2003)
Aplicação inseticida	trator + pulverizador	hora-trator	0,5	0,5	0,5	ICEPA/SC (2003)
Aplicação herbicida	trator + pulverizador	hora-trator	0,5	0,5	0,5	ICEPA/SC (2003)
Aração	trator + arado	hora-trator	3,0	3,0	3,0	ICEPA/SC (2003)
Aração - Preparo reduzido	trator + arado	hora-trator	1,5	1,5	1,5	ICEPA/SC (2003)
Gradagem (1 passada)	trator + grade	hora-trator	1,0	1,0	1,0	ICEPA/SC (2003)
Colheita mecânica	automotriz média	hora-colheitadeira	1,2	1,5	1,0	ICEPA/SC (2003)

Tabela 2.2 - Coeficientes técnicos utilizados para cálculo do custo variável do sistema cultura de inverno/ culturas de milho, feijão e soja e no processo de fenação ou silagem das plantas de cobertura. (Continuação).

Componentes	Especificação	Unidade referência	Coeficientes			Fonte
			Milho ¹⁾	Feijão ³⁾	Soja ²⁾	
Transporte até armazém			0,5	0,5	0,5	ICEPA/SC (2003)
Silagem ou fenação ¹⁰⁾	-	hora trator	3,5	3,5	3,5	-
Beneficiamento	-	%	2,5	2,5	2,5	ICEPA/SC (2003)
Seguro agrícola	-	%	2,9	6,7	2,9	ICEPA/SC (2003)
Assistência técnica	-	%	2,0	2,0	2,0	ICEPA/SC (2003)
Outros custos	-	%	1,0	1,0	1,0	ICEPA/SC (2003)

¹⁾Baseado no custo de produção do milho (por hectare), conduzido sob alta tecnologia (área média de 40 ha, produtividade de grãos de 7.500 kg ha⁻¹) (outubro de 2003) (ICEPA/SC).

²⁾Baseado no custo de produção da soja para área média cultivada de 70 ha e produtividade de grãos de 2.700 kg ha⁻¹ (outubro de 2003) (ICEPA/SC).

³⁾Baseado no custo de produção do feijão (tração motora) para uma área média de 20 ha e produtividade de 1.800 kg ha⁻¹ (ICEPA/SC).

⁴⁾Saco com 60.000 sementes.

⁵⁾Ervilhaca, aveia preta e centeio, respectivamente.

⁶⁾Para a semeadura das culturas 1 h trator cada (ICEPA, outubro de 2003) e 0,8 h trator para a semeadura dos adubos verdes de inverno (estimado).

⁷⁾Valores estimados considerando-se que a distribuição do esterco é igual a distribuição de calcário (0,5h ha⁻¹) mais o mesmo tempo para o carregamento.

⁸⁾Estimado em 2 horas ha⁻¹ para distribuir e carregar em função do volume utilizado.

⁹⁾Estimado em 3 horas ha⁻¹ para distribuir e carregar em função do volume (volume de 50% a mais do que o esterco líquido de suínos).

¹⁰⁾Estimado 3 horas ha⁻¹ para cortar, virar e enfardar e 0,5 hora ha⁻¹ para transporte. Fonte: Vasconcelos, 2004, Herval D'Oeste/SC, informação pessoal e Rassini et al. (2003).

Tabela 2.3 – Exemplo da planilha utilizada para calcular os custos variáveis no sistema cultura de inverno/milho.

Parc.	Bloco	Preparo	Fontes	Aquisição de fertilizantes ¹						Aquisição de sementes						
				Cloreto de potássio		Superfosfato triplo		Uréia		Esterco aves		Milho		Ervilhaca comum		
				kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	t ha ⁻¹	(R\$ t ⁻¹)x2	R\$ ha ⁻¹	sc ²	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
...																
6	1	PCR	EA							5	16,31 ³	163	1	123,6	40	76,4
7	1	PCR	TES										1	123,6	40	76,4
8	1	PCR	AM	100	91,7	70	105	140	170				1	123,6	40	76,4
9	1	PCR	ELB										1	123,6	40	76,4
10	1	PCR	ELS										1	123,6	40	76,4
...																...
16	1	PD	EA							5	16,31	163	1	123,6	40	76,4
17	1	PD	TES										1	123,6	40	76,4
18	1	PD	AM	100	91,7	70	105	140	170				1	123,6	40	76,4
19	1	PD	ELB										1	123,6	40	76,4
20	1	PD	ELS										1	123,6	40	76,4
...																...

¹ Como o esterco líquido de bovinos e o esterco líquido de suínos não são comercializados, não foram considerados custos de aquisição para estas fontes. Para o esterco de aves, utilizou-se o dobro do valor de aquisição da fonte, porque se atribuiu o mesmo valor como sendo o valor do frete.

²sc=saco

Tabela 2.3 – Exemplo da planilha utilizada para calcular os custos variáveis no sistema cultura de inverno/milho (continuação).

Parc.	Bloco	Preparo	Fontes	Aquisição						
				Herbicida				Inseticida		Fungicida
				Dessecante		Pós emergente		L ou g ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
				L ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	L ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹			
...				...						
6	1	PCR	EA			6,5	102,1	0,1	5,6	-
7	1	PCR	TES			6,5	102,1	0,1	5,6	-
8	1	PCR	AM			6,5	102,1	0,1	5,6	-
9	1	PCR	ELB			6,5	102,1	0,1	5,6	-
10	1	PCR	ELS			6,5	102,1	0,1	5,6	-
...				...						
16	1	PD	EA	1,5	20	6,5	102,1	0,1	5,6	-
17	1	PD	TES	1,5	20	6,5	102,1	0,1	5,6	-
18	1	PD	AM	1,5	20	6,5	102,1	0,1	5,6	-
19	1	PD	ELB	1,5	20	6,5	102,1	0,1	5,6	-
20	1	PD	ELS	1,5	20	6,5	102,1	0,1	5,6	-
...				...						

Tabela 2.3 – Exemplo da planilha utilizada para calcular os custos variáveis no sistema cultura de inverno/milho (continuação).

Parcela	Bloco	Preparo	Fontes	Aplicação				Preparo primário		Gradagem	
				Fertilizantes		Fitossanitários		h maq.ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	(h maq. ha ⁻¹) x 2 ³	R\$ ha ⁻¹
				h maq. ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	h maq. ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹				
...											...
6	1	PCR	EA	1	36,9	1	34,4	3	94	2	62,7
7	1	PCR	TES			1	34,4	3	94	2	62,7
8	1	PCR	AM	0,2	5,9	1	34,4	3	94	2	62,7
9	1	PCR	ELB	3	110,7	1	34,4	3	94	2	62,7
10	1	PCR	ELS	2	73,8	1	34,4	3	94	2	62,7
...											...
16	1	PD	EA	1	36,9	1,5	51,6	-	-	-	-
17	1	PD	TES			1,5	51,6	-	-	-	-
18	1	PD	AM	0,2	5,9	1,5	51,6	-	-	-	-
19	1	PD	ELB	3	110,7	1,5	51,6	-	-	-	-
20	1	PD	ELS	2	73,8	1,5	51,6	-	-	-	-
...											...

³ Considerado como custo em dobro porque são duas operações.

Tabela 2.3 – Exemplo da planilha utilizada para calcular os custos variáveis no sistema cultura de inverno/milho (continuação).

Parc.	Bloco	Preparo	Fontes	Semeadura		Colheita do milho		Silagem ou fenação				Transporte do milho ⁴	
				h maq ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	h maq ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	Transporte		h	R\$ ha ⁻¹	sc ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
...				...									
6	1	PCR	EA	1,8	72,9	1,2	166,9	3	103,1	0,5	51,6	83,7	20,9
7	1	PCR	TES	1,8	72,9	1,2	166,9	3	103,1	0,5	51,6	32,6	8,2
8	1	PCR	AM	1,8	72,9	1,2	166,9	3	103,1	0,5	51,6	90,7	22,7
9	1	PCR	ELB	1,8	72,9	1,2	166,9	3	103,1	0,5	51,6	55,6	13,9
10	1	PCR	ELS	1,8	72,9	1,2	166,9	3	103,1	0,5	51,6	88,5	22,1
...				...									
16	1	PD	EA	1,8	72,9	1,2	166,9	-	-	-	-	111,4	27,9
17	1	PD	TES	1,8	72,9	1,2	166,9	-	-	-	-	47,2	11,8
18	1	PD	AM	1,8	72,9	1,2	166,9	-	-	-	-	91,7	22,9
19	1	PD	ELB	1,8	72,9	1,2	166,9	-	-	-	-	84,9	21,2
20	1	PD	ELS	1,8	72,9	1,2	166,9	-	-	-	-	120	30
...				...									

⁴(R\$ 0,25 sc⁻¹)

Tabela 2.3 – Exemplo da planilha utilizada para calcular os custos variáveis no sistema cultura de inverno/milho (continuação).

Parc.	Bloco	Preparo	Fontes	Custo do beneficiamento ⁵	Custo parcial	Seguro ⁶	Assistência técnica ⁷	Outros custos ⁸	Custos variáveis
				R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
...							
6	1	PCR	EA	28,4	1142,4	33,1	22,8	11,4	1209,8
7	1	PCR	TES	11,1	912,3	26,5	18,2	9,1	966,1
8	1	PCR	AM	30,7	1318,8	38,2	26,4	13,2	1396,6
9	1	PCR	ELB	18,8	1036,5	30,1	20,7	10,4	1097,7
10	1	PCR	ELS	30	1019	29,6	20,4	10,2	1079,1
...							
16	1	PD	EA	37,7	884,5	25,7	17,7	8,8	936,7
17	1	PD	TES	16	646,7	18,8	12,9	6,5	684,9
18	1	PD	AM	31,1	1045,2	30,3	20,9	10,5	1106,9
19	1	PD	ELB	28,8	779,6	22,6	15,6	7,8	825,6
20	1	PD	ELS	40,7	763,4	22,1	15,3	7,6	808,4
...							

⁵ 2,5% sobre a receita bruta total⁶ 2,9 %⁷ 2%⁸ 1%

Através do ISMP determinado após os nove anos de aplicação dos tratamentos (Apêndice N), estimou-se a necessidade de calcário para correção da acidez do solo em todas as parcelas, bem como a necessidade de correção com fósforo e potássio. Para isto foi utilizada a recomendação da ROLAS de 1981, que previa também a aplicação de P e K de forma corretiva (Trigo e Soja, 1981), procurando-se estabelecer a necessidade destes nutrientes para atingir o nível de suficiência no solo. Para o cálculo do custo de uma adubação mineral mais calagem foram utilizados os preços históricos das fontes superfosfato triplo e cloreto de potássio (P e K, respectivamente) e do calcário dolomítico.

Os custos variáveis e a receita bruta do milho, soja e feijão e o custo de uma adubação mineral mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes nos sistemas de preparo do solo são apresentados no apêndice O.

2.2.3 Valoração dos atributos econômicos

A valoração da receita bruta foi feita através da relativização da receita bruta média anual dos tratamentos, tomando-se por base o maior valor (RB_r). A valoração dos custos variáveis resultou da soma de 1/3 dos custos para cada cultura e o valor final foi relativizado pelo menor custo obtido no experimento (CV_r). O custo de uma adubação mineral com N, P e K mais calagem após nove anos de aplicação dos tratamentos foi relativizado e valorado (CC_v), considerando-se que o custo do valor monetário zero tem o peso de 1,0 e o maior custo de adubação mais calagem foi fixado empiricamente no valor de 0,70 (Figura 2.1). Este artifício foi utilizado para dar maior peso aos atributos receita bruta e custos variáveis, que são os atributos mais utilizados em uma análise econômica.

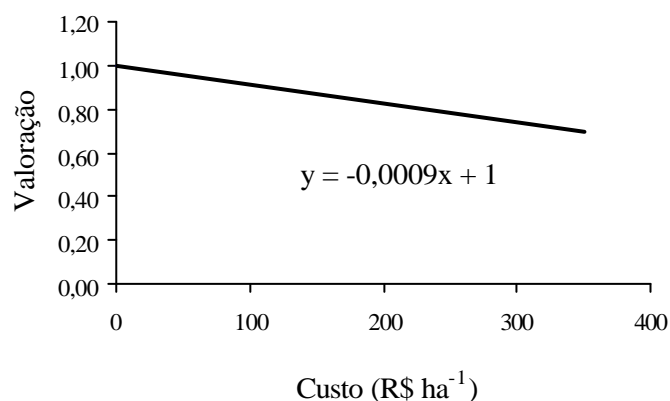


Figura 2.1 - Curva de valoração para o custo de uma adubação com NPK + calagem, após nove anos de condução do experimento.

2.3 Resultados e discussão

O aspecto econômico do uso de fontes de nutrientes foi avaliado por três atributos econômicos em conjunto, através da figura formada e das áreas destas figuras. Considerações para cada atributo valorado também foram feitas.

2.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos

Houve diferenciação do aspecto econômico entre as fontes de nutrientes, cuja magnitude de diferença variou entre os sistemas de preparo do solo (Figura 2.2). A testemunha é a que mais se destaca entre as fontes de nutrientes, apresentando os menores triângulos, seguida pelo ELB que ocupa uma posição intermediária entre a testemunha e as demais fontes de nutrientes, exceto para o PD, onde apresentou um desempenho econômico um pouco melhor. O mesmo comportamento verificou-se quando são analisadas as fontes de nutrientes considerando-se todos os sistemas de preparo em conjunto. Observou-se ainda, que a testemunha foi a fonte que apresentou maior variabilidade entre os atributos, indicando um desequilíbrio entre estes, com valor muito alto do CV_r e baixo da RB_r e isto ocorreu em maior magnitude nos sistemas PD e PCR. No ELS ocorreu uma menor variabilidade (maior equilíbrio entre os atributos), seguido pelo ELB. Quando se considera os sistemas de preparo conjuntamente, ocorre uma inversão entre estas fontes, sendo que o ELB é o que apresenta maior equilíbrio entre os atributos econômicos, seguido pelo ELS.

Visualmente, as maiores diferenciações entre as fontes de nutrientes foram obtidas com os atributos CV_r e RB_r . O EA e o AM no sistema PCR apresentaram uma maior variabilidade entre os atributos, especialmente no CV_r , que apresentou valorações bastante baixas. Isto pode ser explicado pelo fato do EA ser a única entre as fontes orgânicas de nutrientes que apresenta valor de venda/compra e o AM sempre apresenta custo na sua aquisição. De uma forma geral, o CV_r destas fontes sempre foi maior em relação às outras fontes, apresentando valorações mais baixas.

2.3.2 Avaliações das fontes de nutrientes pelas áreas das figuras

Em termos de áreas do aspecto econômico, as fontes de nutrientes se diferenciaram significativamente entre si (Tabela 2.4). As maiores áreas médias foram apresentadas pelo

ELS em todos os sistemas de preparo do solo, com exceção do PCR onde o EA apresentou a maior área. No entanto, a área do ELS se diferenciou significativamente do EA somente no PCO. Estes resultados mostram que o EA e ELS são os de melhor desempenho econômico. Isso se deve ao fato de que as doses de EA e ELS aplicadas foram baseadas em estudos existentes à época da implantação do experimento, como os realizados por Scherer & Bartz (1984) e Scherer (1998), em solos e culturas semelhantes às aquelas utilizados neste trabalho. Os resultados obtidos neste trabalho concordam com Konzen (2003), que considera que os benefícios econômicos da utilização de esterco de suínos e de aves na produção de grãos superam os seus custos. Por outro lado, Segnfredo (2004), pondera que o uso dos esterco animais como fertilizantes pode se tornar antieconômico, devido a que os custos de armazenagem e transporte dos mesmos podem ultrapassar aqueles do valor fertilizante. O EA se diferenciou do ELB nos cinco sistemas de preparo do solo e o ELB foi diferente do ELS em quatro dos cinco sistemas, exceto para o PCR (Tabela 2.4 e Apêndice Y). Em todos os sistemas de preparo do solo, com exceção da testemunha, as menores áreas médias foram obtidas com o ELB e o AM. Considerando-se os sistemas de preparo do solo em conjunto, não houve diferença entre as fontes de nutrientes, embora as áreas médias decresceram do ELS>EA>AM>ELB>testemunha. Apesar do ELB não apresentar custo de aquisição, a produtividade de grãos (Apêndice A) que compõe a RB_r é mais baixa em relação às demais fontes, fazendo com que o aspecto econômico desta fonte não seja satisfatório. Por outro lado, o AM e o EA apresentam custo de aquisição o que faz com que apresentem as menores valorações no atributo CV_r (item 2.3.3). Isto ocorreu mesmo o EA apresentando um custo de 45% em relação ao custo de aquisição do AM.

Apesar do ELS ter sido uma das fontes com melhor aspecto econômico, deve-se ter o cuidado na interpretação e considerar que transportar esterco líquido a grandes distâncias pode ser desvantajoso em função do custo do transporte deste material que, normalmente, apresenta uma menor concentração de nutrientes (alto conteúdo de água). A distância de transporte foi o principal fator que afetou o custo do metro cúbico de ELS distribuído na lavoura no estudo de Schmitt (1995) e, a baixa qualidade dos esterco das propriedades estudadas, determinou uma distância viável de transporte muito pequena, variando de 39 a 1.400 m. Por outro lado, em um estudo na região Meio Oeste de Santa Catarina, Scherer (2005) determinou uma distância máxima de 30 km podendo ser elevada até 84 km se o teor de matéria seca do esterco de suínos passar de 3 para 6%. Entretanto, se os esterco forem transportados para longe do local onde é gerado e para lavouras pobres em P e K, os custos do transporte podem ser compensados, em parte ou totalmente, pela diminuição dos custos de

aquisição dos fertilizantes minerais (Bush, 1999). Segundo o autor, o benefício de se transportar os esterco para lavouras mais distantes do local onde ele é produzido, quando estas lavouras já apresentam teores altos de P e de K no solo, somente será o de aporte de nitrogênio, diminuindo assim o valor fertilizante e econômico dos mesmos.

A avaliação econômica positiva das fontes EA e ELS deve ser levada em conta quanto à possibilidade de se utilizar estas fontes em associação com fertilizantes minerais, quando a disponibilidade destes materiais na propriedade não for suficiente para suprir toda a necessidade de nutrientes para as culturas. Outro aspecto relacionado a isto diz respeito ao estabelecimento de recomendação de aplicação de materiais orgânicos tendo como base o nutriente que determina uma menor dose, quando a aplicação de fertilizante mineral seria efetuada para suplementar os nutrientes em falta, evitando-se a aplicação em excesso. Os esterco são uma boa alternativa econômica ao fertilizante comercial e, segundo Araji (2001), um recurso biológico viável na produção de plantas. Em um estudo econômico de taxas de aplicação de esterco de suínos na cultura do milho por cinco anos, Chase et al. (1991) consideraram que o ELS pode substituir o fertilizante comercial com vantagem econômica. Por sua vez, Araji et al. (2001) consideram o EA o mais eficiente economicamente entre os esterco, em função do seu alto pH, baixo carbono orgânico, alto N inorgânico e baixa relação C/N. Desta forma, mesmo havendo a necessidade ou a possibilidade de adquirir uma fonte orgânica, como no caso do EA, ainda assim esta fonte pode apresentar, no aspecto econômico como um todo, um desempenho satisfatório. Este aspecto é reforçado pelos resultados de um estudo comparativo entre EA e AM em milho e soja onde, de forma geral, a adubação com EA foi de 18 a 32% mais barata que a AM (Konzen, 2003). Quanto ao ELB, que não apresenta valor de comercialização, o aspecto econômico do seu uso não foi tão satisfatório comparado às demais fontes orgânicas. A possibilidade de associação entre esta fonte e uma mineral deve ser considerada, pois isto possibilitaria um melhor desempenho econômico do seu uso. Isto foi observado por Nyakatawa et al. (2001) em um estudo do efeito residual da aplicação de cama de aves no algodão, em sistemas de preparos conservacionistas, na sucessão centeio/milho, os quais consideraram que o uso de cama de aviário com uma baixa taxa de liberação de N se comparada ao fertilizante mineral, não somente reduz os custos da fertilização nitrogenada no milho, mas também os riscos de lixiviação do nitrato para o lençol freático. Benefícios econômicos pela redução de aplicações de fertilizantes minerais em função dos nutrientes nos esterco líquidos também são considerados por McGechan & Wu (1998).

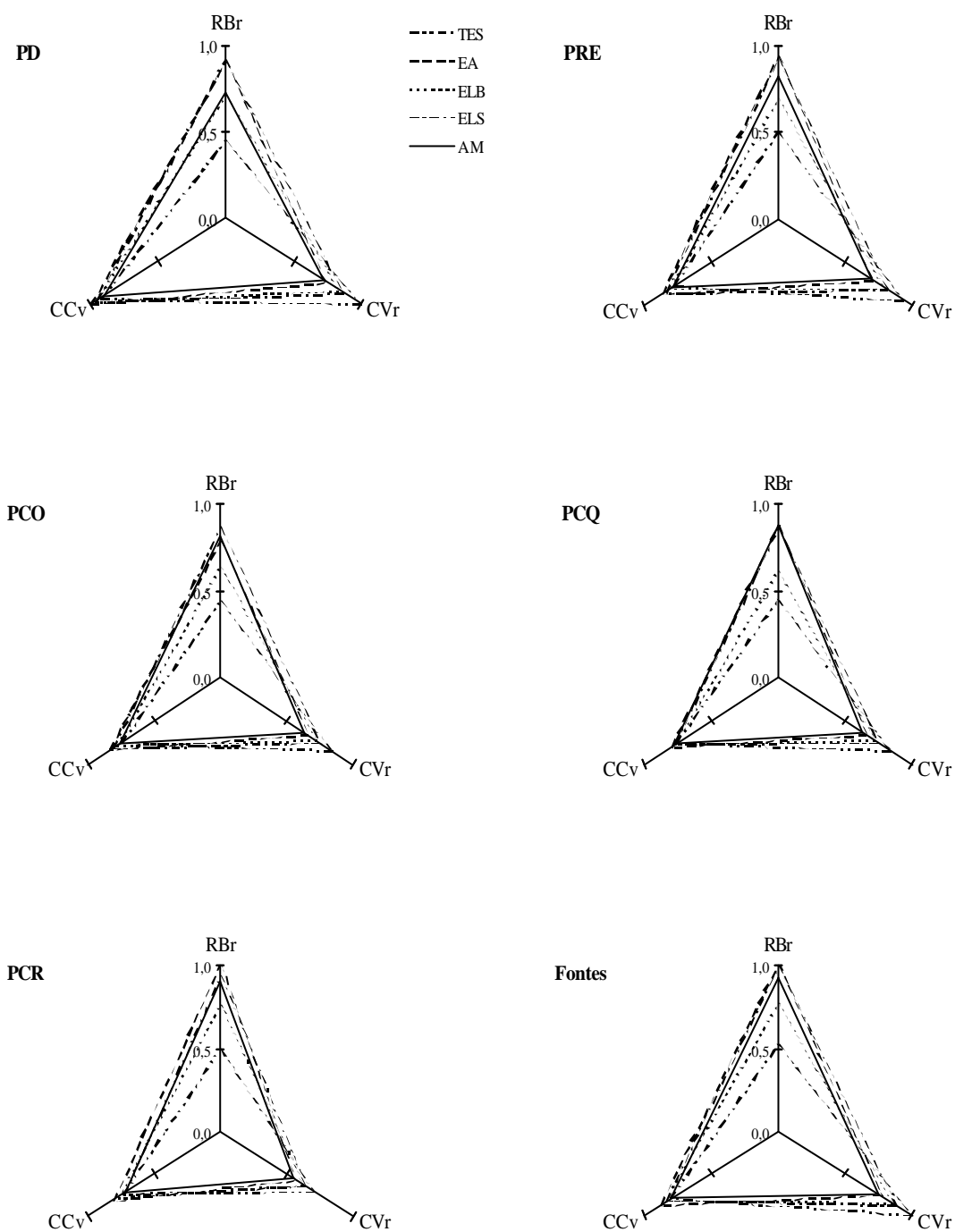


Figura 2.2 - Aspecto econômico do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelos atributos receita bruta (RB_r), custos variáveis (CV_r) e custo de uma adubação mais calagem após nove anos de aplicação das fontes de nutrientes (CC_v).

Tabela 2.4 – Média, limite superior e inferior da área do aspecto econômico e dos atributos valorados custo de uma adubação mais calagem, custos variáveis e receita bruta, para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparos de solo.

Preparos	Fontes	Área			Custo adubação mais calagem - CC _v			Custos variáveis - CV _r			Receita bruta - RB _r		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	TES	0,764	0,697	0,828	0,931	0,900	0,961	1,000	1,000	1,000	0,431	0,353	0,503
	EA	0,993	0,946	1,042	1,000	1,000	1,000	0,742	0,733	0,751	0,891	0,827	0,955
	ELB	0,893	0,849	0,940	0,966	0,966	0,966	0,836	0,827	0,845	0,697	0,639	0,755
	ELS	1,077	1,026	1,129	0,967	0,934	0,996	0,866	0,856	0,875	0,900	0,846	0,954
	AM	0,786	0,730	0,845	0,905	0,882	0,926	0,717	0,708	0,726	0,719	0,642	0,805
PRE	TES	0,673	0,639	0,707	0,779	0,741	0,818	0,937	0,927	0,946	0,481	0,451	0,512
	EA	0,894	0,850	0,943	0,866	0,859	0,874	0,708	0,700	0,715	0,923	0,859	0,997
	ELB	0,745	0,708	0,787	0,804	0,786	0,821	0,797	0,788	0,805	0,675	0,623	0,731
	ELS	0,958	0,902	1,019	0,848	0,800	0,900	0,822	0,813	0,830	0,907	0,851	0,969
	AM	0,767	0,703	0,838	0,789	0,764	0,814	0,702	0,679	0,726	0,817	0,721	0,923
PCO	TSE	0,571	0,548	0,594	0,748	0,738	0,758	0,846	0,835	0,856	0,431	0,400	0,460
	EA	0,739	0,713	0,770	0,838	0,838	0,838	0,658	0,651	0,665	0,773	0,732	0,818
	ELB	0,663	0,617	0,709	0,794	0,785	0,802	0,731	0,720	0,741	0,624	0,556	0,694
	ELS	0,844	0,785	0,906	0,814	0,796	0,834	0,753	0,742	0,763	0,853	0,766	0,942
	AM	0,698	0,663	0,734	0,765	0,760	0,769	0,631	0,624	0,637	0,810	0,754	0,869
PCQ	TES	0,583	0,526	0,645	0,760	0,739	0,780	0,846	0,833	0,858	0,438	0,359	0,524
	EA	0,770	0,734	0,812	0,800	0,785	0,815	0,655	0,648	0,662	0,862	0,806	0,927
	ELB	0,634	0,594	0,677	0,771	0,761	0,782	0,732	0,723	0,742	0,598	0,538	0,663
	ELS	0,808	0,714	0,902	0,765	0,719	0,811	0,749	0,739	0,759	0,853	0,716	0,987
	AM	0,739	0,701	0,779	0,770	0,741	0,799	0,629	0,622	0,636	0,874	0,821	0,929
PCR	TES	0,529	0,476	0,587	0,744	0,708	0,779	0,706	0,697	0,715	0,480	0,402	0,566
	EA	0,790	0,758	0,812	0,811	0,787	0,834	0,567	0,561	0,574	0,990	0,945	1,000
	ELB	0,666	0,609	0,726	0,781	0,753	0,812	0,624	0,616	0,632	0,748	0,660	0,838
	ELS	0,753	0,692	0,811	0,736	0,699	0,770	0,641	0,632	0,649	0,920	0,824	1,000
	AM	0,664	0,600	0,721	0,719	0,713	0,725	0,549	0,542	0,556	0,899	0,782	1,000
Fontes	TES	0,723	0,622	0,834	0,808	0,717	0,916	0,988	0,914	1,000	0,485	0,384	0,595
	EA	0,969	0,821	1,115	0,877	0,796	0,971	0,767	0,638	0,907	0,952	0,828	1,000
	ELB	0,840	0,691	1,012	0,840	0,760	0,936	0,853	0,705	1,000	0,722	0,588	0,870
	ELS	1,016	0,833	1,196	0,834	0,717	0,960	0,879	0,717	1,000	0,941	0,802	1,000
	AM	0,848	0,699	0,999	0,803	0,725	0,895	0,744	0,617	0,878	0,881	0,719	1,000

O melhor desempenho do aspecto econômico do uso do ELS e EA ocorreu no sistema PD, cujas áreas médias foram diferentes das áreas médias respectivas nos demais sistemas de preparo. Estes resultados se devem ao menor custo variável de produção, relacionado principalmente ao custo do preparo do solo, e a maior produtividade obtida no PD. No sistema PCO e suas variações (PCQ e PCR), as áreas das fontes de nutrientes não se diferenciaram, mesmo apresentando valorações diferenciadas entre os atributos. Desta forma, a menor RB obtida no PCR considerando a produção de grãos (menor produção -Apêndice A), foi compensada pela receita obtida com a venda da palha (feno), já que houve pequena diferença nos demais atributos que compõe o aspecto econômico. Quanto ao ELB, a melhor avaliação econômica do seu uso como fonte de nutrientes também ocorreu no PD cuja área se diferenciou das demais nos outros sistemas de preparo. O sistema de preparo não influenciou na avaliação econômica do AM, pois apresentou áreas semelhantes em todos os casos. Os resultados sugerem que o aspecto econômico das fontes orgânicas de nutrientes foram dependentes do sistema de preparo do solo.

2.3.3 Atributos que compuseram o aspecto econômico

As valorações dos atributos que compuseram o aspecto econômico são apresentadas na tabela 2.4. Com relação ao CC_v , verifica-se que a maior valoração média deste atributo (menor custo) foi apresentada pelo EA e a menor valoração (maior custo) pelo ELS em quatro sistemas de preparo do solo e AM no PCR. Isto pode estar relacionado com a maior concentração de nutrientes no EA, aumentando os teores no solo ao final de nove anos, além da redução da necessidade de calcário neste caso. Em função disto, o EA se diferenciou na maioria das vezes do ELB, ELS e AM, demonstrando que esta fonte se destacou em termos de manter ou melhorar as características químicas do solo. O ELB se diferenciou três vezes do AM (Apêndice Y), mostrando melhor desempenho do CC_v . O maior número de comparações diferentes entre as fontes ocorreu no atributo CV_f com 48 combinações diferentes, constituindo-se em um atributo importante para individualizar as fontes. Considerando-se todos os sistemas de preparo do solo em conjunto, somente o AM se diferenciou da testemunha, apresentando a menor valoração média.

Com relação à RB_r , a testemunha se diferenciou dos esterco e do AM em todos os sistemas de preparo do solo, em função da baixa produtividade de grãos encontrada neste tratamento, apresentando uma valoração bastante inferior em relação às demais fontes de

nutrientes. O EA se diferenciou do ELB, mas não do ELS, em todos os sistemas de preparo do solo, devido à similaridade de produtividade de grãos com o uso de EA e ELS. O ELB, por sua vez, diferenciou-se do ELS em todos os sistemas de preparo com exceção do PCR. As maiores valorações da RB_r foram obtidas com o ELS (PD e PCO), EA (PRE, PCR) e AM (PCQ), pois estas três fontes apresentaram as maiores produtividades de milho e de feijão (Apêndice A). Entre as fontes orgânicas, as menores valorações sempre foram apresentadas pelo ELB. Analisando-se as fontes de nutrientes com todos os sistemas de preparo em conjunto, somente a testemunha se diferenciou das demais fontes, embora a maior valoração tenha sido obtida pelo EA e a menor (excluindo a testemunha) pelo ELB.

A partir dos dados apresentados na figura 2.2, tabela 2.4 e apêndice Y, verificou-se que os três atributos econômicos utilizados no modelo de análise foram importantes na diferenciação do aspecto econômico do uso das fontes orgânicas de nutrientes. O atributo CC_v conseguiu diferenciar as fontes de nutrientes mostrando ser um atributo que poderia ser utilizado nas análises econômicas. Por outro lado, o aspecto econômico das fontes orgânicas de nutrientes como um todo foi dependente do sistema de preparo do solo utilizado.

2.4 Conclusões

O desempenho do aspecto econômico das fontes orgânicas de nutrientes foi dependente do sistema de preparo do solo. O esterco de aves e o esterco líquido de suínos foram as fontes que apresentaram o melhor desempenho econômico.

O esterco líquido de suínos e o esterco líquido de bovinos, mesmo apresentando áreas diferentes, foram as fontes que apresentaram menor variabilidade nos atributos econômicos avaliados, não havendo um atributo que se destaque dos demais.

O uso do atributo CC, embora pouco convencional em uma análise econômica, mostrou ter importante participação na avaliação das fontes de nutrientes quanto ao aspecto econômico.

CAPÍTULO 3 - ASPECTO AMBIENTAL DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.

3.1 Introdução

A humanidade tem enfrentado, no decorrer dos tempos, problemas como a escassez de alimentos, problemas de espaço e de degradação dos recursos (Resende et al., 2002). Segundo o autor, entre os fatores que têm levado à insustentabilidade do sistema de produção agrícola estão a erosão do solo, a ineficiência energética, a salinização do solo, a poluição das águas e dos solos, o desmatamento, a diminuição da biodiversidade e dos recursos genéticos e a dilapidação dos recursos não-renováveis (combustíveis fósseis). Por outro lado, a implementação de manejo adequado dos recursos naturais, a utilização de técnicas adequadas no sistema de produção agrícola e animal e a crescente conscientização do homem quanto à importância de um ambiente saudável, levam a uma perspectiva de diminuição da degradação do ambiente.

Mais recentemente, com a valorização dos recursos naturais, especialmente os recursos hídricos, e com o crescimento e concentração da atividade pecuária, intensificou-se a preocupação com o componente ambiental do uso dos esterco na agricultura. Atenção especial tem sido dada ao uso do esterco líquido de suínos que, muitas vezes, são utilizados no solo em doses acima das recomendadas ou, até mesmo, sendo descartado nos rios. Os esterco são citados como potencialmente poluidores ao ambiente devido às possibilidades, entre outras, de adicionar organismos patogênicos nos corpos de água superficiais e subterrâneas, acumular metais pesados no solo, contaminar o lençol freático com nitrato e provocar a eutroficação de rios e lagos pelo aumento do P perdido por escoamento superficial, levando ao comprometimento da saúde animal, humana e do ambiente. Por outro lado, o mesmo material pode estimular a qualidade do solo pela oferta de energia e nutrientes à fauna do solo (disponibilidade de alimento), reciclar os nutrientes e ser um condicionador no solo, apresentando efeitos benéficos diversos quando utilizados corretamente.

Entre os três principais esterco utilizados como fonte de nutrientes, maiores problemas ambientais têm sido conferidos ao esterco líquido de suínos, com potencialização dos efeitos dependendo do sistema de preparo do solo adotado. A avaliação do aspecto

ambiental do uso das fontes orgânicas aplicadas em período de médio a longo prazo, utilizando-se atributos integrados, que levam em conta possíveis efeitos danosos e/ou benéficos, pode dar uma visão mais abrangente da questão ambiental do uso dos esterco como fonte de nutriente às plantas, quando aplicadas em diferentes sistemas de preparo do solo. A junção de vários atributos que representam uma potencialidade de dano ou de melhoria ao ambiente, dependendo de como o esterco é utilizado ou em que sistema de preparo do solo ele é empregado, pode nortear as condições de uso do mesmo.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar o aspecto ambiental do uso de algumas fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo, procurando oferecer a técnicos e produtores a possibilidade de incluir a questão ambiental à sua tomada de decisão sobre o uso de fontes orgânicas. O objetivo específico foi comparar as fontes orgânicas de nutrientes entre si quanto ao aspecto ambiental, utilizando-se um modelo para analisar conjuntamente índices e atributos ambientais.

3.2 Material e Métodos

O estudo do aspecto ambiental do uso das fontes orgânicas de nutrientes foi conduzido utilizando-se um modelo de análise das fontes orgânicas de nutrientes como recurso para orientação e discussão. Do modelo de análise resultaram figuras de triângulos e destas figuras foram calculadas as áreas. Com auxílio do programa @RISK foram calculados os intervalos de confiança das áreas das figuras, considerando-se um risco de 10% (90% de probabilidade). Foi considerado como diferença significativa quando os intervalos de confiança das áreas das figuras, comparados dois a dois, não se sobrepuseram. Este modelo pressupõe que quanto maior a figura melhor é o aspecto ambiental do uso da fonte em relação às demais. O índice limitante ou gargalo do uso da fonte é identificado quando os lados dos triângulos apresentam variabilidade entre os índices, sendo mais limitante quanto mais curto for o raio (menor valor dos índices). A descrição do modelo de análise encontra-se no material e métodos do capítulo 1 – Aspecto técnico.

3.2.1 Aspecto ambiental

Para o desenvolvimento do estudo do aspecto ambiental do uso das fontes orgânicas de nutrientes foram utilizados três índices: a) índice de risco ambiental – IRA, composto pelos

atributos fósforo do solo (formas lábeis e moderadamente lábeis), cobre e zinco disponíveis no solo e uma avaliação da percepção de técnicos a respeito do impacto ambiental do uso de diferentes fontes de nutrientes e preparos do solo; b) índice de diversidade – ID, composto pelo índice de Simpson e; c) índice de carbono e nitrogênio – ICN, composto pelos teores de carbono orgânico e nitrogênio total do solo.

O aspecto ambiental do uso das fontes de nutrientes foi avaliado através da figura de um triângulo, resultante de um gráfico radial composto por três raios, onde em cada raio está alocado um dos índices acima mencionados, bem como pela área desta figura e seu intervalo de confiança.

3.2.2 Avaliações do experimento

Os detalhes do desenho experimental e tratamentos encontram-se no material e métodos do capítulo 1 – Aspecto técnico.

3.2.2.1 Formas lábeis e moderadamente lábeis de fósforo total (inorgânico + orgânico)

Formas lábeis e moderadamente lábeis de fósforo foram extraídas com resina trocadora de ânions (inorgânico) e NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (inorgânico e total) conforme fracionamento proposto por Hedley et al.(1982) com modificações de Condron et al. (1985). O fósforo inorgânico dos extratos alcalinos foi analisado pelo método de Dick & Tabatabai (1977) e nos extratos foi determinado o fósforo total por digestão com persulfato de amônio mais ácido sulfúrico em autoclave (USEPA, 1971). O fósforo nos extratos ácidos foi determinado conforme a metodologia de Murphy & Riley (1962). O fósforo orgânico resultou da diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico. As determinações foram realizadas ao final do nono ano de condução do experimento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm (Apêndice P).

3.2.2.2 Cobre e zinco disponíveis

Os teores de zinco (Apêndice Q) e cobre (Apêndice R) disponíveis no solo foram determinados no laboratório de análises de solos da Epagri de Chapecó/CEPAF que utilizou a

metodologia de Tedesco et al. (1985), em amostras coletadas ao final do nono ano de experimento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

3.2.2.3 Mesofauna do solo

Uma avaliação da mesofauna do solo foi realizada em amostras coletadas ao final do nono ano de condução do experimento. A metodologia está baseada no trabalho de Quadros (2004). As amostras de solo para estudo da mesofauna edáfica foram coletadas aproximadamente seis meses após a realização dos preparos de solo e da aplicação das fontes de nutrientes, procurando-se, assim, evitar avaliar as alterações na mesofauna logo após a aplicação dos tratamentos e, sim, buscar-se alguma variação a médio prazo com o uso dos mesmos. Duas amostras de solo foram coletadas aleatoriamente por parcela, utilizando-se um trado tipo caneco com 7 cm de diâmetro e 12 cm de profundidade. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos para posterior extração da fauna. Por se tratar de um solo muito argiloso e com forte agregação, antes da extração dos organismos, as amostras foram saturadas com aproximadamente 400 mL de uma solução dispersante (1:10) à base de hexametáfosfato de sódio ($37,5 \text{ g L}^{-1}$) mais bicarbonato de sódio anidro ($7,94 \text{ g L}^{-1}$), permanecendo por no mínimo quinze minutos imersas no dispersante e, posteriormente, submetidas ao processo de flutuação. Cada amostra foi colocada em balde de 10 L, completando-se o volume com água e agitando-se manualmente com cuidado. Após aproximadamente um minuto, a água mais o sobrenadante foram vertidos em um jogo de peneiras de 2 mm (9 mesh) e 0,3 mm (48 mesh) de abertura, repetindo-se o processo por no mínimo cinco vezes ou até que a água estivesse clara. O material recolhido na peneira de 48 mesh foi armazenado em álcool 70%. A contagem da fauna edáfica e a identificação ao nível de grandes grupos taxonômicos (em geral a ordem) foi efetuada manualmente após observação em microscópio estereoscópio com aumento de até 40 vezes. Os resultados das duas sub-amostras por parcela foram somados e os resultados da mesofauna edáfica (número de organismos por amostra composta) nos vinte e cinco tratamentos são apresentados no Apêndice S.

Aos resultados da mesofauna edáfica foi aplicado o índice de diversidade de Simpson por parcela, conforme a equação (Gliessman, 2001):

$$IS = \text{Diversidade} = N(N - 1) / \sum ni(ni - 1) \quad (3.1)$$

onde: *IS* é o índice de diversidade de Simpson; *N* é o número de indivíduos e *ni* é o número de indivíduos da espécie *i*.

Dados complementares a respeito da avaliação da mesofauna edáfica no experimento poderão ser obtidos em Pandolfo *et al.* (2004, submetido).

3.2.2.4 Carbono orgânico total e nitrogênio total

O carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado segundo EMBRAPA (1979) e o nitrogênio total do solo (NT) segundo Tedesco *et al.* (1985) e foram determinados no nono ano de condução do experimento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm (Apêndice T).

3.2.2.5 Avaliação da percepção de técnicos a respeito do impacto ambiental do uso de fontes de nutrientes e preparos do solo

Dois questionários foram enviados para serem respondidos por 35 técnicos, onde um diz respeito ao impacto ambiental do uso de fontes de nutrientes (Apêndice U) e outro ao impacto ambiental dos sistemas de preparos de solo (Apêndice V). A escala de avaliação utilizada pelos consultados para a resposta foi de 100 quando, na avaliação pessoal, o impacto ambiental negativo era muito grande, a zero quando não havia impacto ambiental negativo para a situação apresentada. Para a valoração, os dados foram transformados em escala inversa. Sobre as fontes de nutrientes, foram consultados: quanto a problemas ocasionados pelo uso das fontes de nutrientes; quanto ao gasto de energia fóssil até a produção das fontes e; quanto às externalidades (outras que não perguntadas). Em adendo a estas perguntas, outras duas foram adicionadas com objetivo de avaliar a testemunha (sem adição de fontes de nutrientes, porém cultivado com as culturas comerciais) e foi relacionada ao risco de degradação das propriedades químicas, físicas e biológicas e quanto ao risco de comprometimento da qualidade da água no meio rural e urbano. Sobre o impacto ambiental dos sistemas de preparos de solo foram consultados: quanto ao risco de erosão do solo; quanto ao risco de escoamento superficial; quanto ao consumo de combustível fóssil; quanto ao risco

de degradação da qualidade do solo; quanto ao uso de agroquímicos e; quanto às externalidades do uso destes preparos.

3.2.3 Índices ambientais e valoração dos atributos

3.2.3.1 Índice de risco ambiental

O risco ambiental do uso de fontes orgânicas de nutrientes em sistemas de preparo do solo foi estimado através de um índice de fósforo (IPo) que utilizou: formas lábeis e moderadamente lábeis de fósforo total, atributo este que foi associado ao risco de eutroficação das águas pela possibilidade de transferência do sistema solo para água através da erosão; um índice de metal (IM) utilizando-se o cobre mais zinco disponíveis, que associou-se ao risco de elevação do teor de metais pesados no solo e sua inserção na cadeia alimentar a partir da absorção pelas plantas e; a percepção de vários profissionais que exercem suas atividades na área de agronomia, a respeito de questões ambientais do uso de fontes orgânicas de nutrientes e de sistemas de preparos de solo, que associou-se com o risco de problemas ambientais diversos pelo uso das fontes orgânicas de nutrientes e dos sistemas de preparo de solo, ao que denominou-se de índice de percepção dos técnicos (IPT).

Para a valoração do fósforo total (formas lábeis e moderadamente lábeis), considerou-se tanto a sua concentração total no solo quanto à sua distribuição na profundidade de 0-40cm. À associação dos dois parâmetros chamou-se de IPo. Na distribuição do P, considerou-se que o risco de contaminação ambiental é tanto maior quanto maior o teor na superfície e que a sua distribuição no perfil deveria ser uniforme. Assim, foram calculados os desvios do P total em cada profundidade em relação ao valor médio do P nas quatro profundidades (DP), através da equação:

$$DP = \sum_{i=1}^4 \left[\left(P_{ti} - \bar{x} P_t \right)^2 / \bar{x} P_t \right] \quad (3.2)$$

onde: DP é o desvio do P_t ; P_{ti} é o teor de P_t na profundidade i ; $\bar{x} P_t$ é a média ponderada dos teores de P_t das quatro profundidades e i é a profundidade.

Os DP foram relativizados pelo valor mínimo encontrado entre todas as parcelas, através da equação:

$$DP_r = \text{Log}(DP_{\min} + 10) / \text{Log}(DP_{\text{parc}} + 10) \quad (3.3)$$

onde: DP_{\min} é o menor desvio encontrado; DP_{parc} é o desvio da parcela.

Com relação à concentração de Pt no solo, relativizou-se as médias de Pt (0-40cm) pelo valor mínimo de Pt encontrado nas parcelas ($Pt_r = Pt_{\text{mínimo}}/Pt_{\text{parcela}}$). Ou seja, quanto menor o valor de Pt, menor o risco e maior o valor que comporá o IPo. O IPo foi composto pela média da DP_r e do Pt_r .

Para a valoração do Zn e do Cu procedeu-se da mesma maneira como foi feito para o Pt, levando-se em conta a concentração e a distribuição destes na profundidade de 0-40cm, dando origem ao IZn e ICu. O índice de metais (IM), por sua vez, correspondeu à média aritmética do IZn e do ICu.

Para os resultados do questionário sobre as fontes de nutrientes, foi calculada para cada fonte a média da pontuação obtida, envolvendo as cinco respostas e todos os participantes (Apêndice W). O IPT se constituiu da combinação dos resultados de cada fonte de nutrientes e testemunha com os diferentes preparos do solo. O resultado de cada fonte foi somado ao resultado de cada preparo do solo, dividido por dois, resultando em 25 índices. Somente foram considerados no programa @RISK os valores médios destes índices.

O índice de risco ambiental (IRA) foi estabelecido atribuindo-se um peso de 60% para IPo, 20% para o IM e 20% para IPT, conforme apresentado na equação abaixo:

$$IRA = IPo * 0,60 + IM * 0,20 + IPT * 0,20 \quad (3.4)$$

Estes pesos foram atribuídos considerando-se que o potencial de contaminação ambiental pelo fósforo é grande, quando em teores elevados, trazendo como consequência a eutroficação das águas superficiais. Para os metais pesados, especialmente Zn e Cu, não se tem bem claro quais são as consequências destes no ambiente e nem quais são os níveis críticos considerados poluidores ao ambiente (solo, planta, etc) e, por isto, atribuiu-se um peso de 20%. Ao IPT atribuiu-se um peso menor, por se tratar de uma avaliação subjetiva, ao contrário dos outros atributos que foram determinados no experimento.

3.2.3.2 Índice de diversidade

A valoração do índice foi baseada em Gliessman (2001) que coloca que ecossistemas naturais relativamente diversificados apresentam índices de Simpson iguais ou maiores que

cinco. Neste sentido, considerou-se que os índices de Simpson obtidos acima de 5,0 tem um peso de 1,0 e o menor índice de Simpson tem um peso de 0,7, resultando em uma regressão segmentada com patamar (Figura 3.1).

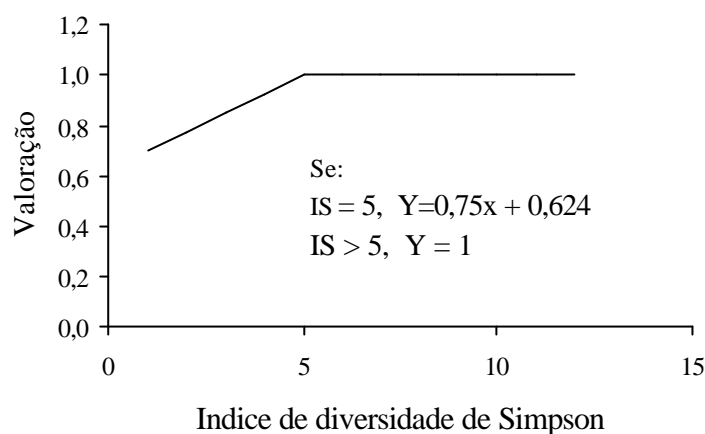


Figura 3.1 - Curva de valoração para o Índice de diversidade de Simpson.

3.2.3.3 Índice carbono-nitrogênio

Os dados de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo foram relativizados (COT_r e NT_r , respectivamente) tomando-se como referência os teores máximos de carbono e de nitrogênio encontrados nas parcelas do experimento. Considerou-se como índice carbono-nitrogênio a média das duas relativizações em cada tratamento.

3.3 Resultados e discussão

O uso de fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo foi avaliado através de um modelo onde foram utilizados três índices ambientais. Deste modelo resultaram figuras de triângulos onde, figuras maiores e mais homogêneas (sem distorções), identificam um melhor aspecto ambiental do uso das fontes de nutrientes. Além da forma do triângulo, as fontes foram comparadas entre si pela área média e seu intervalo de confiança com probabilidade de 90%.

3.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos

Pela avaliação visual, observaram-se poucas diferenças entre as fontes de nutrientes quanto ao aspecto ambiental (Figura 3.2). Entretanto, uma maior diferenciação entre as fontes ocorreu nos índices IRA e ID, com exceção do PCR. Neste sistema, apesar de ter havido uma menor variabilidade entre os índices, os triângulos são menores indicando um pior desempenho das fontes no aspecto ambiental em relação aos demais sistemas de preparo do solo, sendo que os três índices estão comprometidos. Entre os sistemas de preparo do solo, uma maior diferenciação visual das fontes de nutrientes ocorreu no PCO, com os índices variando mais entre as mesmas. Quando se observou as fontes de nutrientes considerando-se todos os sistemas de preparo do solo em conjunto, verificou-se o mesmo comportamento apresentado por elas em cada sistema de preparo. Entre os três índices que compõe o aspecto ambiental do uso das fontes, o IRA foi o que apresentou as menores valorações, sugerindo que todas as fontes apresentam um potencial de risco de dano ao ambiente (limitação). Por outro lado, todas as fontes de nutrientes, incluindo a testemunha (sem aplicação de nutrientes), apresentaram IRA mais baixos e semelhantes. Isto pode ser devido à falta de padrões de referência dos atributos quanto aos limites de dano, não permitindo uma melhor separação das fontes orgânicas de nutrientes.

3.3.2 Avaliação das fontes de nutrientes pelas áreas das figuras

As maiores áreas médias do aspecto ambiental, excluindo-se a testemunha, foram apresentadas de uma maneira geral pelo ELB, AM e EA, variando com o sistema de preparo (Tabela 3.1), ao passo que a menor área foi apresentada pelo ELS (exceto no PCR), constituindo-se na fonte que diferiu significativamente mais vezes nas comparações possíveis entre estas (Apêndice Z). Verificou-se que houve diferenças significativas entre as fontes orgânicas, principalmente quanto à comparação com o ELS e as outras fontes, pois, das 13 comparações significativas entre estas (máximo de 50), 10 comparações incluíram o ELS. Isto indica que o ELS apresentou o pior desempenho quanto ao aspecto ambiental em relação ao seu uso, embora as áreas médias não tenham sido tão baixas. O ELS apresentou maior potencial de dano ao ambiente, o que é ratificado por vários estudos. No entanto, Segnfredo et al. (2003), analisando a presença de coliformes fecais em rios de regiões suínicas no município de Jaborá/SC, verificou que os esterco suínos não foram as únicas fontes

poluidoras dos rios no meio rural. Porém, alerta que o uso do mesmo como fertilizante representa risco de poluição microbiana das águas. Várias são os possíveis efeitos danosos ao ambiente (ar, água e solo) atribuídos aos esterco. Entre eles: lixiviação de nitrato para o lençol freático (Moore et al, 1995; Menzi, 2000), volatilização de amônia (Basso, 2003; Menzi, 2000), acúmulo de metais pesados no solo (King, 1996; Muchovej e Obreza, 1996; Menzi, 2000), produção de metano no armazenamento do esterco (Menzi, 2000), eutroficação das águas superficiais em decorrência do acúmulo de P no solo e transporte de P por escoamento (Sharpley et al., 1995; Menzi, 2000) excesso de sais no solo (Pratt, 1979; Menzi, 2000) e transmissão de patógenos (Pratt, 1979; Mawdsley et al., 1995). Não só o esterco de suínos é considerado impactante ao ambiente, mas também a atividade suinícola em si, como mostra Spies (2003) em seu estudo realizado em Santa Catarina. Nele, o autor concluiu que os sistemas de produção de suínos no estado causam um impacto ambiental 68% maior do que o sistema de produção de aves, quando comparado uma unidade funcional de suínos com uma de aves. Quando se consideram as fontes com os sistemas de preparo em conjunto, apesar de não haver diferenças significativas entre elas, as áreas médias decresceram da testemunha para o EA = ELB, AM e ELS. Mesmo assim, Moore et al. (1995) consideram que, apesar do EA ser um dos melhores fertilizantes orgânicos, altas doses do mesmo podem levar à lixiviação de nitrato para o lençol freático, escoamento de P para corpos de água adjacentes e possivelmente causar elevados níveis de patógenos, bactérias e vírus, nos lagos e rios.

3.3.3 Índices que compuseram o aspecto ambiental

As fontes de nutrientes não se diferenciaram quanto ao ICN, exceto a testemunha que se diferenciou das demais fontes no PCO (Tabela 3.1). A não diferenciação pode estar associada às quantidades de esterco aplicadas e à profundidade do solo considerada, já que maiores acúmulos de MO ocorrem nas camadas superficiais do solo. Por outro lado, Houtin et al. (1997) demonstraram que aumentou o conteúdo de C e N no solo com o aumento das taxas de ELS aplicadas por 14 anos em solo com 22% de argila (aplicações de 0 a 120 m³ ha⁻¹). Segundo os autores, os dados sugeriram que a aplicação de altas doses de ELS por um longo tempo leva a uma maior concentração total de C, N e P no perfil. De uma forma geral, inclusive quando se considera as fontes de nutrientes com todos os sistemas de preparo do solo em conjunto, as fontes orgânicas de nutrientes apresentaram ICN mais altos do que a testemunha e o AM, sugerindo que a adição dos esterco tendeu a aumentar o ICN no solo.

Entretanto, quando em áreas sob pastagem natural no RS e com a retirada da matéria seca pelos animais, mesmo após 28 aplicações de esterco de suínos durante 4 anos com doses de até $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, os teores de C e N não foram alterados no solo (Ceretta et al. 2003).

Quanto ao ID, houve pouca diferenciação entre as fontes de nutrientes (Tabela 3.1), pois somente 14 das 50 comparações possíveis foram diferentes estatisticamente (Apêndice Z). O EA, que apresentou os maiores valores entre as fontes orgânicas, e o ELS que na maioria das vezes apresentou os menores valores, foram significativamente diferentes entre si nos sistemas de preparo PD, PCO e PCQ. Esta pouca diferenciação pode ser devido à época de avaliação da mesofauna que foi realizada em uma única vez, aproximadamente seis meses após a aplicação das fontes de nutrientes e do preparos. Petersen (2002) verificou uma alta redução no número de colêmbolos uma semana após a aplicação dos tratamentos de preparo do solo. Já, Bandyopadhyaya et al. (2002) estudando o efeito de alguns fatores físicos e práticas agrícolas em colêmbolos, verificaram que a aplicação de esterco induziu um aumento na população dos mesmos, porém a sazonalidade climática e o tipo de cultura exerceram maior efeito na população.

As fontes de nutrientes se diferenciaram entre si quanto ao IRA (Tabela 3.1), com 20 comparações das 50 possíveis diferindo significativamente (Apêndice Z). A testemunha geralmente apresentou os maiores IRA (menor risco) quando comparadas às demais fontes, apresentando um menor risco ambiental. Embora ambientalmente isto seja interessante, o solo terá sua capacidade produtiva comprometida ao longo do tempo pela contínua retirada dos nutrientes, comprometendo a capacidade de produção agrícola. Neste estudo, estes aspectos foram abordados no capítulo 2 com ênfase nos atributos CC_v e RB_r . As fontes que aportaram ao solo menores quantidades de nutrientes, especialmente P, Cu e Zn e, conseqüentemente, favoreceram um menor acúmulo dos mesmos no solo foram a testemunha, ELB e AM, apresentando um menor risco ambiental (maior IRA). Com relação às fontes orgânicas de nutrientes, o EA e o ELS não se diferenciaram significativamente em nenhum dos sistemas de preparo do solo, sendo estas as que apresentaram o maior risco ambiental (menor IRA). Isto demonstra que mesmo nas doses utilizadas no experimento, que foram baseadas em estudos realizados com solo e culturas semelhantes aos utilizados neste experimento, houve um risco ambiental presente nas doses empregadas. Os resultados sugerem que o risco ambiental pode crescer com o aumento das doses de esterco aplicadas, principalmente naqueles esterco que apresentarem maiores concentrações de nutrientes. Neste sentido, Chang et al. (1991) verificaram que o acúmulo de Zn, Mo, P total e disponível no solo aumentou com o aumento das taxas de esterco bovino aplicado durante 11 anos. Adicionalmente, Basso (2003) em seu

trabalho conduzido no RS e com aplicação de doses de ELS em Argissolo Vermelho Distrófico arênico, verificou que a recuperação de N, P e K pelas plantas atingiram o máximo até doses intermediárias como $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ demonstrando que doses mais altas são menos eficientes à nutrição das plantas e potencializam os riscos de contaminação do solo e da água. Isso ficou igualmente evidente quando também no RS, Durigon et al. (2002) utilizaram doses de ELS em pastagem natural. Por outro lado, doses mais elevadas de ELS favoreceram a produção de matéria seca, o acúmulo de N, P e K nas plantas e a produtividade dos grãos.

3.3.4 Atributos que compuseram os índices ambientais

As fontes de nutrientes não se diferenciaram quanto aos atributos COT_r e NT_r (Tabela 3.3 e Apêndice Z), em parte possivelmente devido à camada considerada neste estudo, que foi de 0-20 cm, diluindo o acúmulo de carbono orgânico total que ocorreu na superfície do solo (Apêndice G). Entretanto, Ceretta et al. (2003) mostram que é possível ocorrer maior acúmulo de C nos primeiros centímetros de solo com o uso de ELS ao longo dos anos, mas que isso pode ser devido mais a problema de amostragem do que efeito do ELS, porque nesta camada torna-se difícil separar solo de resíduos vegetais em áreas sob pastagem natural, pois o método de combustão úmida para determinar C não diferencia C da MO daquele C dos resíduos vegetais. Consideração sobre a pouca sensibilidade do C orgânico total em estudos de sistemas de manejo é abordada por Leite et al. (2003). De qualquer maneira, espera-se que ocorra efeito semelhante ao observado por Agbenin & Goladi (1997), os quais determinando o efeito dos esterco de propriedades e fertilizantes inorgânicos e sua combinação na qualidade do solo em solo sob cultivo continuado de 45 anos, concluíram que os esterco sozinhos ou em combinação com fertilizantes minerais, foram efetivos na manutenção da qualidade do solo sob savana ao passo que a adição somente de fertilizante mineral foi prejudicial ao solo por causa da depleção da MO. Da mesma forma, Leite et al. (2003) concluíram que a adubação orgânica (composto de palhas de soja e feijão mais esterco de bovino) elevou os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total quando comparados aos sistemas de produção com ou sem adubação mineral, comprovando a importância da adubação orgânica para melhoria e conservação da qualidade do solo. A importância do aporte de resíduos orgânicos no incremento do carbono no solo é visualizada quando se compara a testemunha entre os sistemas de preparo do solo (Tabela 3.3), onde se observou diferenças significativas entre os sistemas PD e PCR.

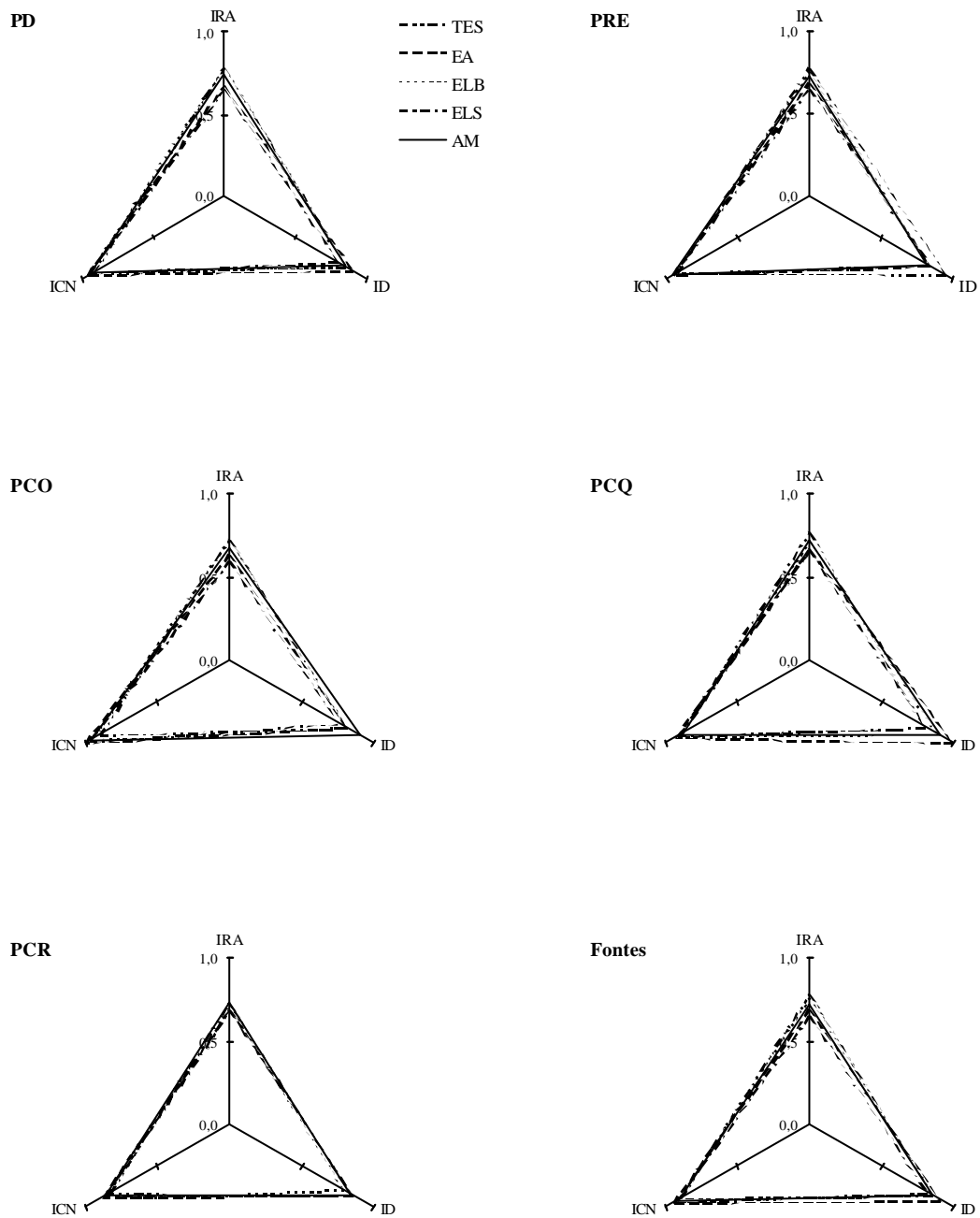


Figura 3.2 - Aspecto ambiental do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelo índice de risco ambiental (IRA), índice de diversidade (ID) e índice de carbono e nitrogênio (ICN).

Tabela 3.1 – Média, limite superior e inferior da área do aspecto ambiental e dos índices de carbono e nitrogênio, risco ambiental e de diversidade, para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.

Preparos	Fontes	Área			Índice de carbono e nitrogênio			Índice de risco ambiental			Índice de diversidade		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	TES	0,925	0,854	0,990	0,911	0,870	0,952	0,768	0,717	0,822	0,855	0,790	0,913
	EA	0,909	0,877	0,940	0,951	0,919	0,981	0,660	0,638	0,679	0,915	0,893	0,935
	ELB	0,952	0,905	1,001	0,954	0,920	0,985	0,770	0,723	0,812	0,849	0,822	0,877
	ELS	0,807	0,760	0,850	0,936	0,907	0,964	0,637	0,628	0,647	0,806	0,744	0,862
	AM	0,914	0,838	0,987	0,929	0,901	0,957	0,750	0,719	0,781	0,842	0,747	0,927
PRE	TES	0,995	0,948	1,042	0,916	0,898	0,936	0,761	0,730	0,793	0,955	0,902	1,000
	EA	0,866	0,821	0,913	0,943	0,927	0,961	0,676	0,644	0,706	0,842	0,788	0,893
	ELB	0,900	0,845	0,954	0,934	0,909	0,961	0,743	0,691	0,792	0,825	0,785	0,869
	ELS	0,826	0,762	0,887	0,941	0,894	0,987	0,634	0,620	0,650	0,832	0,750	0,905
	AM	0,899	0,870	0,927	0,953	0,924	0,979	0,723	0,699	0,747	0,828	0,813	0,843
PCO	TES	0,847	0,786	0,907	0,893	0,858	0,928	0,721	0,693	0,748	0,813	0,739	0,885
	EA	0,832	0,804	0,861	0,989	0,971	1,000	0,623	0,593	0,657	0,810	0,799	0,819
	ELB	0,879	0,828	0,925	0,958	0,941	0,976	0,712	0,695	0,729	0,807	0,740	0,867
	ELS	0,755	0,724	0,786	0,967	0,935	0,995	0,585	0,556	0,614	0,759	0,742	0,775
	AM	0,918	0,883	0,955	0,957	0,935	0,979	0,677	0,653	0,704	0,901	0,868	0,938
PCQ	TES	0,867	0,796	0,935	0,889	0,842	0,938	0,757	0,722	0,796	0,806	0,733	0,877
	EA	0,920	0,854	0,959	0,917	0,889	0,947	0,654	0,646	0,661	0,971	0,875	1,000
	ELB	0,892	0,805	0,982	0,901	0,850	0,951	0,703	0,673	0,732	0,888	0,777	1,000
	ELS	0,793	0,757	0,830	0,902	0,858	0,944	0,650	0,618	0,682	0,802	0,788	0,816
	AM	0,890	0,841	0,940	0,872	0,817	0,927	0,717	0,678	0,757	0,900	0,887	0,913
PCR	TES	0,824	0,757	0,902	0,819	0,761	0,876	0,721	0,661	0,782	0,852	0,792	0,918
	EA	0,833	0,811	0,856	0,869	0,845	0,892	0,679	0,664	0,694	0,861	0,845	0,878
	ELB	0,809	0,766	0,853	0,874	0,830	0,918	0,703	0,684	0,723	0,795	0,753	0,836
	ELS	0,814	0,782	0,846	0,853	0,817	0,888	0,673	0,649	0,698	0,856	0,839	0,873
	AM	0,854	0,807	0,902	0,848	0,795	0,899	0,734	0,696	0,773	0,852	0,835	0,869
Fontes	TES	0,911	0,806	1,017	0,879	0,808	0,942	0,773	0,714	0,835	0,862	0,749	0,981
	EA	0,909	0,821	0,999	0,935	0,887	0,981	0,679	0,638	0,721	0,907	0,796	1,000
	ELB	0,909	0,826	1,000	0,918	0,861	0,970	0,752	0,704	0,801	0,844	0,749	0,952
	ELS	0,808	0,734	0,884	0,916	0,850	0,975	0,641	0,588	0,697	0,821	0,748	0,896
	AM	0,891	0,810	0,968	0,902	0,838	0,961	0,728	0,674	0,787	0,859	0,777	0,930

Tabela 3.2 – Média, limite superior e inferior dos índices que compõem o risco ambiental para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.

Preparos	Fontes	Risco ambiental								
		Índice de cobre - ICu			Índice de zinco - IZn			Índice de fósforo – IPo		
		Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	TES	0,826	0,797	0,854	0,673	0,551	0,798	0,792	0,711	0,879
	EA	0,915	0,857	0,980	0,444	0,419	0,471	0,644	0,611	0,675
	ELB	0,830	0,815	0,845	0,587	0,463	0,722	0,817	0,742	0,888
	ELS	0,720	0,712	0,727	0,309	0,283	0,334	0,690	0,676	0,706
	AM	0,812	0,786	0,837	0,685	0,638	0,735	0,800	0,747	0,851
PRE	TES	0,895	0,813	0,983	0,759	0,579	0,946	0,780	0,742	0,815
	EA	0,860	0,831	0,889	0,530	0,500	0,564	0,693	0,639	0,743
	ELB	0,815	0,794	0,835	0,527	0,498	0,555	0,810	0,724	0,891
	ELS	0,727	0,711	0,741	0,382	0,356	0,409	0,699	0,675	0,725
	AM	0,892	0,847	0,940	0,700	0,583	0,828	0,764	0,731	0,797
PCO	TES	0,782	0,753	0,809	0,658	0,596	0,726	0,787	0,742	0,832
	EA	0,795	0,760	0,826	0,488	0,461	0,515	0,661	0,611	0,717
	ELB	0,840	0,760	0,918	0,544	0,540	0,550	0,790	0,767	0,815
	ELS	0,707	0,681	0,734	0,343	0,318	0,366	0,665	0,617	0,713
	AM	0,842	0,835	0,848	0,688	0,591	0,788	0,738	0,699	0,779
PCQ	TES	0,782	0,761	0,803	0,705	0,637	0,778	0,853	0,795	0,917
	EA	0,804	0,768	0,843	0,564	0,558	0,571	0,710	0,699	0,720
	ELB	0,789	0,748	0,829	0,565	0,549	0,581	0,793	0,743	0,842
	ELS	0,754	0,739	0,768	0,491	0,464	0,519	0,754	0,699	0,805
	AM	0,829	0,773	0,887	0,596	0,545	0,645	0,834	0,770	0,897
PCR	TES	0,793	0,737	0,845	0,735	0,675	0,801	0,783	0,684	0,885
	EA	0,827	0,792	0,858	0,565	0,561	0,569	0,746	0,722	0,770
	ELB	0,770	0,734	0,804	0,547	0,520	0,577	0,796	0,766	0,828
	ELS	0,723	0,693	0,756	0,469	0,410	0,532	0,798	0,760	0,840
	AM	0,785	0,746	0,822	0,657	0,536	0,774	0,857	0,800	0,920
Fontes	TES	0,827	0,745	0,922	0,711	0,562	0,882	0,795	0,695	0,897
	EA	0,846	0,770	0,934	0,505	0,437	0,563	0,690	0,620	0,758
	ELB	0,815	0,745	0,891	0,556	0,467	0,658	0,805	0,728	0,883
	ELS	0,725	0,688	0,762	0,402	0,301	0,509	0,722	0,634	0,813
	AM	0,834	0,761	0,911	0,668	0,543	0,804	0,800	0,713	0,895

Tabela 3.3 – Média, limite superior e inferior do índice de Simpson e dos atributos valorados que compõem o índice de carbono e nitrogênio para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo.

Preparos	Fontes	Índice de Simpson			Índice de carbono e nitrogênio					
		Média	Inferior	Superior	COT _r			NT _r		
					Média	Inferior	Superior	Média	Inferior	Superior
PD	TES	3,077	2,210	3,858	0,952	0,911	0,996	0,871	0,803	0,936
	EA	3,875	3,590	4,146	0,959	0,944	0,976	0,943	0,882	1,000
	ELB	3,007	2,637	3,368	0,978	0,951	1,000	0,929	0,868	0,986
	ELS	2,421	1,595	3,175	0,951	0,931	0,972	0,921	0,866	0,976
	AM	2,903	1,642	4,039	0,948	0,917	0,982	0,909	0,866	0,952
PRE	TES	4,427	3,707	5,172	0,937	0,920	0,957	0,895	0,864	0,930
	EA	2,900	2,185	3,587	0,961	0,940	0,983	0,926	0,903	0,950
	ELB	2,680	2,140	3,267	0,945	0,904	0,983	0,924	0,894	0,954
	ELS	2,772	1,683	3,750	0,967	0,925	1,000	0,914	0,828	0,994
	AM	2,719	2,519	2,920	0,956	0,906	1,000	0,949	0,924	0,976
PCO	TES	2,524	1,527	3,485	0,920	0,903	0,938	0,866	0,800	0,934
	EA	2,475	2,335	2,606	0,988	0,965	1,000	0,991	0,959	1,000
	ELB	2,433	1,541	3,243	0,961	0,943	0,978	0,956	0,928	0,985
	ELS	1,806	1,578	2,012	0,970	0,933	1,000	0,963	0,912	1,000
	AM	3,692	3,249	4,183	0,964	0,942	0,988	0,949	0,914	0,984
PCQ	TES	2,433	1,454	3,372	0,907	0,867	0,949	0,872	0,789	0,959
	EA	5,449	3,342	7,749	0,913	0,891	0,935	0,922	0,869	0,979
	ELB	3,533	2,045	5,020	0,904	0,841	0,963	0,899	0,824	0,980
	ELS	2,375	2,191	2,561	0,886	0,836	0,938	0,917	0,853	0,985
	AM	3,680	3,506	3,856	0,886	0,817	0,950	0,858	0,776	0,936
PCR	TES	3,041	2,244	3,914	0,855	0,807	0,901	0,784	0,680	0,886
	EA	3,164	2,952	3,383	0,865	0,825	0,901	0,873	0,850	0,899
	ELB	2,282	1,723	2,821	0,888	0,832	0,940	0,861	0,795	0,923
	ELS	3,089	2,862	3,315	0,886	0,832	0,942	0,819	0,777	0,861
	AM	3,040	2,807	3,269	0,872	0,805	0,938	0,824	0,751	0,898
Fontes	TES	3,180	1,664	4,765	0,910	0,835	0,979	0,847	0,728	0,954
	EA	3,897	2,299	5,930	0,934	0,863	1,000	0,936	0,868	1,000
	ELB	2,936	1,660	4,375	0,931	0,854	0,997	0,905	0,818	0,981
	ELS	2,627	1,655	3,629	0,927	0,847	1,000	0,905	0,803	1,000
	AM	3,134	2,036	4,079	0,919	0,831	1,000	0,886	0,784	0,972

O IZn foi aquele onde as comparações entre as fontes de nutrientes mais se diferenciaram (Apêndice Z), com 34 comparações significativamente diferentes das 50 possíveis. Os menores valores foram obtidos nas fontes orgânicas de nutrientes, e entre elas, o mais baixo foi encontrado no ELS na maioria dos sistemas de preparo do solo. O ELS se diferenciou praticamente de todas as fontes de nutrientes. O acúmulo de metais pesados no solo pela aplicação de esterco (principalmente Cd, Cu e Zn através do esterco de suínos), é devido à presença dos mesmos na alimentação dos suínos como suplementos vitamínicos (King, 1996), sendo pouco absorvidos pelo trato digestivo dos animais (McLeod & McGregor, 2003). Embora a testemunha e o AM apresentem índices mais altos, impressiona que estes não sejam de maior magnitude, como seria o esperado. Isto pode estar relacionado aos teores relativamente altos encontrados originalmente no solo, principalmente de cobre (Apêndice R). Os sistemas de preparos do solo afetaram significativamente o IZn. O ICu apresentou valores mais altos do que o IZn, pois apresentou menor acúmulo no solo, possivelmente em função da menor concentração nos dejetos, refletindo em menor variação no solo. Entretanto, com o uso de altas doses de esterco de bovinos, Wallingford et al. (1975) encontraram um incremento de Cu extraível no solo, ao contrário do Fe, Na e Mn. Das 20 comparações diferentes, 14 incluíram o ELS (Apêndice Z), sendo que a maior frequência de comparações diferentes foi contra o EA e o AM. As fontes praticamente não se diferenciaram nos sistemas PCQ e PCR.

Com relação às formas lábeis e moderadamente lábeis de P total no solo (IPo), as fontes de nutrientes se diferenciaram significativamente, com 17 comparações das 50 possíveis diferindo entre si (Apêndice Z). As comparações EA-ELB, EA-AM, ELB-ELS, ELS-AM foram as que mais vezes se diferenciaram e o EA foi a fonte que apresentou os menores valores em todos os sistemas de preparo do solo. As quantidades de P adicionadas após os nove anos de aplicação das fontes de nutrientes decresceram na ordem ELS, EA, EB, AM, testemunha (Tabela 1.1). Das 17 comparações diferentes, 7 ocorreram no sistema PD indicando que o não revolvimento do solo acentua o acúmulo do P, diferenciando as fontes que possuem maior concentração deste nutriente. As perdas de P por escoamento são uma das fontes de poluição causadora da eutroficação rios e lagos (Sharpley et al., 1995). Estas perdas são influenciadas pelo volume de água escoado que, por sua vez, depende do tipo de preparo do solo e da disposição do esterco, o que se reflete no perfil de distribuição no solo. Por isso que quando Mueller et al. (1984) aplicaram em superfície altas doses de esterco de bovinos, as perdas de P por escoamento foram altas e as perdas de P foram influenciadas pelo volume de

escoamento dos tratamentos, sendo relativamente mais alta no PD comparadas ao preparo convencional e escarificação.

Vale a pena ressaltar, neste estudo do aspecto ambiental do uso de fontes orgânicas de nutrientes, que não se tem um padrão de referência para alguns atributos ambientais, como por exemplo para os metais pesados, que possam auxiliar a interpretar se os teores encontrados no solo estão próximos a causar um problema ou se já estão sendo realmente um problema, deixando de ser apenas um risco. Ao mesmo tempo em que tem sido difícil atenuar alguns impactos negativos provenientes da atividade agrícola, também tem sido difícil quantificar quais são estes impactos (McLeod & McGregor, 2003).

3.4 Conclusões

As fontes de nutrientes se diferenciaram quanto ao aspecto ambiental, sendo que o esterco líquido de suínos foi a fonte orgânica que apresentou o pior desempenho.

Entre os três índices que compõem o aspecto ambiental, o índice de risco ambiental foi o que apresentou menores valores demonstrando ser o mais limitante no desempenho das fontes.

O maior risco ambiental foi apresentado pelo esterco líquido de suínos e esterco de aves, o qual foi influenciado pelos teores e distribuição de cobre e, principalmente, de zinco no solo quando utilizado esterco líquido de suínos e fósforo quando utilizado esterco de aves.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE CONJUNTA DOS ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E AMBIENTAL DO USO DE FONTES ORGÂNICAS DE NUTRIENTES, ASSOCIADAS A SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO.

4.1 Introdução

O solo é um dos meios mais utilizados na disposição de materiais oriundos das atividades antrópicas e constitui-se em um fator importante na produção agrícola. Para uma produção agrícola satisfatória, na maioria das vezes a adição de nutrientes ao solo é necessária para manter ou melhorar a sua capacidade de prover às plantas os nutrientes necessários. Os esterco, com disponibilidade crescente nas propriedades, são utilizados como única fonte de nutriente ou em combinação com fertilizantes minerais embora, muitas vezes, o manejo destas fontes não têm sido feito de forma adequada, fazendo com que os esterco passem a se constituir em fontes poluidoras do ambiente. Os esterco têm sido utilizados como fertilizantes em diversos sistemas de preparo do solo e, como resultado, seus efeitos sobre os aspectos técnico, econômico e ambiental são influenciados pela forma com o que o solo e culturas são manejados. Nos capítulos anteriores foi demonstrado que, de acordo com o sistema de preparo do solo adotado, o uso de fontes orgânicas de nutrientes pode ter seus efeitos potencializados ou minimizados nos vários aspectos analisados. Por outro lado, o tipo de esterco e as doses empregadas também são fatores que contribuem na magnitude de expressão das vantagens e desvantagens do seu uso. Uma análise mais abrangente do uso das fontes orgânicas, levando em conta conjuntamente aspectos técnico, econômico e ambiental e a comparação entre elas, pode auxiliar na tomada de decisão de como otimizar este recurso, muitas vezes disponível em uma propriedade ou região, considerando-se os três aspectos já estudados.

Os estudos das fontes orgânicas de nutrientes, normalmente estão embasados em atributos particularizados, geralmente com o enfoque técnico e/ou econômico e, sob estes aspectos são realizadas as recomendações do seu uso como fontes de nutrientes. Estudos sobre o aspecto ambiental do uso destas fontes não são recentes, porém se intensificaram há pouco tempo. Dentro de cada aspecto em particular, a possibilidade de agregar, sempre que possível, um número maior de atributos, permite uma visão mais ampla do assunto e possibilita um maior embasamento quanto ao uso das fontes de nutrientes. A avaliação da

sustentabilidade de muitos aspectos da atividade humana, como por exemplo a criação de animais, deve levar em conta as dimensões temporal e espacial bem como as dimensões social, econômica, ambiental e a correlação entre eles (Bellini, 2001). Dimensões estas que se procurou inserir neste estudo e, embora o mesmo esteja dentro da área tecnológica e não contempla o aspecto social, oferece ao agricultor subsídios para o uso racional de um recurso valioso, que muitas vezes é considerado como um problema na propriedade. A forma como o esterco é manejado na propriedade determina sobre quais as vantagens ou limitações serão ressaltadas. Stewart et al. (1991), baseados no conceito de Hornick e Parr, consideram que os processos de melhorias e o processo degradativo no solo sempre ocorrem simultaneamente, sendo que o resultado líquido pode ser positivo ou negativo. Neste sentido, exemplificam que o uso de resíduos orgânicos aumentam a matéria orgânica do solo e o armazenamento de água e reduzem a erosão, mas também podem resultar no acúmulo tóxico de nutrientes ou na sua depleção causada pelo aumento da lixiviação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar as fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo, utilizando-se um modelo de análise que considera conjuntamente os aspectos técnico, econômico e ambiental do uso das mesmas, para possibilitar a tomada de decisão com mais embasamento e critérios por produtores e técnicos.

4.2 Material e Métodos

Para análise conjunta dos aspectos técnico, econômico e ambiental do uso de fontes orgânicas de nutrientes utilizou-se um modelo que está descrito no capítulo 1 – aspecto técnico, cujo objetivo foi agrupar os aspectos técnico, econômico e ambiental, já discutidos separadamente nos capítulos anteriores, e permitir a discussão do uso das fontes de forma mais ampla e integrada. As áreas das figuras das fontes de nutrientes, geradas em cada aspecto separadamente (capítulos 1, 2 e 3), foram transportadas para este capítulo, onde cada vértice do triângulo representa um dos aspectos estudados (técnico, econômico ou ambiental). Detalhes do experimento e dos atributos e/ou índices técnico, econômico e ambientais são encontrados nos materiais e métodos dos capítulos 1, 2 e 3, respectivamente.

No modelo, a análise de risco foi incorporada pelo programa @RISK 4.5 para Excel (www.palisade.com), para se obter o intervalo de área mais provável do conjunto dos aspectos, a 90% de probabilidade. Os dados de entrada do modelo foram a média e o desvio padrão e o valor máximo e mínimo de todos os atributos ou índices envolvidos nos três

estudos, em cada um dos tratamentos. O programa rodou 1000 combinações dos atributos, dentro da faixa de dados obtidos, considerando-se que estes teriam uma distribuição normal. Considerou-se que as áreas foram diferentes estatisticamente quando os intervalos a 90 % de probabilidade não se sobrepuseram entre eles.

Os resultados discutidos neste capítulo foram originados das duas saídas do modelo utilizado para a análise das fontes de nutrientes (figuras e áreas). As figuras deste estudo foram construídas com as áreas dos estudos anteriores (técnico, econômico e ambiental), resultando em uma nova área e em um novo intervalo de área.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Avaliação das fontes de nutrientes através das figuras dos triângulos

O aspecto geral do uso das fontes de nutrientes em cada sistema de preparo do solo utilizado e considerando todos os sistemas de preparo conjuntamente é mostrado na figura 4.1. O desempenho geral das fontes de nutrientes variou com os sistemas de preparo do solo, o que pode ser observado pelos diferentes tamanhos das figuras. No entanto, ocorreu certo equilíbrio entre os aspectos considerados dentro de cada sistema de preparo. Os maiores triângulos foram observados no sistema PD e os menores no PCR. Nos sistemas PCO, PCQ e PCR, as fontes de nutrientes tiveram um desempenho geral menos satisfatório quando comparadas aos sistemas PD e PRE. Naqueles sistemas, embora se apresentem mais ou menos homogêneas quanto à forma, as figuras são menores mostrando que todos os aspectos do uso das fontes de nutrientes estão sendo limitados pelos sistemas de preparo. Os menores triângulos observados nos sistemas PCO e, especialmente PCQ e PCR, sugerem que nestes sistemas as doses aplicadas poderiam ser maiores para melhorar os aspectos técnico e econômico, mas poderia piorar o aspecto ambiental. Por outro lado, em termos de magnitude no eixo do aspecto ambiental, observou-se que mesmo o AM se encontra no mesmo patamar das demais fontes, com exceção do ELS que, de maneira geral, apresentou menores valores. Isto pode estar indicando que o uso das fontes orgânicas em doses recomendadas para fornecimento de nutrientes não apresenta maior risco ambiental do que o uso do AM, exceto para o ELS que apresentou maior risco, principalmente em função da presença do zinco e do cobre (Capítulo 3). Dos três aspectos avaliados, visualmente o ambiental foi o aspecto cujas

fontes de nutrientes menos se diferenciaram, o que pode ser devido à seleção dos atributos e suas valorações, bem como se tratar de um solo com alta capacidade de tamponamento.

Visualmente observou-se que a testemunha apresentou o pior desempenho geral e o EA e o ELS apresentaram um melhor desempenho. Ao se comparar as fontes de nutrientes considerando-se todos os sistemas de preparo conjuntamente, observou-se a mesma tendência verificada para as fontes em cada sistema de preparo, com o EA e o ELS apresentando os maiores triângulos e a testemunha os menores. O EA e o ELS apresentaram um bom desempenho nos aspectos técnico (Capítulo 1) e econômico (Capítulo 2), porém não apresentaram um desempenho bom no aspecto ambiental (Capítulo 4). Entretanto, ao se considerar que a maior figura apresentada pelas duas fontes representa um balanço dos aspectos, vê-se que este balanço é positivo e favorável às duas fontes orgânicas quando comparadas às demais fontes de nutrientes.

4.3.2 Avaliação das fontes de nutrientes pelas áreas das figuras

Ao se analisar a área do aspecto geral do uso das fontes de nutrientes, verificou-se que houve diferenças entre as mesmas (Tabela 4.1), onde 24 comparações das 50 possíveis diferiram entre si (Apêndice AA). Destas comparações, a testemunha foi a que mais vezes se diferenciou das demais fontes. As maiores áreas médias do aspecto geral foram apresentadas pelo EA e pelo ELS, sendo que em nenhum dos sistemas de preparo estas fontes se diferenciaram entre si. Excluindo-se a testemunha, as menores áreas foram apresentadas pelo AM e ELB, os quais não diferiram entre si. Estes resultados indicam que, entre as fontes orgânicas, o EA teve um melhor desempenho geral nos aspectos analisados, diferindo do ELB, porém não do ELS. O ELS diferiu apenas uma vez do ELB. Estes resultados indicam que o EA, além do melhor desempenho técnico normalmente encontrado em outros estudos (Moore Jr. et al., 1995; Araji et al., 2001), também se destaca quando agregados os aspectos econômico e ambiental.

As maiores áreas médias das fontes foram obtidas no sistema PD, seguido do PRE, PCO e PCQ e PCR (Tabela 4.1). Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que sistemas de preparo com menor mobilização do solo e que mantenham os resíduos vegetais tendem a melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo (Derpsch et al., 1991; Merten & Mielniczuk, 1991). Com o passar do tempo ocorre um aumento do potencial produtivo do solo, resultando em maiores produções das culturas e menor necessidade de

aplicação de nutrientes. Estas melhorias se traduzem em melhorias no aspecto econômico e ambiental do uso das fontes de nutrientes. Por outro lado, se a redução das doses das fontes orgânicas de nutrientes se traduzem em menor risco ambiental nos sistemas de preparo conservacionistas, a aplicação das mesmas sem incorporação, resulta em maior volatilização de amônia e um maior risco de perdas por escoamento superficial (Sutton et al, 1994). No entanto, a erosão do solo é a principal via pela qual o P é perdido nos solos cultivados e qualquer prática que reduza a erosão do solo também reduzirá suas perdas (Darst e Murphy, 1994). Segundo os autores, a concentração de P pode ser maior na água de escoamento em sistemas conservacionistas, mas a perda de P total é mais baixa em função de que estes sistemas são efetivos em reduzir o escoamento superficial. Por outro lado, Yli-Halla et al. (1995) afirmam que as perdas de P solúvel ainda podem ser altas mesmo que sejam tomadas medidas contra a erosão do solo. Perdas de nutrientes por escoamento superficial são constatadas em maior magnitude quando precipitações de alta intensidade ocorrerem logo após a aplicação do esterco (Basso, 2003).

As menores áreas médias apresentadas nos sistemas de preparo PCO, PCQ e PCR sugerem que maiores doses destas fontes poderiam ser aplicadas nestes sistemas, com melhoria dos aspectos técnico e econômico das fontes, porém com aumento do risco ou maior grau de incerteza quanto ao aspecto ambiental. As fontes de nutrientes apresentaram um desempenho geral diferente em maior número de vezes nas comparações de uma mesma fonte entre os sistemas PD, PRE e PCO. Isto demonstra que o desempenho geral das fontes orgânicas de nutrientes depende do sistema de preparo do solo utilizado, embora o desempenho do EA e do ELS sempre foi superior ao do ELB, considerando-se as doses utilizadas neste estudo. Poucas vezes houve diferença no desempenho geral da fonte quando a comparação foi efetuada entre os sistemas PCO, PCQ e PCR. Isto demonstra que sistemas de preparo do solo mais intensivos e sistemas de produção que removam os resíduos de colheita ou de toda a planta, requerem maior aporte de nutrientes no sistema para atingir um potencial produtivo satisfatório do solo, que se reflete na produção das plantas. Quando se comparou as fontes de nutrientes considerando todos os sistemas de preparo conjuntamente, verificou-se que somente a comparação testemunha-EA foi diferente.

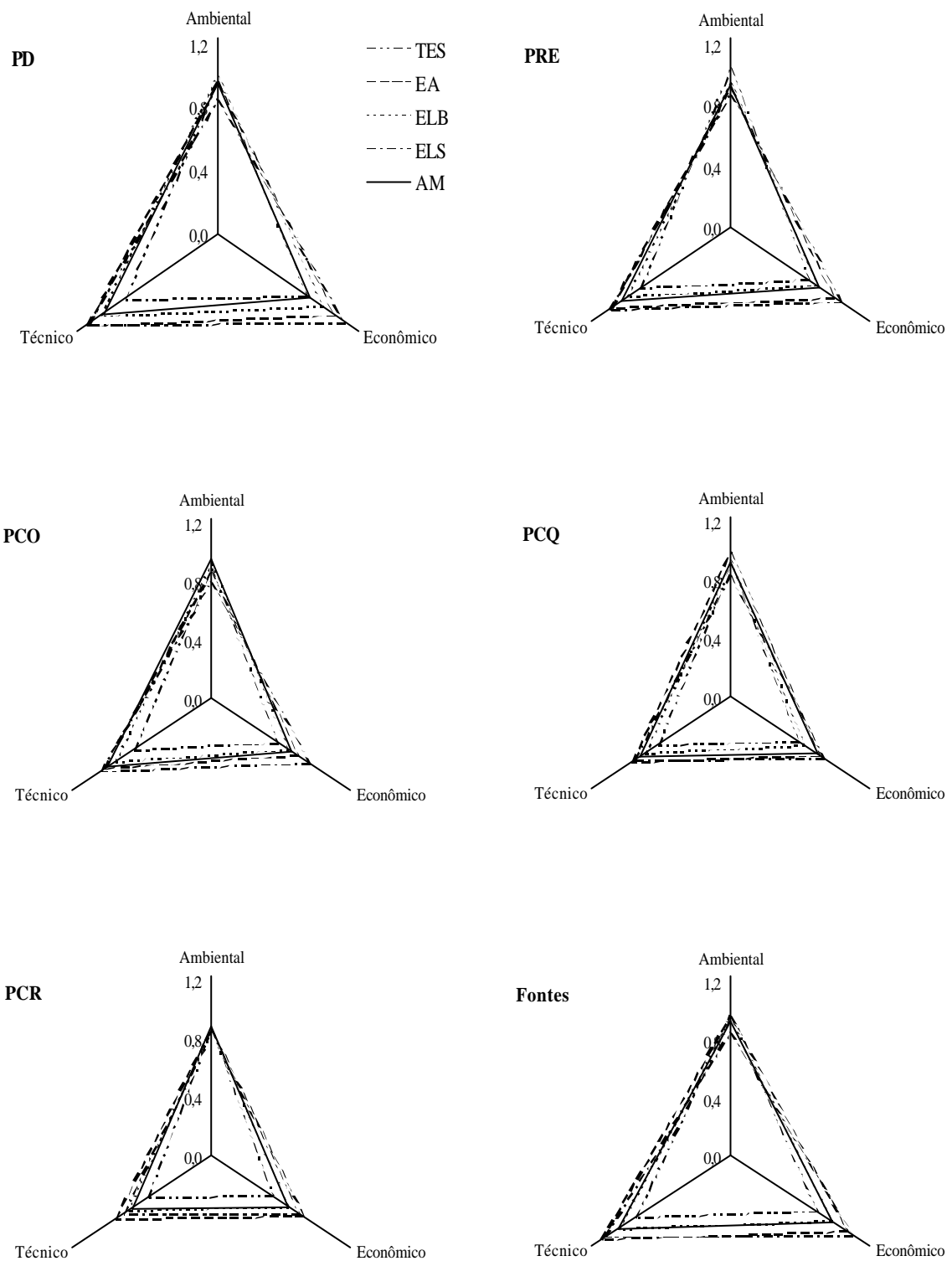


Figura 4.1 - Aspecto geral do uso de fontes de nutrientes para cada sistema de preparo do solo e no conjunto de todos os preparos, composto pelos aspectos técnico, econômico e ambiental.

Tabela 4.1 – Média, limite inferior e superior da área conjunta dos aspectos técnico, econômico e ambiental para as fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo e para o conjunto destes.

Manejo	Fontes	Área		
		Média	Inferior	Superior
PD	TES	0,875	0,777	0,980
	EA	1,287	1,219	1,349
	ELB	1,146	1,067	1,220
	ELS	1,255	1,180	1,331
	AM	1,012	0,914	1,111
PRE	TES	0,840	0,770	0,914
	EA	1,103	1,033	1,172
	ELB	0,908	0,844	0,971
	ELS	1,133	1,053	1,217
	AM	0,961	0,874	1,051
PCO	TES	0,611	0,554	0,672
	EA	0,882	0,810	0,956
	ELB	0,790	0,716	0,876
	ELS	0,921	0,849	0,999
	AM	0,889	0,836	0,941
PCQ	TES	0,608	0,544	0,675
	EA	0,920	0,853	0,982
	ELB	0,723	0,651	0,796
	ELS	0,843	0,758	0,928
	AM	0,827	0,775	0,880
PCR	TES	0,504	0,453	0,561
	EA	0,861	0,809	0,916
	ELB	0,688	0,623	0,755
	ELS	0,772	0,710	0,833
	AM	0,688	0,617	0,753
Fontes	TES	0,816	0,681	0,966
	EA	1,212	1,028	1,394
	ELB	1,004	0,831	1,187
	ELS	1,138	0,963	1,317
	AM	1,007	0,841	1,181

4.4 Conclusões

O esterco de aves e o esterco líquido de suínos foram as fontes orgânicas que apresentaram o melhor resultado na avaliação que considerou conjuntamente os aspectos técnico, econômico e ambiental, enquanto que o esterco bovino e a adubação mineral somente foram melhores que a testemunha.

O desempenho geral das fontes de nutrientes variou com os sistemas de preparo do solo e não se verificou um aspecto mais restritivo dentro de cada sistema.

O uso de sistemas conservacionistas de preparo do solo, principalmente o plantio direto, proporciona melhor ambiente para o uso das fontes de nutrientes, diferente do que acontece nos sistemas que envolvem maior mobilização do solo e remoção ou queima dos resíduos culturais.

CONCLUSÕES GERAIS

Quanto às fontes de nutrientes associadas aos sistemas de preparo do solo.

As fontes de nutrientes promoveram melhorias na maioria dos aspectos analisados e o desempenho foi diferenciado entre os sistemas de preparo. As fontes orgânicas não se diferenciaram entre si quanto ao aspecto técnico após nove anos de uso. Porém, houve diferença no aspecto econômico onde, entre as fontes orgânicas, o esterco de aves e o esterco líquido de suínos foram os que apresentaram o melhor desempenho com relação ao seu uso. Quanto ao aspecto ambiental, o esterco líquido de suínos foi a fonte orgânica que apresentou o pior desempenho.

Na análise conjunta dos aspectos técnico, econômico e ambiental, o esterco de aves e o esterco líquido de suínos foram as fontes de nutrientes que apresentaram o melhor desempenho, superando o esterco líquido de bovinos e a adubação mineral. O desempenho geral das fontes de nutrientes variou com os sistemas de preparo do solo e não se verificou um aspecto mais restritivo/limitante dentro de cada sistema. O melhor desempenho geral das fontes de nutrientes ocorreu nos sistemas de preparo conservacionistas, principalmente no plantio direto, e o pior nos sistemas que envolvem maior mobilização do solo e remoção ou queima dos resíduos culturais, principalmente no sistema de preparo convencional com palha retirada.

Quanto aos atributos e/ou índices utilizados.

Quando as fontes foram analisadas pelos índices que compuseram o aspecto técnico, o esterco de aves apresentou um melhor desempenho quanto ao índice de planta e índice químico do solo, seguido pelo esterco líquido de suínos, adubo mineral e esterco líquido de bovinos. Porém, as fontes de nutrientes não se diferenciaram quanto ao índice físico do solo, mas este variou entre os sistemas de preparo do solo. As diferenças encontradas entre os tratamentos nos atributos valorados foram dependentes da condição química inicial do solo, do sistema de preparo do solo e da quantidade de nutrientes adicionadas ao solo pelas fontes de nutrientes.

Por outro lado, o esterco líquido de suínos e o esterco líquido de bovinos foram as fontes que apresentaram menor variabilidade nos atributos econômicos avaliados, não

havendo um atributo que se destacou dos demais. No aspecto econômico, o uso do atributo custo de uma adubação corretiva mais calagem, embora pouco convencional em uma análise econômica, mostrou ter importante participação na avaliação das fontes de nutrientes quanto ao aspecto econômico.

O índice de risco ambiental foi, entre os índices que compõem o aspecto ambiental, o que apresentou menores valores, demonstrando ser o mais limitante no desempenho das fontes. O maior risco ambiental foi apresentado pelo esterco líquido de suínos e esterco de aves, o qual foi influenciado pelos teores e distribuição de cobre e, principalmente, de zinco no solo quando utilizado esterco líquido de suínos e fósforo quando utilizado esterco de aves.

Quanto ao modelo de análise.

O modelo mostrou-se adequado para a análise técnica do uso das fontes de nutrientes, visto que houve uma boa correlação entre a área do aspecto técnico e o rendimento de grãos acumulado nos nove anos. Embora nos aspectos econômico, ambiental e na análise conjunta dos aspectos o modelo não tenha sido validado nos moldes de como foi no aspecto técnico, os resultados e as conclusões obtidas naqueles aspectos são, de maneira geral, semelhantes aos referenciados na literatura, o que permite afirmar que o modelo de análise desenvolvido é consistente e pode ser utilizado em outros estudos de natureza semelhante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.

Considerando-se os aspectos abordados nos capítulos 1 a 4, bem como a metodologia utilizada na análise dos aspectos do uso de fontes orgânicas de nutrientes, apresentam-se abaixo algumas considerações finais e sugestões para outros trabalhos de natureza semelhante.

Neste trabalho, para agregar os aspectos estudados, optou-se em utilizar um modelo que se denominou de modelo de análise do uso de fontes de nutrientes, adotado para uma melhor visualização de todo o contexto estudado. Sem dúvida, muitas limitações permeiam este estudo porque ele se originou de uma realidade regional, onde alguns atributos foram medidos e, portanto, são objetivos, enquanto que outros são subjetivos. Atributos não utilizados neste trabalho poderão ser adotados em estudos que objetivem representar situações diferentes daquelas que originaram este trabalho, ou que abranjam uma realidade local ou regional que necessitem parâmetros diferentes dos aqui estabelecidos.

A necessidade de atribuir pesos para alguns atributos e valorar os dados experimentais, muitas vezes de forma subjetiva, pode trazer questionamentos com relação aos critérios utilizados neste estudo. Entretanto, este estudo se justifica dentro das possibilidades reais, concretas e disponíveis para a realização de uma análise mais sistêmica do uso de fontes de nutrientes e, também, pela possibilidade de embasar a tomada de decisão quanto ao uso e manejo dos esterco como fonte orgânica de nutrientes.

Através da metodologia utilizada neste estudo, confirmou-se a importância de se buscar a interdisciplinaridade de áreas nas avaliações com visão sistêmica do uso de determinadas práticas agrícolas. Associada à interdisciplinaridade das áreas de conhecimento também é importante o uso de experimentos de longa duração, principalmente no que diz respeito à avaliação de práticas quanto ao aspecto ambiental. A dimensão social não foi avaliada diretamente neste estudo, embora indiretamente este aspecto esteja implícito na aplicação dos resultados gerados com este trabalho, mas deveria ser considerada em trabalhos futuros.

Associando-se o modelo utilizado com os aspectos isolados vislumbrou-se, a partir do aspecto técnico, avançar no desenvolvimento deste modelo e, após os ajustes necessários, utilizá-lo como um modelo de previsão para ser aplicado na estimativa do potencial de

produção das culturas. Poderia, inclusive, ser utilizado regionalmente para estimativa de safra, auxiliando no planejamento e implementação de programas de governo.

No aspecto econômico, verificou-se a importância da utilização de atributos que normalmente não são considerados em uma análise econômica mais formal, e que considerem as melhorias e/ou degradações decorrentes da avaliação das práticas agrícolas como, por exemplo, o custo de adubação mais calagem após nove anos de aplicação dos tratamentos.

No aspecto ambiental, verificou-se a necessidade de estudos para se estabelecer parâmetros ou limites de referência para os atributos, de forma a auxiliar nas valorações que são usadas em modelos de análise semelhantes, tornando-as mais embasadas e menos subjetivas. Entende-se que parâmetros relativos ao solo são mais difíceis de serem estabelecidos do que para a água ou o ar, uma vez que o solo é um ambiente complexo (sistema aberto, com passagem de energia), com reações e inter-relações de natureza diversa e com vários fatores atuando, fazendo com que este apresente um poder tampão às modificações apresentadas.

Na análise conjunta dos aspectos constatou-se que, além dos pontos positivos e negativos na avaliação de uma prática agrícola, é importante, também, o seu desempenho considerando-se vários aspectos conjuntamente (originando uma visão sistêmica dos aspectos analisados), indicando que a análise de forma mais abrangente pode contemplar pontos de vista que podem ser diferentes quando analisados isoladamente.

Com relação aos resultados provenientes dos três aspectos estudados, constatou-se que o pequeno efeito ou a pequena diferenciação entre as fontes orgânicas foi devido às quantidades de nutrientes aplicadas através dos diferentes esterco. As doses utilizadas eram doses de referência na época de instalação do experimento, as quais foram recomendadas em estudos com solos, cultura e clima semelhantes. Maiores diferenciações e/ou efeitos poderiam ter sido obtidos se o experimento envolvesse a aplicação de diferentes doses dos esterco. Por outro lado, o solo utilizado apresentava inicialmente boas condições químicas e físicas, diminuindo a possibilidade de ressaltar possíveis diferenças ou efeitos das fontes. Alterações no manejo dos esterco como, por exemplo, a utilização de cama sobreposta de suínos, também poderia alterar o desempenho destas fontes nos vários aspectos. Apesar do enfoque deste trabalho ter sido as fontes orgânicas de nutrientes, estas foram avaliadas em diferentes sistemas de preparo do solo, os quais afetaram de forma considerável o desempenho das fontes sob todos os aspectos estudados. Os resultados indicaram que o manejo em si (tipo de preparo e presença ou não dos resíduos vegetais) são fundamentais na manutenção de um sistema produtivo ou na sua melhoria. Sistemas de produção que removam as plantas ou os

resíduos vegetais requerem maior “investimento” para se equipararem em termos produtivos com os sistemas que os mantêm na lavoura. Neste sentido, o uso de experimentos com doses de esterco em diferentes sistemas de manejo do solo, poderiam indicar quais as doses ótimas em cada um deles para atingir um nível considerado satisfatório sob todos os aspectos. Verificou-se, ainda, em função do desempenho das fontes orgânicas de nutrientes nos diferentes sistemas de preparo, a necessidade de recomendações diferenciadas levando em conta tipos de preparos e sistemas de produção. Por outro lado, ainda se fazem necessários estudos para melhor definição das doses de esterco líquido de bovinos, em função do baixo rendimento observado com a aplicação desta fonte orgânica, bem como do aumento da sua disponibilidade em função do crescimento da atividade leiteira no estado de Santa Catarina.

Embora as fontes orgânicas de nutrientes, neste caso específico os esterco, sejam tratados como material de descarte, o solo ainda é um meio indicado para receber estes materiais de forma controlada. Os esterco são um recurso importante na propriedade que, quando utilizados nas doses recomendadas apresentam um desempenho técnico e econômico satisfatório. Para o esterco de aves, por exemplo, há uma compensação financeira pelo bom retorno em termos de produtividade das plantas mesmo sendo necessário adquiri-lo regionalmente. O risco ambiental advindo do uso destas fontes existe mesmo com o uso de doses recomendadas para o suprimento de nutrientes às plantas. Porém, também existe um risco ambiental quando do uso inadequado de um fertilizante mineral. O uso racional dos esterco é viável como uma prática agrícola regular, observando-se alguns cuidados e respaldado pelo conhecimento já existente. Recomendações já correntes e divulgadas, tais como aplicar os esterco nas doses recomendadas tendo como base o elemento menos limitante no solo e, dependendo da dose, completando com adubação mineral, aplicar em áreas com pouca ou nenhuma declividade e aplicar preferencialmente nos meses de menor precipitação e em sistemas de cultivos com plantas com grande extração de nutrientes, devem ser observadas. Por outro lado, estudos da capacidade de suporte dos solos em receber estes materiais sem risco de poluição, bem como esforços do setor da indústria na redução ou eliminação dos suplementos alimentares que apresentem metais pesados na sua composição e na descentralização da atividade (principalmente suinícola), são necessários para o melhor uso dos esterco como fontes de nutrientes em solos de uso agrícola.

REFERÊNCIAS

- AGBENIN, J.O.; GOLADI, J.T. Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 63, p.17-24, 1997.
- AJWA, H.A.; TABATABAI, M.A. Decomposition of different organic materials in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 18, p.175-182, 1994.
- ALTMANN, R.; OLTRAMARI, A.C. A agricultura orgânica na região da grande Florianópolis - Indicadores de desenvolvimento. Agosto 2004. Disponível em: <www.icepa.com.br/Publicações/Agricultura_organica.pdf>. Acesso em: 10/01/2005.
- ANGLE, J.S. et al. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer applications. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 22, p. 141-147, 1993.
- ARAJI, A.A.; ABDO, Z.O.; JOICE, P. Efficient use of animal manure on cropland-economic analysis. **Bioresource Technology**, v. 79, p. 179-191, 2001.
- ASSAD, M.L.L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Org.). **Biologia dos Solos do Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 363-431.
- AUWEELE, W.V.; VANDENDRIESSECHE, H. A decision support system for field vegetable crops: focus on fertilization. 2002. Disponível em: <http://www.actahort.org/books/571/571_17.htm>. Acesso em: 21/01/2005.
- BALDISSERA, I.T. Poluição por dejetos de suínos no Oeste Catarinense. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 15, n.1, p. 11-12, 2002.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm, In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S. *et al.*, (Org.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, SBCS, UFLA/DCS, 1999, p. 83-204.
- BANDYOPADHYAYA, I.; CHOUDHURI, D. K.; PONGE, J.F. Effects of some physical factors and agricultural practices on Collembolla in a multiple cropping programme in west Bengal (India). **European Journal Soil Biology**, v.38, p.111-117, 2002.
- BARCELLOS, L.A.R. **Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos**. 1991. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.
- BASSO, C.J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BAVER, L.D.; FARNSWORTH, R.B. Soil structure effects in the growth of sugar beets. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 5, p. 45-48, 1940.

BELLINI, G. Agri-environmental indicators to describe agriculture sustainability. Conference of European statisticians. Working paper n. 21. Ottawa, Canada, 1-4 October 2001. Disponível em: www.unece.org/stats/documents/2001/10/env/wp.21.e.pdf. Acesso em: 01/12/2004.

BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R.Y. Nitrate contamination of groundwater: Sources and potential health effects. **Journal American Water Works Association**, v.84, n.9, p. 85-90, 1992.

BOYD, W.H. Agricultural waste management planning. **Journal of Soil and Water Conservation** Soil and Water Conservation Society (Nutrient Management Special Supplement to the March-April 1994), p. 53-57, 1994.

BUSH, D. L. Economics of manure management. University of Minnesota, Southern Experiment Station, 1999. Disponível em: <http://www.extension.umn/ruralresponse/resource-guide/crops/eomm.html>. Acesso em: 03/02/2003.

CAITHNESS, T. **Alternative sources of nutrient for pasture and cropping**. Australian Nuffield Farming Scholars Association, 2001 Scholarship, Report Completed February 2004. Disponível em: http://www.nuffield.com.au/schreports/2001/Trevor_Caithness.pdf. Acesso em 27/04/2005.

CAMARA NETO, G et al. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3, p. 395-403, 1996.

CAMPOS, A.T.; FERREIRA, W.A. Análise econômica da reciclagem de dejetos bovinos com tratamento biológico aeróbio em sistemas intensivos de produção de leite. **Energia na Agricultura**, v. 13, n.3, p. 31-44, 1998.

CASTRO FILHO, C. Atributos de solo avaliado pelos seus agregados. In: MORAES, M.H.; MULLER, M.M.L.; FOLONI, J. S. S. (Org.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo; sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal/SP, Funep, 2002. p.21-46.

CERETTA, C.A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CHANG, C.; SOMMERFELDT, T.G.; ENTZ, T. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 20, p. 475-480, 1991.

CHASE, C.; DUFFY, M.; LOTZ, W. Economic impact of varying swine manure application rates on continuous corn. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 46, p. 460-465, 1991.

CHOUDHARY, L.D.; BAILEY, L.D.; GRANT, C.A. Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality. **Waste Management & Research**, v. 14, p. 581-595, 1996.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul, EMBRAPA/CNPT, 1995. 224 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS-NRS). NÚCLEO REGIONAL SUL. 2004. **Manual de adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 1 ed. Porto Alegre, SBCS-NRS, 2004. 400p.

CONDON, L.M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 199-207, 1985.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

DARST, B.C.; MURPHY, L.S. Keeping agriculture viable: Industry's viewpoint. **Journal of Soil and Water Conservation** Soil and Water Conservation Society (Nutrient Management Special Supplement to the March-April 1994), p. 8-14, 1994.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn-Alemanha: GTZ:IAPAR, 1991. 272p.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004.

DICK, W.A.; TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, p. 82-85, 1977.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

DURIGON, R. **Esterco líquido de suínos em pastagem natural e características químicas de solo**. 2000. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

DURIGON, R. et al. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa/MG, v.26, p. 983-992, 2002.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1979. Não-paginado.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1999. 412p.

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SUÍNOS E AVES. **Produção de suínos**. Sistema de Produção 2, janeiro 2003 (versão eletrônica). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Suínos/SPSuínos/proteção.html>>. Acesso em: 25/03/2005.

EPAGRI. **Avaliação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2003/2004**. Florianópolis, EPAGRI, 2003. 141p. (Boletim Técnico, 120).

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubação mineral e calcário no rendimento vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 119-124, 1982.

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável no solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 7, p. 161-165, 1983.

ETANA, A. et al. Effects of tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. **Soil & Tillage Research**, v. 52, p. 129-139, 1999.

FREITAS, W.D.S. et al. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n.1, p. 120-125, 2004.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. 653p.

GUILHERME, L.R.G. Poluição do solo e qualidade ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, DF. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC/SBCS, 1999. 1 CD-ROM.

HANKS, R.J.; RITCHIE, J.T. Introduction. In: HANKS, R.J.; RITCHIE, J.T., (Orgs). **Modeling plant and soil systems**. Agronomy n. 31, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1991. p.1-3.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 46, p. 970-976, 1982.

HOUTIN, J.A.; COILLARD, D.; KARAM, A. Soil carbon, nitrogen and phosphorus contents in maize plots after 14 years of pig slurry applications. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 129, p. 187-191, 1997.

HUNTER, C.H.; PERKINS, J.T.; HARDWICK, P. Fecal bacteria in the waters of an upland area in Derbyshire, England: The influence of agricultural land use. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 1253-1261, 2000.

ICEPA/SC - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA. Florianópolis, 2003. Disponível em: <<http://www.icepa.com.br>>. Acesso em: 13/10/2003.

ICEPA/SC - INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA. Secretaria do Estado da Agricultura e Desenvolvimento rural. **Levantamento Agropecuário de Santa Catarina 2002-2003**. Dados preliminares – Fev./2005. 255 p.

ISHERWOOD, K.F. World plant nutrient resources: directions for the next century, In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S. *et al.*, (Org.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, SBCS, UFLA/DCS, 1999. p.123-161.

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: VRIES de, F.W.T.P; TENG, P.S.; METSELAAR, K., (org.). **Systems approaches for agricultural development**. London: Kluwer Academic, 1993. p. 459-471.

JORGE, R.F. et al. Avaliação dos atributos físicos do solo como indicadores da qualidade do solo de cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo. Disponível em: <www.unicep.br/inic2003/trabalhos/epg/5cienciasagrarias/EC5-9.pdf>. Acesso em: 2003.

KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 86, p. 155-156, 2001.

KASPAR, T.C.; EWING, R.P. Rootedge: Software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 932-940, 1997.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. **Size distribution of aggregation**, In: BLACK, C.A. *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Madison, Wisconsin USA, 1965. p. 499-510.

KING, L. **Soil heavy metals** In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Org.). *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa/MG: SBCS/UFV/DPS, 1996. p. 823-836.

KONZEN, A.E. **Aproveitamento de dejetos líquidos de suínos para fertirrigação e fertilização em grandes culturas**. Sete Lagoas:CNPSA, 2003. 11 p. (Circular técnica, 32).

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: **Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World**. Int. Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand, p.175-203, 1991.

LAVELLE, P.; PASHANASI, B. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). **Pedobiologia**, Jena, n.33, p. 283-291, 1989.

LeCOULTRE, T.D. A MetAnalysis and risk assessment of heavy metal uptake in common garden vegetables. Master's Thesis, 2001. Disponível em: <<http://etd-submit.etsu.edu/etd/theses/available/etd-1107101>>. Acesso em: 21/01/2005.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2003.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. In: STEWART, B.A. **Advances in soil science**, v. 1. Springer-Verlag, New York, 1985, p. 277-294.

LIANG, B.C.; GREGORICH, E.G.; SCHNITZER, M. Carbon mineralization in soils of different textures as affected by water-soluble organic carbon extracted from composted dairy manure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 21, p. 10-16, 1996.

LIEBHARDT, W.C. Soil characteristics and corn yield as affected by previous applications of poultry manure. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 5, n.4, p. 459-462, 1976.

LINDQVIST, R.; WESTOO, A. Quantitative risk assessment for *Listeria monocytogenes* in smoked or gravad salmon and rainbow trout in Sweden. 2000. Disponível em: <http://www.slv.se/templates/SLV_Page_4834.aspx>. Acesso em: 20/01/2005

LORANGER, G. et al. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). **European Journal of Soil Biology**, v. 34, p. 157-165, 1998.

MAFRA, N.M.C.; RECATALÀ, L.B.; SÀNCHEZ, J.D. Aplicação de método qualitativo ponderado na avaliação da erosão atual e potencial do solo para fins de planificação de uso: Bom Jesus do Itabapoana (R.J., Brasil) e Sagunto (Valência, Espanha). Disponível em: <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbfga/cdrom/eixo3/3.2/245/245.htm>. Acesso em: 15/01/2005

MARTINS, S.G. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **CERNE**, v. 8, n.1, p. 32-41, 2002.

MATTOS, K.M.C.; MATTOS, A. **Valoração econômica do meio ambiente; uma abordagem teórica e prática**. São Carlos: RiMa, Fapesp, 2004. 148p.

MAWDSLEY, J.L. et al. Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. **Applied Soil Ecology**, v. 2, p. 1-15, 1995.

MAZURAK, A.P. Effects of beef cattle manure on water-stability of soil aggregates. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 41, p. 613-615, 1977.

McGECHAN, M.B.; WU, L. Environmental and economic implications of some slurry management options. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 71, p. 273-283, 1998.

McGRATH, S.P; BROOKES, P.C.; GILLER, K. E. Long-term biological effects of metals after applications of sewage sludge. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 40, p. 320-322, 1987.

McLEOD, A.; MCGREGOR, B. Integrated economic/environmental models: tools for environmental assessments in the agricultural sector. Symposium on Environment & Trade. Draft. 20/02/2003. Disponível em: <<http://www.polyresearch.gc.ca/doclib/McLeod-e.pdf>>. Acesso em: 25/11/2003.

McMURRY, S.W.; COYNE, M.S.; PERFECT, E. Fecal coliform transport through intact soil blocks amended with poultry manure. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, p. 86-92, 1998.

McNEILL, J.R.; WINIWARTER, V. Breaking the sod: Humankind, history, and soil. **Science**, v. 304, p. 1627-1633, 2004.

MENZI, H. Minimising environmental impacts of livestock production through good manure and nutrient management. In: Electronic Forum on Area-Wide Integration of Specialized Crop and Livestock Production. 18th June 3rd August, 2000. Disponível em: <<http://lead.virtualcentre.org/en/ele/awi-2000/2session/2paper.pdf>>. Acesso em: 25/11/2003.

MERLIM, A. O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n.1, p. 57-61, 2005.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 369-374, 1991.

MOORE JR., P.A.; DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N.; WOOD, C.W. Poultry manure management: Environmentally sound options. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, n.3, p. 321-327, 1995.

MUCHOVEJ, R.M.C.; OBREZA, T.A. **Application of organic wastes in agriculture**. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Org.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa/MG: SBCS/UFV/ DPS, 1996. p. 901-914.

MUELLER, D.H.; WENDT, R.C.; DANIEL, T.C. Phosphorus losses as affected by tillage and manure application. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.48, p.899-914, 1984.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v. 27, p. 31-36, 1962.

NUERNBERG, N.J.; STAMMEL, J.G. Rendimento de culturas e características químicas do solo sob diferentes sucessões e adubação orgânicas e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 13, p. 87-93, 1989.

NUERNBERG, N.J.; STAMMEL, J.G.; CABEDA, M.S.V. Efeito da sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica Sul-Rio-Grandense. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 10, p. 185-190, 1986.

NYAKATAWA, E.Z.; REDDY, K.C.; BROWN, G.F. Residual effect of poultry litter applied to cotton in conservation tillage systems on succeeding rye and corn. **Field Crops Research**, v.71, p.159-171, 2001.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA, C.R.V.D. et al. Intelligent decision support system applied to environmental pollution caused by swine manure. In: AGRIBUILDING, 2001, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~13c/artigos/Oliveira01.pdf>>. Acesso em: nov. 2004.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAM, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. (Ed.). **Atlas climáticos digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 1 CD-ROM.

PARR, J.F. et al. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n.1 e 2, p. 5-11, 1992.

PAYRAUDEAU, S.; van der WERF, H.M.G. Environmental impact assessment for a farming region: A review of methods. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.107, p. 1-19, 2005.

PETERSEN, H. Effects of non-inverting deep tillage vs. conventional ploughing on collembolan populations in an organic wheat field. **European Journal of Soil Biology**, v.38, p. 177-180, 2002.

POPP, J.; HOAG, D.; II ASCOUGH, J. Sustainable soil management: A framework for analysis. 2002. Disponível em: <http://www.topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/isco99/pdf/ISCODisc/sustaining_the_global_farm/P117.Popp.pdf>. Acesso em: 20/11/ 2003.

POWER, J.F. Understanding the nutrient cycling process. **Journal of Soil and Water Conservation** Soil and Water Conservation Society (Nutrient Management Special Supplement to the March-April 1994), p. 16-23, 1994.

PRATT, P.F. Management restrictions in soil application of manure. **Journal of Animal Science**, v. 48, n.1, p. 134-143, 1979.

PREZOTTO, M. E.M. Química ambiental e agronomia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill, p. 157-178. 1992.

QUADROS, V.J.D. **Fauna edáfica, associações biológica e atributos econômicos em sistemas de cultivo orgânico de batata, soja, feijão e milho**. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

QUEIROZ, F.M.D. et al. Características químicas do solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.5, p. 1487-1492, 2004.

RANDALL, G.W.; IRAGAVARAPU, T.K.; SCHIMITT, M.A. Nutrient losses in subsurface drainage water from dairy manure and urea applied for corn. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 1244-1252, 2000.

RASSINI, J.B. et al. **Cultivo de alfafa: Sistema de produção, 1**. Janeiro 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Alfafa/SistemaProducaoAlfafa>>. Acesso em: 29/03 2004.

RESENDE, M.; CURI, N.; BERTON, R.S. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros, In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.de. *et al.*, (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo** – vol. 2. Viçosa: SBCS, 2002. p. 593-643.

RISSE, L.M. et al. Land application of manure for beneficial reuse. 2001. Disponível em: <http://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/natlcenter/whitepapersummaries/landapplication.pdf>. Acesso em: 16/12/2004.

RIZZI, N. Índices de qualidade de água. **Sanare**, v.15, 2001. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v15/indqualapag11.html>>. Acesso em: 17/11/2004.

ROSOLEM, C.A. et al. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 115-120, 1992.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, DF. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC/SBCS, 1999. 1 CD-ROM.

SANTOS, J.C.P. et al. Fauna edáfica como bioindicador da qualidade do solo em diferentes sistemas de preparo e cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

SCHERER, E.E. **Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: bases para adubação dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivos de sucessão.** Florianópolis: Epagri, 1998. 49p. (Boletim Técnico, 99).

SCHERER, E.E. Critérios para transporte e utilização dos dejetos suínos na agricultura. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 18, n.1, p. 62-67, 2005.

SCHERER, E.E.; BARTZ, H.R. **Adubação do feijoeiro com esterco de aves, nitrogênio, fósforo e potássio. 2. ed.** Florianópolis: EMPASC, 1984. 15p. (Boletim Técnico, 10).

SCHERER, E.E. et al. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho.** Florianópolis: EMPASC, 1984. 26p. (Boletim Técnico, 24).

SCHERER, E.E. et al. Esterco de aves e nitrogênio em milho nas pequenas propriedades. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 4, n.2, p. 8-11, 1991.

SCHERER, E.E.; AITA, C.; BALDISSERA, I.T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante.** Florianópolis: EPAGRI, 1996. 46p. (Boletim Técnico, 79).

SCHIMITT, D.R. **Avaliação técnica e econômica da distribuição de esterco líquido de suínos.** 1995. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

SEGANFREDO, M.A.; SOARES, I.J.; KLEIN, C.S. Qualidade da água de rios em regiões suinícolas do município de Jaborá SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 11., 2003, Goiânia, GO. **Anais...** Concórdia:Embrapa Suínos e Aves, 2003. 1 CD-ROM.

SEGANFREDO, M. A. Dejetos animais, a dupla face: Benefício e prejuízo. **Suinocultura Industrial**, Porto Feliz, v.26, n.183, p. 14-16, 2004. (Guia Gessulli, 9).

SEGANFREDO, M.A.; GIROTTO, A.F. **Tratamento dos dejetos suínos e seu impacto econômico em unidades terminadoras.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 4p. (Embrapa Suínos e Aves Comunicado Técnico, 375). Disponível em <http://www.cnpsa.embrapa.br/>. Acesso em: 10/03/2005.

SHARPLEY, A.N. et al. Phosphorus transfers from terrestrial to aquatic ecosystems, In: TIESSEN, H. (Org.). **Phosphorus in the global environment (transfers, cycles and management)**. England, 1995. p. 171-199.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SIMARD, R.R. et al. Long-term manure impact on soil nutrient status and surface water quality. 2001. Disponível em: <www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/livestock.opt/papers/simard.pdf>. Acesso em: 01/12/2004.

SIQUEIRA, R. Sistemas de preparo do solo e plantio direto. In: MORAES, M.H.; MULLER, M.M.L.; FOLONI, J. S. S. (Org.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo; sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal/SP, Funep, 2002. p. 88-149.

SOMMERFELDT, T.G.; CHANG, C. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 983-987, 1985.

SOUZA, L.D.S.; SOUZA, L.D.; SOUZA, L.F.D.S. Indicadores físicos e químicos da qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: Estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto/SP. **Anais...** Viçosa:SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

SPIES, A. **The sustainability of the pig and poultry industries in Santa Catarina, Brazil: a framework of change**. 2003. 379 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Natural and Rural Systems Management, University of Queensland, Brisbane, Austrália, 2003.

STEWART, B.A.; LAL, R.; EL-SWAIFY, S.A. Sustaining the resource base of an expanding world agriculture. In: LAL, R & PIERCE, F.J. (Org.). **Soil Management for Sustainability**. Ankeny, Iowa, Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 125-144.

STODDARD, C.S.; COYNE, M.S.; GROVE, J.H. Fecal bacteria survival and infiltration through a shallow agricultural soil: Timing and tillage effects. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, p. 1516-1523, 1998.

STORK, N.E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n.1/2, p. 38-47, 1992.

SUTTON, A.L. Proper animal manure utilization. **Journal of Soil and Water Conservation** Soil and Water Conservation Society (Nutrient Management Special Supplement to the March-April 1994), p. 65-70, 1994.

SUTTON, A.L. et al. **Animal manure as a plant nutrient resource**. Publication ID-101, Purdue University Cooperative Extension Service, Purdue University, W. Lafayette, NY, 1994. 13 p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p.

TIARKS, A.E.; MAZURAK, A.P.; CHESNIN, L. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlot. **Soil Science Society of America Journal**, v. 38, p. 826-830, 1974.

TRIGO E SOJA. **Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**, Porto Alegre, v. 56, p. 4-34, 1981.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Methods of chemical analysis for water and wastes**. Cincinnati: USEPA, 1971.

VALARINI, P.J. et al. Integrated evaluation of soil quality after the incorporation of organic matter and microorganism. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 33, p. 35-40, 2002.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C.M.; WILDNER, L.D.P. Aspectos técnicos e econômicos da erosão em um solo do Oeste Catarinense. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 11, p. 23-28, 1998.

VEIGA, M. et al. Estabilidade de agregados em diferentes condições de energia de desagregação e de umidade antecedente, em um Latossolo Vermelho distrófico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria/RS. **Anais...** Santa Maria:UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

WALLINGFORD, G.W. et al. Effects of beef-feedlot manure and lagoon water on iron, zinc, manganese and copper content in corn and in DTPA soil extracts. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.39, p. 482-487, 1975.

WEIL, R.R.; KROONTJE, W. Physical condition of a Davidson Clay Loam after five years of heavy poultry manure applications. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 8, n.3, p. 387-392, 1979.

WHALEN, J.K. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 962-966, 2000.

WHITE, R.K.; SAFLEY JR., L.M. Optimum land utilization of manure. **Transactions of the ASAE**, v.27, p. 520-524, 1984.

YLI-HALLA, M.; HARTIKAINEN, H.; EKHOLM, P. et al. Assessment of soluble phosphorus load in surface runoff by soil analyses. **Agriculture Ecosystems & Environmental**, Amsterdam, v. 56, n.1, p.53-62, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes, ao longo dos nove anos do experimento (1994 a 2003).

Sistemas de preparo do solo	Fontes de nutrientes	Soja 94/95	Milho 95/96	Feijão 96/97	Soja 97/98	Milho 98/99	Feijão 99/00	Soja 00/01	Milho 01/02	Feijão 02/03
Plantio direto	TES	1442	3637	791	1667	3156	673	1533	3213	760
	EA	1770	6316	2114	2055	5725	1494	2510	8674	2089
	ELB	1486	4728	1489	2038	4371	1492	2700	6240	1274
	ELS	1604	5164	2217	2730	5270	1360	2291	8898	2512
Preparo reduzido	AM	1254	5344	1401	1676	3081	1294	1848	8181	1850
	TES	1506	3844	1063	1885	3376	561	1537	3544	902
	EA	1827	6798	2147	2235	5472	1795	2685	8179	2039
	ELB	1543	5299	1492	2043	3969	1075	2517	5762	1342
Preparo convencional	ELS	1753	5643	2129	2503	5757	1526	2339	7974	2641
	AM	1401	5547	1322	1641	4962	1809	2228	8245	2249
	TES	1451	3377	547	1927	2993	725	2110	3372	409
	EA	1701	4752	1445	2044	4945	1842	2562	8668	1117
Preparo convencional com palha queimada	ELB	1518	4562	930	2038	4533	1535	2589	5730	654
	ELS	1604	5813	1535	2802	5060	1899	2195	8053	1967
	AM	1400	6040	914	1789	5261	2228	2461	8716	1867
	TES	1344	2930	696	1580	3175	823	1744	3080	503
Preparo convencional com palha retirada	EA	1610	5339	1914	2317	5160	2150	2913	7418	1518
	ELB	1380	3788	1249	1739	4209	1522	2415	4301	816
	ELS	1330	5489	1985	2912	4750	1807	3045	6259	2027
	AM	1575	6195	1531	1870	6084	2230	2628	7770	1994
Preparo convencional com palha retirada	TES	1387	2433	530	1397	2581	662	1645	2647	364
	EA	1797	4539	1673	1894	5432	2289	3524	6676	1063
	ELB	1511	3133	1214	1717	4001	1323	2709	3804	626
	ELS	1377	4146	1841	2498	5038	1703	2699	5779	1519
	AM	1515	4999	1167	1810	5459	2109	2397	7056	1593

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE B - Matéria seca das plantas de cobertura de inverno em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes, ao longo dos nove anos do experimento (1994 a 2002).

Sistemas de preparo do solo	Fontes de nutrientes	Triticale/94	Vica/95	Aveia preta/96	Centeio/97	Vica/98	Aveia preta/99	Centeio/00	Vica/01	Aveia preta/02
----- kg ha ⁻¹ -----										
Plantio direto	TES	1778	2931	2742	2433	1527	2938	4480	1773	4533
	EA	2350	2820	4392	3667	3660	5029	7160	3120	6693
	ELB	2008	4158	3575	2820	2407	4309	4387	2947	5640
	ELS	2136	4033	3917	3367	3600	5262	7440	2840	5480
	AM	1551	3391	4300	2687	2667	4894	6000	2467	6040
Preparo reduzido	TES	1971	3869	3008	2820	2707	3291	4827	2587	3773
	EA	1629	3013	3800	3673	3733	3927	5040	2853	6800
	ELB	2176	3821	2233	2513	2320	3660	5027	2520	5640
	ELS	2504	3320	3625	3693	3927	4318	6960	2947	6153
	AM	2241	3781	3900	2713	2547	3662	6013	2800	5480
Preparo convencional	TES	1323	2591	2492	1860	880	2740	3307	2320	3227
	EA	1618	2833	3417	2847	3207	4944	4960	3360	6707
	ELB	1388	3355	3508	2507	1607	3424	6813	2413	3787
	ELS	1670	3613	3600	2967	3420	4304	6040	2787	6093
	AM	1832	3671	3317	1980	2133	4982	7440	2267	5360
Preparo convencional com palha queimada	TES	1688	2251	3408	1980	987	3047	2960	1707	5693
	EA	2223	3591	4175	3300	2793	4515	5227	2973	6160
	ELB	2071	3931	3892	2353	2307	4402	4200	2187	6987
	ELS	1919	2559	4175	3027	4533	3796	5520	2733	5773
	AM	1981	2941	3117	3147	2587	4778	4867	2440	5440
Preparo convencional com palha retirada	TES	1439	2578	2750	2113	1267	1847	3133	1547	3693
	EA	2334	2894	3708	3513	2800	4849	5627	2520	6360
	ELB	2064	2265	2700	3107	1293	3413	5413	2093	5147
	ELS	2096	2407	3683	3060	3107	4060	4573	1867	5493
	AM	1981	2464	3525	2493	2180	4122	3493	1573	4893

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral

APÊNDICE C - Comprimento e distribuição de raízes de milho em quatro profundidades, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
Comprimento de raízes (cm)						
Plantio direto	0-10	1936	1900	1586	1362	1683
	10-20	1237	805	754	763	913
	20-30	949	1017	932	1144	1201
	30-40	542	624	547	761	728
Preparo reduzido	0-10	2051	1400	1532	1520	1113
	10-20	841	1212	1138	1121	1009
	20-30	1159	1021	1024	1147	1210
	30-40	831	877	886	914	950
Preparo convencional	0-10	1506	1026	1014	1037	1437
	10-20	1442	1026	1406	1048	1184
	20-30	939	1050	1104	910	1187
	30-40	451	900	862	610	972
Preparo convencional com palha queimada	0-10	1068	1058	1080	1165	806
	10-20	1284	1230	1122	1211	921
	20-30	761	940	1186	871	999
	30-40	495	539	609	772	939
Preparo convencional com palha retirada	0-10	1073	1154	1345	1106	1280
	10-20	1101	1202	1712	1083	1047
	20-30	634	1416	1064	868	1443
	30-40	308	864	624	699	553
Distribuição das raízes (%)						
Plantio direto	0-10	42	44	41	34	37
	10-20	26	18	20	20	20
	20-30	20	24	25	28	26
	30-40	12	14	14	18	17
Preparo reduzido	0-10	42	31	33	33	26
	10-20	17	26	25	24	24
	20-30	24	23	23	24	28
	30-40	17	20	20	19	22
Preparo convencional	0-10	35	24	21	29	31
	10-20	33	25	31	30	24
	20-30	22	26	27	24	25
	30-40	11	24	20	17	21
Preparo convencional com palha queimada	0-10	29	28	28	30	23
	10-20	36	33	29	29	25
	20-30	21	25	29	22	28
	30-40	14	14	15	19	24
Preparo convencional com palha retirada	0-10	34	25	29	29	28
	10-20	37	25	36	29	23
	20-30	19	31	23	23	35
	30-40	10	19	13	19	13

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE D - pH em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
Plantio direto	0-5	5,1	5,4	5,2	5,0	4,9
	5-10	5,0	5,2	5,2	5,1	4,9
	10-20	5,1	5,1	5,4	5,3	5,2
	20-40	4,8	4,9	5,0	5,1	4,8
Preparo reduzido	0-5	5,3	5,6	5,3	5,3	5,0
	5-10	5,1	5,3	5,2	5,3	4,9
	10-20	5,2	5,3	5,3	5,4	5,0
	20-40	4,9	4,9	4,8	5,1	4,7
Preparo convencional	0-5	5,1	5,5	5,2	5,1	5,0
	5-10	5,1	5,3	5,0	4,9	4,9
	10-20	5,1	5,3	5,2	5,1	5,1
	20-40	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8
Preparo convencional com palha queimada	0-5	5,2	5,4	5,1	5,0	5,0
	5-10	5,1	5,3	5,0	4,8	5,0
	10-20	5,1	5,2	5,0	4,9	5,0
	20-40	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8
Preparo convencional com palha retirada	0-5	5,0	5,4	5,0	4,9	4,9
	5-10	5,0	5,2	5,0	4,8	4,8
	10-20	5,0	5,1	5,1	4,9	4,8
	20-40	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE E - Fósforo disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		-----mg dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	3,1	23,0	4,9	12,8	6,5
	5-10	3,3	6,6	3,7	6,9	4,9
	10-20	3,7	4,2	3,7	4,0	3,7
	20-40	2,7	3,4	2,7	3,8	2,8
Preparo reduzido	0-5	4,2	20,6	4,7	16,7	8,0
	5-10	3,5	8,3	3,6	6,8	5,4
	10-20	3,4	4,3	3,4	4,1	4,0
	20-40	2,9	3,2	3,1	4,2	3,7
Preparo convencional	0-5	4,5	20,5	5,9	20,2	10,3
	5-10	3,6	7,0	5,6	8,8	6,0
	10-20	2,7	5,3	4,2	4,9	4,3
	20-40	3,2	3,3	2,7	3,3	3,3
Preparo convencional com palha queimada	0-5	5,9	11,4	5,0	13,6	6,9
	5-10	5,0	7,6	4,7	6,6	5,5
	10-20	4,0	5,8	3,8	4,3	5,0
	20-40	3,2	3,6	2,8	2,6	3,1
Preparo convencional com palha retirada	0-5	3,6	13,9	4,6	10,8	5,7
	5-10	2,8	5,5	4,9	6,7	3,6
	10-20	3,4	4,2	3,4	4,9	3,1
	20-40	2,6	2,7	2,3	3,0	2,2

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE F - Potássio disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		-----mg dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	136,3	215,0	268,0	98,3	250,7
	5-10	57,7	122,7	170,7	54,3	185,3
	10-20	35,0	60,0	74,0	36,3	97,7
	20-40	34,0	42,7	49,0	32,3	56,7
Preparo reduzido	0-5	159,0	310,0	328,7	188,3	366,3
	5-10	85,7	159,3	233,7	97,7	243,0
	10-20	41,3	73,7	107,0	49,0	150,0
	20-40	40,0	48,3	62,7	48,3	82,0
Preparo convencional	0-5	141,3	263,3	226,0	164,7	304,0
	5-10	104,0	175,3	152,0	88,7	149,0
	10-20	48,3	99,0	78,0	53,0	105,0
	20-40	41,3	40,0	43,0	35,3	51,3
Preparo convencional com palha queimada	0-5	165,0	209,7	221,3	152,3	259,3
	5-10	121,7	166,7	149,3	85,7	180,0
	10-20	71,3	109,0	106,7	69,3	135,3
	20-40	32,7	40,0	37,3	28,3	41,3
Preparo convencional com palha retirada	0-5	95,3	174,7	192,3	106,7	199,0
	5-10	63,7	87,0	115,7	52,0	99,3
	10-20	46,0	50,7	64,0	38,0	46,0
	20-40	26,3	30,7	29,0	25,3	31,3

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE G - Matéria orgânica em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		-----mg dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	3,7	4,0	4,0	3,9	3,9
	5-10	3,3	3,6	3,6	3,6	3,6
	10-20	3,3	3,3	3,4	3,3	3,4
	20-40	3,1	3,2	3,1	3,2	3,1
Preparo reduzido	0-5	3,7	3,9	4,0	3,8	3,9
	5-10	3,4	3,7	3,8	3,7	3,7
	10-20	3,3	3,4	3,5	3,4	3,5
	20-40	3,2	3,3	3,2	3,1	3,2
Preparo convencional	0-5	3,5	4,0	3,7	3,7	4,0
	5-10	3,5	3,9	3,8	4,1	3,9
	10-20	3,4	3,8	3,5	3,5	3,7
	20-40	3,0	3,3	3,2	3,3	3,3
Preparo convencional com palha queimada	0-5	3,4	3,6	3,5	3,5	3,5
	5-10	3,6	3,6	3,7	3,6	3,7
	10-20	3,5	3,7	3,5	3,4	3,6
	20-40	3,1	3,2	3,0	3,0	3,1
Preparo convencional com palha retirada	0-5	3,4	3,6	3,5	3,4	3,5
	5-10	3,6	3,7	3,7	3,4	3,6
	10-20	3,5	3,5	3,5	3,4	3,5
	20-40	3,2	3,3	3,1	3,2	3,2

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE H - Alumínio trocável em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		-----cmol _c dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	0,37	0,07	0,13	0,23	0,63
	5-10	0,40	0,30	0,33	0,30	0,63
	10-20	0,33	0,40	0,20	0,27	0,27
	20-40	1,33	0,97	0,80	0,73	1,17
Preparo reduzido	0-5	0,20	0,00	0,10	0,17	0,47
	5-10	0,33	0,13	0,23	0,30	0,73
	10-20	0,33	0,17	0,23	0,30	0,33
	20-40	1,03	1,17	1,17	0,83	1,33
Preparo convencional	0-5	0,50	0,10	0,37	0,20	0,57
	5-10	0,50	0,17	0,27	0,40	0,57
	10-20	0,47	0,20	0,30	0,37	0,40
	20-40	1,27	1,50	1,40	1,00	1,03
Preparo convencional com palha queimada	0-5	0,40	0,10	0,40	0,50	0,50
	5-10	0,40	0,20	0,63	0,67	0,47
	10-20	0,53	0,23	0,63	0,63	0,53
	20-40	1,80	1,60	1,50	1,57	1,20
Preparo convencional com palha retirada	0-5	0,57	0,10	0,50	0,63	0,73
	5-10	0,77	0,30	0,57	0,90	0,70
	10-20	0,70	0,33	0,63	0,70	0,80
	20-40	2,10	1,63	2,00	1,80	2,40

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE I - Cálculo trocável em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		----- cmol _c dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	6,2	10,3	6,6	7,4	6,3
	5-10	5,1	7,6	6,3	7,4	5,9
	10-20	5,7	6,9	6,6	7,2	6,7
	20-40	3,3	4,7	4,1	5,4	3,8
Preparo reduzido	0-5	6,8	8,9	6,9	7,4	5,9
	5-10	5,6	8,4	6,9	7,7	6,1
	10-20	6,3	7,2	7,1	7,3	6,7
	20-40	4,0	4,4	3,9	5,0	3,7
Preparo convencional	0-5	5,3	9,0	5,3	6,6	5,5
	5-10	5,6	7,0	6,6	6,7	5,7
	10-20	5,3	6,5	6,7	6,5	5,6
	20-40	3,2	3,2	3,3	4,1	3,3
Preparo convencional com palha queimada	0-5	5,4	7,1	5,8	5,6	6,0
	5-10	5,9	6,4	6,1	5,8	6,3
	10-20	5,7	5,9	6,0	5,7	5,5
	20-40	2,8	2,6	3,2	3,5	4,0
Preparo convencional com palha retirada	0-5	5,3	8,1	4,5	4,2	4,5
	5-10	5,5	6,8	4,5	4,1	4,6
	10-20	5,0	6,1	4,7	4,5	4,4
	20-40	3,5	3,0	2,1	2,5	1,8

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE J - Magnésio trocável em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	A.Mineral
		----- cmol _c dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	3,1	3,5	3,4	3,5	2,6
	5-10	2,7	3,0	3,5	3,4	2,6
	10-20	3,2	3,1	3,5	3,5	3,1
	20-40	2,1	2,4	2,4	2,9	2,0
Preparo reduzido	0-5	3,5	3,6	3,5	3,8	2,5
	5-10	3,0	3,5	3,4	3,9	2,8
	10-20	3,4	3,3	3,7	3,7	3,0
	20-40	2,4	2,4	2,3	2,8	2,0
Preparo convencional	0-5	2,8	3,6	2,7	3,5	2,6
	5-10	2,8	3,1	3,2	3,5	2,8
	10-20	2,8	3,2	3,4	3,3	2,9
	20-40	1,9	2,1	2,0	2,4	2,1
Preparo convencional com palha queimada	0-5	2,9	3,1	2,8	2,8	2,8
	5-10	3,3	3,0	3,0	2,7	2,9
	10-20	3,3	3,0	3,2	2,9	2,7
	20-40	1,8	1,7	2,1	1,9	2,3
Preparo convencional com palha retirada	0-5	2,9	3,4	2,7	2,7	2,4
	5-10	3,0	3,2	2,8	2,5	2,5
	10-20	3,0	3,0	2,9	2,6	2,5
	20-40	1,9	1,9	1,6	1,8	1,4

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE K - Densidade do solo (12 a 17 cm), macroporosidade (12 a 17 cm), índice de estabilidade de agregados-IEA (0 a 5 cm) e conteúdo de água disponível-CAD (0 a 40 cm), após nove anos de condução do experimento, em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do Solo	Fontes de nutrientes				
	TES	EA	ELB	ELS	AM
Densidade do solo – g cm ⁻³					
Plantio direto	1,17	1,24	1,22	1,19	1,23
Preparo reduzido	1,24	1,21	1,21	1,15	1,16
Preparo convencional	1,27	1,24	1,30	1,21	1,25
Preparo convencional com palha queimada	1,24	1,22	1,28	1,22	1,28
Preparo convencional com palha retirada	1,25	1,27	1,25	1,21	1,18
Macroporosidade – %					
Plantio direto	7,41	7,98	8,19	8,86	9,08
Preparo reduzido	6,71	9,73	6,89	11,83	10,76
Preparo convencional	5,56	5,63	4,38	6,10	5,39
Preparo convencional com palha queimada	3,85	3,82	3,11	6,00	5,01
Preparo convencional com palha retirada	4,51	3,82	4,73	5,26	6,54
IEA					
Plantio direto	0,55	0,63	0,63	0,60	0,55
Preparo reduzido	0,39	0,54	0,51	0,42	0,40
Preparo convencional	0,42	0,45	0,46	0,51	0,41
Preparo convencional com palha queimada	0,24	0,34	0,28	0,28	0,32
Preparo convencional com palha retirada	0,23	0,31	0,35	0,29	0,22
CAD - mm 40 cm ⁻¹					
Plantio direto	67,4	66,4	75,5	71,4	73,0
Preparo reduzido	70,5	69,7	73,5	69,9	68,3
Preparo convencional	65,4	72,0	70,8	72,5	66,8
Preparo convencional com palha queimada	70,3	71,6	67,8	68,0	64,1
Preparo convencional com palha retirada	70,9	70,9	71,3	70,6	72,3

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE L - Saturação de alumínio no solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		----- % -----				
Plantio direto	0-10	4,3	1,4	2,6	2,6	6,5
Preparo reduzido	0-20	3,1	1,0	2,0	2,6	4,5
Preparo convencional	0-20	5,6	1,5	3,4	3,5	5,2
Preparo convencional com palha queimada	0-20	5,8	2,1	6,4	7,9	6,3
Preparo convencional com palha retirada	0-20	9,0	2,6	7,8	10,1	9,8

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE M - Preços históricos dos insumos utilizados na análise econômica e o número de observações que compunham a série histórica de julho de 1994 a junho de 2003*.

Insumos	Unidade	Preço histórico	Nº. Observações
		----- R\$ -----	
Esterco de aves	t	16,31	108
Calcário granel	t	37,57	99
Cloreto de potássio	sc 50 kg	27,51	108
Super fosfato triplo	sc 50 kg	31,46	108
Uréia	sc 50 kg	27,30	108
Fusiflex	5 L	289,89	84
Decis CE	L	14,77	108
Dipel	500 g	32,23	7
Round up	L	13,30	108
Feno de alfafa	kg	0,46	107
Milho híbrido simples	sc 60	123,55	78
Feijão preto semente	Kg	2,27	65
Soja semente	sc 50	34,50	34
Aveia preta semente	kg	0,65	77
Vica semente	kg	1,91	80
Milho grão	sc 60 kg	13,55	108
Soja grão	sc 60 kg	25,74	108
Feijão preto grão	sc 60 kg	52,69	94
Centeio semente	sc 50 kg	24,13	01

* Preços históricos médios das séries históricas fornecidas pelo Instituto Cepa/SC.

** Os herbicidas Primatop, Pivot, Classic, Fusiflex, os inseticidas Karatê, Talcord e Tamaron e os fungicidas Score, Tiovit e Mertin tiveram seus preços ajustados pelo fator de correção obtido pela divisão do preço em 30/04/2004 pelo preço histórico médio dos produtos Round up, Fusiflex e Decis CE.

APÊNDICE N - Índice SMP em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
Plantio direto	0-5	5,5	5,8	5,7	5,5	5,3
	5-10	5,4	5,6	5,6	5,6	5,2
	10-20	5,5	5,6	5,6	5,7	5,6
	20-40	5,3	5,4	5,4	5,5	5,3
Preparo reduzido	0-5	5,7	6,0	5,7	5,8	5,4
	5-10	5,6	5,9	5,6	5,7	5,4
	10-20	5,6	5,7	5,7	5,7	5,6
	20-40	5,4	5,4	5,4	4,8	5,2
Preparo convencional	0-5	5,5	5,9	5,6	5,6	5,5
	5-10	5,5	5,6	5,5	5,5	5,4
	10-20	5,5	5,7	5,6	5,5	5,5
	20-40	5,3	5,3	5,2	5,4	5,3
Preparo convencional com palha queimada	0-5	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5
	5-10	5,5	5,6	5,6	5,4	5,5
	10-20	5,5	5,6	5,6	5,4	5,5
	20-40	5,1	5,1	5,3	5,2	5,4
Preparo convencional com palha retirada	0-5	5,5	5,8	5,7	5,5	5,5
	5-10	5,5	5,6	5,6	5,3	5,3
	10-20	5,5	5,6	5,5	5,4	5,3
	20-40	5,1	5,2	5,0	5,3	5,0

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE O - Custos variáveis e receita bruta para milho, soja e feijão e custo de uma adubação mais calagem para cinco sistemas de preparo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Fontes	Milho		Soja		Feijão		Custo de uma adubação mais calagem
		Custo variável	Receita bruta	Custo variável	Receita bruta	Custo variável	Receita bruta	
----- R\$ -----								
Plantio direto	TES	690,1	753,2	601,9	663,8	796,0	651,0	76,6
	EA	939,0	1559,4	822,6	905,9	1048,6	1667,9	0,0
	ELB	825,8	1154,7	727,4	889,9	936,8	1245,5	37,8
	ELS	800,6	1455,3	690,5	947,4	913,9	1782,3	26,3
	AM	1107,2	1250,0	785,3	683,3	1010,8	1330,4	101,5
Preparo reduzido	TES	733,3	810,3	650,0	704,8	840,9	739,5	248,2
	EA	978,6	1539,4	871,3	964,8	1093,3	1750,8	151,5
	ELB	865,3	1131,4	773,4	872,7	975,5	1144,2	218,1
	ELS	841,3	1458,5	736,9	943,1	957,8	1843,2	177,8
	AM	1155,2	1411,7	834,5	753,6	998,7	1574,7	233,0
Preparo convencional	TES	815,7	733,4	727,9	784,9	921,9	492,1	279,5
	EA	1057,4	1382,4	944,0	901,9	1167,3	1289,3	180,2
	ELB	950,6	1116,1	848,6	878,8	1057,1	913,1	229,3
	ELS	912,7	1424,7	811,9	943,9	1038,4	1580,9	212,9
	AM	1245,6	1506,9	911,4	808,0	1146,4	1466,5	263,1
Preparo convencional com palha queimada	TES	813,8	691,4	723,6	667,6	925,2	591,9	266,9
	EA	1055,9	1348,8	946,8	978,2	1178,6	1634,1	224,2
	ELB	941,9	925,8	845,4	791,4	1061,6	1049,8	258,2
	ELS	917,3	1242,0	815,5	1042,0	1042,4	1703,4	259,3
	AM	1245,7	1509,3	913,7	868,5	1153,5	1684,7	255,6
Preparo convencional com palha retirada	TES	972,3	1403,4	886,1	1268,8	1090,4	968,0	279,5
	EA	1215,3	2512,6	1112,6	2175,5	1342,9	2350,5	207,9
	ELB	1100,9	1689,9	1011,3	1712,2	1227,2	1737,6	249,4
	ELS	1075,8	2258,0	975,6	1954,9	1204,9	2228,1	282,7
	AM	1400,7	2271,8	1075,6	1779,7	1314,7	2035,9	314,6

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE P – Formas lábeis e moderadamente lábeis de fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo total (Pt) em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fósforo	Fontes de nutrientes				
			TES	EA	ELB	ELS	AM
			----- mg L ⁻¹ -----				
Plantio direto	0-5	Pi	6,5	27,7	7,6	24,2	11,3
		Por	39,3	37,7	32,3	36,5	31,0
		Pt	45,8	65,4	39,9	60,7	42,3
	5-10	Pi	4,8	8,4	4,7	8,1	6,2
		Por	34,4	34,9	29,9	26,8	28,0
		Pt	39,2	43,3	34,6	34,9	34,2
	10-20	Pi	4,2	5,2	4,7	4,6	4,7
		Por	27,5	35,4	25,0	26,6	27,7
		Pt	31,7	40,6	29,7	31,2	32,4
	20-40	Pi	1,9	1,9	2,3	2,8	1,7
		Por	24,4	27,1	21,9	20,1	19,0
		Pt	26,3	29,0	24,2	22,9	20,7
Preparo reduzido	0-5	Pi	7,2	18,4	7,7	24,2	14,2
		Por	35,5	36,8	33,9	24,7	24,4
		Pt	42,7	55,2	41,6	48,9	38,6
	5-10	Pi	5,5	9,2	5,7	11,6	9,6
		Por	29,3	34,6	29,8	38,4	32,8
		Pt	34,8	43,8	35,5	50,0	42,4
	10-20	Pi	5,5	6,4	4,1	5,2	5,4
		Por	31,8	34,5	27,7	29,7	39,4
		Pt	37,3	40,9	31,8	34,9	44,8
	20-40	Pi	2,3	2,8	1,4	3,6	2,4
		Por	23,8	26,2	24,1	24,7	27,9
		Pt	26,1	29,0	25,5	28,3	30,3
Preparo convencional	0-5	Pi	6,7	22,8	7,4	23,6	15,4
		Por	32,6	41,1	32,7	33,5	32,9
		Pt	39,3	63,9	40,1	57,1	48,3
	5-10	Pi	5,5	14,5	7,4	13,5	8,4

		Por	36,3	34,1	31,3	35,7	35,4
		Pt	41,8	48,6	38,7	49,2	43,8
		Pi	4,5	8,0	4,8	6,1	4,8
	10-20	Por	31,1	31,7	33,5	36,7	29,2
		Pt	35,6	39,7	38,3	42,8	34,0
		Pi	2,3	2,4	1,8	3,0	1,9
	20-40	Por	23,5	22,2	24,5	22,7	23,3
		Pt	25,8	24,6	26,3	25,7	25,2
		Pi	6,8	17,1	8,1	15,6	13,7
	0-5	Por	28,2	34,1	30,1	28,1	25,2
		Pt	35,0	51,2	38,2	43,7	38,9
		Pi	6,2	13,1	7,2	11,1	8,3
	5-10	Por	27,4	34,1	32,5	26,9	26,7
		Pt	33,6	47,2	39,7	38,0	35,0
		Pi	5,0	7,0	5,5	6,7	6,0
	10-20	Por	27,6	27,0	28,1	30,4	25,6
		Pt	32,6	34,0	33,6	37,1	31,6
		Pi	1,3	2,2	1,4	2,0	2,0
	20-40	Por	23,0	22,8	19,2	20,5	19,7
		Pt	24,3	25,0	20,6	22,5	21,7
		Pi	5,5	13,1	8,2	14,6	8,5
	0-5	Por	31,8	30,9	31,0	26,0	28,1
		Pt	37,3	44,0	39,2	40,6	36,6
		Pi	4,8	10,3	8,5	8,5	7,0
	5-10	Por	39,3	32,6	28,1	30,4	28,0
		Pt	44,1	42,9	36,6	38,9	35,1
		Pi	4,3	6,6	6,1	6,3	4,6
	10-20	Por	32,0	30,2	30,0	26,1	27,2
		Pt	36,3	36,8	36,1	32,4	31,8
		Pi	1,4	1,5	1,9	2,0	1,6
	20-40	Por	19,9	20,8	18,0	17,4	20,1
		Pt	21,3	22,4	19,9	19,4	21,7

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE Q - Zinco disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		----- mg dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	1,53	7,33	3,00	20,70	1,80
	5-10	1,83	1,93	1,10	7,00	0,73
	10-20	0,53	0,80	2,67	1,77	0,60
	20-40	0,63	0,73	1,13	2,27	0,80
Preparo reduzido	0-5	1,97	4,33	4,03	13,57	2,00
	5-10	1,13	2,57	2,47	7,30	0,97
	10-20	0,63	1,07	1,13	3,73	1,23
	20-40	0,47	0,60	0,60	2,50	0,63
Preparo convencional	0-5	1,87	5,40	4,03	15,20	1,77
	5-10	1,60	3,10	2,33	8,13	1,60
	10-20	1,10	2,17	1,83	3,13	0,57
	20-40	1,03	1,03	1,17	1,30	0,63
Preparo convencional com palha queimada	0-5	1,27	3,03	2,87	6,20	1,70
	5-10	1,33	2,57	2,40	3,63	1,53
	10-20	1,00	1,70	2,03	2,73	1,53
	20-40	0,70	1,23	0,83	1,73	1,40
Preparo convencional com palha retirada	0-5	1,07	3,23	3,43	8,83	1,70
	5-10	0,93	2,07	2,63	7,27	2,23
	10-20	0,90	1,43	2,03	3,43	1,17
	20-40	0,57	1,17	1,77	3,87	1,73

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE R - Cobre disponível em quatro profundidades do solo, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Profundidade (cm)	Fontes de nutrientes				
		TES	EA	ELB	ELS	AM
		----- mg dm ³ -----				
Plantio direto	0-5	4,07	3,80	5,03	9,87	5,30
	5-10	4,60	4,43	5,00	6,97	5,63
	10-20	5,00	4,27	4,60	4,80	5,07
	20-40	4,57	3,93	4,83	4,47	4,77
Preparo reduzido	0-5	4,60	3,87	4,90	8,60	4,47
	5-10	4,27	4,47	4,97	7,20	3,93
	10-20	4,57	4,47	5,60	6,03	4,17
	20-40	4,17	4,63	4,63	5,70	4,13
Preparo convencional	0-5	5,20	4,20	5,77	10,00	5,23
	5-10	5,33	5,13	5,17	8,07	5,57
	10-20	5,90	5,43	5,10	5,83	4,73
Preparo convencional com palha queimada	20-40	5,50	5,33	4,17	4,43	3,90
	0-5	4,97	4,67	5,93	7,10	5,40
	5-10	5,90	5,30	5,67	6,07	5,43
	10-20	6,07	5,43	6,13	6,20	5,43
Preparo convencional com palha retirada	20-40	5,37	5,67	4,90	5,27	4,60
	0-5	5,70	4,27	6,00	8,27	5,93
	5-10	5,83	5,03	5,20	8,37	6,00
	10-20	5,60	4,90	6,13	7,53	5,73
	20-40	5,30	4,80	5,63	6,07	5,23

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE S - Número de organismos da mesofauna edáfica, após nove anos de condução do experimento, para cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Ordem	Fontes de nutrientes					
		TES	EA	ELB	ELS	AM	
----- Nº. organismos por amostra composta -----							
Plantio direto	Colembolla	8,0	15,3	17,3	18,7	9,3	
	Oligochaeta	27,3	17,7	53,7	54,3	39,0	
	Coleoptera	1,7	3,7	2,7	1,0	1,7	
	Acarina	5,3	30,7	37,3	19,0	11,3	
	Hymenoptera	6,7	16,0	2,3	10,0	6,7	
	Homoptera	0,3	0,3	2,7	0,0	1,0	
	Diptera	0,0	0,0	0,7	0,3	0,7	
	Isoptera	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	
	Aranae	0,3	0,7	0,7	0,0	0,0	
	Chiloptera	0,0	0,0	0,3	0,0	1,0	
	Gastropoda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Orthoptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Diplopoda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Crustacea	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Zoraptera	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	
	Preparo reduzido	Colembolla	11,0	5,3	16,3	3,7	10,3
		Oligochaeta	13,3	23,0	68,3	37,7	32,3
Coleoptera		2,3	1,3	3,0	2,0	0,7	
Acarina		12,3	19,0	25,3	14,7	14,0	
Hymenoptera		7,7	1,3	5,7	2,7	11,3	
Homoptera		1,3	0,3	0,0	1,3	0,7	
Diptera		0,0	0,7	0,3	1,0	1,0	
Isoptera		0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	
Aranae		0,7	0,7	0,3	0,0	0,0	
Chiloptera		0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	
Gastropoda		0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	
Orthoptera		1,7	0,3	0,3	0,0	0,0	
Diplopoda		0,0	0,3	0,0	1,3	0,0	
Crustacea		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Zoraptera		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Preparo convencional		Colembolla	17,7	11,7	7,0	13,0	24,3
		Oligochaeta	35,7	46,0	27,0	68,3	26,3
	Coleoptera	2,7	1,7	2,0	1,7	5,0	
	Acarina	7,7	19,0	11,3	13,0	14,3	
	Hymenoptera	2,0	2,0	1,0	0,0	2,7	
	Homoptera	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	
	Diptera	0,3	0,7	0,3	0,0	0,7	
	Isoptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	
	Aranae	1,0	0,0	0,3	0,7	0,0	
	Chiloptera	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Gastropoda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Orthoptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Diplopoda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Crustacea	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Zoraptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Colembolla	38,0	6,7	10,7	34,3	9,0	
	Oligochaeta	8,3	13,0	19,0	35,0	5,3	
Coleoptera	3,3	0,7	3,3	2,0	2,7		

Preparo convencional com palha queimada	Acarina	10,7	9,7	6,0	18,3	12,3
	Hymenoptera	0,3	3,7	0,3	0,3	0,7
	Homoptera	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0
	Diptera	0,7	1,0	0,0	0,0	0,3
	Isoptera	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
	Aranae	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
	Chiloptera	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
	Gastropoda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Orthoptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
	Diplopoda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Crustacea	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Zoraptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Colembolla	22,0	9,0	13,0	26,0	12,0
	Oligochaeta	21,0	11,3	25,7	18,0	16,7
	Coleoptera	2,0	1,7	2,7	3,3	3,0
	Preparo convencional com palha retirada	Acarina	7,3	10,3	18,3	14,0
Hymenoptera		3,0	0,3	1,0	1,3	3,0
Homoptera		0,7	0,3	0,0	0,7	0,3
Diptera		0,3	0,7	0,0	0,7	0,0
Isoptera		0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Aranae		0,0	0,3	0,0	0,0	0,3
Chiloptera		0,0	0,3	0,0	0,3	0,3
Gastropoda		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orthoptera		0,3	0,0	0,0	0,0	0,7
Diplopoda		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Crustacea		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zoraptera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE T - Carbono orgânico total e nitrogênio total do solo na profundidade de 0-20 cm, após nove anos de condução do experimento, em cinco sistemas de preparo do solo e cinco fontes de nutrientes.

Sistemas de preparo do solo	Fontes de nutrientes	Carbono orgânico total	Nitrogênio total
		----- C kg ⁻¹ -----	----- % -----
Plantio direto	TES	21,20	0,18
	EA	21,63	0,19
	ELB	22,02	0,19
	ELS	21,45	0,19
	AM	21,23	0,18
Preparo reduzido	TES	21,05	0,18
	EA	21,65	0,19
	ELB	21,52	0,19
	ELS	21,86	0,19
	AM	21,61	0,19
Preparo convencional	TES	20,79	0,17
	EA	22,15	0,20
	ELB	21,60	0,19
	ELS	22,01	0,19
	AM	21,73	0,19
Preparo convencional com palha queimada	TES	20,23	0,17
	EA	20,65	0,18
	ELB	20,48	0,18
	ELS	19,88	0,18
	AM	20,10	0,17
Preparo convencional com palha queimada	TES	19,45	0,16
	EA	19,65	0,17
	ELB	20,22	0,17
	ELS	19,87	0,17
	AM	19,67	0,17

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE U - Formulário utilizado para estimar o risco ambiental das fontes de nutrientes mediante pesquisa de opinião.

As fontes de nutrientes podem ter diferentes impactos no ambiente. Indique, em sua opinião, o impacto ambiental em cada fonte, utilizando a seguinte escala: Zero (sem impacto ambiental) a 100 (impacto ambiental muito grande).

Impacto ambiental quanto à obtenção e uso das fontes de nutrientes	Sem aplicação de nutrientes e c/ cultivo	Esterco de aves	Esterco líquido de bovinos	Esterco líquido de suínos	Adubo mineral
1. Quanto ao risco de degradação das propriedades químicas, físicas e biológicas.					
2. Quanto ao risco de comprometimento da qualidade da água no meio rural e urbano.					
3. Quanto ao número de problemas ocasionados pelo uso dos produtos avaliados. Problemas: metais pesados, coliformes fecais, eutroficação, DBO, etc.					
4. Quanto ao gasto de energia fóssil até sua produção.					
5. Quanto às externalidades (outras que não acima). Ex: Outras poluições ambientais até chegar o momento de uso dos esterco/Adubo mineral.					

APÊNDICE V - Formulário utilizado para estimar o risco ambiental dos sistemas de preparos de solo mediante pesquisa de opinião.

Os diferentes sistemas de preparos do solo têm, possivelmente, impactos diferentes no ambiente. Indique, em sua opinião, o impacto ambiental em cada tipo de preparo do solo utilizando a seguinte escala: Zero (impacto ambiental muito grande) a 100 (sem impacto ambiental).

Impacto ambiental dos sistemas de preparos do solo	Sem preparo (Plantio direto)	Preparo reduzido (1 escarificação + 1 gradagem)	P. convencional (PCO) (1 aração + 2 gradagens)	PCO c/resíduos queimados	PCO c/resíduos removidos
1. Quanto ao risco de erosão do solo.					
2. Quanto ao risco de escoamento superficial (água + nutrientes).					
3. Quanto ao consumo de combustível fóssil.					
4. Quanto ao risco de degradação da qualidade do solo.					
5. Quanto ao uso de agroquímicos, principalmente herbicidas .					
6. Quanto às externalidades do uso destes preparos. Ex: Outras poluições ambientais até chegar o momento de se efetuar o preparo do solo (indústria de máquinas=poluição atmosférica, consumo de petróleo= borracha, óleo, etc.).					

APÊNDICE W - Pontuação média obtida nas perguntas dos formulários utilizados para estimar o risco ambiental das fontes de nutrientes e dos sistemas de preparo de solo, mediante pesquisa de opinião¹.

Perguntas	Fontes de nutrientes				
	TES	EA	ELB	ELS	AM
P1	44	27	30	42	45
P2	14	41	49	72	42
P3	-	42	42	71	34
P4	-	33	23	33	80
P5	-	32	26	44	55
Média	29	35	34	52	51

	Sistemas de preparo do solo				
	Plantio direto	Preparo reduzido	Preparo convencional	Preparo convencional com palha queimada	Preparo convencional com palha retirada
P1	11	43	76	85	84
P2	23	38	68	77	76
P3	27	48	77	78	78
P4	12	37	67	82	78
P5	59	50	51	54	55
P6	33	45	63	72	70
P7	30	46	66	73	68
Média	28	44	67	74	73

¹ Detalhes das perguntas e escala de pontuação ver os apêndices U (fontes de nutrientes) e V (preparos dos solo).
 Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral.

APÊNDICE X - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no aspecto técnico e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo considerando-se o total de vezes.

Area/índice/atributo	Fontes	Fontes de nutrientes ¹				Total ¹	Sistemas de preparos do solo				
		EA	ELB	ELS	AM		PD	PRE	PCO	PCQ	PCR
Área do aspecto técnico	TES	5	2	5	3	18	3	4	3	3	5
	EA		1	0	1						
	ELB			1	0						
	ELS				0						
Índice de planta	TES	5	4	5	2	23	5	4	5	4	5
	EA		3	0	1						
	ELB			2	1						
	ELS				0						
Comprimento das raízes - CR _r	TES	1	1	0	1	4	0	0	0	0	4
	EA		0	1	0						
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Distribuição das raízes - DR _v	TES	3	1	4	4	21	4	4	5	3	5
	EA		1	1	0						
	ELB			2	2						
	ELS				3						
Massa seca das plantas de cobertura - MS _r	TES	5	4	5	2	23	5	4	4	5	5
	EA		3	0	2						
	ELB			2	0						
	ELSS				0						
Índice físico do solo	TES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EA		0	0	0						
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Macroporosidade - mac _v	TES	0	0	1	2	7	0	4	0	0	3
	EA		0	0	1						
	ELB			1	2						
	ELS				0						
Densidade do solo - ds _v	TES	1	0	1	0	4	1	2	1	0	0
	EA		0	0	0						
	ELB			2	0						
	ELS				0						
Conteúdo de água disponível - CAD _r	TES	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	EA		1	0	0						
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Índice de estabilidade dos agregados em	TES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EA		0	0	0						
	ELB			0	0						

água – IEA _r	ELS				0						
Índice químico do solo	TES	5	2	4	2						
	EA		4	3	5	30	9	6	8	3	4
	ELB			3	0						
	ELS				2						
pH _v	TES	2	0	0	1						
	EA		1	3	4	13	2	3	4	1	3
	ELB			0	2						
	ELS				0						
P _v	TES	5	1	4	2						
	EA		4	1	2	27	9	6	6	4	2
	ELB			4	1						
	ELS				3						
K _v	TES	4	5	0	5						
	EA		1	4	1	29	6	7	7	6	3
	ELB			4	1						
	ELS				4						
MO _v	TES	2	3	3	3						
	EA		0	1	0	12	4	2	4	0	2
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Saturação Al- m _v	TES	3	0	0	1						
	EA		1	1	4	12	4	2	2	0	4
	ELB			0	1						
	ELS				1						
(Ca+Mg) _v	TES	3	0	1	0						
	EA		1	1	4	12	4	3	2	0	3
	ELB			0	0						
	ELS				2						
						236	57	51	51	29	48

¹ O número de comparações é 5 dentro de cada fonte e 50 no total para cada atributo, índice ou área.

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS=Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

APÊNDICE Y - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no aspecto econômico e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo considerando-se o total de vezes.

Área/atributo	Fontes	Fontes de nutrientes ¹				Total ¹	Sistemas de preparo do solo				
		EA	ELB	ELS	AM		PD	PRE	PCO	PCQ	PCR
Área do aspecto econômico	TES	5	4	5	3	35	8	7	8	6	6
	EA		5	1	3						
	ELB			4	2						
	ELS				3						
Custo adubação mais calagem - CC _v	TES	5	2	1	1	25	7	3	9	2	4
	EA		4	3	4						
	ELB			0	3						
	ELS				2						
Custos variáveis - CV _v	TES	5	5	5	5	48	10	9	10	9	10
	EA		5	5	4						
	ELB			4	5						
	ELS				5						
Receita bruta - RB _v	TES	5	5	5	5	33	8	6	7	7	5
	EA		5	0	1						
	ELB			4	2						
	ELS				1						
						141	33	25	34	24	25

¹ O número de comparações é 5 dentro de cada fonte e 50 no total para cada atributo ou área.

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

APÊNDICE Z - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no aspecto ambiental e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo considerando-se o total de vezes.

Área/índice/ atributo	Fontes	Fontes de nutrientes ¹				Total ¹	Sistemas de preparo do solo				
		EA	ELB	ELS	AM		PD	PRE	PCO	PCQ	PCR
Área do aspecto ambiental	TES	1	0	3	1	13	3	3	5	2	0
	EA		0	3	1						
	ELB			2	0						
	ELS				2						
Índice de risco ambiental	TES	4	0	4	0	20	6	4	5	4	1
	EA		3	0	3						
	ELB			3	0						
	ELS				3						
Índice de zinco - IZn	TES	5	4	5	0	34	6	8	9	6	5
	EA		1	5	3						
	ELB			4	2						
	ELS				5						
Índice de cobre - ICu	TES	1	0	3	1	20	7	5	6	1	1
	EA		1	4	2						
	ELB			3	1						
	ELS				4						
Índice de fósforo - IPo	TES	3	0	3	0	17	7	2	4	3	1
	EA		3	1	3						
	ELB			2	0						
	ELS				2						
Índice de carbono e nitrogênio	TES	1	1	1	1	4	0	0	4	0	0
	EA		0	0	0						
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Nitrogênio - NT _r	TES	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	EA		0	0	0						
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Carbono - COT _r	TES	1	1	0	1	3	0	0	3	0	0
	EA		0	0	0						
	ELB			0	0						
	ELS				0						
Índice de diversidade	TES	1	1	0	2	14	2	3	4	3	2
	EA		2	3	1						
	ELB			1	1						
	ELS				2						
						126	31	25	41	19	10

¹ O número de comparações é 5 dentro de cada fonte e 50 no total para cada atributo, índice ou área.

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS= Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.

APÊNDICE AA - Número de vezes em que comparações entre fontes de nutrientes, tomadas duas a duas, foram diferentes estatisticamente entre si no conjunto dos aspectos e o número de vezes em que as diferenças entre as fontes ocorreram em cada sistema de preparo do solo considerando-se o total de vezes.

Área	Fontes	Fontes de nutrientes ¹				Total ¹	Sistemas de preparo do solo				
		EA	ELB	ELS	AM		PD	PRE	PCO	PCQ	PCR
Conjunto dos aspectos	TES	5	3	5	3	24	5	5	4	4	6
	EA		3	0	2						
	ELB			1	0						
	ELS				2						

¹ O número de comparações é 5 dentro de cada fonte e 50 no total.

Legenda: TES=Testemunha (sem aplicação de nutrientes); EA=Esterco de aves; ELB=Esterco líquido de bovinos; ELS=Esterco líquido de suínos; AM=Adubo mineral; PD=Plantio direto; PRE=Preparo reduzido; PCO=Preparo convencional; PCQ=Preparo convencional com palha queimada; PCR=Preparo convencional com palha retirada.