

Produtividade e Lixiviação de Nitrato em uma Lavoura de Milho de Sequeiro Usando Dejeito de Suíno e Adubação Mineral como Fonte de Nitrogênio



ISSN 1679-0154
Outubro, 2013

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 70

Produtividade e Lixiviação de Nitrato em uma Lavoura de Milho de Sequeiro Usando Dejeto de Suíno e Adubação Mineral como Fonte de Nitrogênio

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Denise Freitas Silva
Alvaro Vilela Resende
Axel Garcia y Garcia
Tales Antônio Amaral
Jéssica Sousa Paixão

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: cnpms.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Sidney Netto Parentoni
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau
Membros: Dagma Dionísia da Silva, Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro,
Monica Matoso Campanha, Maria Marta Pastina, Rosângela Lacerda
de Castro e Antonio Claudio da Silva Barros.

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro
Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa
Foto(s) da capa: Denise F. Silva

1ª edição

1ª impressão (2013): on line

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Milho e Sorgo**

Produtividade e lixiviação de nitrato em uma lavoura de milho
de sequeiro usando dejetos de suíno e adubação mineral
como fonte de nitrogênio / Camilo de Lelis Teixeira de
Andrade ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo,
2013.

49 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /
Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 70).

1. Modelagem. 2. Simulação. 3. Sustentabilidade. 4. *Zea
mays*. I. Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de. II. Série.

CDD 511.8 (21. ed.)

© Embrapa 2013

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	19
Conclusões	37
Agradecimentos	38
Referências	38
Literatura Recomendada	46

Produtividade e Lixiviação de Nitrato em uma Lavoura de Milho de Sequeiro Usando Dejeto de Suíno e Adubação Mineral como Fonte de Nitrogênio

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade¹

Denise Freitas Silva²

Alvaro Vilela Resende³

Axel Garcia y Garcia⁴

Tales Antônio Amaral⁵

Jéssica Sousa Paixão⁶

Resumo

Dejetos de suínos (DS) têm um grande potencial como fertilizante e podem substituir parte ou todo o nitrogênio do adubo mineral (FM), necessários na produção agrícola. No entanto, DS também têm um alto potencial contaminante e devem ser manejados de forma adequada para evitar a poluição ambiental. Modelos de simulação, acoplados a sistemas de apoio à decisão, podem ser ferramentas eficientes para se avaliarem estratégias de manejo sustentável de dejetos. O objetivo deste estudo foi utilizar resultados de simulação para avaliar a sustentabilidade da produção de milho de sequeiro, adubado com diferentes doses de nitrogênio provenientes de DS e FM. O modelo CSM-CERES-Maize do Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia, DSSAT, foi

¹Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, camilo.andrade@embrapa.br

²Professor Assistente, UNIFEMM, denise.silva@unifemm.edu.br

³Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, alvaro.resende@embrapa.br

⁴Professor Assistente, Universidade de Wyoming, axel.garcia@uwyo.edu

⁵Estudante de Doutorado, UFPEL, tales_aamaral@yahoo.com.br

⁶Bolsista de Iniciação Científica, UFSJ, jessicaufs@hotmai.com

usada para avaliar os efeitos de longo prazo de estratégias de manejo da adubação sobre a produção de milho, a absorção de nitrogênio pelas plantas e o acúmulo no solo e a lixiviação de nitrato. Simulou-se a utilização de doses de nitrogênio variando de 100 a 250 kg ha⁻¹, provenientes só de DS e só de FM, 50% de DS e 50% de FM e a dose de 415 kg ha⁻¹ (60% DS e 40% FM), usado atualmente pelo agricultor. Os resultados indicaram que a dose de 200 kg ha⁻¹ (50% DS e 50% FM) mostrou-se vantajosa, uma vez que o rendimento aumentou e a lixiviação de nitrato e o acúmulo de nitrogênio no solo permaneceram dentro de níveis aceitáveis. Observou-se também que a dose atualmente utilizada pelo agricultor não é sustentável devido à lixiviação de nitrato e ao acúmulo de nitrogênio no solo. Outras estratégias de manejo de fertilizantes, como a utilização de uma proporção maior de FM nos primeiros anos com posterior redução com o tempo, foram discutidas.

Palavras-chave. dejetos líquidos de suínos, sustentabilidade, modelagem, DSSAT, *Zea mays* L..

Yield and Nitrate Leaching in a Rainfed Maize Crop Using Swine Manure and Mineral Fertilizer as Nitrogen Sources

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade¹

Denise Freitas Silva²

Alvaro Vilela Resende³

Axel Garcia y Garcia⁴

Tales Antônio Amara⁵

Jéssica Sousa Paixão⁶

Abstract

Swine Manure (SM) has great potential as fertilizer and can replace part or all of the nitrogen from mineral fertilizer (MF) required in crop production. However, SM also has high potential as contaminant and must be managed properly to avoid environmental pollution. Crop models coupled to decision support systems can be an efficient tool to evaluate alternative strategies for manure management. The goal of this study was to use a simulation approach to evaluate the sustainability of rainfed maize production fertilized with different rates of nitrogen from SM and MF. The CSM-CERES-Maize model of the Decision Support System for Agrotechnology Transfer was used to assess the long-term effects of the fertilization strategies on maize yield, nitrogen uptake, soil-nitrogen accumulation and nitrate leaching. Nitrogen rates ranging from 100 to 250 kg ha⁻¹ from both SM and MF, by a combination of 50% SM and 50% MF, and the rate of 415 kg ha⁻¹ (60% MF and 40% SM) currently used by the farmer, were simulated. Our results indicate that a rate of 200 kg ha⁻¹ (50% MF and 50% SM) proved to be

advantageous as yield increased and the nitrate leaching and soil-nitrogen accumulation were within acceptable levels. Our results also indicated the farmers' rate to be unsustainable due to nitrate leaching and nitrogen accumulation in the soil. Additional strategies, such as using higher proportion of MF at the beginning and then reducing it over time are also discussed.

Keywords: swine manure, sustainability, modeling, DSSAT, *Zea mays* L..

Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo e o estado de Minas Gerais ocupa o terceiro lugar em produção no país (AGRIANUAL, 2013). Em Minas Gerais, a produção de milho varia de 6.299 kg ha⁻¹ na região do Triângulo Mineiro a 1.898 kg ha⁻¹ na região Norte (IBGE, 2010). A produtividade de milho em Sete Lagoas é de cerca de 4.500 kg ha⁻¹. Adubação nitrogenada inadequada, especialmente a cobertura, é uma das causas da baixa produtividade em Sete Lagoas (CRUZ et al., 2009). O município faz parte da região metropolitana da capital do Estado, Belo Horizonte, que tem um déficit no suprimento de milho de cerca de 700 milhões de toneladas por ano (ALVARENGA et al., 2009). Por outro lado, a região está experimentando um aumento considerável na oferta de dejeito animal, especialmente cama de frango e dejeito líquido de suínos, os quais são uma excelente fonte de nutrientes para as culturas, mas que precisam ser adequadamente dispostos ao ambiente devido ao potencial poluente.

Estima-se que nos próximos anos os estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul terão aumento de pelo

menos 20% na produção de carne suína, em comparação com 2013 (GERVÁSIO, 2013), o que significa também um aumento na produção de dejetos de suínos, que é rico em nitrogênio, fósforo e potássio, nutrientes essenciais às plantas. Dejeito de suíno (DS) apresenta potencial para ser utilizado como fertilizante, requerendo, todavia, a estabilização e o manejo adequado antes da utilização nas lavouras (KONZEN, 2003).

Em geral, o milho exige 20 kg N ha^{-1} para cada tonelada de grãos produzidos. No entanto, é sabido que a dose de nitrogênio para o milho varia com as condições ambientais e com o manejo, tais como a rotação de culturas (AITA et al., 1994; SANGOI; ALMEIDA, 1994). Para corresponder às exigências de N do milho, a taxa de DS recomendada é de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para as condições e os solos sob Cerrado (PERDOMO et al., 2001).

A utilização de dejetos animais como fertilizante não termina o risco de contaminação ambiental. De acordo com a resolução número 003/2008 do Conselho de Meio Ambiente (CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2008), esta é uma atividade degradante, com grande potencial poluidor. O uso indiscriminado e contínuo na lavoura favorece a emissão de gases de efeito estufa e podem contaminar águas superficiais e subterrâneas (ZIMBRES, 2000).

O governo do Brasil vem investindo na produção agrícola sustentável, com destaque para a implementação em 2011 do Plano de Agricultura de Baixo Carbono, ABC (AGRICULTURA..., 2010). Uma das ações do Programa ABC é a disposição adequada de resíduos de animais.

É notável o aumento da conscientização dos consumidores de carne suína para produtos de qualidade, com preços competitivos e produzidos de forma ambientalmente correta, aumentando a pressão para a reciclagem de subprodutos, como dejetos de suínos (PALHARES et al., 2002). É, portanto, necessário realizar estudos para determinar estratégias de manejo de DS que sejam economicamente viáveis e ambientalmente e socialmente aceitáveis. Os resultados de pesquisas são, no entanto, específicos para cada local e apresentam aplicação limitada devido ao tempo e à disponibilidade de recursos. Todavia, formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão demandam soluções que atendam aos anseios imediatos da sociedade.

Modelos de simulação de culturas, acoplados a sistemas de apoio à decisão, podem ajudar a reduzir o intervalo de tempo entre a pesquisa de campo e aplicação dos resultados. Modelos de cultura são ferramentas importantes na investigação agrícola, pois permitem integrar a complexidade do sistema de interesse e facilitar a análise de fatores, como a lixiviação de nitrato e de emissões de gases de efeito estufa. Entre outros, o Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) (HOOGENBOOM et al., 2011) é um sistema de apoio à decisão abrangente para a avaliação de opções de manejo (TSUJI et al., 1994). O DSSAT inclui o modelo CSM-CERES-Maize (RITCHIE et al., 1998; JONES et al., 2003), que simula o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, desde o plantio até a maturidade fisiológica, em um intervalo de tempo diário. As simulações são baseadas em processos fisiológicos que descrevem a resposta do milho às condições ambientais (solo e clima) e às práticas de manejo, tais como datas de plantio, irrigação, estratégias de fertilização,

entre outras. Utilizado em todo o mundo, o DSSAT permite a análise de diversos cenários que envolvem manejo da fertilização nitrogenada, dinâmica da água e de nutrientes no solo e rentabilidade das explorações agrícolas, com base em quatro variáveis de entrada: solo, clima, manejo e genótipos (SOLER et al., 2007). A ferramenta de análise sequencial do DSSAT facilita a simulação de rotação de culturas, incluindo o período de pousio entre culturas subseqüentes (BOWEN et al., 1998). Uma importante característica desta ferramenta é a sua capacidade de transferir todas as informações de concentração de nutrientes, carbono, água e palhada de uma cultura para o período de pousio, e deste para a cultura subseqüente (THORNTON et al., 1994), o que permite a avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção em longo prazo.

O objetivo deste estudo foi avaliar, através de uma abordagem de simulação, a sustentabilidade da produção de milho de sequeiro, adubado com diferentes doses de nitrogênio provenientes de dejeito suíno (DS) e fertilizante mineral (FM).

Material e Métodos

Localização

Empregou-se a ferramenta de análise sequencial (BOWEN et al., 1998; THORNTON et al., 1994) do modelo CSM-CERES-Maize do sistema DSSAT v.4.5.1.023 (HOOGENBOOM et al., 2011), que foi utilizado para simular uma sucessão milho-pousio, de sequeiro, para as condições da Fazenda Saquinho, em Papagaios, MG (19°27'17" Sul, 44°10'19" Oeste e altitude de 731 metros), distante 75 km da área experimental da Embrapa Milho e Sorgo. A fazenda se dedica à produção de carne suína e usa dejeito

suíno como fertilizante na produção de milho.

O clima da região é classificado, segundo Köppen (OMETTO, 1981), como CWA, clima de savana, com inverno seco, temperatura média anual de 20,9 °C, precipitação média anual de 1.320 mm. A cobertura vegetal original da fazenda era uma vegetação nativa típica do Cerrado brasileiro.

Inputs do Modelo

Empregou-se nas simulações uma série de dados climáticos históricos diários contendo 46 anos (1964-2010) de registros de precipitação, temperatura máxima e mínima e horas de brilho solar, obtida de uma estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG.

Para estabelecer as condições iniciais requeridas pelo modelo, selecionou-se uma gleba, na qual a cultura do milho de sequeiro vem sendo conduzida empregando uma combinação de DS e FM. O solo representativo da gleba é classificado como Latossolo Vermelho, distrófico típico, textura muito argilosa, cujos atributos químicos são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas antes da aplicação do dejeito líquido de suíno, em seis pontos e em sete profundidades do perfil e foram enviadas aos laboratórios da Embrapa Milho e Sorgo para determinação dos limites superior e inferior da água disponível, condutividade hidráulica saturada, densidade, carbono orgânico, textura, nitrogênio total e pH em água e em KCl, alumínio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e capacidade de troca catiônica. Parte das amostras de solo foi mantida sob refrigeração, para

determinação da concentração de nitrato e amônio. As análises químicas foram realizadas de acordo com os métodos descritos em Silva (2009). Os dados foram tabulados no formato requerido pelo modelo DSSAT (Tabelas 1 e 3).

Tabela 1. Atributos^(a) físico-hídricos, fator de crescimento de raiz, nitrogênio total, pH e fator de adsorção de nitrato do solo da Fazenda Saquinho, Papagaios, MG, 2008.

PBC ^(b) (m)	LIAD ^(c)	LSAD ^(d)	Sat ^(e)	FCR ^(f)	CHS ^(g)	Den ^(h)	CO ⁽ⁱ⁾	Argila	Silte	N total	pH em água	SADC ^(j)
(m ³ m ⁻³).....				(m h ⁻¹)	(kg m ⁻³)(%).....					
0,05	0,276	0,375	0,50	1,0	0,0523	1200	1,90	71	15	0,19	5,7	0
0,15	0,276	0,375	0,50	1,0	0,0523	1200	1,90	71	15	0,19	5,7	0
0,30	0,255	0,360	0,51	1,0	0,0977	1200	1,30	76	12	0,16	5,5	0
0,45	0,245	0,362	0,54	0,9	0,0786	1200	1,20	76	12	0,13	5,3	0,8
0,60	0,234	0,340	0,57	0,8	0,0645	1100	0,90	76	12	0,11	5,4	0,8
0,90	0,230	0,322	0,58	0,5	0,2302	1100	0,90	77	11	0,08	5,0	1,2
1,20	0,228	0,325	0,57	0,2	0,3719	1000	0,60	78	10	0,09	4,8	1,5

^(a) Amostras de solo analisadas nos laboratórios da Embrapa Milho e Sorgo.

^(b) PBC = Profundidade da base da camada do solo.

^(c) LIAD = Limite inferior de água disponível.

^(d) LSAD = Limite superior de água disponível.

^(e) Sat = Saturação.

^(f) FCR = Fator de crescimento de raiz.

^(g) CHS = Condutividade hidráulica saturada.

^(h) Den = Densidade do solo.

⁽ⁱ⁾ CO = Carbono orgânico.

^(j) SADC = Fator de adsorção de nitrato.

Tabela 2. Atributos^[a] químicos do solo da Fazenda Saquinho, Papagaios, MG, 2008.

PBC ^[b] (m)	$\Delta\text{pH}^{[c]}$	H+Al ^[d]	Al ^[e]	Ca ^[f]	Mg ^[g]	CTC _{pot} ^[h]	K ^[i]	P ^[j]	V ^[k]
0,05	-0,60	4,98	0,00	3,31	1,02	10,08	300	64	51
0,15	-0,60	4,98	0,00	3,31	1,02	10,08	300	64	51
0,30	-0,57	4,36	0,00	1,95	0,54	7,30	174	12	40
0,45	-0,39	3,20	0,12	1,22	0,38	5,02	85	2	36
0,60	-0,43	2,96	0,12	0,98	0,33	4,45	71	2	34
0,90	0,06	2,93	0,12	0,42	0,16	3,59	31	1	18
1,20	0,20	2,93	0,12	0,29	0,10	3,37	21	1	13

^[a] Métodos de análise de solo descritos em Silva (2009).

^[b] PBC = Profundidade da base da camada do solo.

^[c] $\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$.

^[d] H+Al = Acidez potencial.

^[e] Al = Alumínio no solo.

^[f] Ca = Cálcio no solo.

^[g] Mg = Magnésio no solo.

^[h] CTC_{pot} = Capacidade de troca de cátions.

^[i] K = Potássio no solo.

^[j] P = Fósforo no solo.

^[k] V = Porcentagem da CTC saturada por bases no pH 7,0.

Tabela 3. Conteúdo inicial de água e concentrações iniciais de nitrato e amônio no solo da Fazenda Saquinho, Papagaios, MG, 2008.

PBC ^[a] (m)	Conteúdo de Água ^[a] (m ³ m ⁻³)	NO ₃ ^[b]	NH ₄ ^[c]	NO ₃	NH ₄	NO ₃ + NH ₄
		(mg kg ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		
0,05	0,350	9	14	6	8	14
0,15	0,350	9	14	17	25	42
0,30	0,334	9	15	33	52	85
0,45	0,333	10	15	50	79	129
0,60	0,314	9	14	65	102	167
0,90	0,299	12	11	105	137	242
1,20	0,301	14	13	147	176	323

^[a] Conteúdo de água no solo.

^[b] NO₃ = Nitrato.

^[c] NH₄ = Amônio.

Considerando que as simulações iniciaram-se em 20 de abril, no final da estação chuvosa na região, assumiu-se que o conteúdo inicial de água no solo estava próximo do limite superior de água disponível (Tabela 3). Devido à sua importância na dinâmica do nitrogênio no solo e no manejo da adubação nitrogenada (BOWEN et al., 1993), os coeficientes de adsorção de nitrato (SADC) do perfil do solo foram ajustados com base em dados de lixiviação de nitrato, obtidos a partir de experimentos em lisímetros de drenagem (ANDRADE et al., 2004).

Considerou-se no estudo o híbrido simples de milho, DKB390YG, uma das cultivares utilizadas na Fazenda Saquinho, para a qual foram ajustados os valores 241,8; 0,50; 1129; 495,4; 30,07 e 48,25 (SILVA et al., 2012), correspondentes aos

coeficientes genéticos P1, P2, P5, G2, G3 e PHINT (JONES et al., 2003) requeridos pelo modelo CSM-CERES-Maize. Assumiu-se também um sistema de plantio direto com 0,8 m entre linhas e uma população de plantas de 6,2 plantas m⁻². O modelo foi programado para iniciar o plantio no dia 17 de outubro de 1964 e repeti-lo, anualmente, na mesma data. Esta é a data que proporciona as melhores produtividades de milho, cultivado em regime de sequeiro na região (AMARAL et al., 2009). O período de pousio foi programado para ser interrompido no dia 16 de outubro, um dia antes do plantio da cultura de milho, em cada ano. O modelo realiza a colheita do milho automaticamente, na maturidade fisiológica, e transfere para período de pousio subsequente todas as informações de umidade, concentração de nutrientes e carbono no perfil do solo e quantidade de palhada deixada na superfície. Desta forma, o balanço de água, carbono, nitrogênio e de outros nutrientes é realizado diariamente, iniciando no primeiro ano e se estendendo até o último ano da série de dados climatológicos.

As diferentes doses de dejeito líquido de suíno foram programadas para serem aplicadas no dia 20 de julho de cada ano. As doses complementares de fertilizante mineral foram aplicadas no plantio e em cobertura aos 12 e 27 dias após a semeadura do milho, seguindo o manejo do produtor. O modelo DSSAT não permite programar as adubações em cobertura com base na fenologia da cultura.

Onze tratamentos simulados foram planejados, sendo três com diferentes doses de nitrogênio mineral, três com diferentes doses de dejeito líquido de suíno, três com a combinação de 50% de nitrogênio mineral e 50% do equivalente em dejeito de suíno, um tratamento sem aplicação de nenhum fertilizante e

um tratamento adicional correspondente à dose de fertilizantes empregada na Fazenda Saquinho (Tabela 4).

Tabela 4. Doses de nitrogênio e identificação dos tratamentos simulados.

Fonte de Nitrogênio	Tratamentos										
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
----- (kg ha ⁻¹) -----											
Nitrogênio do dejecto de suíno	100	0	50	200	0	100	250	0	125	0	247
Nitrogênio do fertilizante mineral no plantio	0	10	10	0	10	10	0	10	10	0	32
N do fertilizante mineral, 1ª cobertura	0	45	20	0	95	45	0	120	57	0	68
N do fertilizante mineral, 2ª cobertura	0	45	20	0	95	45	0	120	58	0	68
Dose total de N aplicada	100	100	100	200	200	200	250	250	250	0	415

O dejeito líquido de suíno (Tabela 5) foi aplicado, em superfície, no dia 20 de julho de cada ano, três meses antes do plantio. O volume de dejeito líquido de suíno aplicado, com uma concentração média de 0,12% de N, foi ajustado para fornecer a dose de nitrogênio prevista em cada tratamento. Assumiu-se que 100% do dejeito líquido de suíno incorporou-se naturalmente ao solo.

Em todos os tratamentos, a dinâmica da matéria orgânica no solo foi simulada empregando-se a abordagem desenvolvida por Parton et al. (1989) e incorporada como opção no modelo DSSAT. Esta rotina requer a definição da concentração de carbono orgânico estável no perfil do solo. Assumiu-se para este fim a concentração média de 0,9% determinada para camadas abaixo de 0,40 m do perfil do solo na Fazenda Saquinho.

Tabela 5. Constituintes minerais do dejeito líquido de suíno da Fazenda Saquinho, após estabilização em biodigestor por 35 dias e antes da aplicação no campo^[a], 2008.

Componentes	Conteúdo (mg L ⁻¹)
N _{total}	1179
N-NH ₄ ⁺	957
N-NO ₃ ⁻	2.8
P	188
K	582
Ca	152
Mg	73
Zn	20
Fe	18
Cu	9
Mn	3.2
Na	140

^[a] Métodos de análise descritos em Silva (2009)

Análise dos Dados

Dados simulados de produtividade de grãos de milho, expressos em base matéria seca, nitrato lixiviado, nitrogênio mineral no solo (amônio + nitrato) e na planta foram plotados ao longo do tempo, permitindo-se uma análise da sustentabilidade do sistema de produção, considerando-se a manutenção ou o aumento da produtividade com menor lixiviação de nitrato. A análise dos resultados permitiu gerar, para a Fazenda Saquinho, uma estratégia sustentável de manejo do nitrogênio, considerando a combinação de dejeito suíno com fertilizante mineral.

Resultados e Discussão

Os valores positivos de ΔpH nas camadas abaixo de 0,6 m (Tabela 2) indicam que o balanço positivo de carga pode desempenhar um papel importante na lixiviação de nitrato. Black e Waring (1979) apontam que um ΔpH de até 1,5 é necessário para considerar um solo propenso à lixiviação de nitrato. No entanto, os solos das chapadas da região do Cerrado (Latosolos gibbsíticos) são capazes de adsorver cerca de 100 kg de nitrato por hectare. Isso evidencia a necessidade de ajustes do fator de adsorção de nitrogênio do solo, SADC (Tabela 1), para que as simulações de lixiviação de nitrato para as condições do Cerrado brasileiro sejam mais realistas.

O rendimento de grãos de milho simulado para a dose de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 1 A, B e C) tendeu a aumentar com o tempo quando apenas DS (T1) foi usado e a diminuir ligeiramente quando apenas FM (T2) ou a combinação de ambas as fontes de N (T3) foram utilizadas. O rendimento

médio simulado para T1, T2 e T3 durante o período de 46 anos foi de 5.966 kg ha⁻¹, 8.087 kg ha⁻¹ e 7.521 kg ha⁻¹ (Figura 2 A), respectivamente, ou seja, para uma dose de 100 kg ha⁻¹ de N, o uso de DS sozinho proporcionou um rendimento médio inferior ao obtido com os tratamentos com FM sozinho ou em combinação com a DS.

A absorção de N pelo milho (Figuras 1 D, E e F) tendeu a aumentar com o tempo para os tratamentos T1 e T3. Para o T2, houve uma tendência oposta na absorção de nitrogênio. A quantidade de nitrogênio mineral no perfil do solo para T1 e T3 (Figuras 3 A e C) manteve-se em torno de 15 kg ha⁻¹ ao longo dos anos, enquanto a lixiviação de nitrato permaneceu em torno de 5 kg ha⁻¹ (Figuras 3 D e F). Para o tratamento T2, a quantidade simulada de nitrogênio no solo diminuiu rapidamente nos primeiros anos, estabilizando-se depois em torno de 15 kg ha⁻¹ (Figura 3 B)

A lixiviação de nitrato para T2 também diminuiu rapidamente nos primeiros anos e tendeu a se estabilizar em torno de 5 kg ha⁻¹ após cerca de 25 anos (Figura 3 E). Para esta dose de nitrogênio, a quantidade de nitrato lixiviado foi, na maior parte dos anos, abaixo da faixa de 15 a 30 kg ha⁻¹, que foi relatado por Rambo et al. (2003) como crítica, embora Gava (2003) tenha reportado valores de lixiviação mais baixos para uma dose de nitrogênio semelhante.

A utilização de uma dose de nitrogênio de 200 kg ha⁻¹ não proporcionou aumento significativo do rendimento médio de milho, em comparação com 100 kg ha⁻¹ (Figura 2 A). A produtividade média simulada para T4, T5, T6 foi 6.640 kg ha⁻¹, 8.115 kg ha⁻¹ e 7.828 kg ha⁻¹ (Figura 2 A), respectivamente. As

tendências temporais do T4 e T5 foram muito semelhantes às dos tratamentos em que se utilizou a dose de 100 kg ha^{-1} de N, na forma de dejeto suíno ou de fertilizante mineral. Quando se associou dejeto suíno com fertilizante mineral (T6) observou-se uma tendência de aumento da produtividade com o tempo (Figura 4 C). A absorção de nitrogênio pelas plantas de milho tendeu a aumentar ao longo dos anos nos tratamentos em que se utilizou apenas DS ou a combinação deste com FM (Figuras 4 D e F). No tratamento que empregou apenas fertilizante mineral, a tendência foi de ligeira queda na absorção de nitrogênio (Figura 4 E). A absorção média de nitrogênio pelas plantas (Figura 2 B) foi menor no tratamento que utilizou apenas DS (T4), em comparação com aqueles que empregaram apenas FM ou a combinação deste com DS (T5 e T6). Para a dose de 200 kg ha^{-1} , a absorção média de nitrogênio pelas plantas de milho foi maior em comparação com a dose de 100 kg ha^{-1} , especialmente nos tratamentos em que se utilizou FM sozinho ou associado com dejeto suíno (Figura 2 B). Esses valores de absorção de nitrogênio pelo milho estão acima dos 160 kg ha^{-1} , reportados por Grove et al. (1980) e Coelho et al. (1991). Todavia, tais pesquisas não refletem mais os tetos de produtividade que têm sido obtidos com as novas cultivares de milho lançadas nos últimos anos (DEKALB, 2010). Os resultados simulados também indicam que a quantidade de nitrogênio mineral no perfil do solo tendeu a aumentar apenas depois de 30 anos de uso DS (Figura 5 A).

Quando o DS foi combinado com o FM (T6), o nitrogênio mineral do solo tendeu a aumentar mais cedo, após 15 anos de uso (Figura 5 C). A utilização da mesma dose de FM (T5) proporcionou uma tendência oposta da quantidade de nitrogênio mineral no perfil do solo (Figura 5 B). A lixiviação

de nitrato (Figuras 5 D, E e F) permaneceu praticamente constante ao longo dos anos no tratamento que empregou apenas dejeito suíno (T4), tendeu a diminuir no tratamento que utilizou somente fertilizante mineral (T5) e a aumentar no tratamento que associou as duas fontes de nitrogênio (T6). Os valores médios de lixiviação de nitrato foram 3 kg ha^{-1} , 29 kg ha^{-1} e 16 kg ha^{-1} , respectivamente para os tratamentos T4, T5 e T6 (Figura 2 D), indicando que a utilização combinada de DS e FM, na dose de 200 kg ha^{-1} , proporcionou 45% de redução na quantidade média de nitrato lixiviado. Em média, a lixiviação simulada de nitrogênio esteve abaixo do limite superior de 30 kg ha^{-1} do intervalo crítico estabelecido por Rambo et al. (2003). Contudo, em vários anos, a quantidade de nitrato lixiviado nos tratamentos com FM, ou em combinação deste com DS, excedeu este limite (Figuras 5 E e F). Em geral, essas altas taxas de lixiviação estão associadas com a ocorrência de chuvas intensas e com a baixa absorção de nitrogênio, devido a veranicos, cuja ocorrência é muito comum nesta região (ASSAD et al., 1993). Quando o nitrogênio aplicado na lavoura foi proveniente de FM apenas, os picos de alta lixiviação foram mais frequentes, embora com tendência de queda com o tempo, em comparação com o tratamento que utilizou a combinação de FM com DS. Vale ressaltar que, sob condições ambientais adequadas, o nitrogênio proveniente de FM é rapidamente convertido em nitrato, aumentando os riscos de lixiviação, devido à ocorrência de chuvas intensas. Após 20 anos de uso continuado, a mesma dose de N, proveniente da associação de DS com FM, proporcionou um aumento substancial na lixiviação de nitrato ao longo do tempo, atingindo valores acima da faixa crítica de $15 \text{ a } 30 \text{ kg ha}^{-1}$ (RAMBO et al., 2003) (Figura 5 F).

Produtividade e Lixiviação de Nitrato em uma Lavoura de Milho de Sequeiro Usando Dejeito de Suíno e Adubação Mineral como Fonte de Nitrogênio

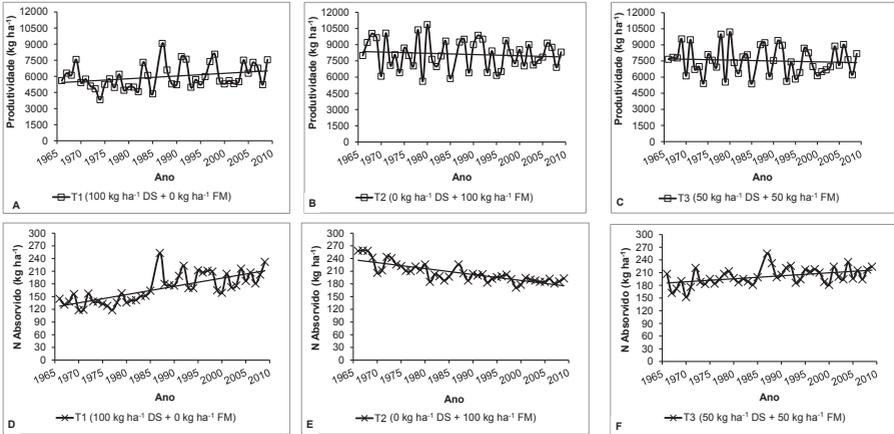


Figura 1. Variação temporal da produtividade simulada e absorção de nitrogênio pelo milho, para a dose de 100 kg ha^{-1} de N proveniente de dejeito suíno (T1 = DS), fertilizante mineral (T2 = FM) e a combinação das duas fontes (T3 = DS + FM).

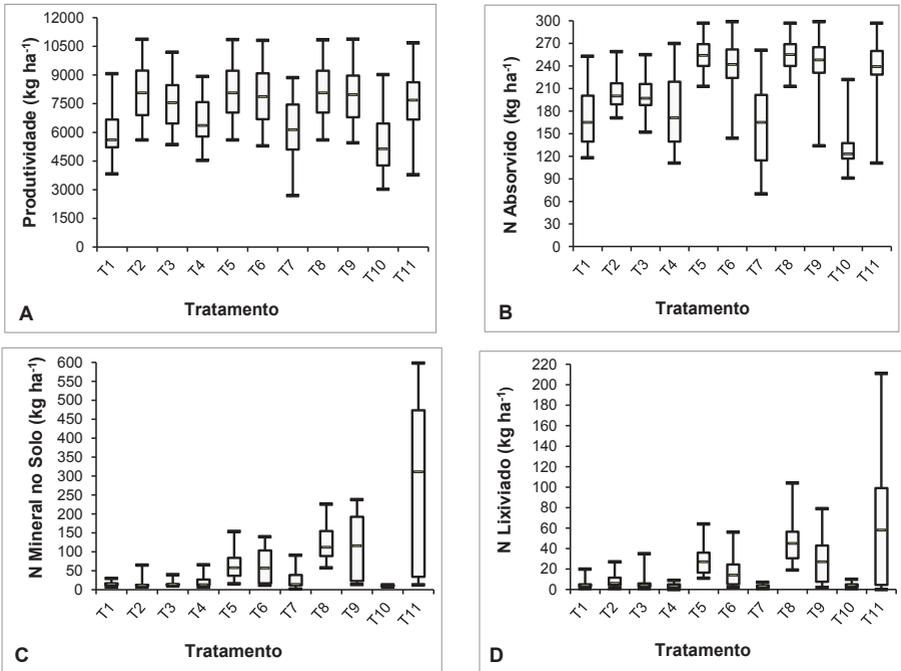


Figura 2. Variação da produtividade simulada, absorção de nitrogênio pelo milho, N mineral no solo e N lixiviado, para diferentes doses e fontes de nitrogênio (T1 = 100 kg ha⁻¹ DS; T2 = 100 kg ha⁻¹ FM; T3 = 50 kg ha⁻¹ DS + 50 kg ha⁻¹ FM; T4, T5 e T6 = idem 200 kg ha⁻¹; T7, T8, T9 = idem 250 kg ha⁻¹; T10 = sem aplicação de nitrogênio; T11 = 247 kg ha⁻¹ DS + 168 kg ha⁻¹ FM).

Produtividade e Lixiviação de Nitrato em uma Lavoura de Milho de Sequeiro Usando Dejeito de Suíno e Adubação Mineral como Fonte de Nitrogênio

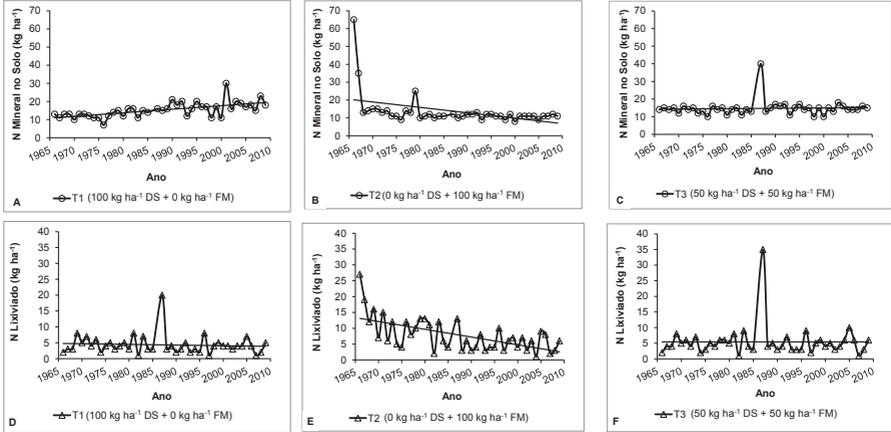


Figura 3. Variação temporal do nitrogênio mineral no solo e lixiviação de nitrato para a dose de 100 kg ha^{-1} de N proveniente de dejeito de suíno (T1 = DS), fertilizante mineral (T2 = FM) e combinação das duas fontes (T3 = DS + FM).

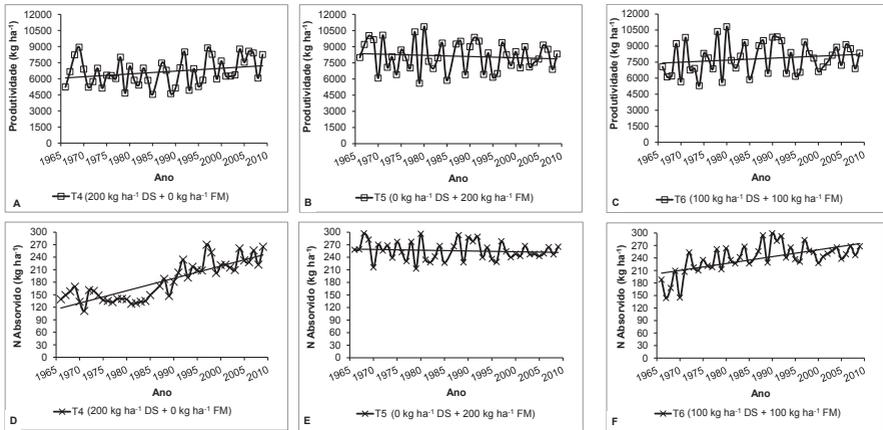


Figura 4. Variação temporal da produtividade simulada e da absorção de nitrogênio pelo milho para a dose de 200 kg ha^{-1} de N proveniente de dejeito suíno (T4 = DS), fertilizante mineral (T5 = FM) e a combinação das duas fontes (T5 = DS + FM).

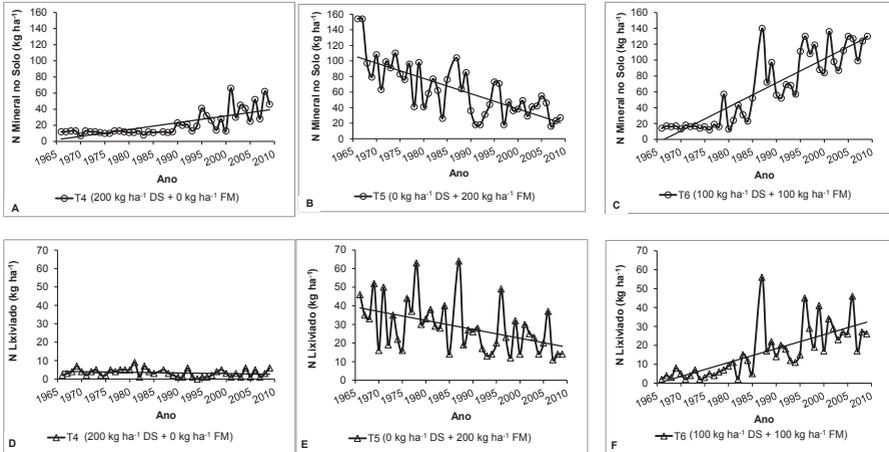


Figura 5. Variação temporal do nitrogênio mineral no solo e lixiviação de nitrato para a dose de 200 kg ha⁻¹ de N proveniente de dejeto de suíno (T4 = DS), fertilizante mineral (T5 = FM) e a combinação das duas fontes (T6 = DS + FM).

Para a dose de 250 kg ha⁻¹ de nitrogênio observou-se a mesma tendência de variação temporal da produtividade de milho (Figuras 6 A, B e C) verificada com as doses menores. Nos tratamentos T7 e T9, a produtividade tendeu a aumentar com o tempo, enquanto para o tratamento T8 verificou-se uma ligeira queda na produtividade de milho ao longo dos anos. As produtividades médias foram 6.198 kg ha⁻¹, 8.108 kg ha⁻¹ e 7.870 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos T7, T8 e T9. (Figura 2 A). A utilização de 50 kg ha⁻¹ a mais de nitrogênio na lavoura de milho causou uma redução na produtividade média dos tratamentos T7 e T8 e um aumento muito pequeno do tratamento T9, não justificando, portanto, este incremento na dose de nitrogênio. A absorção de nitrogênio pelas plantas de milho (Figuras 6 D, E e F) seguiu o mesmo padrão temporal observado para as doses de 100 e 200 kg ha⁻¹, verificando-se um aumento da absorção, ao longo do tempo, no tratamento

que empregou apenas DS (T7) e no tratamento que combinou DS com FM (T9). No tratamento em que se simulou a utilização de apenas FM (T8) verificou-se que a absorção de nitrogênio tendeu a permanecer praticamente constante ao longo dos anos (Figura 6 E). A absorção média de nitrogênio foi consideravelmente maior nos tratamentos T8 e T9, em comparação com o T7, no qual se utilizou apenas DS (Figura 2 B). O nitrogênio tendeu a acumular no perfil do solo após 30 anos de utilização de apenas DS como fertilizante (T7, Figura 7 A), enquanto no tratamento que associou DS com FM (T9), o acúmulo acentuou-se após 15 anos de uso desses fertilizantes (Figura 7 C). Para o tratamento com apenas FM (T8), a tendência foi na direção oposta (Figura 7 B), enquanto para o tratamento com apenas DS a quantidade média de nitrogênio acumulado no perfil do solo foi inferior em comparação com os demais (Figura 2 C). A lixiviação de nitrato (Figuras 7, D, E e F) foi praticamente constante ao longo do tempo no tratamento com DS (T7); tendeu a diminuir no tratamento com FM (T8) e tendeu a aumentar no tratamento que utilizou ambas as fontes de N (T9). A lixiviação média de nitrato para os tratamentos T7, T8, T9 foi de 3 kg ha⁻¹, 46 kg ha⁻¹ e 28 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2 D). Exceto pelo tratamento que utilizou apenas dejeito suíno, na maioria dos anos, as quantidades de nitrato lixiviado ultrapassaram a faixa crítica de 15 a 30 kg ha⁻¹, estabelecida por Rambo et al. (2003) (Figuras 7 E e F). Como o processo de mineralização do dejeito suíno foi lento, as quantidades lixiviadas de nitrogênio foram menores neste tratamento em comparação com os tratamentos que utilizaram FM apenas ou combinado com DS, mesmo com a dose de 250 kg ha⁻¹ (Figura 7 D).

Como era de se esperar, o cultivo de milho sem a utilização

de nitrogênio causou uma redução considerável da produtividade com o tempo (Figura 8 A), mesmo considerando que a capacidade de suprimento de nitrogênio do solo era inicialmente alta na Fazenda Saquinho (Tabela 3). Tal queda na produtividade está associada à redução da absorção de nitrogênio pela cultura do milho (Figura 8 B), em decorrência da indisponibilidade deste nutriente no solo (Figura 8 C). A lixiviação de nitrato foi muito pequena para este tratamento (Figura 8 D). Obviamente, do ponto de vista da produtividade da cultura, este tratamento não é sustentável. Por outro lado, observa-se que a utilização de FM combinado com DS, na dose de 415 kg ha^{-1} , adotada pelo produtor (T11), proporcionou produtividades baixas nos primeiros cinco anos de cultivo, embora tendesse a aumentar após este período (Figura 9 A). A produtividade média deste tratamento foi de 7.630 kg ha^{-1} , próxima dos valores obtidos com os tratamentos T6 e T9 (Figura 2 A), indicando que o produtor deve reformular sua estratégia de manejo da fertilização e mesmo reduzir a dose de nitrogênio utilizada, sem prejuízo do rendimento de milho, mas com um ganho considerável no aspecto ambiental. A absorção de nitrogênio, que era inicialmente baixa, aumentou rapidamente com o tempo, até se estabilizar em torno de 250 kg ha^{-1} por volta dos 20 anos de uso desta dose de nitrogênio (Figura 9 B). O nitrogênio tendeu a acumular no solo a partir dos 15 anos de cultivo do milho (Figura 9 C) e alcançou valores consideravelmente elevados após 46 anos. Verificou-se também a lixiviação de elevadas quantidades de nitrato neste tratamento, cujos valores medianos ultrapassaram 50 kg ha^{-1} (Figura 2 D). A quantidade de nitrogênio mineral no solo e a lixiviação de nitrato permaneceram muito baixas por vários anos desde o início do cultivo de milho, indicando possível imobilização deste nutriente pela palhada formada na superfície

do solo, em decorrência do uso continuado do plantio direto. Resultados semelhantes foram observados por Giacomini et al. (2009) em que a presença de palhada de aveia em um sistema de plantio direto favoreceu a imobilização de amônia proveniente de DS, em comparação com o tratamento sem palhada.

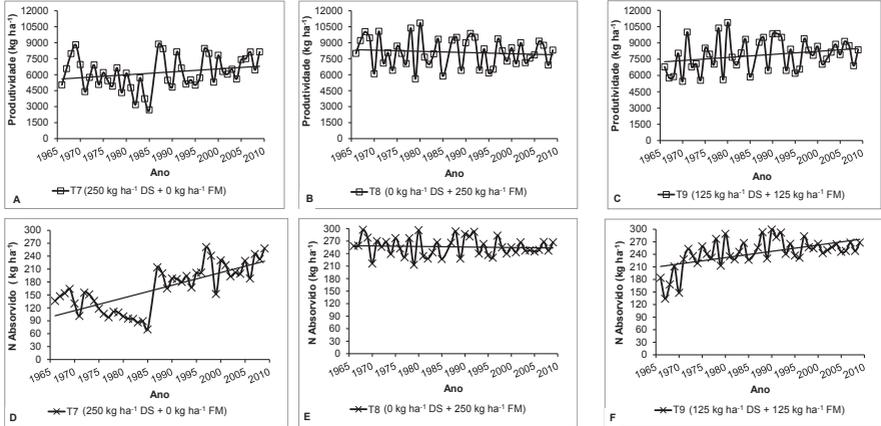


Figura 6. Variação temporal da produtividade simulada e da absorção de nitrogênio pelo milho, para uma dose de 250 kg ha⁻¹ de N proveniente de dejeito de suíno (T7 = DS), fertilizante mineral (T8 = FM) e a combinação das duas fontes (T9 = DS + FM).

Produtividade e Lixiviação de Nitrato em uma Lavoura de Milho de Sequeiro Usando Dejeto de Suíno e Adubação Mineral como Fonte de Nitrogênio

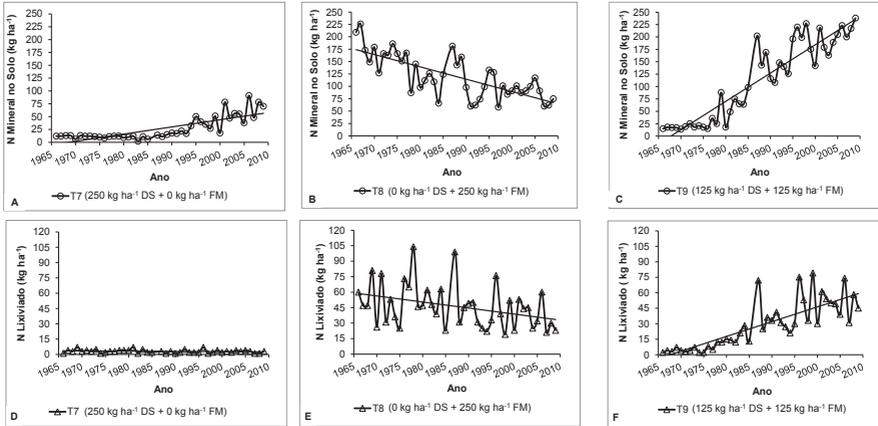


Figura 7. Variação temporal do nitrogênio mineral do solo e da lixiviação de nitrato para a dose de 250 kg ha⁻¹ de N proveniente de dejeto de suíno (T7 = DS), fertilizante mineral (T8 = FM) e a combinação das duas fontes (T9 = DS + FM).

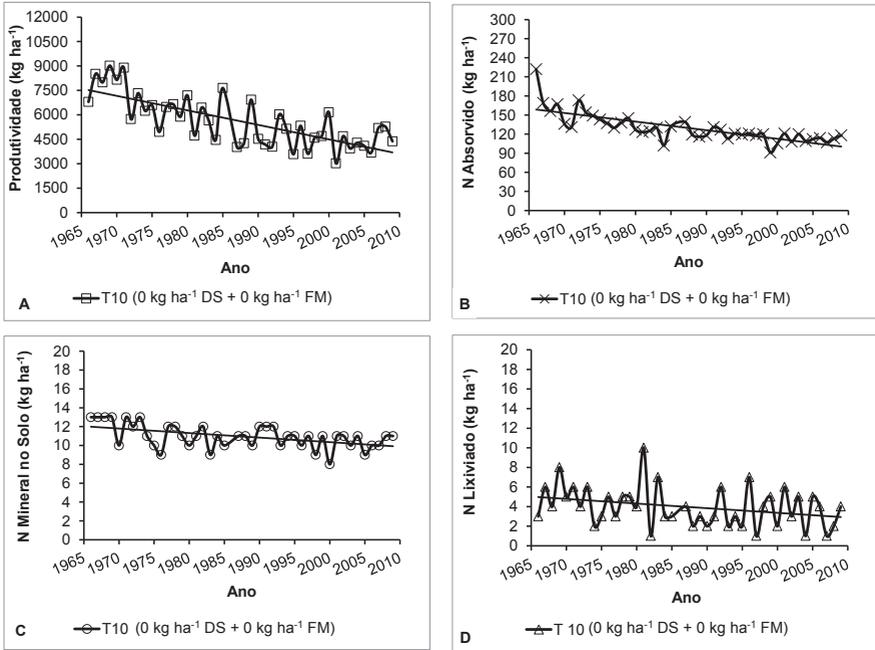


Figura 8. Variação temporal da produtividade (A) simulada, absorção de N pelo milho (B), nitrogênio mineral no solo (C) e lixiviação de nitrato (D) de uma lavoura sem fertilização nitrogenada (T10 = sem N).

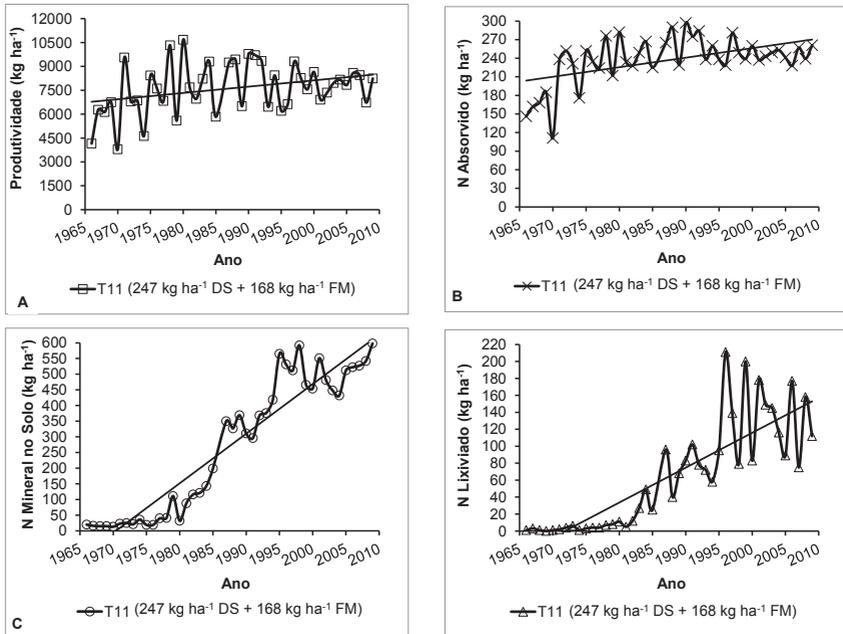


Figura 9. Variação temporal da produtividade (A) simulada, absorção de nitrogênio pelo milho (B), nitrogênio mineral no solo (C) e lixiviação de nitrato (D) para a dose de 415 kg ha⁻¹ de N (60% DS + 40% FM) utilizada na Fazenda Saquinho (T11).

Os resultados obtidos com a simulação do uso de dejeito suíno corroboram as afirmações de outros autores (SÁ, 1996; BASSO; CERETTA, 2000; LARA CABEZAS et al., 2005), segundo os quais o rendimento das culturas plantadas por longo tempo em sistema de plantio direto e utilizando dejeito animal como fonte de nutrientes vem sendo mantido constante ou tem aumentado. Em um levantamento realizado por Gava (2003), verificou-se que em 67% dos experimentos as perdas por lixiviação variaram de 0,3 kg ha⁻¹ a 1,26 kg ha⁻¹ de N, quando as áreas cultivadas foram fertilizadas com uma dose de 92 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Para esta dose era de se esperar tais

valores baixos de lixiviação de nitrogênio. Além do mais, não se sabe em que circunstâncias tais experimentos foram conduzidos e por quantos anos. Coelho et al. (2003) e Andrade et al. (2006) indicaram perdas de nitrogênio por lixiviação no ciclo da cultura do milho da ordem de 10 a 20 kg ha⁻¹. Basso et al. (2005), estudando a rotação aveia-preta, milho e nabo forrageiro em um Argissolo Vermelho distrófico arênico e com a utilização das doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos, observaram que, com o aumento da dose de dejetos, ocorreu incremento nas concentrações de nitrato na água percolada, principalmente logo após a aplicação do dejetos. Long e Sun (2012), ao simularem a aplicação de dejetos suíno em milho, verificaram que a lixiviação de nitrato aumentou com o aumento da dose de nitrogênio aplicada via dejetos. Para uma dose de 300 kg ha⁻¹ de N, verificou-se uma tendência de aumento da lixiviação no período de pousio, subsequente à cultura do milho, devido ao grande aporte de nitrogênio mineral nos solos da China. Tais observações diferem do que foi constatado no presente estudo em que, com o uso de apenas dejetos suíno, as quantidades médias de nitrato lixiviadas durante o ciclo do milho e no período de pousio, subsequente à lavoura de milho, foram baixas. Isto se deve ao fato de os Latossolos sob Cerrado apresentarem um balanço de cargas positivo nas camadas subsuperficiais (Tabela 2), além de apresentarem também grande superfície específica, fatores que favorecem a adsorção de ânions, como o nitrato, conforme relata Sanchez (1997).

Entre os tratamentos em que se utilizou apenas dejetos suíno como fertilizante, o T4 (200 kg ha⁻¹ de N) foi o que proporcionou o melhor rendimento médio de 6640 kg ha⁻¹. Já entre os tratamentos em que se empregou somente fertilizante mineral,

o T5 (200 kg ha⁻¹ de N) foi o que teve melhor desempenho, com uma produtividade média de 8.115 kg ha⁻¹. Quando se comparam os rendimentos de grãos dos tratamentos que utilizaram a combinação de dejeito suíno com fertilizante mineral, praticamente não se observou diferença entre as doses de 200 kg ha⁻¹ (T6), 250 kg ha⁻¹ (T9) e 415 kg ha⁻¹ (T11), que proporcionaram produtividades médias de 7.828 kg ha⁻¹, 7.870 kg ha⁻¹ e 7.630 kg ha⁻¹, respectivamente. Tais produtividades simuladas para a Fazenda Saquinho estão acima da média da região de Sete Lagoas, que nos anos 2003 a 2008 variou de 2.969 a 4.350 kg ha⁻¹ (IBGE, 2010). Observa-se, portanto, uma oportunidade para o aumento da produtividade de milho na região, que é carente no suprimento de grãos (ALVARENGA et al., 2009).

O uso de apenas dejeito suíno, mesmo em doses elevadas, proporcionou produtividades de milho menores que aquelas obtidas com a mesma dose de fertilizante mineral isoladamente ou combinado com DS. Isto decorre do fato de o modelo considerar que boa parte do nitrogênio presente no dejeito está na forma orgânica, devendo ser mineralizado no solo antes de se tornar disponível para as plantas. Este processo é dependente da temperatura e da umidade do solo, que por sua vez depende das condições climáticas. Trata-se, portanto, de um processo mais lento que faz com que o nitrogênio presente no dejeito suíno não esteja totalmente disponível para as plantas logo no mesmo ano (KONZEN, 2003). De acordo com Scherer et al. (2007), os dejetos líquidos de suínos apresentam de 40 a 70% do nitrogênio na forma nitrato e amônio, prontamente disponíveis para a planta. Giacomini et al. (2009) reportaram que a cultura do milho absorveu 54% da quantidade de nitrogênio orgânico aplicado no solo, via dejeito suíno, sendo

o restante proveniente da mineralização da matéria orgânica. Outros estudos demonstraram que a recuperação do nitrogênio aplicado em diferentes lavouras, via dejeito de animais, não passou de 18% (ARNS, 2004; LOECKE et al., 2004; O'SHEA, 2000). O modelo conseguiu reproduzir o comportamento pelo qual, a cada ano, com o uso continuado de dejeito suíno, o estoque total de nitrogênio (N mineral + N orgânico) no solo aumentou; mais nitrogênio na forma de nitrato e amônio foi disponibilizado para ser absorvido pela cultura do milho e, eventualmente, mais N mineral (nitrato e amônio) acumulou no solo. De modo geral, o dejeito suíno funcionou como uma fonte de N de liberação gradual, o que proporcionou uma melhor eficiência de uso deste nutriente pelo milho, sem deixar N mineral após os cultivos. Com isto restou menos nitrato no solo e a lixiviação deste ânion foi também muito menor.

Quando se empregou apenas nitrogênio oriundo de fertilizante mineral, as produtividades de milho foram maiores, em comparação com o uso de somente dejeito suíno. Neste caso, o fertilizante, na forma de ureia, foi aplicado no sulco de plantio e em cobertura na superfície do solo, estando, portanto, passível de ser volatilizado na forma de amônia (NH_3), durante o processo de hidrólise. A transformação do N-ureia em amônio e depois em nitrato foi, certamente, mais rápida que a mineralização da matéria orgânica do dejeito suíno, fazendo com que este nutriente estivesse mais prontamente disponível para ser absorvido pela cultura do milho, o que proporcionou maiores produtividades até a dose de 200 kg ha^{-1} de N. Com mais nitrato presente no solo, maior foi a lixiviação deste íon, o que associado com a maior volatilização do nitrogênio aplicado em cobertura, provavelmente reduziu a quantidade de nitrogênio mineral no perfil do solo ao longo dos anos. Mesmo

com a aplicação de uma dose de 250 kg ha⁻¹ de fertilizante mineral, o uso continuado desta fonte tendeu a exaurir o N do solo e a reduzir gradativamente a produtividade da cultura do milho. Certamente que o uso de outras fontes de nitrogênio mineral, como o sulfato de amônio, e alterações no manejo da cultura, pode atenuar este problema.

Tanto do ponto de vista da produtividade da cultura, quanto do acúmulo de nitrogênio no solo ou da lixiviação de nitrato, a combinação de dejeito suíno com fertilizante mineral para a produção de milho mostrou-se vantajosa. Como a metade da dose de nitrogênio é proveniente do dejeito suíno e este é lentamente mineralizado, a lixiviação de nitrato tendeu a ser menor. Por outro lado, como o fertilizante mineral é rapidamente convertido em formas facilmente absorvíveis pelas plantas, a cultura do milho extraiu mais nitrogênio, o que proporcionou maiores produtividades. Uma das desvantagens do uso combinado de dejeito suíno com fertilizante mineral, em doses de 200 kg ha⁻¹ ou maiores, é a tendência de acúmulo de nitrogênio no perfil do solo e de aumento da lixiviação de nitrato após 15 a 20 anos de uso continuado. Este problema pode ser atenuado através da utilização de uma maior proporção de fertilizante mineral nos primeiros anos e a redução gradativa desta proporção ao longo do tempo. Desta maneira, a cultura do milho teria à sua disposição, ao longo dos anos, um melhor equilíbrio entre formas de nitrogênio prontamente disponíveis às plantas (amônio + nitrato) e aquelas de liberação lenta (N orgânico). Adicionalmente, o acúmulo de nitrogênio no solo e a lixiviação de nitrato tenderiam a ser mais bem controlados após longos períodos de utilização das fontes combinadas.

Quando se comparam todos os tratamentos, observa-se que a dose utilizada pelo produtor, de 247 kg ha⁻¹ de nitrogênio oriundo de fertilizante mineral, combinada com 168 kg ha⁻¹ de nitrogênio proveniente de dejeito suíno, não demonstrou ser sustentável em relação ao problema de lixiviação de nitrato e de acúmulo de nitrogênio no solo. O uso de apenas fertilizante mineral no cultivo de milho também não demonstrou ser sustentável, podendo exaurir o solo com o tempo. A utilização de uma dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, composta por partes iguais de fertilizante mineral e de dejeito suíno, mostrou-se vantajosa, pois proporcionou maior absorção de N, com aumento da produtividade de milho com o tempo e manteve o acúmulo de nitrogênio no solo e a lixiviação de nitrato em níveis aceitáveis. Pode-se refinar esta estratégia recomendando-se que o produtor utilize proporções de dejeito suíno e fertilizante mineral variando como o tempo, como discutido anteriormente.

Conclusões

Os resultados indicam que a utilização de fertilizante mineral como fonte de nitrogênio não é sustentável, podendo esgotar o nitrogênio do solo, além de resultar na redução da produção de milho em longo prazo.

A utilização de uma dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, composta por partes iguais de fertilizante mineral e de dejeito suíno, proporcionou maior absorção de N e, conseqüentemente, aumento da produtividade de milho com o tempo, embora também se tenha verificado tendência de acúmulo de nitrogênio no solo e de aumento da lixiviação de nitrato.

A dose atualmente utilizada pelo produtor, de 247 kg ha⁻¹ de nitrogênio, oriundo de fertilizante mineral, combinada com 168 kg ha⁻¹ de nitrogênio, proveniente de dejeito suíno, não se mostrou sustentável em relação ao problema da lixiviação de nitrato e de acúmulo de nitrogênio no solo.

Uma estratégia para melhorar a sustentabilidade do sistema, com o uso de dejeito suíno combinado com fertilizante mineral, na dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, seria o produtor empregar uma proporção maior de fertilizante mineral nos primeiros anos e reduzir gradativamente esta proporção ao longo do tempo, mantendo o acúmulo de nitrogênio no solo e a lixiviação de nitrato em níveis aceitáveis.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, processo n° 559065/2008-6. Agradecemos ao pessoal de apoio da Embrapa Milho e Sorgo, pela ajuda na coleta e análise de dados, e ao proprietário da Fazenda Saquinho e ao seu pessoal de campo, por permitirem e apoiarem o desenvolvimento deste estudo.

Referências

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2013. 480 p.

AGRICULTURA de Baixo Carbono: plante sustentabilidade, e colha resultados. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010. Programa ABC. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/abc>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 101-108, 1994.

ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBEMAZ, W. M.; VIANA, M. C. M. **Integração lavoura-pecuária-floresta na região de Sete Lagoas, Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 166). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2009/comunicado/com_166.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2012.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. de L. T. de; OLIVEIRA, A. C. de; SILVA, D. de F.; SANTANA, C. B. de; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. de. **Metodologia para o estabelecimento do período de semeadura de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 13 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 88).

ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COELHO, A. M.; TEIXEIRA, E. G. Dinâmica de água e soluto em um latossolo cultivado com milho irrigado: 1 - Percolação e produtividade da água. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14.; ENCONTRO LATINOAMERICANO DE IRRIGAÇÃO, DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES, 1., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABID, 2004. 1 CD-ROM.

ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; COELHO, A. M.; GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURAES, F. O. M. Simulação do crescimento da planta e da dinâmica de água e nitrogênio na cultura do milho: 2. Dinâmica de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO

SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte. **Inovação para sistemas integrados de produção**: trabalhos apresentados. [Sete Lagoas]: ABMS, 2006. 1 CD-ROM.

ARNS, A. P. **Eficiência fertilizante da cama sobreposta de suíno**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MEIRELLES, M. L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. [Planaltina]: EMBRAPA-CPAC, 1993. cap. 4, p. 89-108.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 905-915, 2000.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejetos líquidos de suínos: II Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1305-1312, 2005.

BLACK, A. S.; WARING, S. A. Adsorption of nitrate, chloride and sulfate by some highly weathered soils from south-east Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 17, p. 271-282, 1979.

BOWEN, W. T.; JONES, J. W.; CARSKY, R. J.; QUINTANA, J. O.

Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 153-159, 1993.

BOWEN, W. T.; THORNTON, P. K.; HOOGENBOOM, G.; TSUJI, G. Y. The simulation of cropping sequences using DSSAT. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 313-328. (Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, 7).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio 15N em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 187-193, 1991.

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo?** Piracicaba: POTAFOS, 2003. 12 p. Encarte do Informações Agrônomicas, n. 101, mar. 2003.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 03, de 29 de abril de 2008**. Aprova a listagem das atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio. Florianópolis, 2008. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolucao%20CONSEMA%29003-2008.pdf>> Acesso em: 30 abr. 2013.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GARCIA, J. C.; GOMES, P. H. A.; FERNANDES, J. S. da C.; ALBERNAZ, W. M. **Avaliação de sistemas de produção de milho na região de Sete Lagoas,**

MG. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 123).

DEKALB. Semente híbrida de milho safrinha 2010 DKB 390. 2010. Disponível em: <http://www.dekalb.com.br/produto_milho_safrinha.aspx?id=34>. Acesso em: 26 abr. 2012.

GAVA, G. J. C. Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta no ciclo da cultura do milho. 2003. 125 f. (Tese de Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GERVÁSIO, E. W. Suinocultura Paranaense. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=185#>>. Acesso em: 02 jun. 2013.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 761-768, 2009.

GROVE, L. T.; RITCHEY, K. D.; NADERMAN JÚNIOR, G. C. Nitrogen fertilization of maize on Oxisol of the cerrado of Brasil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 27, p. 261-265, 1980.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTER, C. H.; HUNT, L. A.; BOOTE, K. J.; SINGH, U.; URYSEV, O.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; BATCHELOR, W. D.; TSUJI, G. Y. **Decision support system for agrotechnology transfer.** version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2011. 1 CD-ROM.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 abr. 2013.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 235-265, 2003.

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 3 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 31).

LARA CABEZAS, W. A. R.; ARRUDA, M. R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A. Imobilização de nitrogênio da ureia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 215-226, 2005.

LOECKE, T. D.; LIEBMAN, M.; CAMBARDELLA, C. A.; RICHARD, T. L. Corn response to composting and time of application of solid swine manure. **Journal of Agronomy**, v. 96, p. 214-223, 2004.

LONG, G. Q.; SUN, B. Nitrogen leaching under corn cultivation stabilized after four years application of pig manure to red soil in subtropical China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 146, n. 1, p. 73-80, 2012.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981.

O'SHEA, J. **Agronomic value for broad acre crops of deep litter**

from pig sheds. 2000. Relatório final do projeto n° BMI 13/1228, Austrália. 2000. Disponível em: <<http://www.apl.au.com>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

PALHARES, J. C. P.; BARIONI JUNIOR, W.; JACOB, A. D.; PERDOMO, C. C. **Impacto ambiental da concentração de suínos na micro-bacia hidrográfica do Rio Fragosos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 307).

PARTON, W. J.; COLE, C. V.; STEWART, J. W. B.; OJIMA, D. S.; SCHIMMEL, D. S. Simulating regional patterns of soil C, N, and P dynamics in the U.S. central grasslands region. In: CLARHOLM, M.; BERGSTROM, L. (Ed.). **Ecology of arable land**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 99-108.

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M.; NONE, S. K. Produção de suínos e meio ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9., 2001, Gramado. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2001. p. 8-24.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1279-1287, 2003.

RITCHIE, J. T.; SINGH, U.; GODWIN, D. C.; BOWEN, W. T. Cereal growth, development and yield. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). **Understanding options for agricultural production.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 79-98.

SÁ, J. C. M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema**

plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996.

SANCHEZ, P. A. Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SCHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CATARELLA, H. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production: proceedings...** Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. Proceedings of the IV International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, Belo Horizonte, 1996.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 123-131, 2007.

SILVA, F. C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p. il.

SILVA, D. de F.; ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A. de; ALVES, M. E. B.; RODRIGUES, C. C. F.; FONSECA, D. A. B.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXAO, J. S. Calibração e avaliação do modelo CSM-CERES-MAIZE para simulação do manejo da fertilização mineral e com dejetos de suínos em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovação na era dos transgênicos:**

resumos expandidos. Campinas: Instituto Agronômico; Sete Lagoas: ABMS, 2012. p. 3215-3221. 1 CD-ROM.

SOLER, C. M.T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, v. 27, p. 165-177, 2007.

THORNTON, P. K.; WILKENS, P. W.; HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. **DSSAT v. 3: Decision Support System for Agrotechnology Transfer**. Honolulu: University of Hawaii, 1994.

TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.). **DSSAT version 3**. Honolulu: International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer: University of Hawaii, 1994. Disponível em: <<http://dssat.info/wp-content/uploads/2011/10/DSSAT-vol3.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2013.

ZIMBRES, E. **Guia avançado de águas subterrâneas**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. Disponível em: <<http://meioambiente.pro.br/agua/guia//aguasubteranea.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

Literatura Recomendada

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 95-102, 2007.

BASSO, C. J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no**

solo de dejetos líquidos de suínos. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 jan. 2001. Seção 1, p. 26.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 de jul. 1986.

GIACOMINI, S. J. **Avaliação e modelização da dinâmica do carbono e do nitrogênio no solo com o uso de dejetos de suínos.** 2005. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 195-205, 2008.

JONES, J. W.; KINIRY, J. R. **Ceres-maize:** a simulation model of maize growth and development. College Station: USA Texas A&M University Press, 1986. 56 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P.T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SHAYYA, W. H.; BERNUTH, R. D.; RITCHIE, J. T.; PERSON, H. L.
A simulation model for land application of animal manure. St. Joseph: ASAE, 1993. (ASAE Paper, 93-2012).

WHITE, R. E. Leaching. In: WILSON, J. R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems.** Wallingford: Centre for Agricultural Bioscience International, 1987. p. 193-211.

Embrapa

Milho e Sorgo



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE - 10656