

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA - PGEAGRI

**ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA APLICADA EM COBERTURA NA CULTURA
DO MILHO COM CULTIVO SEQUENCIAL DE AVEIA PRETA**

FÁBIO PALCZEWSKI PACHECO

CASCAVEL – PARANÁ - BRASIL

2012

FÁBIO PALCZEWSKI PACHECO

**ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA APLICADA EM COBERTURA NA CULTURA
DO MILHO COM CULTIVO SEQUENCIAL DE AVEIA PRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientadora: Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega

Co-orientador: Dr. Silvio César Sampaio

CASCADEL – PARANÁ - BRASIL

2012

FICHA CATALOGRÁFICA¹

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

P119a Pacheco, Fábio Palczewski
Água residuária de suinocultura aplicada em cobertura na cultura do milho com cultivo sequencial de aveia preta. / Fábio Palczewski Pacheco — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
67 p. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega
Co-orientador: Dr. Silvio César Sampaio
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Dejetos suínos. 2. Nutrição vegetal. 3. Reuso de água na agricultura. 4. Água residuária – Suinocultura. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 631.86

¹ Revisor de Normas, Língua Portuguesa e Língua Inglesa. Professor Ms. José Carlos da Costa.

FÁBIO PALCZEWSKI PACHECO

**ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA APLICADA EM COBERTURA NA CULTURA
DO MILHO COM CULTIVO SEQUENCIAL DE AVEIA PRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, aprovado pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Professora Dra Lúcia Helena Pereira Nóbrega

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE - Cascavel

Professor Dr. Tiago Roque Benetoli da Silva

Universidade Estadual de Maringá, UEM - Umuarama

Professor Dr. Márcio Furlan Maggi

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE - Cascavel

BIOGRAFIA

Fábio Palczewski Pacheco nasceu na cidade de Cascavel – PR, em 26 de Janeiro de 1986. Em 2004, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, concluído em 2009. Em 2007, foi voluntário de iniciação científica, sob orientação da Professora Lúcia Helena Pereira Nóbrega, no projeto *Sementes de feijão armazenadas sob tratamento com inseticida natural a base de pó de cinamomo (Melia azedarach)*. Nos anos de 2008 e 2009, continuou como bolsista de iniciação científica, até a conclusão do curso de graduação. Em 2010, iniciou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Área de Engenharia de Sistemas Agroindustriais pela Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

"Mas esforçai-vos e não desfaleçam as vossas mãos, porque a vossa obra tem uma recompensa". II Cr 15:7.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo fôlego da vida e Seu amor incondicional, que é sem medida e incomparável.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *campus* de Cascavel, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e suporte para realização deste curso.

À minha orientadora professora Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega, pela orientação dedicada, competente e muito paciente, além da amizade, que contribui vastamente não só para realização deste trabalho, mas também para o grande estímulo à minha formação pessoal e profissional, sendo exemplo a ser seguido.

Aos meus pais Salete M. P. Pacheco e João A. S. Pacheco e a minha irmã Fabiana C. P. Pacheco, pela compreensão e por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos. Amo vocês!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado;

Ao senhor José Augusto Azambuja, pela gentileza e provisão das sementes de milho.

Ao IAPAR, pela doação das sementes de aveia preta, especialmente aos funcionários José Pola e Gleiner da unidade de Londrina e Mariângela da unidade de Cascavel.

Ao SIMEPAR, por conceder os dados de temperatura e precipitação.

À COOPAVEL, pelo transporte e concessão da água residuária de suinocultura utilizada no experimento.

Aos meus grandes e queridos amigos do Laboratório de Avaliação de Sementes e Plantas (LASP), pelo auxílio no experimento em campo, pelas análises em laboratório, conselhos e incentivos: Adriana Maria Meneghetti, Ariane Spiassi, Danielle Medina Rosa, Gislaine Picolo de Lima, Márcia Maria Mauli, Michelle Tonini, Joseli V. Ditzel Nunes,

Francielle Salvatti e Jaqueline Senem. Obrigado pela paciência, confiança e companheirismo.

Ao Edison Barbosa da Cunha, técnico Laboratório de Saneamento Ambiental, pelo grande auxílio nas análises químicas e adsorção atômica, meu muito obrigado!

Aos alunos de iniciação científica do LASP, pela amizade e colaboração: Gisele Alessandra dos Santos, Camila Brum Braun, Luan Stein e Daiane Vanso.

À Cíndia Sordi, que tanto me auxiliou nos trabalhos no campo. Sei que não é fácil.

Aos meus professores, pela amizade e conhecimento transmitido: Lúcia Helena Pereira Nóbrega, Miguel Angelo Uribe-Opazo, Maria Hermínia Tavares, Silvia Renata Machado Coelho, Andrea Maria Teixeira Fortes, Divair Christ e Silvio César Sampaio.

Aos meus colegas de disciplinas: Michael S. Alcântara, Olga Marluci Passarin, Denise Palma, Carla Limberguer Lopes, Adriana N. Lima, Dércio Ceri Pereira, Francielly Torres S. Kollen, Jian Pires Frigo, Thaísa Pegoraro, Ana Paula Castaldelli, Vanderleia Schoeninger, Naimara V. do Prado, Kayla Gabus, Esmeralda de Camargo, Sérgio Basílio e Ralpho R. Reis.

Ao meu co-orientador Dr. Silvio César Sampaio, pela integração ao grupo de estudos de resíduos agroindustriais e considerações sobre este trabalho.

Aos membros da banca, pela leitura e contribuições à melhoria do trabalho.

Enfim, agradeço todos aqueles que participaram de qualquer forma na realização deste trabalho tão importante para minha vida.

ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA APLICADA EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO COM CULTIVO SEQUENCIAL DE AVEIA PRETA

RESUMO

As taxas de aplicação de águas residuárias de suinocultura (ARS) utilizadas na produção agrícola devem ser suficientes para suprir a demanda das plantas por nutrientes. Justifica-se, então, a necessidade de pesquisas sobre uso e manejo da água residuária de suinocultura como fertilizante, para que aplicações sejam feitas de acordo com recomendações técnicas, levando-se em conta sua composição, as características do solo e da cultura. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi monitorar a influência do uso da água residuária de suinocultura, aplicada como adubação de cobertura na cultura do milho com cultivo sequencial de aveia preta. Cinco taxas de aplicação de água residuária (0; 100; 200; 300 e 537 m³ha⁻¹, equivalentes a 0; 11,2; 22,3; 33,5 e 60 kg ha⁻¹ de N respectivamente, baseado na concentração média de N na ARS) foram testadas, com quatro repetições cada. No milho e na aveia preta foram feitas análises foliares e do tecido vegetal. No solo foram determinados: porosidade do solo, densidade, teor de água, pH, carbono, CTC, saturação por bases, acidez potencial e nutrientes, antes da semeadura do milho e ao final dos ciclos do milho e aveia preta. A adubação de cobertura na cultura do milho elevou os teores foliares de P, N e Mn e diminuiu os teores foliares de K e Mg. Na cultura da aveia preta, o efeito residual proporcionou aumento de 87% na massa seca, teor de clorofila, teores foliares de N, Ca e Na, e diminuiu a relação folha/colmo e teores de P, K, Mg, Cu. As culturas sob tratamentos com ARS não apresentaram deficiência de nutrientes. Houve redução da macroporosidade e porosidade total do solo, quanto maior foi a taxa de aplicação de ARS na cultura do milho. A introdução da aveia preta contribuiu para melhorar a qualidade física do solo e reduziu a compactação na camada superficial de 0-15 cm. Houve aumento dos teores de K⁺, Cu e Zn, acidez potencial e capacidade de troca de cátions e reduziu teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe, saturação por bases e pH do solo. Neste experimento, taxas com até 200 m³ha⁻¹ (exceto testemunha) apresentaram resultados de suficiência de nutrientes e não provocaram deficiência na aeração do solo, o que foi benéfico para as culturas, podendo ser utilizadas como adubação de cobertura em milho.

PALAVRAS-CHAVE: dejetos suínos, nutrição vegetal, reúso de água.

SWINE WASTEWATER APPLIED AS TOPDRESSING ON MAIZE CROP FOLLOWED BY BLACK OATS

ABSTRACT

The application rates of swine wastewater used in crop production should be enough to meet the demand for plant nutrients. Thus, it is justified the need to research its use and management as a fertilizer for applications to be made according to technical recommendations. Taking into account its features, soil characteristics and crop were taken into account. In this context, the aim of this study was to monitor wastewater influence as topdressing to maize (*Zea mays* L.) and black oats (*Avena strigosa* Schreb.) crops in sequence. Five rates of wastewater application (0; 100; 200; 300 e 537 m³ha⁻¹ equivalents to 0; 11,2; 22,3; 33,5 and 60 kg ha⁻¹ of N respectively, based on an average concentration of N on swine wastewater) were tested in four replications each. In maize and black oats were performed foliar and plant tissue analysis. In the soil porosity, bulk density, soil water content, pH, carbon, CEC (Cation Exchangeable Capacity), alkaline saturation, potential acidity and nutrients were determined at the final maize and black oats cycles. The topdressing on maize crop sowing crop increased foliar content of P, N e Mn, decreased the foliar content of K and Mg. In black oats crop the residual effects provided 87% dry mass increase, chlorophyll content, foliar contents of N, Ca and Na, and decreased the relation between leaf/stem and contents of P, K, Mg and Cu. The crops under swine wastewater treatment did not show nutrients deficiency. There was a decrease on the macropores and total soil porosity when the application rate of swine wastewater increased on maize crop. The roots development of black oats contributed to improve the soil physical quality and decreased the compaction on 0 to 15 cm, upper layer. There were an increases of K⁺, Cu and Zn contents, potential acidity and cation exchange capacity and decreases of Ca²⁺, Mg²⁺ and Fe contents, base saturation and soil pH. In this experiment, rates up to 200 m³ha⁻¹ (except control) showed available results of nutrients; which did not cause deficiency on soil aeration, important to crops. Thus, it can be used as maize topdressing.

KEYWORDS: swine manure, swine slurry, vegetal nutrition, water recycling.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x	
LISTA DE FIGURAS	xi	
1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo geral	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	Suinocultura e geração de resíduos	4
3.2	Disposição de dejetos no solo e reúso da água na agricultura	5
3.3	Nutrientes e o desenvolvimento vegetal	8
3.4	Cultura do milho	10
3.5	Cultura da aveia preta	13
3.6	Atributos físicos do solo.....	16
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	Caracterização da área experimental	19
4.2	Instalação do experimento e aplicação dos tratamentos.....	20
4.3	Análise foliar.....	23
4.4	Atributos físicos do solo.....	24
4.5	Análises químicas do solo	24
4.6	Análise de variância e delineamento estatístico.....	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	Análise foliar das culturas do milho e aveia preta	26
5.2	Atributos físicos e químicos do solo.....	35
6	CONCLUSÃO	49
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	51	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estádios vegetativos e reprodutivos da planta do milho.....	10
Tabela 2	Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho	12
Tabela 3	Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura da aveia preta	15
Tabela 4	Características físico-químicas do solo da área experimental anteriormente à instalação do experimento. Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Cascavel – PR, 2011	19
Tabela 5	Características físico-químicas da água residuária de suinocultura, coletada antes e após a aplicação nas parcelas experimentais. Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Cascavel – PR, 2011	21
Tabela 6	Descrição das taxas de aplicação e quantidade de N total aplicado no solo, via água residuária de suinocultura. Cascavel – PR, 2011	22
Tabela 7	Médias de massa fresca e seca e área foliar de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011	26
Tabela 8	Resumo da análise de variância de teor de clorofila, massa fresca e seca e relação folha:colmo da cultura da aveia preta após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011	27
Tabela 9	Resumo da análise de variância dos teores de macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar de milho e aveia preta em sequência com aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura – Cascavel-PR, 2011.	29
Tabela 10	Resumo da análise de variância, coeficiente de variação (CV), desvio padrão de teor de água, macro, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011	35
Tabela 11	Resumo da análise de variância dos teores de macro e micronutrientes nutrientes no solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura, e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011 ...	39
Tabela 12	Resumo da análise de variância dos teores de carbono, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e saturação por bases ($V_1\%$) e pH do solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Médias quinzenais de temperatura máxima e mínima (°C), precipitação pluviométrica acumulada (mm) e umidade relativa do ar (%), durante o período experimental.....	20
Figura 2	Massas fresca e seca, clorofila e relação folha:colmo de aveia preta cultivada após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel, PR, 2011.....	27
Figura 3	Teores de macronutrientes aveia preta cultivada após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011.	30
Figura 4	Teores de micronutrientes do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e da aveia preta cultivada em sequência - Cascavel-PR, 2011.	33
Figura 5	Macro, microporosidade e porosidade total, densidade e teor de água do solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência. Cascavel-PR, 2011.	37
Figura 6	Macronutrientes no solo pós o cultivo da aveia preta após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011.	40
Figura 7	Teores de micronutrientes no solo após cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e da aveia preta cultivada em sequência - Cascavel-PR, 2011.....	42
Figura 8	Teores de carbono, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e saturação por bases ($V_1\%$) e pH do solo, após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011.	46

1 INTRODUÇÃO

Toda atividade agropecuária, durante o processo e após a sua finalização, gera resíduos com potencial poluidor, necessitando de tratamento e destino correto, por menores que sejam, visando à sustentabilidade.

A suinocultura é uma das atividades agropecuárias de maior importância para o estado do Paraná, produzindo mais de 4,6 milhões de cabeças em 2010 (IBGE, 2012), com negociações para exportação de carne suína com vários países, inclusive a China, maior consumidor mundial do produto. O Brasil exportou principalmente para Hong Kong, o maior comprador, com US\$ 323,7 milhões em 2011, mas também para a Ucrânia (US\$ 182,9 milhões), Argentina (US\$ 129,3 milhões) e Angola (US\$ 76,9 milhões) (BOMFIM, 2012).

O crescimento da demanda por carne suína faz com que produtores e cooperativas aumentem a produção e processamento, garantindo preço e qualidade no competitivo mercado externo. O aumento da produção de suínos faz com que, conseqüentemente, seja aumentada a geração de resíduos com altas cargas de nutrientes e matéria orgânica que, se descartadas no ambiente, podem poluir o solo, contaminar as plantas, os recursos hídricos e o homem.

Os solos paranaenses são, na sua maioria, pobres em nutrientes devido à sua origem ou elevado grau de intemperismo. As condições de clima tropical e subtropical com alta umidade e temperaturas elevadas são fatores que aceleram o processo de degradação da matéria orgânica, por esta razão, o manejo inadequado do solo agrícola pode reduzir a capacidade produtiva dos solos, sendo assim, a adição de matéria orgânica é importante para a manutenção e melhoria do potencial produtivo desses solos. (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Com a aplicação de água residuária de suinocultura no solo, reciclam-se nutrientes e matéria orgânica necessários para o desenvolvimento das culturas, reduzindo-se o uso de fertilizantes químicos que seriam adquiridos no comércio. Com essa economia, seria possível, ao longo do tempo, utilizar os recursos financeiros poupados para compra de máquinas e implementos que auxiliariam no cultivo da lavoura. No entanto, se essa prática for feita de maneira inadequada o efeito de poluição difusa continua, permanecendo o problema.

Para que essa prática seja feita de maneira correta, vários fatores devem ser considerados, como a constituição do resíduo, tipo de solo, clima, manejo, histórico da área, necessidades da cultura, local de aplicação (foliar ou solo) e época de aplicação do resíduo.

A determinação das necessidades nutricionais de qualquer planta é dada pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante seu ciclo, dependendo do rendimento

obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Tanto na produção de sementes como na silagem é necessário aplicar quantidades suficientes de nutrientes para que fiquem disponíveis às plantas.

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. O suprimento inadequado de nitrogênio é considerado um dos principais fatores limitantes ao rendimento de grãos, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, influenciando o seu crescimento mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

Estudos já relataram que a aplicação de água residuária, como alternativa aos fertilizantes, apresenta efeitos no solo muito semelhantes aos de fertilizantes químicos. Entretanto, a aplicação é feita antes da semeadura da cultura principal, perdendo grande parte do nitrogênio aplicado por volatilização e/ou lixiviação (SAMPAIO *et al.*, 2010; MAGGI *et al.*, 2011; DÍEZ *et al.*, 2012). Sendo assim, a aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura pode ser alternativa para aumentar a eficiência de aplicação e resposta da cultura ao N aplicado, restando nutrientes para cultura posterior, sem necessitar de adubação.

Apesar de várias pesquisas com o uso de dejetos suínos e seus derivados aplicados como fertilizantes no solo, ainda não existe consenso sobre as taxas a serem aplicadas, devido às diferentes composições dos resíduos, tipos de solo, clima e necessidades de cada cultura.

Os aspectos citados justificam a necessidade de estudos sobre o uso e manejo da água residuária de suinocultura como adubação de cobertura, para que as aplicações sejam feitas de acordo com recomendações técnicas e maior eficiência no manejo e absorção de nutrientes, levando-se em conta sua composição, características do solo e da cultura, com visão mais abrangente das implicações para as plantas e solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos de taxas de água residuária de suinocultura, como adubação de cobertura sobre o milho, e o efeito residual sobre aveia preta cultivada em sequência.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a área foliar e a massa fresca e seca de milho, com aplicação de taxas de água residuária de suinocultura, tratada em biodigestor e lagoa de sedimentação, e aveia preta cultivada em sequência, no inverno.

- Estudar no início do florescimento das plantas as concentrações dos seguintes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe e do elemento mineral Na nas folhas do milho e da aveia preta;

- Comparar e determinar a melhor taxa de aplicação de água residuária para a cultura do milho;

- Estudar a produção de massa, relação folha:colmo na cultura da aveia preta sem adubação, após o cultivo do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura;

- Avaliar o efeito das taxas de aplicação de água residuária de suinocultura nos atributos químicos e físicos do solo, durante e após a sucessão do cultivo de duas poáceas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Suinocultura e geração de resíduos

O Estado do Paraná foi o maior produtor de agropecuária do Brasil em 2008, com valor da produção de R\$ 30,7 bilhões, correspondente a 12,8% do total brasileiro. No ano de 2010, pela primeira vez, o Paraná ultrapassou o estado de São Paulo no *ranking* brasileiro do valor da produção agrícola, graças ao aumento do valor (22,6%), superior ao de São Paulo (21%), que foi de R\$ 30,5 bilhões. O crescimento do valor da produção de soja, principal produto do Paraná, de 48,1% (equivalente a R\$ 2,8 bilhões) em 2008, contribuiu acentuadamente para o desempenho estadual (TSUNECHIRO, 2010).

A suinocultura é uma das maiores e mais importantes cadeias produtivas da indústria alimentar existente no Brasil, com plantel de suínos avaliado em cerca de 37,8 milhões de cabeças, responsável por negócios da ordem de 358 milhões de dólares (ABIPECS, 2008). Em 2010, o total de exportações de carne suína brasileira foi de 176.717 toneladas, arrecadando cerca de 4,26 bilhões de dólares no primeiro trimestre (ABIPECS, 2010).

No entanto, a atividade suinícola é responsável por grandes danos ambientais, pela poluição dos recursos naturais, como o solo e a água. O correto manejo e tratamento dos dejetos suínos devem ser considerados como parte do processo produtivo, exigindo critérios técnicos para a escolha da tecnologia e o nível de tratamento desejado (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

A produção intensiva e o aumento de produtividade também resultaram no aumento da poluição por dejetos suínos, a qual tem causado desequilíbrios ecológicos em diversos municípios da região Sul. Este panorama foi agravado a partir da década de 1970, quando a produção desse resíduo orgânico excedeu, em grande parte, sua capacidade de absorção pelo meio ambiente (NICOLAIEWSKY, 1998).

Em 2011, o sudoeste do Paraná produziu 1.565.200 suínos, sendo responsável por 18,2% do total nacional (IBGE, 2012). A Associação de Suinocultores do Oeste do Paraná (ASSUINOESTE) relatou que no ano de 2005, a produção de suínos na região foi de 410 mil cabeças, no total de 750 produtores. Considerando-se que cada suíno produz, em média, sete litros de dejetos por dia, o que equivale à produção de esgoto de cinco pessoas (PERDOMO, 1999), tem-se cerca de 2.870 m³ de dejetos suínos produzidos diariamente na região, o equivalente à carga orgânica do esgoto de 574.000 pessoas.

3.2 Disposição de dejetos no solo e reúso da água na agricultura

A forma de disposição e depuração de esgotos e de dejetos de animais sobre o solo tem sido apontada como alternativa barata e viável. Esta forma de disposição tem por objetivo a redução dos custos de tratamento, o reaproveitamento dos nutrientes e o melhoramento das condições físicas e químicas do solo. No entanto, deve ser feita de forma cuidadosa, para que não venha contribuir com a contaminação de águas subterrâneas, superficiais e de plantas, por meio de metais pesados, e não tragam efeitos negativos sobre características físicas e químicas do solo (MATOS *et al.*, 1997).

O reúso da água torna-se necessário por aspectos ambientais e econômicos, pois utilizando a água residuária economizam-se fertilizantes e água, uma vez que o teste químico indique a não contaminação, o reúso pode ser assegurado. Assim, não se descarta a água residuária de maneira aleatória no ambiente, evitando-se a contaminação, o desperdício e o tratamento de água, tornando viável a utilização deste recurso.

A utilização de dejetos de suínos, como fonte primária de biofertilizantes, pode ser altamente benéfica para a produção de grãos e forragem. No entanto, tem sido dada grande ênfase apenas à capacidade de produção, não enfocando os aspectos ambientais do processo (SCHERER, 1997). Estudos realizados por Matos *et al.* (1997), sobre mudanças químicas e microbiológicas causadas em solo Podzólico Vermelho - Amarelo pela aplicação de dejetos de suínos líquidos em diferentes taxas, observaram rápido aumento da população de micro-organismos no solo. Esse efeito pode causar o desequilíbrio ecológico do solo, influenciando sua química e sua microbiologia, o que alteraria a biodisponibilidade e a taxa de absorção de micro e macronutrientes pelas plantas.

As taxas de aplicação de águas residuárias usadas na produção agrícola devem ser suficientes para suprir, adequadamente, a demanda das plantas por nutrientes. No entanto, a restrição de área para exploração agrícola, em virtude do relevo bastante acidentado na Zona da Mata Mineira, tem ocasionado a disposição de grande quantidade de ARS na fertirrigação de forrageiras e cultivos anuais, o que pode provocar risco de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, além da possibilidade de ocorrência de fitotoxicidade (FREITAS *et al.*, 2005).

Atenção especial deve ser dada à quantidade de sais contidos nessas águas, uma vez que aplicações sucessivas podem favorecer o processo de salinização do solo. Segundo Izzo, Navari-Izzo e Quartacci (1991), o estresse salino constitui um dos mais sérios fatores limitantes ao crescimento e produção das culturas, induzindo modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores.

Em experimentos realizados por Tonini *et al.* (2008), em que se avaliou a qualidade de sementes e plantas de soja irrigada com água residuária de suinocultura, verificou-se que

a água residuária reduziu a germinação e o vigor das sementes colhidas. A redução foi tanto maior quanto maior a taxa de ARS aplicada.

Prior (2008) avaliou o efeito da água residuária de suinocultura no solo e milho e também encontrou valores para N abaixo do nível considerado ideal para o desenvolvimento da cultura, atingindo $15,02 \text{ g kg}^{-1}$, em média. Para K, o mesmo autor obteve teores médios de $20,80 \text{ g kg}^{-1}$.

Segundo Laslowski (2004), como o biofertilizante é o resultado da fermentação dos dejetos no biodigestor, não tem custo adicional no sistema para sua obtenção e pode ser usado como adubo orgânico na lavoura. Em 700 ha de agricultura, com o uso de biofertilizante, estima-se economia de duzentos e cinquenta mil reais por ano, quando comparado aos fertilizantes industriais.

Na urina de suínos, a quantidade de nitrogênio excretada será tanto maior quanto mais elevado for o nível de dieta (LUDKE; LUDKE, 2003; PERDOMO, 1997). De acordo com Oliveira (2001), o nitrogênio excretado pelos suínos corresponde à parte do nitrogênio alimentar que não foi retirada pelo animal na forma de proteína corporal (suínos em crescimento).

As quantidades e as frequências com que as dejeções animais podem ser aplicadas ao solo variam de acordo com o tipo de solo, com a natureza e composição dos resíduos, com as condições climáticas e com a espécie vegetal cultivada. Conforme Matos (2004), a dose de aplicação do resíduo pode ser determinada com base na concentração do nutriente presente em maior concentração, geralmente o nitrogênio.

Oliveira (1993) relatou que, quando o esterco líquido é aplicado em grandes quantidades no solo ou armazenado em lagoas sem revestimento impermeabilizante durante vários anos, poderá ocorrer sobrecarga da capacidade de filtração do solo e de retenção dos nutrientes do esterco, podendo, neste caso, alguns nutrientes atingirem as águas subterrâneas ou superficiais, acarretando grandes problemas de contaminação.

Uma vez estabelecidas as práticas de manejo consideradas adequadas para determinado sistema de produção, a maximização da produtividade e diminuição da variabilidade interanual depende, principalmente, do aproveitamento adequado dos recursos hídricos disponíveis. O aumento da eficiência de uso de água pode ser obtido com práticas de manejo que promovam diminuição das perdas de água no sistema solo-planta-atmosfera e melhor aproveitamento da mesma no processo produtivo (FARIA, 2006).

O dejetos líquido dos suínos contém matéria orgânica, como: N, P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Cu, além de outros elementos incluídos nas dietas dos animais (PERDOMO, 1997). Segundo Oliveira (2001), os suínos excretam, na urina e nas fezes, de 40 a 60% do nitrogênio consumido.

O cobre e o zinco são adicionados à alimentação dos suínos com o objetivo de prevenir doenças, melhorar a digestão e promover o crescimento (MARCATO; LIMA, 2005).

Quando são eliminados pelas fezes e estas são dispostas no solo, possibilitam pequenas quantidades de absorção destes nutrientes pelas plantas e, em quantidades significativas, podem ficar retidos no solo. Quando presentes em concentrações relativamente altas na solução do solo ($Zn > 1 \text{ mg kg}^{-1}$, $Cu > 0,8 \text{ mg kg}^{-1}$), tais elementos podem alcançar níveis tóxicos às plantas e micro-organismos (OLIVEIRA, 2006).

A adição de esterco suíno no solo proporciona aumento dos teores de Cu e Zn na camada superficial (0-20 cm) do solo, principalmente quando sob sistema plantio direto (STEINER *et al.*, 2011).

Após 17 aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos no solo, durante 78 meses, utilizando taxas fixas de 0, 20, 40 e $80 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, Girotto *et al.* (2010) observaram aumento nos teores de Cu e Zn no solo das camadas superficiais, com migração de Cu até a profundidade de 12 cm e de Zn até 10 cm. Observaram ainda, que o Cu, mais rapidamente que o Zn, pode atingir teores totais no solo acima dos valores considerados críticos pela bibliografia. Estes elementos se acumulam no solo, sobretudo nas formas biodisponíveis, sendo os maiores teores de Cu encontrados na forma orgânica e mineral do solo, e os do Zn na forma mineral.

No entanto, para que esses elementos sejam absorvidos pelas plantas, é necessário que sejam solubilizados na água do solo, a qual é denominada solução do solo. Essa solubilização é dependente de fatores físico-químicos e são altamente influenciadas pelas condições climáticas (BASTOS, 2003).

A maior eficiência técnica para a produtividade de grãos de milho e para produção de matéria seca de aveia preta ocorre com doses muito altas de dejetos líquidos de suínos, ou seja, em torno de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Somados ao incremento linear no acúmulo de N, P e K, na maioria dos casos, evidencia que, na tomada de decisão sobre doses de dejetos, devem ser considerados também aspectos operacionais, econômicos e ambientais (CERETTA *et al.*, 2005).

No entanto, a utilização de dejetos de suínos, sem tratamento, em Latossolo Vermelho Eutroférico e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico na cultura do milho deve ser evitada, pois doses de dejetos suínos, pré-estabilizados em esterqueira por 120 dias, superiores a $60 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (dose considerada baixa) oferecem riscos de lixiviação de nitrato nestes tipos de solo, sendo maior no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (FEY *et al.*, 2010).

O nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+) ocorrem naturalmente em solos e águas, como produtos da mineralização do material orgânico. Entretanto, grandes concentrações desses íons podem ocorrer quando há lançamento de material orgânico ou aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados no solo, o que pode causar riscos à saúde da população (MATOS *et al.*, 2009).

O nitrogênio inorgânico aumenta sua concentração em função da taxa de água residuária de suinocultura e do tempo e diminui em alguns estádios em que o milho apresenta maior necessidade desse elemento, já o nitrato apresenta oscilações na concentração, no decorrer do período, porém, sua concentração final é inferior à inicial, considerando o ciclo vegetativo da cultura (SAMPAIO *et al.*, 2010).

As quantidades e as frequências com que as dejeções animais podem ser aplicadas ao solo variam com o tipo de solo, com a natureza e composição dos resíduos, com as condições climáticas e com a espécie vegetal cultivada. De acordo com Matos (2004), a dose de aplicação do resíduo pode ser determinada com base na concentração do nutriente presente em maior concentração que, normalmente, é o nitrogênio.

3.3 Nutrientes e o desenvolvimento vegetal

A prática da agricultura exige o uso de corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas, de forma a atender a critérios racionais que permitam conciliar o resultado econômico positivo com a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente e com a elevação constante da produtividade das culturas (RAIJ, 1991).

Quando esses insumos são aplicados, acima da capacidade suportada pelo solo, podem liberar íons e compostos tóxicos ou não, os quais poderão poluir o solo e águas subterrâneas. Os íons disponibilizados na solução do solo podem ser adsorvidos ao solo, absorvidos pelas plantas ou lixiviados das camadas superficiais do solo (COSTA, 1999).

O fósforo é um elemento de baixa mobilidade no solo, encontrado como ortofosfatos, que são formas derivadas do ácido ortofosfórico: H_3PO_4 . É um nutriente exigido em pequenas quantidades pelas plantas. É encontrado em maiores quantidades nas sementes e frutos e menos nas folhas. Está incluído em compostos das plantas, essenciais em diversos processos metabólicos. Atuando na formação das partes reprodutivas das plantas, na estimulação do desenvolvimento radicular e na formação dos frutos e sementes (BORKET, 1989).

A cultura do milho absorve o fósforo da solução do solo, nas formas de íons $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} . O radical fosfato no interior da planta de milho pode estar como íon livre em solução, ligado a cátions metálicos, formando compostos solúveis ou complexos insolúveis e, na forma mais importante, ligado a radicais orgânicos (P orgânico). O fósforo é bastante móvel na planta podendo, se necessário, ser deslocado de tecidos mais velhos para tecidos mais jovens (GIANELLO *et al.*, 1995).

A importância do fósforo para a sobrevivência da planta tem promovido o desenvolvimento de mecanismos de adaptação da planta para melhorar seu acesso aos estoques de fósforo. A concentração de fósforo na solução do solo geralmente é baixa,

porque ele é rapidamente adsorvido nas superfícies dos coloides do solo ou é precipitado como fosfatos de cálcio, magnésio, ferro e alumínio (GRANT *et al.*, 2001).

A adição de fósforo pode promover aumento da taxa de crescimento suficiente para diminuir a concentração de zinco nas plantas ao nível de deficiência, pois a taxa de absorção de zinco não aumenta de forma rápida o suficiente para manter a concentração necessária na parte aérea, caracterizando o efeito diluição (OLSEN, 1972, CARNEIRO *et al.*, 2008).

O potássio é o nutriente mais consumido como fertilizante na agricultura brasileira, é também o nutriente mais encontrado nas plantas. É encontrado no solo na forma iônica K^+ . O potássio tem, assim, alguma semelhança com o fósforo, que também depende de difusão para chegar às raízes (RAIJ, 1991).

O nitrogênio inorgânico do solo existente a cada instante é resultante dos processos de mineralização da matéria orgânica atuando em sentido favorável, e da imobilização atuando em sentido desfavorável. A quantidade de nitrogênio em formas inorgânicas no solo é muito variável e afetada por condições climáticas, temperatura em climas temperados e umidade em climas tropicais (HARMSSEN; KOLEMBRANDER, 1965).

Além da função na formação de proteínas, o nitrogênio é integrante da molécula de clorofila. Desta forma, plantas bem nutridas em nitrogênio apresentam crescimento vegetativo intenso e coloração verde-escura (TANAKA *et al.*, 1997).

A assimilação do nitrogênio é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas e tem efeitos marcantes sobre a fitomassa e a produtividade final das culturas, estando presente em diversas formas na biosfera. Embora se encontre cerca de 78% na forma molecular na atmosfera, esse grande reservatório não está diretamente disponível para os seres vivos. Para ser absorvido, é necessária a quebra de uma ligação tripla covalente entre dois átomos de N. A incorporação de nitrogênio em compostos orgânicos acontece de modo intenso em células de raízes jovens em crescimento. As principais fontes de nitrogênio disponíveis para as plantas são o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+) (SALISBURY; ROSS, 1992).

O nitrato absorvido é assimilado nas raízes ou na parte aérea, dependendo da sua disponibilidade, da espécie vegetal e do estágio de desenvolvimento da planta. No processo de assimilação o nitrato é reduzido a nitrito (NO_2^-) no citosol, pela enzima redutase do nitrato (RN), considerada chave na assimilação do nitrato, sendo, posteriormente, o nitrito reduzido a amônio nos plastídeos da raiz ou nos cloroplastos, pela enzima nitrito redutase (KLEINHOF; WARNER, 1990).

3.4 Cultura do milho

A região sudoeste do Paraná é a terceira produtora estadual de milho, respondendo por mais de 9% da produção estadual total, no ano de 2008, e mais de 14% da produção na primeira safra paranaense de milho, nesse mesmo ano (IBGE, 2012). Ainda, há que se considerar que, dos 711.317 Mg de milho em grãos produzidos nessa região, no ano de 2006, mais de 75% foram produzidos pela agricultura familiar (500.370 Mg) (MARTIN *et al.*, 2011).

O milho é uma planta de ciclo vegetativo muito variável. No Brasil, a cultura apresenta ciclo entre 110 e 180 dias, variando em função da caracterização do híbrido (superprecoce, precoce e ciclo normal) (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Segundo os mesmos autores, a cultura compreende os seguintes estádios de desenvolvimento:

(i) Emergência, período que vai desde a semeadura até o aparecimento efetivo da plântula (duas folhas completamente desenvolvidas), o que pode ocorrer de cinco a doze dias de duração, dependendo da temperatura e umidade do substrato;

(ii) Fase vegetativa, período entre a emissão da segunda folha e o início do florescimento, período que varia em função do híbrido escolhido;

(iii) Fase reprodutiva, período entre o início da polinização e o ponto de maturidade fisiológica, em que ocorre o enchimento completo dos grãos, tem duração entre cinquenta e oitenta dias;

(iv) O ponto de maturidade fisiológica é determinado pelo aparecimento da camada negra no ponto de inserção do grão com o ráquis. Esse é um indicativo do final do ciclo de vida da planta.

Na Tabela 1 estão descritos os estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho durante o desenvolvimento.

Tabela 1 Estádios vegetativos e reprodutivos da planta do milho

Vegetativo (V)		Reprodutivo (R)	
VE,	Emergência (4 a 5 DAS*)	R1,	Pendoamento
V1,	1ª folha desenvolvida	R2,	Bolha d'água
V2,	2ª folha desenvolvida	R3,	Leitoso
V3,	3ª folha desenvolvida	R4,	Pastoso
V4,	4ª folha desenvolvida	R5,	Formação de dente
V(n),	nº folha desenvolvida	R6	Maturidade fisiológica
VT,	Pendoamento		

Nota: *DAS = Dias após a semeadura.

Fonte: Ritchie, Hanway e Benson (2011).

Existem variados espaçamentos e populações de plantas recomendados para cultura, sendo responsáveis fatores como arquitetura de planta, variedade escolhida, tipo de solo e sistema de produção. Estudos realizados por Silva *et al.* (2011b). em Latossolo Vermelho Distroférico, textura argilosa, apontaram a população de 80.000 plantas ha⁻¹ como a melhor opção para população de plantas, pois apresentou maior produtividade, necessitando estudos em áreas comerciais para avaliar a viabilidade.

Evans, Gmur e Costa (1977) estudaram a cultura do milho submetida à aplicação de esterco líquido de suíno na dosagem de 636 t ha⁻¹ (massa fresca). Por dois anos sucessivos, observaram que a produção média de grãos foi 7,10 t ha⁻¹, enquanto que para os tratamentos fertilizados com adubação mineral este valor foi 6,88 t ha⁻¹. A composição química de N, P, K, Ca e Mg nas folhas foi, em média, 3,39, 0,39, 2,51, 0,72 e 0,32% da massa seca nos tratamentos com esterco e 2,88, 0,31, 1,93, 0,72 e 0,55% de massa seca com a adubação mineral, respectivamente.

Freitas *et al.* (2004) avaliaram o efeito de aplicação de quatro lâminas de água residuária de suinocultura (água de lagoa, bruta e peneirada), sobre a produção da cultura do milho para silagem. Constataram que o uso das águas residuárias aumentou em, aproximadamente, 58% a produtividade em relação à testemunha, altura de plantas, índice de espigas, altura e massa das espigas.

Estudos realizados por Melo, Corá e Cardoso (2011), com fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto, mostraram que os componentes de produção, número e massa de grãos por espiga e massa de grãos por planta, aumentaram com o acréscimo da dose de N e com o decréscimo da densidade de plantas. Os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com acréscimos concomitantemente nas doses de N e nas densidades de plantas. O máximo rendimento de grãos de milho foi obtido com 120 kg ha⁻¹ de N e densidade de 83.000 plantas ha⁻¹, apresentado no mesmo estudo. Calonego *et al.* (2011) relataram como densidade ideal para aumento de produtividade 75.000 plantas ha⁻¹.

As fontes de fertilizantes, aplicadas em pré-semeadura, afetaram o teor de N, K e S na folha do milho, mas não interferiram nos componentes da produção e na produtividade. A aplicação de N na forma de Entec 26 (inibidor de nitrificação) proporcionou maiores teores de N, K e S na folha do milho em relação à ureia. Já a aplicação de N em cobertura aumentou o número de espigas por planta, o número de grãos por espiga e, conseqüentemente, a produtividade de grãos do milho, quando cultivado sob sistema plantio direto em solo arenoso, com utilização de ureia ou Entec 26 (SORATTO *et al.*, 2011).

De maneira geral, o parcelamento da adubação nitrogenada deve ser feito em solos com teor de argila inferior a 30%, quando a cultura é instalada sob períodos chuvosos ou sob sistema plantio direto. Prevendo-se o rendimento de 4 a 6 Mg ha⁻¹ deve-se fazer adubação com 60 kg ha⁻¹ de N (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Em seus estudos, Santos *et al.* (2010) relataram que, quando o fertilizante é aplicado em pré-semeadura, com quinze dias de antecedência, a recuperação média de nitrogênio na planta, proveniente do fertilizante, é de 6 %, não sendo recomendada.

Em estudos realizados por Silva *et al.* (2009a), a aplicação de nitrogênio em cobertura não interferiu no crescimento e produtividade da cultura do milho safrinha e a adubação com zinco, via foliar, aumentou a altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo, contudo, não ocorreu aumento na produtividade da cultura.

Além de sintomas característicos de uma ou outra desordem na planta, somente manifestada em casos graves, a identificação do nível nutricional na planta somente é possível por meio de análise química. O órgão escolhido para este controle geralmente é a folha, pois ela é a sede do metabolismo que melhor reflete a composição e as mudanças na nutrição (COELHO; FRANÇA, 1995).

É necessário observar que a folha retirada para a análise foliar tem influência sobre o resultado final, por exemplo, diferenças entre os teores de Na⁺ e K⁺ nas folhas superiores e inferiores, que podem estar associadas às diferentes taxas de retranslocação desses íons na planta, sendo que essa taxa é normalmente maior para o potássio (LACERDA *et al.*, 2006).

Coelho e França (1995) citaram que, para o milho, a parte da planta que melhor representaria o estado nutricional seria o terço médio da folha oposta e abaixo da primeira espiga superior, excluída a nervura central, coletada no estágio do aparecimento da inflorescência feminina. Segundo os autores, esta folha é escolhida pelo estágio de desenvolvimento e sua posição serem facilmente reconhecidos, a remoção da folha não ocasionar danos para a produtividade, o efeito de diluição dos nutrientes nesta fase ser mínimo, o potencial de armazenamento dos órgãos vegetativos atingirem seu ponto máximo de crescimento e armazenamento e o alto requerimento de nutrientes desta fase vegetal.

Na Tabela 2 são apresentados os teores dos nutrientes em tecido foliar considerados adequados para a cultura do milho.

Tabela 2 Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho

Macronutrientes	Teor (g kg ⁻¹)	Micronutrientes	Teor (mg kg ⁻¹)
Nitrogênio	27,5 – 32,5	Boro	4 – 20
Fósforo	1,9 – 3,5	Cobre	6 – 20
Potássio	17,5 – 29,7	Ferro	20 – 250
Cálcio	2,3 – 4,0	Manganês	20 – 150
Magnésio	1,5 – 4,0	Molibdênio	0,15 – 0,20
Enxofre	1,5 – 2,1	Zinco	20 – 70

Fonte: Bull (1993).

Os componentes de produção como o número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e a produtividade em Latossolo Vermelho Eutroférico e em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, apresentaram aumento de 11,4% utilizando adubação com NPK na dosagem 60 – 200 - 100 kg ha⁻¹. No entanto, não houve resposta à aplicação de Zn, para nenhum dos componentes de produção e da produtividade para os dois tipos de solo analisados (GONÇALVES JÚNIOR *et al.*, 2007).

O esterco líquido de suínos, em cobertura de milho, com base na concentração de N total, resultou em rendimento de 6 para 11 Mg ha⁻¹ de grãos e as exportações de N e P foram semelhantes às que ocorre com o fertilizante com N mineral. O risco pós-colheita de acúmulo de nitrato para o milho em cobertura com esterco líquido de suínos brutos e tratados foi similar ao fertilizante mineral sobre solo siltoso e inferior ao fertilizante mineral no solo argiloso (CHANTIGNY *et al.*, 2008).

A aplicação de dejetos suínos (não tratados, resultante de lagoa de estabilização por 120 dias ou como efluente de biodigestor) promoveu aumento na produção de biomassa seca e na concentração de nutrientes no milho, menos para o cálcio (FEY *et al.*, 2010).

Quando o milho é fertilizado com dejetos suínos, adicionado com adubação mineral de fósforo e potássio, excede à necessidade da cultura e ocorre a acumulação no solo, não aumentando os teores nas plantas das culturas seguintes (CELA *et al.*, 2010).

3.5 Cultura da aveia preta

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) é uma gramínea anual de inverno. Apresenta dois sistemas radiculares: um seminal e outro de raízes permanentes (FLOSS *et al.*, 2009). O colmo é cilíndrico, ereto e glabro, composto de uma série de nós e entrenós. As folhas inferiores apresentam bainha, lígula obtusa e margem denticulada, com lâmina de 0,14 a 0,40 m de comprimento. Os nós são sólidos. A inflorescência é uma panícula com glumas aristadas ou não. O grão de aveia é uma cariopse semicilíndrica e aguda nas extremidades, encoberta pela lema e pálea. É rústica, pouco exigente em fertilidade de solo e tem se adaptado bem nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo e do Mato Grosso do Sul (DERPSCH; CALEGARI, 1992). Possui grande capacidade de perfilhamento e sementes menores, quando comparadas às da aveia branca. Os grãos não são usados na alimentação humana.

A aveia preta caracteriza-se pelo crescimento vigoroso e a tolerância à acidez nociva do solo, causada pela presença de alumínio. É a forrageira anual de inverno mais usada para pastejo no inverno, no Sul do Brasil. É uma espécie mais precoce do que o azevém e do que a maioria dos cereais de inverno. A aveia preta presta-se a consorciação com espécies como azevém, centeio, trigo, cevada, ervilha-forrageira, ervilhacas, serradela,

trevo branco, trevo vermelho, cornichão, trevo vesiculoso e trevo subterrâneo. Quando se visa ao forrageamento até o fim da primavera e início do verão, pode-se consorciar a aveia preta com azevém e leguminosas, como: ervilhaca peluda, ervilhaca comum e trevo vesiculoso. É menos sensível à acidez do solo do que trigo, vegetando bem em solos com pH de 5 a 7. Responde à fertilização do solo, com aumento do rendimento de biomassa. A adubação de manutenção e nitrogenada de cobertura deve seguir a recomendação para a cultura; pode ser estabelecida em sistema plantio direto (SANTOS *et al.* 2009).

Quando semeada em linha, recomenda-se o mesmo espaçamento usado para trigo (0,17 a 0,20 m). Para produção de semente é indicada a densidade de 250 a 300 sementes aptas m⁻² e 350 a 400 sementes aptas m⁻² para duplo propósito (pastagem e produção de grãos) ou formação de pastagem singular. A quantidade de semente a ser usada varia de 40 a 80 kg ha⁻¹, dependendo do poder germinativo e da massa de 1000 sementes, a qual oscila entre 12 e 18 g. A profundidade de semeadura recomendada é de 3 a 5 cm. Quando semeada a lanço, deve-se usar, pelo menos, 20% a mais de semente; quando consorciada, indica-se de 50 a 60 kg ha⁻¹ de semente (SANTOS *et al.* 2009).

A aveia preta possui grande capacidade de perfilhamento, produção de massa verde e, ainda, melhora as condições físicas e químicas do solo. Tem importante papel no sistema de produção de grãos, tornando-se boa alternativa para o cultivo de inverno e em sistemas de rotação de culturas (AGROLINK, 2010).

Segundo Oliveira *et al.* (2004), as culturas de inverno, como aveia preta e triticale, podem ser empregadas para cobertura do solo, controle de erosão e, no período em que as áreas agrícolas se encontram em pousio, servem de fonte de nitrogênio. Os mesmos autores, analisando a produção de matéria seca nas culturas de aveia preta e triticale, sob as formas de preparo do solo convencional, reduzido e plantio direto, obtiveram como resultado a quantidade de palha média de 5,7 t ha⁻¹ de aveia preta (sob plantio direto), 3,84 t ha⁻¹ sob preparo reduzido e 3,53 t ha⁻¹ sob preparo convencional. Salientaram que a produção de palha destas duas culturas não diferiu estatisticamente, entre os três sistemas de preparo do solo.

Além de aumentar o teor de matéria orgânica do solo e apresentar certa durabilidade, a cobertura proporcionada pela palha da aveia preta sobre a superfície do solo diminui a incidência de plantas invasoras por metro quadrado (MAULI *et al.*, 2011).

Estudos realizados por Pereira *et al.* (2009), em que verificaram a decomposição de palhas de aveia preta, ervilhaca, nabo forrageiro, tremoço branco e consórcios, em período de 48 dias, verificaram que a aveia preta apresentou menor decomposição ao final do período. Assim, além de auxiliar na melhoria da estrutura do solo, a aveia permanece por mais tempo no solo liberando nutrientes para as culturas posteriores.

Reichardt, Mauad e Wolschik (2008) avaliaram o efeito de nitrogênio nas dosagens de 0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹, aplicado em cobertura no início do perfilhamento, e verificaram

que a adubação de nitrogênio em cobertura não afetou os componentes da produção, nem a produtividade da aveia preta.

O nitrogênio aplicado em cobertura, ao final do perfilhamento das plantas de aveia preta, em solo de maior fertilidade, provoca, na dose de 60 kg ha⁻¹, aumento do acamamento das plantas e diminuição do peso hectolítrico das sementes, e na dose de 40 kg ha⁻¹, melhoria no vigor das sementes. O nitrogênio aplicado em cobertura, ao final do perfilhamento das plantas de aveia preta, em solo de menor fertilidade, ocasiona incremento na produção de matéria seca vegetativa da parte aérea e, na dose de 60 kg ha⁻¹, aumento no teor de proteína das sementes (NAKAGAWA; CAVARIANI; MACHADO, 2000).

Da Ross *et al.* (1993) avaliaram efeito residual do lodo de esgoto na cultura da aveia preta consorciada com a ervilhaca. O lodo aplicado apresentava as seguintes características: 92% de umidade e 3,54 mg L⁻¹ de N-total. Os níveis de lodo de esgoto utilizados foram 0, 20, 40, 80 e 160 ton ha⁻¹ (base úmida). O rendimento de matéria seca da parte aérea da associação aveia e ervilhaca e o rendimento de grãos de aveia aumentaram significativamente com a elevação das doses de lodo aplicadas no cultivo anterior. O aumento para cada tonelada de lodo adicionada no cultivo anterior foi de 17,4 kg ha⁻¹ no rendimento de matéria seca da associação e de 2,5 kg ha⁻¹ de grãos de aveia.

Na Tabela 3 são apresentados os teores de nutrientes em tecido foliar, considerados adequados para a cultura da aveia preta.

Tabela 3 Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura da aveia preta

Macronutrientes	Teor (g kg ⁻¹)	Micronutrientes	Teor (mg kg ⁻¹)
Nitrogênio	20 – 30	Boro	5 – 20
Fósforo	2 – 5	Cobre	5 – 25
Potássio	15 – 30	Ferro	40 – 150
Cálcio	2,5 – 5	Manganês	25 – 100
Magnésio	1,5 – 5	Molibdênio	0,2 – 0,3
Enxofre	1,5 – 4,8	Zinco	15 – 70

Fonte: Camargo, Freitas e Cantarella (1996).

Da Ros e Aita (1996), trabalhando com a cultura do milho em rotação com leguminosas e aveia preta e doses de adubação nitrogenada, observaram que a quantidade de nitrogênio acumulada na parte aérea da aveia preta foi de 46 kg ha⁻¹. Com a maior aplicação de nitrogênio, a produtividade do milho foi de 5.640 kg ha⁻¹. Embora o rendimento de grãos na dose máxima de N tenha sido semelhante em todos os tratamentos, os maiores incrementos com aplicação de nitrogênio foram verificados nas parcelas com aveia preta como adubação verde de inverno (2.688 kg ha⁻¹).

Estudos realizados por Erthal *et al.* (2010) com água residuária de bovinocultura, nas taxas de 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de K, na cultura da aveia preta e capim-Tifton 85,

indicaram que a utilização da água residuária aumentou os valores de leitura SPAD (teor de clorofila relativo), indicando maior teor de clorofila nas folhas do capim-Tifton 85 e aveia preta, aumentou o rendimento forrageiro, proteína bruta, teores de K, Mg e Na do capim-Tifton 85 e de P e K na aveia-preta. Também reduziu os teores de Ca e Zn do capim-Tifton 85, Na e Cu na aveia-preta.

A aplicação de dejetos suíno na aveia preta até a dose de $50 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ não proporcionou aumento na produção de matéria seca, mas melhorou a composição químico-bromatológica da forragem produzida, com aumento da relação folha:colmo, teores de proteína bruta, N, P, K, Ca e Zn, com redução dos teores de fibra da aveia preta, não respondendo em ganho de massa na primeira aplicação do dejetos (MONDARDO *et al.*, 2011).

Ao aplicar doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1}) e épocas de aplicação (20, 30, 40 dias após a emergência), Silva (2009c) observou que não houve influência na produtividade de sementes da aveia preta, sugerindo estudos em diferentes condições climáticas.

Estudando três cultivares de aveia (Assiniboia: aveia preta, Medallion e Ronald) por quatro anos em duas áreas no Canadá, com quatro taxas de aplicação de água residuária de suinocultura (0; 0,5; 1 e 2 vezes da recomendação de N), Buckley, Mohr e Therrien (2010) constataram que as cultivares de aveia foram limitadas em responder ao aumento das taxas de dejetos de suínos nos ambientes testados no primeiro ano de cultivo. A escolha de aveia como cultura de rotação no ano de aplicação do dejetos pode não ser barata, alternativamente, o uso de aveia no ano seguinte ou uma série de aplicações de água residuária de suinocultura durante o ano, pode resultar em um rendimento de aveia razoável com pouca ou nenhuma suplementação de fertilizantes, pois a aveia responde a nutrientes residuais contidos no solo.

A aveia-preta pode ser alternativa como cultura antecessora ao milho, por possuir nos resíduos deixados sobre o solo maior acúmulo de N, P e K para ciclagem no solo, indicando menor período de imobilização e maior disponibilidade de N para o milho em sucessão, além da alta produção de palhada para cobertura do solo (VAZ DE MELO *et al.*, 2011).

3.6 Atributos físicos do solo

O monitoramento da qualidade do solo pelos indicadores físicos é importante para manutenção e para avaliação de sua sustentabilidade. Vários atributos do solo são estudados para avaliação de sua qualidade em relação à erosão hídrica, entre eles, a quantidade de matéria orgânica, a densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade

total, resistência à penetração e permeabilidade do solo à água, em diferentes sistemas de manejo de solo (SILVA *et al.*, 2011b).

O uso incorreto dos dejetos de suínos pode trazer efeitos deletérios ao solo, como o entupimento dos macroporos, causando selamento superficial, dificultando a infiltração de água e a troca de gases entre a atmosfera e o solo. Além disso, também oferece o risco de salinização, poluição do solo e plantas com metais pesados e contaminação do homem e animais por agentes patogênicos provenientes dos dejetos (MATOS *et al.*, 1997).

A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e o arranjo de poros, os quais influenciam a retenção de água no solo, porosidade de aeração, disponibilidade de água às plantas e resistência do solo à penetração (TORMENA; ROLOFF; SÁ, 1998).

De acordo com Reis, Fadigas e Carvalho (2005), a reutilização da água concorre adequadamente para sua sustentabilidade cuja utilização na agricultura é alternativa de controle das fontes poluidoras nos corpos d'água, além da reciclagem dos nutrientes e aumento da produção agrícola.

Como a porosidade de um solo representa a porção na qual circulam água, nutrientes e ar, seu estudo é uma das maneiras de se determinar as características do comportamento físico-hídrico do solo, mediante a distribuição do diâmetro de seus poros (VARALLO *et al.*, 2010).

A atribuição dos poros se dá pelo diâmetro: os macroporos que são os poros com diâmetro maior que 0,05 mm, responsáveis pela infiltração da água no solo; os microporos são aqueles com diâmetro menor que 0,05 mm, responsáveis pelo armazenamento de água disponível para as plantas; e os criptoporos que são os poros com diâmetro menor que 0,0002 mm, nos quais a água pode permanecer retida com energia muito alta, sendo, portanto, indisponível às plantas (RICHARDS, 1965).

Porosidade é o termo de maior significado quando se discute compactação do solo, em virtude da proporção de volume de solo disponível para as raízes das plantas, da água e do ar que elas necessitam (MANTOVANI; BERNARNO; PALARETTI, 2007).

A aplicação de dejetos animais pode alterar a estrutura do solo, modificando a quantidade, continuidade e tamanho dos poros do solo (RIBEIRO *et al.*, 2007).

A aeração e retenção de água no solo influenciam o desenvolvimento das plantas, em virtude de alterar a resistência à penetração das raízes e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes (MOSADDEGHI; MAHBOUBI; SAFADOUST, 2009).

Fiori *et al.* (2007) ressaltaram que o reúso da água melhora as condições estruturais do solo diminuindo a compactação e aumentando a aeração, o que é benéfico para o desenvolvimento da rizosfera.

No entanto, a aplicação de dejetos suíno pode ter efeitos sobre o solo; nas doses de 50 e 100 m³ ha⁻¹ reduz a estabilidade de agregados do solo, em relação a tratamentos sem

adubação. Os atributos físicos do solo e o teor de C orgânico não foram modificados pelos tratamentos, indicando que o uso agrícola do dejetos suíno, nas condições estudadas, mantém a qualidade física do solo, quando cultivado com milho e aveia preta (ARRUDA *et al.*, 2010). Quando cultivado com soja ocorre redução da macroporosidade do solo, o que pode, em longo prazo, causar perdas de solo e aumento da suscetibilidade à erosão (PACHECO *et al.*, 2009).

Existe relação íntima entre os nutrientes absorvidos pela planta e o regime hídrico do solo. Entretanto, cabe ressaltar que a captação de água e nutrientes para a planta sofre influência de uma propriedade do solo chamada aeração; no caso do sistema de aeração estar deficiente, o crescimento e a eficiência do sistema radicular para absorção estarão gravemente comprometidos (MONDARDO, 1984). A utilização de água residuária de suinocultura pode reduzir o volume de poros e, conseqüentemente, a aeração do solo, aumentando a densidade de partículas, por isso, recomenda-se sua utilização em culturas com sistema radicular bem desenvolvido para que seja suprida a redução dos poros (PACHECO *et al.*, 2009).

São necessários estudos da aplicação de água de reúso no solo, diante das conseqüências que este poderá provocar nas propriedades físicas e químicas, gerando danos para a cultura, além de causar a degradação do solo e danos ao meio ambiente, em geral (VARALLO *et al.*, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido, entre os meses de março e novembro de 2011, em condições de campo, no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, PR, com localização geográfica a 24°48' latitu de Sul e 53°26' longitude Oeste e altitude de 760 metros.

O clima é subtropical, mesotérmico e superúmido, com precipitação média anual de 1800 mm, verões quentes, com tendência de concentrações de chuvas, sem estação seca definida e geadas pouco frequentes. A temperatura média anual é em torno de 20 °C e a umidade relativa do ar média é de 75% (IAPAR, 1998).

O solo local é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, com relevo levemente ondulado e textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). Na Tabela 4 encontram-se os dados da análise granulométrica do solo da área experimental e as características químicas, obtidas a partir da análise de solo realizada para camada 0-15 cm.

Tabela 4 Características físico-químicas do solo da área experimental anteriormente à instalação do experimento. Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Cascavel – PR, 2011

Nutrientes ¹		Parâmetro	
P disponível ²	7,83 mg dm ⁻³	Teor de água ³	0,357 g g ⁻¹
C	25,59 g dm ⁻³	Macroporosidade ³	0,1650 cm ³ cm ⁻³
Ca	6,06 cmol _c dm ⁻³	Microporosidade ³	0,4527 cm ³ cm ⁻³
Mg	3,74 cmol _c dm ⁻³	Porosidade total ³	0,6177 cm ³ cm ⁻³
Al	0,09 cmol _c dm ⁻³	Densidade ³	1,122 g cm ⁻³
K	0,33 cmol _c dm ⁻³	Areia ⁴	125 g kg ⁻¹
Cu	7,60 mg dm ⁻³	Silte ⁴	220 g kg ⁻¹
Zn	2,27 mg dm ⁻³	Argila ⁴	655 g kg ⁻¹
Fe	23,67 mg dm ⁻³	pH (CaCl ₂)	5,53
Mn	155,67 mg dm ⁻³	CTC	14,95 cmol _c dm ⁻³
H+Al	4,82 cmol _c dm ⁻³	Soma de bases	10,13

Notas: 1. Determinado segundo EMBRAPA (1997); 2. Mehlich-1; 3. Método do anel volumétrico (KIEHL, 1979); 4. Método do densímetro (Bouyoucos, 1927).

Na área cultivada é utilizado o sistema plantio direto há vinte anos e não houve experimento com aplicação de água residuária de suinocultura antecedente ao presente trabalho. A área se encontrava em pousio por dois anos.

Os dados de precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar, obtidos da estação meteorológica localizada a, aproximadamente, 5 km da área experimental, são apresentados na Figura 1.

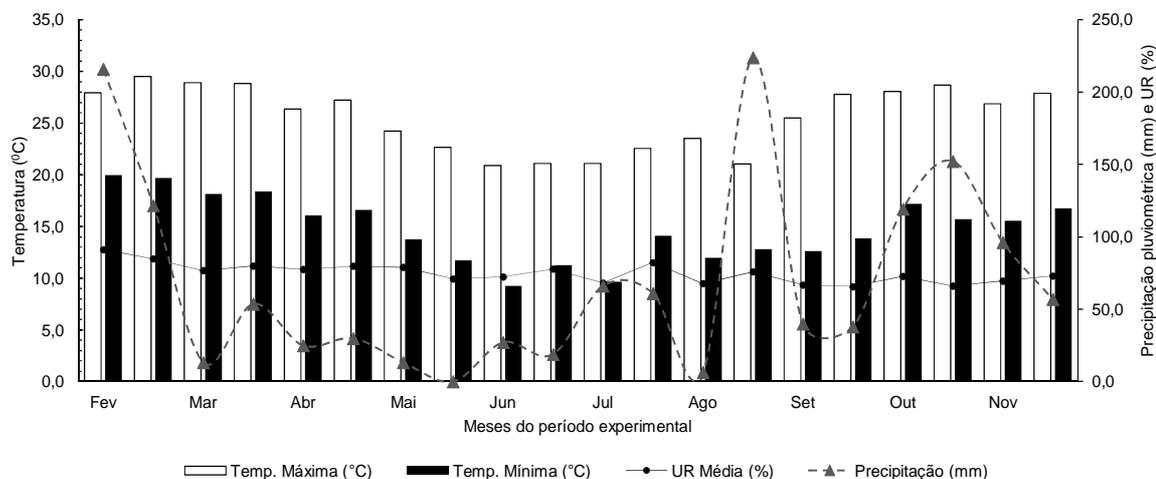


Figura 1 Médias quinzenais de temperatura máxima e mínima (°C), precipitação pluviométrica acumulada (mm) e umidade relativa do ar (%), durante o período experimental.

Fonte: Simepar (2012).

4.2 Instalação do experimento e aplicação dos tratamentos

Cada parcela experimental possuía dimensões de 3,0 x 3,3 m, com bordadura de 2,0 m entre parcelas, nas quais foram semeadas e desenvolvidas as culturas do milho e aveia preta.

A cultura milho foi semeada no dia 09/03/2011, no período safrinha, com o híbrido AS 1596 – AGROESTE, com germinação de 80% em laboratório, espaçamento entre linhas de 0,5 m e cinco plantas por metro, com semeadora manual tipo matraca, obtendo-se estande teórico de 80.000 plantas ha⁻¹.

A cultura da aveia preta foi semeada em 09/07/2011, no inverno, com a cultivar IAPAR 61, a lanço, na densidade de 80 kg ha⁻¹. Foram pesadas em laboratório e separadas em sacos plásticos porções de 78 g de sementes puras. No campo, foi semeada uma porção por parcela, com o cuidado para que a distribuição fosse o mais uniforme possível e em seguida, foi realizado o revolvimento da palha, com enxada, para cobertura das sementes.

As taxas de aplicação de ARS foram definidas com base em estudos realizados por Smanhotto (2008), que utilizou taxas de 0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ de águas residuárias de suinocultura no ciclo da soja, baseadas na concentração de nitrogênio encontrada na

análise físico-química da ARS. As taxas de aplicação utilizadas também se assemelham às do estudo realizado por Meneghetti (2010), determinadas segundo a concentração de nitrogênio da ARS no ciclo da cultura do minimilho (0, 115, 230, 345 m³ ha⁻¹).

Além das taxas fixas de 0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹, foi aplicado um tratamento considerando como fator delimitante da taxa da aplicação, o elemento que apresentou maior concentração na ARS, ou seja, o nitrogênio.

O equivalente em N disponível (nitrito + nitrato + amônia) foi aplicado via ARS, para perfazer a quantidade de 60 kg ha⁻¹, conforme recomendado para adubação de cobertura para cultura do milho com alto rendimento por Fancelli e Dourado Neto (2000). A água residuária apresentou concentração de 1.097,6 mg L⁻¹ de N total (Tabela 5), resultando na taxa de aplicação aproximada de 537 m³ ha⁻¹ (Tabela 6).

Na Tabela 5 estão descritos a quantidade média de macro e micronutrientes, condutividade elétrica, densidade e o pH da água residuária de suinocultura utilizada no experimento. As análises foram realizadas em amostras coletadas antes e depois da aplicação.

Tabela 5 Características físico-químicas da água residuária de suinocultura, coletada antes e após a aplicação nas parcelas experimentais. Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Cascavel – PR, 2011

Parâmetro (mg L ⁻¹)	Antes da aplicação	Após a aplicação	Determinação
N total	1.097,6	1.068,4	Micro-Kjeldahl ¹
Fósforo total	122,8	128,6	Espectrofotômetro visível
Potássio	525,4	534,7	EAA ²
Sódio	133,6	143,0	EAA
Cálcio	57,7	60,3	EAA
Magnésio	33,3	31,7	EAA
Cobre	0,81	0,90	EAA
Zinco	4,07	3,56	EAA
Ferro	4,08	3,49	EAA
Manganês	0,29	0,33	EAA
Cond. elétrica (µS cm ⁻¹)	1936,7	1886,7	Condutivímetro
pH	8,2	8,3	pHmetro
Densidade (g cm ⁻³)	1,003	1,004	Gravimetria

Notas: 1. Bremner e Mulvaney (1965); 2. EAA = Espectrofotômetro de absorção atômica.

A ARS foi tratada em biodigestor, seguida de tanque de sedimentação (decantador), em que é utilizado sulfato de alumínio no processo de floculação, e lagoa facultativa, cedida pela COOPAVEL - Cascavel, da fazenda de matrizes de suínos. Foram cedidos 8000 L de água, a qual foi armazenada em recipientes de fibra de vidro, sendo utilizados aproximadamente 4550 L. A água foi coletada para caracterização química 24 h antes da aplicação e após a aplicação para monitorar o teor de nutrientes aplicado. No dia da aplicação foi calibrado um recipiente com capacidade de 500 L, com graduação a cada 10 L, com saída lateral, qual foi acoplada uma mangueira de 1 1/2" para aplicação o mais uniforme possível, o volume aplicado foi monitorado pela graduação do recipiente, aos

60 dias após a semeadura, quando a cultura apresentou de 6 a 8 folhas, de acordo com o Centro de Referência em Agricultura e Alimentos do Québec (CRAAQ, 2003).

Cada parcela recebeu seu respectivo tratamento, com quatro repetições por tratamento, totalizando vinte parcelas, atribuídas aleatoriamente por sorteio.

Na Tabela 6 são descritos os teores de nitrogênio total aplicados em cada tratamento e o percentual suprido da recomendação, de acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), como adubação de cobertura para rendimento esperado de 4 a 6 Mg ha⁻¹.

Tabela 6 Descrição das taxas de aplicação e quantidade de N total aplicado no solo, via água residuária de suinocultura. Cascavel – PR, 2011

Taxa de aplicação (m ³ ha ⁻¹)	N total aplicado (kg ha ⁻¹)	% da recomendação de N
0	0	0
100	11,2	18,7
200	22,3	37,2
300	33,5	55,8
537	60	100

Durante o cultivo do milho foi necessário o tratamento fitossanitário aos dois dias após a semeadura, com herbicida glifosato (2,16 kg ha⁻¹) para o controle do picão preto; aos 68 dias após a semeadura foi aplicado o inseticida metamidafós (Tamaron[®]) (0,75 L há⁻¹) para o controle da lagarta do cartucho. Na cultura da aveia preta não foi necessário tratamento fitossanitário.

Aos 104 dias da semeadura do milho teve início a ocorrência de geadas e a cultura não resistiu, por esse fato não foram determinados valores de produtividade e qualidade fisiológica de sementes. As geadas ocorreram nos dias 26, 27 e 28 do mês de junho e nos dias 3, 4 e 5 de julho.

Não foi aplicada água residuária na cultura da aveia preta, devido ao período entre a aplicação na cultura do milho e a semeadura da aveia preta ser relativamente curto (44 dias), além de não ter havido exportação pela colheita, a palha do milho fertilizado permaneceu sobre a superfície do solo e a análise química do solo, após o cultivo do milho, não indicar necessidade de adubação. Também por ser a aveia preta uma planta de cobertura em que, geralmente, os produtores não realizam adubação pela inviabilidade econômica e esta apresenta tendência de melhor resposta em rendimento e aproveitamento de nutrientes residuais de outras culturas mais do que adubação com dejetos suíno, conforme estudos realizados por Buckley, Mohr e Therrien (2010) e Mondardo *et al.* (2011).

O período total de coleta de dados em campo e em laboratório ocorreu entre 03/03/11 e 02/12/11.

4.3 Análise foliar

As amostras de tecido vegetal na cultura do milho foram coletadas logo após o aparecimento da inflorescência feminina, estágio R1 (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Para isso, foi retirada com uma tesoura a folha localizada oposta e abaixo da primeira espiga rente ao colmo, de dez plantas por parcela.

Após a coleta, o material foi devidamente acondicionado, identificado e levado ao laboratório, onde foi determinada a área foliar em Area Meter (LI-COR 3100). Logo após, as folhas foram pesadas e em seguida lavadas para retirada de sujidades, secas ao ar e colocadas em sacos de papel identificados; em sequência, foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até massa constante (CARMO *et al.*, 2000).

Após a secagem, considerou-se o terço médio da folha, excluindo-se a nervura central, conforme apontado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). As amostras foram moídas, utilizando-se um moinho tipo Wiley, com facas e peneiras de malha 0,5 de diâmetro (20 mesh) de aço inoxidável, visando assegurar a homogeneidade da amostra. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas com capacidade de 100 cm³ e armazenadas sob refrigeração a 5 °C.

Na cultura da aveia preta, a amostragem para produção de massa e análise de tecido vegetal foi realizada aos 90 dias após a semeadura, quando a cultura se encontrava na fase de emborrachamento e apresentava máximo acúmulo de matéria seca e nutrientes. O teor de clorofila da aveia preta foi determinado utilizando-se clorofiLog Falker® antes da coleta, mensurado de dez plantas por parcela.

A coleta para produção de massa e análise de tecido vegetal foi realizada utilizando-se um quadrado de policloreto de vinila, de área 0,25 m², colocado aleatoriamente em cada parcela. Foram coletadas todas as plantas no interior do quadro e acondicionadas em sacos plásticos identificados.

Em laboratório, as plantas de aveia preta foram separadas das invasoras e determinada a massa fresca em balança de precisão 0,001 g. Após a pesagem, foram colocadas em sacos de papel multifoliado, identificadas e levadas à estufa a 65 °C, até massa constante e determinada a massa seca da aveia preta. Após a secagem, foram retirados e pesados o colmo e as folhas, para determinação da relação folha:colmo. As lâminas foliares foram então moídas do mesmo modo que para a cultura do milho.

No material seco e moído, realizou-se digestão sulfúrica e determinou-se o teor de N total por destilação Kjeldahl e titulometria com ácido clorídrico (0,025 mol L⁻¹) utilizando bureta digital (TEDESCO *et al.*, 1995). Para a determinação dos teores dos macronutrientes P, K, Ca e Mg e dos micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn e do mineral Na, o material vegetal foi submetido à digestão nitroperclórica (AOAC, 1990) sendo, então, quantificado por Espectrofotometria de Absorção Atômica, modalidade chama – EAA/chama (WELZ, 1985),

no Laboratório de Análises de Absorção Atômica (LAAA), exceto para o macronutriente P, o qual foi quantificado por APHA 4500-P H (*Flow Injection Analysis for Total Phosphorus – FIA*), no Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM) e no Laboratório de Controle de Qualidade (LACON) da UNIOESTE.

4.4 Atributos físicos do solo

Duas amostras indeformadas foram coletadas, com cilindros de bordos cortantes previamente mensurados com paquímetro digital de precisão 0,01 mm, por parcela, na profundidade 0-15 cm, colocadas em cápsulas de alumínio e transportadas para o LASP.

O teor de água foi determinado pelo método da estufa. Macro, microporosidade, porosidade total e densidade do solo foram determinadas pelo método do anel volumétrico, conforme indicado por Kiehl (1979) e Embrapa (1997), em mesa de tensão a 60 cca, seguida de estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$.

4.5 Análises químicas do solo

As análises químicas do solo foram determinadas segundo indicação de Embrapa (1997). As amostras foram coletadas de todos os tratamentos antes da semeadura e após a colheita de cada cultura.

Foram analisados pH em CaCl_2 , carbono orgânico, fósforo, cobre, zinco, ferro, acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}^{+3}$), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), potássio (K^{+}), sódio (Na^{+}), soma de bases e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo.

Para análises químicas de solo foram coletadas duas amostras por parcela de, aproximadamente, 0,5 kg cada, a profundidade de 0-15 cm e, em seguida, homogeneizadas em recipiente plástico. Da mistura foi retirada uma amostra de, aproximadamente, 0,5 kg de solo para ser enviada ao laboratório da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC, Cascavel – PR, para realização das análises.

4.6 Análise de variância e delineamento estatístico

O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado, com quatro repetições em amostragem estratificada. Cinco taxas de ARS (0, 100, 200, 300 e $537\text{ m}^3\text{ha}^{-1}$) foram aplicadas como adubação de cobertura na cultura do milho.

Para averiguar a variabilidade dos dados, foi verificada inicialmente a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias. Para os parâmetros que não apresentarem distribuição normal dos erros, foram feitas transformações, de acordo com Banzatto e Kronka (2006), utilizando-se o *software* Minitab® 14.

Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para cada atributo monitorado no solo, no material vegetal e para os dados de produtividade e de massa fresca e seca. Para parâmetros avaliados em que os tratamentos apresentaram significância estatística, foram utilizadas análises de regressão a 5% de probabilidade e avaliada a significância do modelo, de cada atributo, utilizando-se o *software* Sisvar®, versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise foliar das culturas do milho e aveia preta

Na Tabela 7 são apresentadas as médias de massa fresca e seca e da área foliar da cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura. Não houve diferença estatística a 5% de probabilidade em todos os parâmetros avaliados.

Tabela 7 Médias de massa fresca e seca e área foliar de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011

Taxa de aplicação (m ³ ha ⁻¹)	Área foliar (cm ²)	Massa seca (g folha ⁻¹)	Massa fresca (g folha ⁻¹)
0	565,1	2,72	10,72
100	576,2	2,92	11,55
200	536,0	2,58	10,28
300	552,6	2,89	11,08
537	517,8	2,61	10,58
Média	549,5	2,74	10,84
Desvio padrão	83,05	2,71	10,62
CV(%)	15,11	19,78	19,58
F	0,264 ^{NS}	0,274 ^{NS}	0,174 ^{NS}

Notas: NS = Não significativo, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knot.

Em valores médios, a área foliar do milho diminuiu 8,4% do tratamento com a maior taxa de aplicação em relação à testemunha, o que caracteriza efeito negativo da aplicação da ARS.

A diminuição da área foliar das plantas, geralmente sob condições de estresse salino, é um mecanismo para reduzir perdas de água pela planta, entretanto, o processo fotossintético depende da captação de energia luminosa e sua conversão em energia química, o que ocorre diretamente na folha, atuando na formação de carboidratos, alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos (GOMES *et al.*, 2011). Neste sentido, é necessário que haja equilíbrio entre a área foliar e a área de sombreamento. O efeito de diminuição da área foliar pode ter sido causado pelo aumento da salinidade do solo, após a aplicação da ARS, sendo o sódio absorvido em maior quantidade na cultura da aveia preta após o cultivo do milho.

O resumo da análise de variância de leitura de clorofila - SPAD, massa fresca e seca e relação folha:colmo das plantas de aveia preta, cultivada após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura, estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 Resumo da análise de variância de teor de clorofila, massa fresca e seca e relação folha:colmo da cultura da aveia preta após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011

Fonte de variação	GL	Clorofila	Massa seca	Massa fresca	Relação folha:colmo
		SPAD	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(g g ⁻¹)
Taxa de aplicação de ARS	4	*	*	*	*
Erro	15				
Média		41,4	2,76	13,01	0,80
CV (%)		7,96	25,87	28,42	14,68
Desvio padrão		8,90	0,714	3,69	0,117
F		2,98*	0,97 ^{NS}	0,80 ^{NS}	5,73*

Notas: * = Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para massa fresca e seca da aveia preta, no entanto, a massa seca, variou entre 1,8 e 3,36 Mg ha⁻¹, em relação à testemunha, com aumento entre 52,78 e 86,67% nos tratamentos com 100 e 200 m³ha⁻¹, respectivamente (Figura 2), apresentando coeficiente de determinação linear de 0,75 para massa fresca e seca, com relação direta com a taxa de água residuária aplicada como adubação de cobertura na cultura do milho.

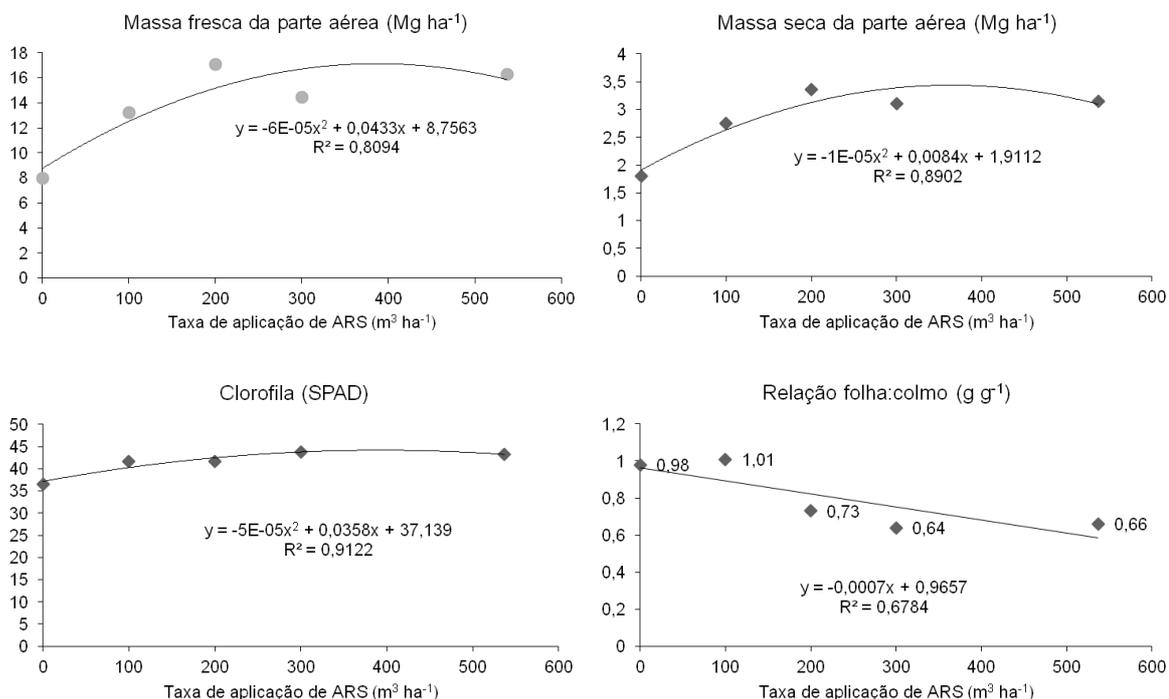


Figura 2 Massas fresca e seca, clorofila e relação folha:colmo de aveia preta cultivada após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel, PR, 2011.

A formação de massa é importante, pois a aveia preta e sua palhada promovem a redução da população de plantas espontâneas em razão do seu efeito

supressor/alelopático, principalmente sobre as de folhas estreitas, reduzindo-se, assim, os custos com capinas ou herbicidas nas culturas sucessoras. Essa prática é particularmente benéfica antes das culturas de verão (PORTAS; VECHI, 2011). Sendo assim, o uso de água residuária auxiliando o crescimento da aveia preta, produzindo maior quantidade de massa e quanto maior a massa fresca e seca produzida maior o efeito supressor/alelopático proporcionado.

Estudos realizados por Cabral *et al.* (2010), avaliando efeito residual de água residuária de fecularia (taxas de 0, 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹), no solo, sobre a cultura da aveia preta relataram aumento da massa seca em 28% (3,63 Mg ha⁻¹) no tratamento com 300 m³ ha⁻¹ em relação à testemunha (2,82 Mg ha⁻¹). Resultados com comportamentos semelhantes foram relatados por Aita *et al.* (2006), Assmann *et al.* (2007) e Assmann *et al.* (2009).

O período de 156 dias de aplicação de 80 m³ha⁻¹ de efluente líquido de suínos promoveu incremento de 34 % na produção de matéria seca acumulada de aveia e azevém, quando comparada à testemunha, evidenciando o potencial fertilizante do dejetos utilizado (ASSMANN *et al.*, 2007).

A ausência de resposta estatística para produção de massa pode ocorrer pela dinâmica do nitrogênio no solo após a aplicação da ARS, pois a disponibilidade de N no solo depende do destino da fração de N amoniacal da ARS e da mineralização do N orgânico em níveis menores, pois a nitrificação do N amoniacal ocorre rapidamente e a mineralização da fração nitrogenada orgânica ocorre nos primeiros dias após a aplicação da ARS, segundo descrito por Mondardo *et al.* (2011), que obtiveram resposta semelhante à deste trabalho.

As médias de leitura de clorofila (SPAD) e relação folha:colmo da cultura da aveia preta (Tabela 8) apresentaram diferença estatística, indicando que os tratamentos propiciaram maior teor de clorofila na folha em função do maior aporte de nitrogênio ao solo.

Esses resultados estão coerentes com os relatados por Erthal *et al.* (2010) os quais avaliaram o teor de clorofila da aveia preta com doses de dejetos bovino (25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de K) e relataram aumento do teor de clorofila com o aumento da taxa de aplicação. Como a leitura, o tipo e a calibração de cada clorofilômetro é individual, não cabe a comparação de valores de leitura SPAD.

O comportamento da variável relação folha:colmo evidencia que a utilização da água residuária de suinocultura induz à redução das folhas, tanto em massa quanto em área, podendo-se observar que houve redução da relação folha:colmo conforme o aumento da taxa aplicada na cultura anterior, assim, as taxas proporcionaram aumento da massa de colmos na aveia preta e redução da massa de folhas.

Mickenhagen (1996) afirmou que os melhores fenos de poáceas são obtidos das cultivares que têm mais folhas do que colmos, como: Tifton-85, Florakirk, *Coast-cross* e Florona. O efeito do avanço da idade é atribuído ao aumento da relação folha:colmo, em

decorrência da intensificação do alongamento do colmo. O caule se compara às folhas por seu teor elevado de fibra e mais baixos teores de proteína e fósforo. Forrageiras com relação folha:colmo de, aproximadamente, 1,2:1 contêm cerca de 2/3 do total de matéria seca disponível (MSD) nas folhas. Sendo assim, nenhum dos tratamentos apresentou relação folha:colmo ideal (1,2:1), indicando que a aveia preta produziria feno de qualidade inferior.

Na Tabela 9 são apresentados os resumos das análises de variância dos teores de macro e micronutrientes no tecido foliar de milho e aveia preta, em sequência à aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os teores de fósforo e cálcio na cultura do milho. Houve diferença significativa entre os tratamentos em todos os macronutrientes avaliados na cultura da aveia preta.

Tabela 9 Resumo da análise de variância dos teores de macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar de milho e aveia preta em sequência com aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura – Cascavel-PR, 2011

Cultura	Fonte de variação	GL	Macronutrientes (g kg ⁻¹)				
			N	P	K	Ca	Mg
Milho	Taxa de aplicação de ARS	4	*	*	*	NS	*
	Erro	15					
Média			32,06	2,08	27,92	6,41	4,57
CV (%)			10,34	16,16	13,35	12,58	10,14
Desvio padrão			3,31	0,39	3,73	0,81	0,46
F			18,35*	1,82 ^{NS}	10,41*	1,88 ^{NS}	5,85*
Aveia Preta	Taxa de aplicação de ARS	4	*	*	*	NS	*
	Erro	15					
Média			35,21	3,63	59,27	9,53	4,57
CV (%)			9,77	18,06	10,05	11,11	10,12
Desvio padrão			3,44	0,66	5,96	1,06	0,46
F			9,69*	2,50*	4,77*	4,99*	5,87*
Milho	Taxa de aplicação de ARS	GL	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				Na (g kg ⁻¹)
			Cu	Zn	Fe	Mn	
Milho	Taxa de aplicação de ARS	4	*	NS	*	*	NS
	Erro	15					
Média			285,34	14,19	75,85	28,90	2,24
CV (%)			13,62	17,41	16,65	18,02	12,10
Desvio padrão			38,86	2,47	12,62	5,21	0,27
F			2,39 ^{NS}	1,69 ^{NS}	3,52*	1,40 ^{NS}	0,97 ^{NS}
Aveia Preta	Taxa de aplicação de ARS	4	*	*	NS	*	*
	Erro	15					
Média			144,97	7,19	255,37	33,39	5,54
CV (%)			13,30	16,44	15,83	11,23	18,07
Desvio padrão			19,28	1,18	40,43	3,75	1,01
F			1,84 ^{NS}	6,55*	2,51 ^{NS}	1,61 ^{NS}	23,75*

Notas: * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; NS = não significativo.

Na Figura 3 são visualizados os modelos de regressão, significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, dos teores de macronutrientes do tecido foliar do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e a aveia preta em sequência.

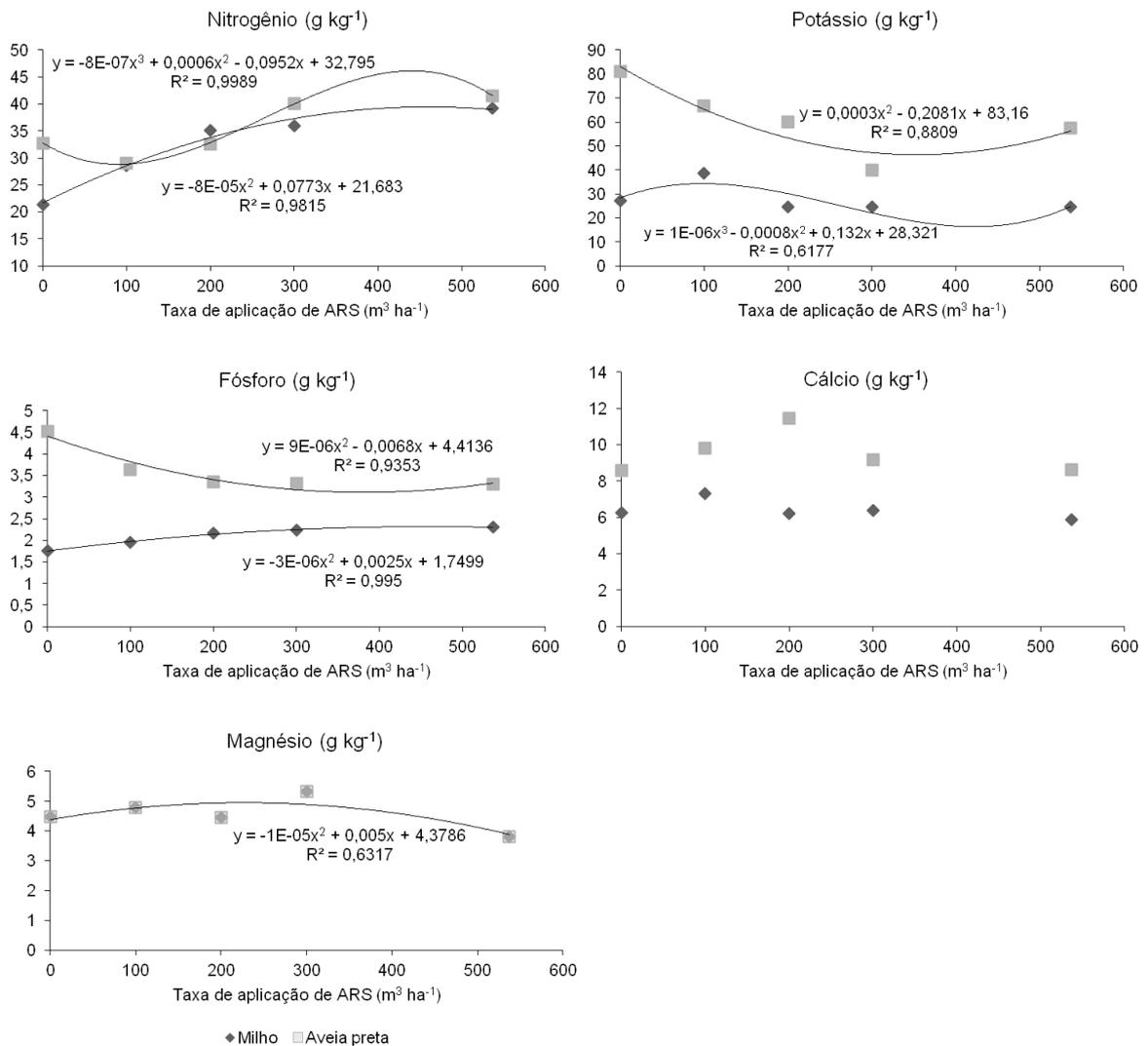


Figura 3 Teores de macronutrientes aveia preta cultivada após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011.

Pode-se visualizar na Figura 3 que o teor de nitrogênio apresentou comportamento crescente quanto maior a taxa de aplicação de ARS aplicada, tanto na cultura do milho quanto na cultura da aveia preta. A quantidade de nitrogênio considerada adequada para a cultura do milho é de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ (BULL, 1993). Todos os tratamentos apresentaram suficiência para os teores de nitrogênio e fósforo, exceto o tratamento sem aplicação de ARS (0 m³ ha⁻¹). O fato dos demais tratamentos apresentarem suficiência nos teores de nitrogênio e fósforo pode estar ligado à presença de alta quantidade de matéria orgânica no solo, o que está relacionado ao alto teor de N e P disponíveis no solo, somados ao N e P aplicado via ARS.

Em seus estudos, Fernandes, Libardi e Trivelin (2008) relataram que a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura do milho proporcionou maior aproveitamento do N do fertilizante (65%), em relação à aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N (45%). Além disso, a baixa quantidade de N remanescente da adubação anterior (efeito residual), encontrado na aveia

preta e no milho cultivado no ano subsequente 2004/2005, pode implicar a ocorrência de maior lixiviação do que a permanência do N no solo. No entanto, observou-se que, no tratamento com $537 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (60 kg ha^{-1} de N) houve efeito de permanência, pois o teor de N na aveia preta foi maior que os demais tratamentos, isso ocorreu por que a palhada do milho permaneceu sobre a superfície do solo, durante o desenvolvimento da cultura da aveia preta, e pelo fato de a aveia preta ser uma planta recicladora de nutrientes de restos vegetais, conforme relatado por Buckley, Mohr e Therrien (2010).

Estes resultados são correspondentes aos obtidos por Loria *et al.* (2007), que estudaram várias águas residuárias tratadas de suinocultura e relataram que os melhores resultados, em suficiência de N na cultura do milho, foram encontrados com a água residuária de suinocultura após a digestão anaeróbia em biodigestor, como a usada no presente trabalho.

No milho a variação dos teores foliares de Ca e Mg pode ser em detrimento da baixa concentração destes nutrientes na água residuária de suinocultura (59 mg L^{-1} de Ca e $32,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Mg) considerando a necessidade da cultura.

A variação dos teores foliares de K, tanto para o milho quanto para a aveia preta, provavelmente seja decorrente da retenção do nutriente no solo e redução da sua disponibilidade, observada pelo aumento da taxa do nutriente no solo, conforme o aumento da taxa de aplicação juntamente ao efeito do aumento da CTC do solo, que favoreceu a retenção. Este comportamento também foi observado por Assmann *et al.* (2007), utilizando taxas de 0, 20, 40, 80 e $120 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de esterco líquido de suínos.

Medeiros *et al.* (2008) avaliaram o efeito de proporções entre cálcio e magnésio, em forma de carbonatos, sobre a absorção de nutrientes e produção inicial de matéria seca de plantas de milho, observando que elevadas concentrações de cálcio trocável no solo, provocadas pela aplicação de corretivos da acidez do solo com a alta relação Ca/Mg, diminuíram a absorção de magnésio e potássio pelas plantas de milho e também houve decréscimo na produção de matéria seca e altura das plantas.

Observa-se que a aveia preta não apresentou deficiência em todos os macronutrientes avaliados, segundo teores considerados adequados por Camargo, Freitas e Cantarella (1996), descritos na Tabela 3. No entanto, os teores de fósforo foram menores quanto maior a taxa de aplicação, diferindo estatisticamente da testemunha. Os teores de potássio apresentaram redução quanto maior a taxa aplicada, sendo que a taxa de aplicação de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, diferindo estatisticamente dos demais, apresentou menor nível de potássio nas folhas da aveia preta ($39,49 \text{ g kg}^{-1}$). Os teores de cálcio apresentaram comportamento crescente até a taxa de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, diferindo estatisticamente, e decrescente a partir da taxa seguinte.

Os teores foliares de P encontrados foram superiores aos de Silva *et al.* (2011c), os quais estudaram doses de fosfatos, de 90 e 50 mg dm⁻³ de P, relatando teores foliares de 1,32 a 1,07 g kg⁻¹ na cultura da aveia preta.

Tanto para a cultura do milho quanto para cultura da aveia preta, nas maiores taxas de aplicação ocorreu redução nos teores de Ca e aumento nos teores de N, o que pode ser atribuído à maior absorção de nitrogênio, que tem como consequência maior produção de biomassa. Porém, a absorção de cálcio não ocorre na mesma velocidade, ocorrendo assim diluição do cálcio na planta, concordando com os resultados obtidos por Fey *et al.* (2010) e Andrade *et al.* (2000). Outro fator que pode ter contribuído para redução de teores de cálcio nas folhas foi a alta disponibilidade de K⁺ no solo, o qual é absorvido em maiores quantidades que o Ca²⁺, disponível em concentrações excessivas, ou seja, o K⁺ pode interferir na absorção de cálcio das plantas, quando em concentrações altas no solo (VILELA; BULL, 1999).

Existe ainda, o efeito antagônico entre K e Ca, resultado de competição na solução do solo, ou seja, o cálcio em baixas concentrações provoca efeito estimulante na absorção de K, porém, ao aumentar a concentração de Ca ocorre efeito contrário, causando redução na absorção de K pelas plantas. Da mesma forma, altas concentrações de K reduzem a absorção de Ca (SOARES, *et al.*, 1983). Observa-se na cultura do milho que os teores de Ca e K apresentaram relação decrescente, de acordo com o aumento da taxa de aplicação de ARS.

A disponibilidade de magnésio frequentemente é relacionada ao pH. Em solos ácidos (pH abaixo de 5,8), o excesso de hidrogênio e de alumínio influencia a disponibilidade de magnésio e sua absorção, mas em pH alto (acima de 7,4) o excesso de cálcio impede a absorção de magnésio pelas plantas. O magnésio é absorvido pela planta como cátion Mg²⁺, é móvel e facilmente translocado do tecido mais velho para as partes novas das plantas (RAIJ, 1991). No tratamento com 537 m³ ha⁻¹ de ARS, o pH do solo foi de 4,6 (ácido) (Figura 8), conferindo ao magnésio alta mobilidade na planta, mas com menor absorção pela planta, resultando em menor teor deste nutriente nas folhas de milho e aveia preta. Na aveia preta pode-se observar um aumento no teor de clorofila (Figura 2). No entanto, os tratamentos que apresentaram maior teor de magnésio não apresentaram maior teor de clorofila. Isso pode ter ocorrido pelo fato da clorofila também ser dependente do teor de N e outras variáveis.

Os teores foliares de magnésio variaram entre 5,3 e 3,8 g kg⁻¹, superiores aos encontrados por Galvão, Morais e Tofoli (2009), os quais estudaram teores de milho com solo em sistema agroflorestal, relataram teores de 1,6 a 2,9 g kg⁻¹.

Valores semelhantes foram encontrados por Nakagawa, Crusciol e Zucareli (2009), em estudos com taxas de superfosfato e cloreto de potássio na folha bandeira da aveia preta. Os teores relatados foram de N (38,73 g kg⁻¹), P (2,14 g kg⁻¹), K (12,16 g kg⁻¹), Ca

(13,53 g kg⁻¹), Mg (1,89 g kg⁻¹). O tratamento com 537 m³ha⁻¹ de ARS apresentou teores foliares superiores aos relatados por estes autores, exceto o Ca. Entretanto, os autores utilizaram calagem antes do experimento, o que provavelmente aumentou o teor e a disponibilidade de Ca, o que não foi realizado neste trabalho. Neste sentido, a adubação com água residuária de suinocultura, em efeito residual, foi tão eficiente quanto à adubação química para a cultura da aveia preta.

Na Figura 4 são apresentados os modelos de regressão, significativos a 5% de probabilidade, para os teores de micronutrientes e do mineral sódio, no tecido foliar de milho e aveia preta em sequência à aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura. Não houve significância para os modelos linear, quadrático e cúbico testados para os teores de ferro em aveia preta e zinco e sódio na cultura do milho. Nenhuma das culturas avaliadas apresentou deficiências de micronutrientes, segundo teores considerados adequados para milho e aveia preta por Bull (1993) e Camargo, Freitas e Cantarella (1996), respectivamente.

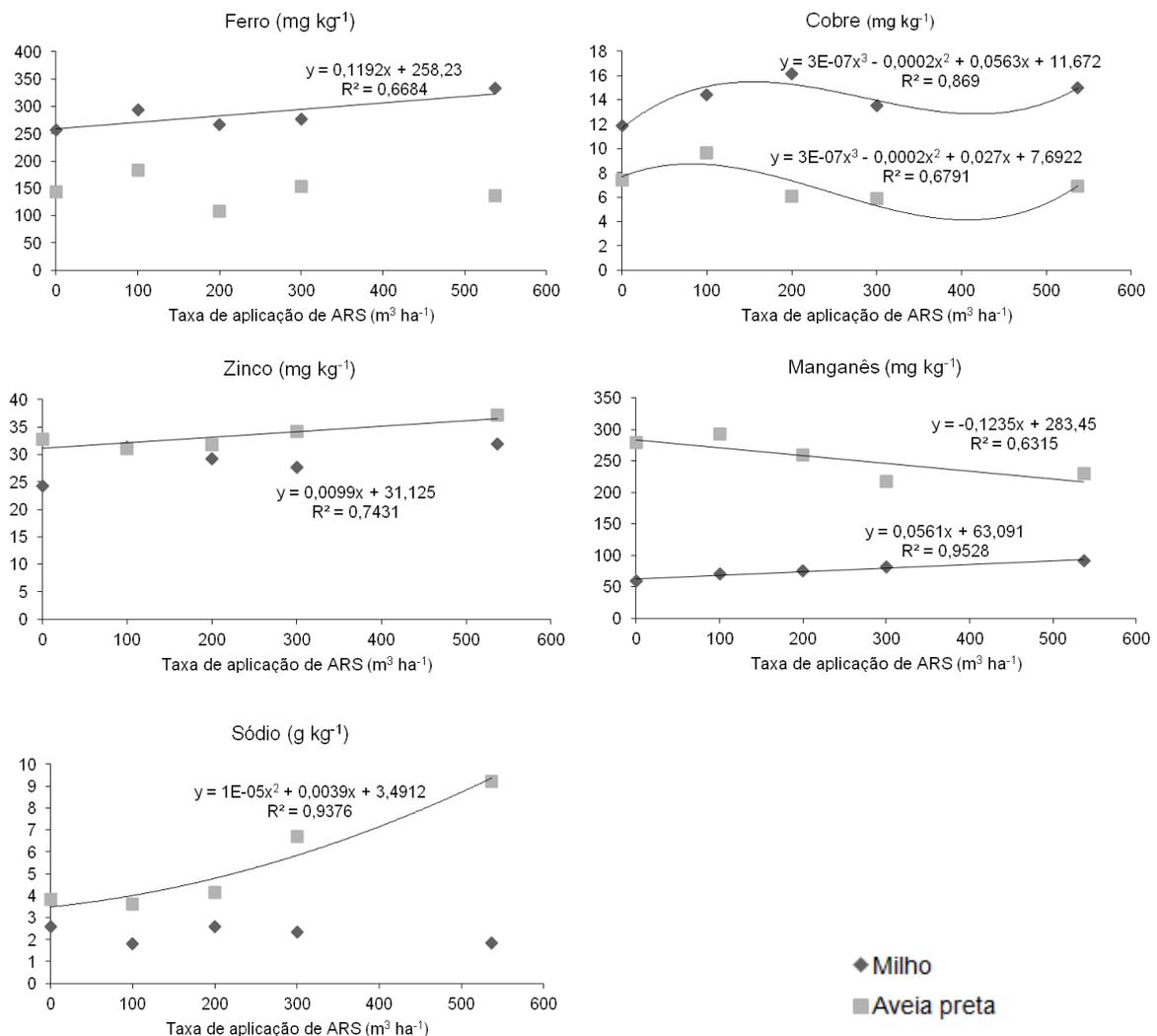


Figura 4 Teores de micronutrientes do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e da aveia preta cultivada em sequência - Cascavel-PR, 2011.

O efeito da adubação de cobertura com água residuária de suinocultura, sob a concentração de micronutrientes, foi discutido em função do pH do solo (Figura 8), considerado como parâmetro padrão da disponibilidade de nutrientes para as plantas. O solo apresentou pH entre 4,6 e 5,5, estando dentro das faixas de absorção de micronutrientes descrita por Lopes (1999).

Na cultura do milho, os teores de manganês apresentaram de 59,7 a 91,1 mg kg⁻¹, diferindo estatisticamente a taxa de aplicação de 537 m³ha⁻¹ dos demais tratamentos. Segundo Bull (1993), o teor de manganês adequado para cultura do milho é entre 20 e 150 mg kg⁻¹, sendo assim, todos os tratamentos apresentaram suficientes teores de manganês.

Em condições de acidez do solo, o manganês e o ferro são mais disponíveis para as plantas. Ambos ocorrem nos solos em mais de uma valência, dependendo do teor de água ou do estado de oxirredução do solo. A importância dos tipos de manejos do solo está na eficiência de cada um deles no arejamento e no movimento de água. Os micronutrientes encontram-se em maior solubilidade e disponibilidade em pH abaixo de 5,5. As valências reduzidas são estimuladas por condições de suprimentos reduzidos de oxigênio e níveis relativamente elevados de umidade. Valores elevados de pH favorecem a oxidação. As condições de acidez do solo são mais conducentes à redução. A integração da acidez do solo e a aeração assumem importância prática na determinação das formas disponíveis aos vegetais (OLIVEIRA *et al.*, 2001). Neste contexto, observa-se que os teores de Fe e Mn apresentaram maiores índices nas folhas de milho, conforme se aumentou a taxa de aplicação de ARS no solo, sendo este fato devido à maior disponibilidade destes nutrientes em pH abaixo de 5,5.

Os íons Mn²⁺ ativam várias enzimas nas células vegetais, em particular as envolvidas no ciclo de Krebs, respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA, sendo também parte da estrutura do anel da molécula de clorofila (TAIZ; ZIGER, 2009). Sendo assim, quanto maior o teor desse nutriente na planta, maior a quantidade e a velocidade das reações químicas favorecendo a fotossíntese, beneficiando a cultura e a produtividade de carboidratos.

Os teores de sódio na aveia preta apresentaram aumento, conforme a taxa de aplicação. Esse comportamento foi observado por Erthal *et al.* (2010), em que os teores foram de 2,3 a 3,3 g kg⁻¹, para testemunha e taxa de 100 m³ha⁻¹, respectivamente, sendo inferiores aos observados neste experimento. Os valores inferiores podem ser explicados pelo teor de sódio na ARS aplicada, sendo 29,2 kg ha⁻¹ na água residuária de bovinocultura aplicada em um ciclo da aveia preta, enquanto que no presente trabalho foram aplicados 76,7 kg ha⁻¹ de sódio na cultura do milho, provavelmente, permanecendo no solo até a extração pela aveia preta.

Dentre os processos fisiológicos afetados por altas concentrações de sais, destaca-se a fotossíntese, que pode ser inibida pelo acúmulo de íons Na^+ e/ou Cl^- nos cloroplastos, os quais afetam os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009), indicando que a absorção de sódio pelas culturas caracteriza efeito negativo sobre as culturas.

Valores semelhantes foram encontrados por Nakagawa, Crusciol e Zucareli (2009), em estudos com taxas de superfosfato e cloreto de potássio na folha bandeira da aveia preta. Os teores relatados foram de Fe ($180,8 \text{ g kg}^{-1}$), Mn ($214,1 \text{ g kg}^{-1}$), Zn ($42,8 \text{ g kg}^{-1}$) e Cu ($12,1 \text{ g kg}^{-1}$). Assim, o tratamento com $100 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ apresentou teores foliares superiores de Fe e Mn e inferiores aos de Cu e Zn quando comparados aos relatados por estes autores.

5.2 Atributos físicos e químicos do solo

Na Tabela 11 são apresentados o resumo da análise de variância, as médias de macro, microporosidade e porosidade total do solo, após o cultivo do milho com aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura e aveia preta em sequência.

Tabela 10 Resumo da análise de variância, coeficiente de variação (CV), desvio padrão de teor de água, macro, microporosidade, porosidade total e densidade do solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011

Fonte de variação		GL	Teor de água Macro	Micro	Porosidade total	Densidade	
			(g g^{-1})	($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)		(g cm^{-3})	
Milho	Taxa de ARS	19	NS	*	*	*	
	Erro	17					
Média			0,312	0,1976	0,4171	0,6151	1,341
CV(%)			4,1	18,09	6,1	3,14	5,74
Desvio padrão			0,015	0,03	0,018	0,198	0,062
Aveia preta	Taxa de ARS	19	NS	*	*	*	
	Erro	17					
Média			0,317	0,2354	0,3574	0,5917	1,096
CV(%)			4,94	11,09	9,74	5,74	4,92
Desvio padrão			0,016	0,026	0,035	0,034	0,054

Notas: NS = não significativo pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; GL = graus de liberdade.

Os modelos testados não apresentaram significância entre os tratamentos para o teor de água. Os demais atributos físicos do solo apresentaram significância para modelo linear, quadrático e cúbico.

O teor de água não foi influenciado pelos tratamentos ao final das duas culturas avaliadas (Figura 5). A presença de matéria orgânica no solo faz com que ocorra retenção de água (MOLINE *et al.*, 2011). Com o aumento do teor de matéria orgânica, causado pelas taxas de aplicação, esperava-se aumento no teor de água no solo pela retenção proporcionada pela matéria orgânica. No entanto, em sistema plantio direto, o qual conserva a palha sobre o solo, mantém o teor de matéria orgânica no solo alto (MATIAS *et al.*, 2009), podendo ser observado pela testemunha, sendo então desprezível o aumento na retenção de água proporcionado pelo aumento da matéria orgânica, proporcionado pelas taxas de aplicação.

Observa-se redução da macroporosidade e porosidade total do solo e aumento da microporosidade do solo, conforme o aumento da taxa de aplicação na cultura do milho (Figura 5). Fato que pode ter ocorrido pelo entupimento dos macroporos causado pelo teor de sólidos e matéria orgânica da água residuária ou pela lixiviação de partículas da superfície do solo, que também causam efeito de entupimento dos macroporos.

O entupimento de macroporos pode causar erosão e degradação do solo pela diminuição da infiltração de água no solo e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial.

As águas residuárias de suinocultura contêm grandes quantidades de Na^+ . Quando este íon apresenta grandes concentrações no solo, em comparação ao Ca^{2+} e ao Mg^{2+} , pode causar deterioração da estrutura do solo pela dispersão das partículas coloidais e subsequente entupimento dos macroporos, causando redução da condutividade hidráulica dos solos. A magnitude deste efeito varia com as precipitações e aplicações de ARS, de forma a promover a lixiviação do Na^+ (ERTHAL, 2008).

Após o cultivo da aveia preta houve aumento de 23,6% na macroporosidade na testemunha, 27,7% no tratamento com $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e 20,2% no tratamento $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, houve redução média de 14% na microporosidade do solo e 3,6% na porosidade total.

A redução da porosidade total pode ser explicada pela redução da microporosidade que, apesar do diâmetro dos poros ser menor que 0,05 mm, causa menor impacto na porosidade total do que a macroporosidade. A redução da microporosidade pode ter sido influenciada pelo aumento da macroporosidade, ou seja, conforme as células da rizosfera penetravam no solo e cresciam, ocorria o alargamento dos microporos, transformando-os em macroporos.

A densidade do solo variou entre 1,268 e 1,345, na cultura do milho, nos tratamentos sem aplicação de ARS ($0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, sem apresentar diferença estatística entre os tratamentos (Figura 5).

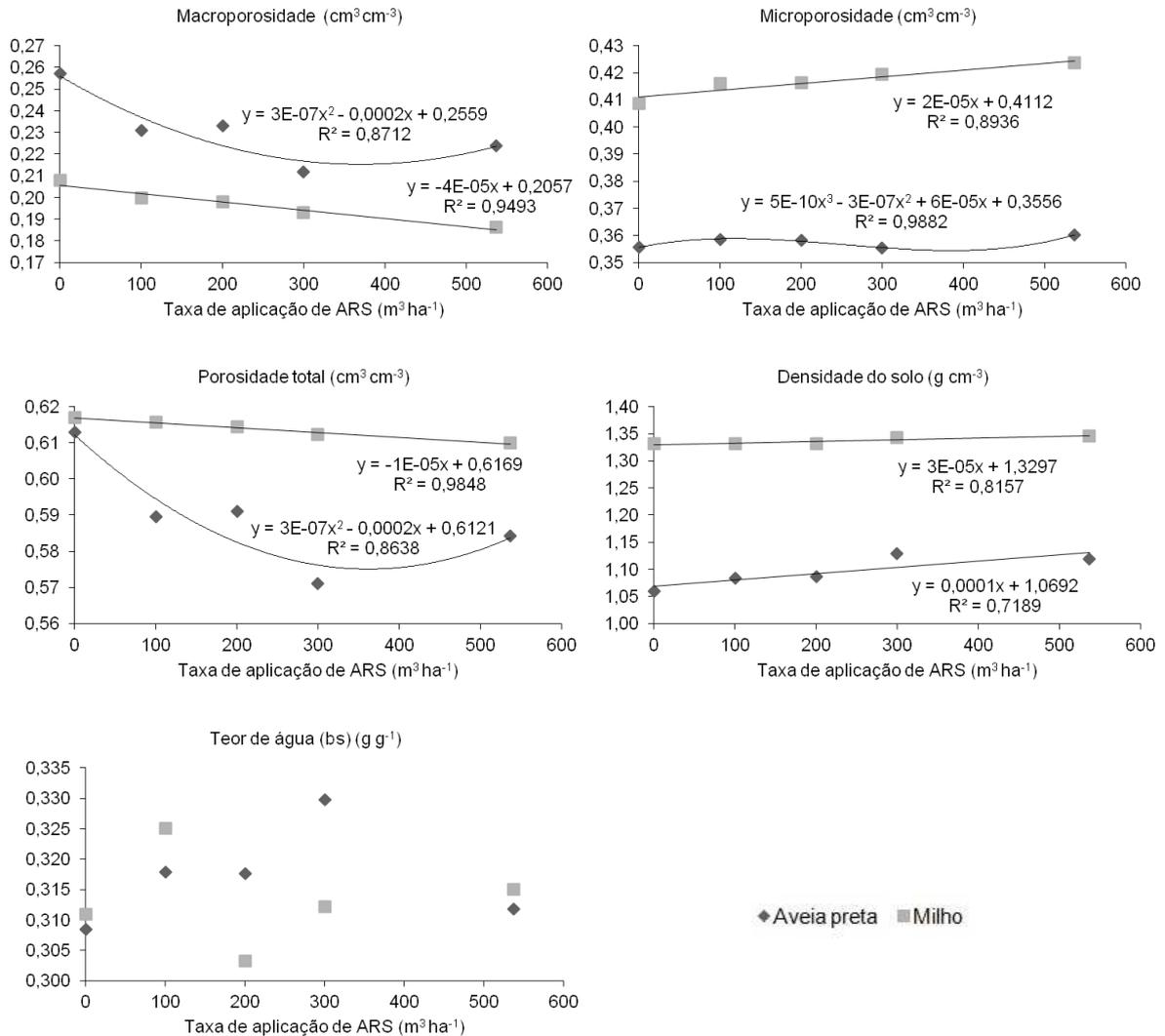


Figura 5 Macro, microporosidade e porosidade total, densidade e teor de água do solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência. Cascavel-PR, 2011.

Após o cultivo da aveia preta houve, em geral, redução da densidade do solo em média de 16,9%. O comportamento da densidade do solo dos tratamentos permaneceu como na cultura do milho, ou seja, o tratamento sem aplicação de ARS apresentou menor densidade e o tratamento com a maior taxa de aplicação apresentou maior densidade do solo. A redução da densidade, em geral, deve-se ao crescimento do sistema radicular da cultura e, conseqüentemente, aumento da macroporosidade do solo.

Ao comparar a diminuição da densidade com o aumento da macroporosidade, observa-se que, em média, com o aumento de 25% da macroporosidade houve a redução de 17% na densidade do solo, proporcionada pela rizosfera da aveia preta em todos os tratamentos.

Em estudos realizados por Arruda *et al.* (2010), Barzegar *et al.* (2002) e Hati *et al.* (2006), aplicando taxa de dejetos suínos no solo, observaram que, em geral, houve

diminuição na densidade do solo e isso pode estar relacionado ao papel da matéria orgânica, influenciando negativamente a porosidade do solo nos tratamentos com maior aplicação de resíduos orgânicos, comportamento que se repetiu neste experimento.

É característica de todos os Latossolos possuírem alta macroporosidade, variando entre 0,23 a 0,30 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ do seu volume em estado natural, fato este que confere alta capacidade de drenagem interna no seu perfil (MONDARDO, 1984). Após a cultura do milho, observou-se que nenhum dos tratamentos apresentava tais condições.

Avaliando os atributos físicos do solo com texturas diferentes, em Taupo e Levin na Nova Zelândia, por período de 12 e 22 anos de cultivo, respectivamente, Vogueler (2009) constatou que não houve alterações significativas na estrutura do solo ao aplicar água residuária da estação de tratamento de esgotos domésticos. No entanto, a autora observou redução da macroporosidade pelo estresse da sequência de aplicações.

Após o cultivo da aveia preta, a macroporosidade do solo apresentou valores considerados ideais para os tratamentos com até 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, indicando que os demais tratamentos podem reduzir a macroporosidade a ponto de reduzir a drenagem interna no perfil do solo, não suprimindo o aumento da macroporosidade pelo sistema radicular da aveia preta, diminuindo a qualidade do solo para este parâmetro.

Estudos realizados por Argenton *et al.* (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho por ser muito argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de 1,30 Mg m^{-3} . Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de 1,33 Mg m^{-3} . Reichert, Reinert e Braida (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 Mg m^{-3} para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m^{-3} para os franco-argilosos e 1,70 a 1,80 Mg m^{-3} para os franco-arenosos.

Segundo Reinert *et al.* (2008), a compactação é um problema grave para a qualidade do solo e o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, pois modifica os fluxos de água e ar no solo e reduz a produtividade das culturas agrícolas. Uma das alternativas para amenizar esse problema é o uso de espécies com sistema radicular profundo e vigoroso, como mucuna, crotalária, guandu, feijão de porco e a aveia preta, avaliada neste experimento.

Neste contexto, a cultura do milho sofreu deficiência de aeração no solo em todos os tratamentos em que foram aplicadas taxas de ARS (densidade maior que 1,30 Mg m^{-3}) e os tratamentos com 300 e 537 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ apresentaram densidade maior que a limitante para crescimento de raízes (1,33 Mg m^{-3}), como observado por Klein (2006).

Após o cultivo da aveia preta, observou-se redução de densidade do solo abaixo dos níveis críticos de deficiência de aeração e para o crescimento das raízes, sendo assim, a cultura da aveia preta, em áreas com densidade próxima a 1,3 Mg m^{-3} , contribui para

umentar a qualidade física do solo e reduzir a compactação na camada de 0-15 cm avaliada.

Na Tabela 11 é apresentado o resumo da análise de variância dos teores de macronutrientes no solo, após a cultura do milho e aveia preta, em sequência à aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura.

Tabela 11 Resumo da análise de variância dos teores de macro e micronutrientes no solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura, e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011

Cultura	Fonte de variação	GL	Macronutrientes (cmol _c dm ⁻³)			
			P (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Milho	Taxa de aplicação de ARS	4	NS	*	*	*
	Erro	15				
Média			9,1	0,77	6,09	2,75
CV (%)			16,53	17,54	13,6	13,35
Desvio padrão			3,41	0,32	1,16	0,88
F			1,64 ^{NS}	3,50*	5,59*	2,91*
Aveia Preta	Taxa de aplicação de ARS	4	NS	*	NS	NS
	Erro	15				
Média			9,1	0,86	5,77	2,79
CV (%)			21,6	11,42	10,52	17,03
Desvio padrão			1,97	0,1	0,61	0,48
F			0,73 ^{NS}	2,972*	0,797 ^{NS}	1,35*
Micronutrientes (mg dm ⁻³)						
Milho	Taxa de aplicação de ARS	4	Fe	Cu	Mn	Zn
	Erro	15	NS	*	NS	*
Média			19,15	7,49	137,1	4,16
CV (%)			15,56	9,58	16,35	19,24
Desvio padrão			3,75	1,07	21,62	3,86
F			3,75*	6,76*	0,67 ^{NS}	13,67*
Aveia Preta	Taxa de aplicação de ARS	4	NS	*	NS	*
	Erro	15				
Média			24,35	7,58	160,95	3,33
CV (%)			12,03	16,32	10,71	32,6
Desvio padrão			2,93	1,24	17,24	1,09
F			0,18 ^{NS}	1,99*	0,62 ^{NS}	2,37*

Notas: NS = não significativo pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; GL = graus de liberdade.

Após a cultura da aveia preta, não houve significância de nenhum modelo testado para os teores de fósforo e cálcio do solo, exceto para os teores de potássio, cobre e zinco do solo. O magnésio apresentou aumento até a taxa de 300 m³ ha⁻¹ e menor valor na taxa

537 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, apresentando significância estatística para os modelos encontrados. Houve aumento nos teores de potássio e diminuição nos teores de cálcio e magnésio (Figura 6).

Os teores de fósforo no solo apresentaram variação, porém não houve diferença significativa. Entretanto, considerando que foi adicionada quantidade crescente de P nas parcelas do experimento pela taxa de aplicação de ARS, pode-se inferir que à medida que se aumentou a quantidade de fósforo adicionado ao solo através das doses de ARS, ocorreu saturação dos sítios de adsorção, pela existência de cargas elétricas negativas de superfície nas partículas minerais e orgânicas, resultando em aumento da disponibilidade de P na solução do solo. A reação é favorecida pelo baixo pH da solução do solo e ocorre, principalmente, com óxido de ferro e alumínio na superfície (RAIJ, 1991). Este fato foi observado e houve redução no pH do solo (Figura 8), o que favoreceu a saturação dos sítios de adsorção do fósforo no solo, concordando com Raij (1991).

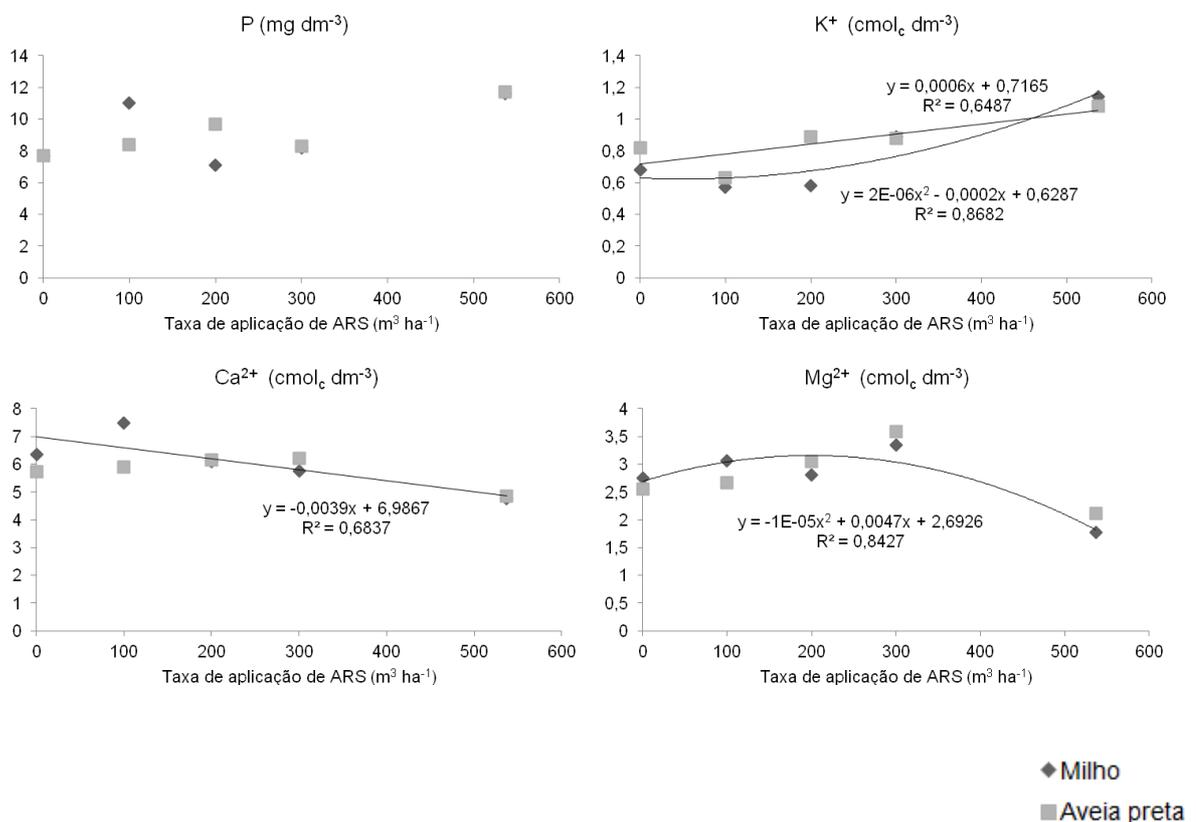


Figura 6 Macronutrientes no solo pós o cultivo da aveia preta após a cultura do milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura - Cascavel-PR, 2011.

Scherer, Baldisera e Nesi (2007) estudaram a aplicação de ARS no solo em duas aplicações e observaram aumento nos teores de fósforo na camada 0-10 cm, chegando a 60 mg dm^{-3} para a taxa de aplicação de 115 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ na primeira aplicação e 140 mg dm^{-3} na segunda aplicação, para mesma taxa. Este fato ocorre pela permanência do fósforo no solo

pela adsorção pelas partículas coloidais. Em solos argilosos o teor de fósforo disponível na solução do solo deve ser maior que 20 mg dm^{-3} (NOVAIS; SAYTH; NUNES, 2007).

Os teores de K^+ apresentaram comportamento crescente conforme a taxa de aplicação, apresentando significância para o modelo de regressão encontrado. Os teores variaram entre 0,57 e $1,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Segundo Tomé Júnior (1997), de forma genérica, índices acima de $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados altos, não apresentando deficiência de potássio em todos os tratamentos. Os valores obtidos são muito superiores aos de Dal Bosco *et al.* (2008), os quais estudaram o solo após oito anos de aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura e encontraram valores máximos de $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ , para o mesmo tipo de solo. Apesar dos teores de K^+ da composição da água residuária que, neste estudo, apresentou concentração média de $517,45 \text{ mg L}^{-1}$, outros motivos podem levar à diferença deste elemento no solo, como a pouca quantidade de matéria orgânica do solo ($25,49 \text{ g dm}^{-3}$) e pH que variou de 6 a 8,5.

Pelo método da extração de Mehlich, na amostra de solo é quantificado o teor de fósforo disponível para a cultura. Conforme se aumenta o teor de fósforo na solução do solo, podem ocorrer reações químicas que adsorvem o fósforo ou o transformam em compostos muito complexos, com ligações covalentes, permanecendo fortemente retidos pelos óxidos do solo, reduzindo a disponibilidade do nutriente para as plantas, sendo os fosfatos mais solúveis em pH ligeiramente ácidos, ficando disponíveis para as plantas (CARVALHO *et al.*, 2010). Neste contexto, o que se observa é que para taxas de 100 e $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ocorre maior disponibilidade de fósforo; no primeiro momento por conter fósforo disponível e no segundo o menor pH favorecer a solubilidade do P.

Assmann *et al.* (2007) relataram que após duas aplicações da dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de efluente líquido de suínos, na profundidade de 0-5 cm, o solo apresentou 263 kg ha^{-1} de K^+ . Antes das aplicações este solo apresentava 51 kg ha^{-1} deste nutriente na mesma profundidade, significando acúmulo de 212 kg ha^{-1} de K^+ nessa profundidade. Nas demais profundidades, a aplicação de efluente líquido de suínos não provocou aumentos significativos do nutriente, apontando que, pelo menos em curto prazo, problemas causados por provável lixiviação de nutrientes podem não ser significativos.

Os teores de cálcio apresentaram comportamento decrescente, conforme o aumento da taxa de aplicação e variaram entre 7,48 e $4,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nos tratamentos com 100 e $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, diferindo estatisticamente.

O efeito antagônico entre K e Ca, resultado de competição na solução do solo (SOARES, *et al.*, 1983), não foi observado no teor destes nutrientes pelas plantas, mas foi observado nos teores no solo, ou seja, os tratamentos que apresentaram menores concentrações de Ca apresentaram maiores concentrações de K, apresentando significância para os modelos encontrados.

Elevadas concentrações de Ca trocável no solo provocadas pela aplicação de corretivos da acidez do solo com alta relação Ca/Mg diminuíram a absorção de magnésio e potássio pelas plantas de milho. A produção de matéria seca e a altura de plantas de milho no estágio inicial de desenvolvimento decresceram com o aumento da relação Ca:Mg no solo (MEDEIROS *et al.*, 2008).

Os teores de magnésio apresentaram comportamento decrescente, conforme o aumento da taxa de aplicação e variaram entre 3,75 e 1,77 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos tratamentos com 300 e 537 m^3ha^{-1} , respectivamente, diferindo estatisticamente entre si.

Ciancio (2010) mencionou que a dose aplicada e o teor de matéria dos resíduos orgânicos têm relação direta com a quantidade de nutrientes que são aplicados e explicou que, provavelmente, por esta razão, os dejetos líquidos de suínos apresentam maior efeito residual, pois, através da análise laboratorial, os resultados apresentaram maiores quantidades de macronutrientes adicionados, principalmente, o P e K.

Na Figura 7 são apresentados os modelos de regressão significativos a 5% de probabilidade para os teores de micronutrientes no solo, após a cultura do milho e aveia preta em sequência, com aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura.

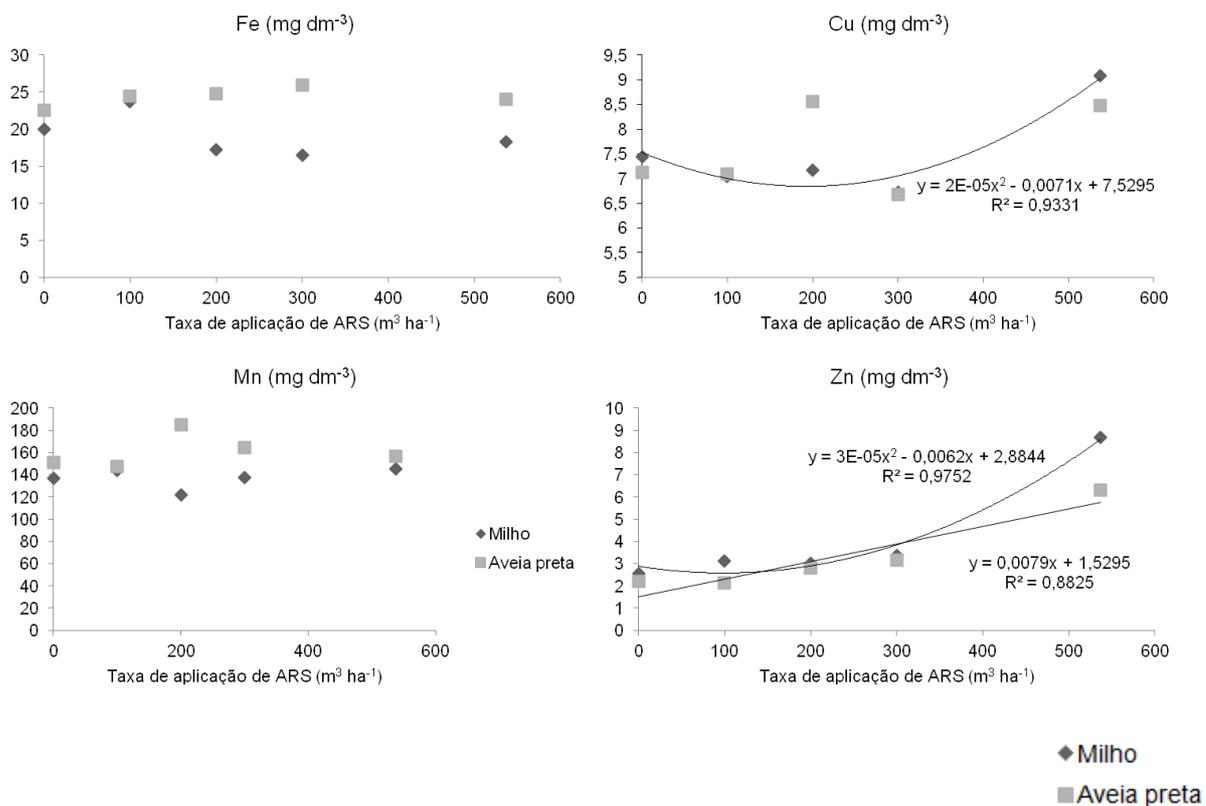


Figura 7 Teores de micronutrientes no solo após cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e da aveia preta cultivada em sequência - Cascavel-PR, 2011.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de manganês na cultura do milho. Houve ainda, aumento no teor de cobre e zinco e diminuição no teor de ferro, diferindo estatisticamente entre si, sendo superior na taxa de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Após o cultivo da aveia preta não houve diferença estatística para os teores de ferro e manganês no solo. Entretanto, os teores de zinco apresentaram maiores valores, conforme o aumento da taxa de aplicação, em que o tratamento com $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ apresentou maiores valores, apresentando significância estatística para os modelos encontrados. A taxa de aplicação de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ apresentou menor teor de cobre no solo, apresentando significância estatística para os modelos encontrados.

Os teores de cobre apresentaram comportamento crescente conforme o aumento da taxa de aplicação e variaram entre 6,72 e 9,09 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nos tratamentos com 300 e $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

O cobre apresenta maior disponibilidade no solo na faixa de pH 5,0 a 6,5. Solos orgânicos são os mais prováveis de apresentarem deficiência de cobre, pois, geralmente, apresentam abundância desse micronutriente, mas formam complexos tão estáveis com a matéria orgânica que somente pequenas quantidades são disponibilizadas à cultura. Solos argilosos apresentam menores probabilidades de apresentarem deficiência. A presença excessiva de íons metálicos, como ferro, manganês e alumínio, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas e esse efeito é independente do tipo de solo (LOPES, 1999).

Os teores de cobre apresentaram comportamento crescente conforme o aumento da taxa de aplicação e variaram entre 6,72 e 9,09 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nos tratamentos com 300 e $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, apresentando significância estatística para os modelos encontrados.

O ferro apresenta maior disponibilidade no solo na faixa de pH 4,0 a 6,0. A deficiência de ferro, na maioria das vezes, é causada por desequilíbrio em relação a outros metais, tais como molibdênio, cobre e manganês. Outros fatores que podem levar à deficiência são: excesso de fósforo no solo, efeitos combinados de pH elevado, calagem excessiva, encharcamento, baixas temperaturas e altos níveis de bicarbonato.

O manganês apresenta maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5, na qual as taxas de aplicação de até $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ se encontravam dentro dos limites. Solos orgânicos pela formação de complexos muito estáveis entre matéria orgânica e manganês, tendem a apresentar problemas de deficiência. A umidade do solo também afeta a disponibilidade de manganês. Os sintomas de deficiência são mais severos em solos com alto teor de matéria orgânica durante a estação fria, quando estão saturados de umidade. Os sintomas tendem a desaparecer à medida que o solo seca e a temperatura se eleva. O excesso de cálcio, magnésio e ferro pode, também, causar deficiências de manganês (LOPES, 1999). No entanto, apesar de condições desfavoráveis na taxa de aplicação de $537 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, as culturas não apresentaram sinais de deficiência deste micronutriente.

O zinco movimenta-se por difusão, sendo que a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH de solo 5,0 e 6,5; faixa em que as taxas de aplicação de até 300 m³ ha⁻¹ se encontravam dentro dos limites. Com o pH acima de 6,0 já se pode encontrar deficiência, afirmou Raij (1991).

Alguns solos, quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0, podem desenvolver sérias deficiências de zinco, o que podem ocorrer quando se usam altas doses de fertilizantes fosfatados. Várias espécies de plantas mostraram efeitos da interação zinco-fósforo. A interação complica-se ainda mais pelo efeito de valores de pH próximos à neutralidade. Grandes quantidades de zinco podem ser “fixadas” pela fração orgânica do solo, induzindo a deficiências. Esse micronutriente pode ser, também, temporariamente imobilizado nos corpos dos micro-organismos do solo, especialmente quando da aplicação de esterco. Baixas temperaturas, associadas ao excesso de umidade, podem fazer com que as deficiências sejam mais pronunciadas. Isso tende a se manifestar no estágio inicial de crescimento das plantas, e, geralmente, os sintomas desaparecem mais tarde. O Zn é fortemente adsorvido pelos coloides do solo, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, aumentando o efeito residual (LOPES, 1999).

Este fator foi observado durante o experimento, pelas pequenas diferenças nas concentrações do Zn após o cultivo do milho e da aveia para a mesma taxa de aplicação. As taxas de aplicação com pH mais baixo (Figura 8) foram as que apresentaram maior concentração de zinco (Figura 7).

Altas doses de zinco provocam desordem nutricional na aveia preta, tendo o nível crítico de toxicidade de zinco no solo e na planta, de 135 mg dm⁻³. O sintoma de toxicidade por zinco em poáceas confere a redução da área foliar (ABRANCHES *et al.*, 2009). Para as culturas em geral, Malavolta (2006) encontrou níveis de toxicidade por Zn acima de 6 mg dm⁻³. Lindsay e Norvell (1978) indicam 0,8 mg dm⁻³ de zinco no solo como nível crítico para a cultura de milho com o extrator DTPA.

Segundo o teor de Zn considerado crítico por Malavolta (2006), a taxa de aplicação de 537 m³ ha⁻¹ apresentou toxicidade por zinco, podendo ser verificada a redução da massa foliar e aumento na massa de colmos, pela diminuição da relação folha:colmo. O mesmo pode ter ocorrido com a área foliar na cultura do milho, no entanto, sem diferença estatística.

Os teores de Cu e Zn no solo foram inferiores aos encontrados por Berenguer *et al.* (2008), que estudaram taxas de aplicação de esterco líquido de suínos em milho e, após cinco e seis anos de cultivo e aplicação, relataram valores de Cu entre 6,4 a 6,0 mg kg⁻¹ e Zn entre 14,9 a 10,9 mg kg⁻¹. Este fato ocorreu pelo pH do solo estudado por estes autores ser em média de 8,1 a 8,2, muito superior ao do presente estudo, sendo que nesta faixa de pH, o solo retém estes micronutrientes, resultando em baixos teores foliares (1,6 mg kg⁻¹ de Cu e 14,9 mg kg⁻¹ de Zn), quando comparados aos deste experimento (16,13 mg kg⁻¹ de Cu e 16,86 mg kg⁻¹ de zinco).

Na Tabela 12 é apresentado o resumo da análise de variância dos teores de carbono, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e saturação por bases e pH do solo, após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência. Não houve significância para os modelos de regressão encontrados para os tratamentos para o teor de carbono e capacidade de troca catiônica após cultura do milho. Houve ainda, certo aumento na acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), e diminuição da saturação por bases ($V_1\%$) e pH do solo.

Tabela 12 Resumo da análise de variância dos teores de carbono, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e saturação por bases ($V_1\%$) e pH do solo após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011

Cultura	Fonte de variação	GL	C ($g\ dm^{-3}$)	$H^+ + Al^{3+}$ - - - - ($cmol_c\ dm^{-3}$)	CTC*	V_1^{**} %	pH CaCl ₂
Milho	Taxa de aplicação de ARS	4	NS	*	NS	*	*
	Erro	15					
Média			25,07	6,04	15,65	61,38	5,18
CV (%)			9,54	17,01	6,02	11,22	6
Desvio padrão			2,27	1,57	0,83	9,67	0,42
F			0,53 ^{NS}	7,32*	1,05 ^{NS}	5,61*	4,90*
Aveia Preta	Taxa de aplicação de ARS	4	NS	*	NS	NS	*
	Erro	15					
Média			25,81	4,76	14,18	65,82	5,22
CV (%)			7,33	17,63	9,29	14,1	6,79
Desvio padrão			1,89	0,84	1,32	9,28	0,35
F			1,37 ^{NS}	2,08*	0,70 ^{NS}	1,37 ^{NS}	1,84*

Notas: NS = não significativo pelo teste F; * = significativo a 5% pelo teste F; GL = graus de liberdade; *CTC = capacidade de trocas catiônicas; ** V_1 = saturação das bases.

Na Figura 8 estão apresentados os modelos de regressão significativos para os teores de carbono, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e saturação por bases ($V_1\%$) e pH do solo, após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência.

Após o cultivo da aveia preta, foi observado aumento da acidez potencial e redução do pH do solo, conforme o aumento da taxa de aplicação, sendo superior para a maior taxa de aplicação, apresentando significância estatística para os modelos encontrados.

O valor de saturação por bases ($V_1\%$) mínimo recomendado para o cultivo da aveia preta é 60%. Neste estudo, somente a taxa de aplicação de $537\ m^3\ ha^{-1}$ apresentou valor inferior ao mínimo recomendado, o que na prática, significaria necessidade de aplicação da calagem, resultando em maior custo de produção. Após o cultivo da aveia preta, houve certo aumento da saturação por bases em todos os tratamentos, exceto para taxa de aplicação de $100\ m^3\ ha^{-1}$.

Os teores de carbono no solo variaram entre 26,2 e 24,7 $g\ dm^{-3}$, apresentando diminuição, não significativa, do teor de carbono no solo. Este fato pode ter ocorrido pelo

aumento da atividade de micro-organismos e aumento da relação C:N do solo, que pode ter causado mineralização do carbono da matéria orgânica.

O aumento de alumínio proporcionado pelas taxas de aplicação de água residuária, elemento que é acrescentado na forma de sulfato, durante o tratamento de floculação no tanque de sedimentação, provavelmente seja o responsável pelo aumento da acidez potencial. O aumento da acidez potencial proporcionou diminuição do pH e da saturação por bases do solo em níveis críticos (pH abaixo de 5,0 e V_1 abaixo de 50%), na maior taxa de aplicação, causando eutrofização do solo, apresentando significância estatística para os modelos encontrados (Figura 8). A diminuição da saturação por bases também está relacionada à diminuição do pH do solo, liberando mais H^+ na solução do solo, ligando-se às partículas coloidais e interferindo na ligação de outros elementos como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ às partículas coloidais, no complexo de troca.

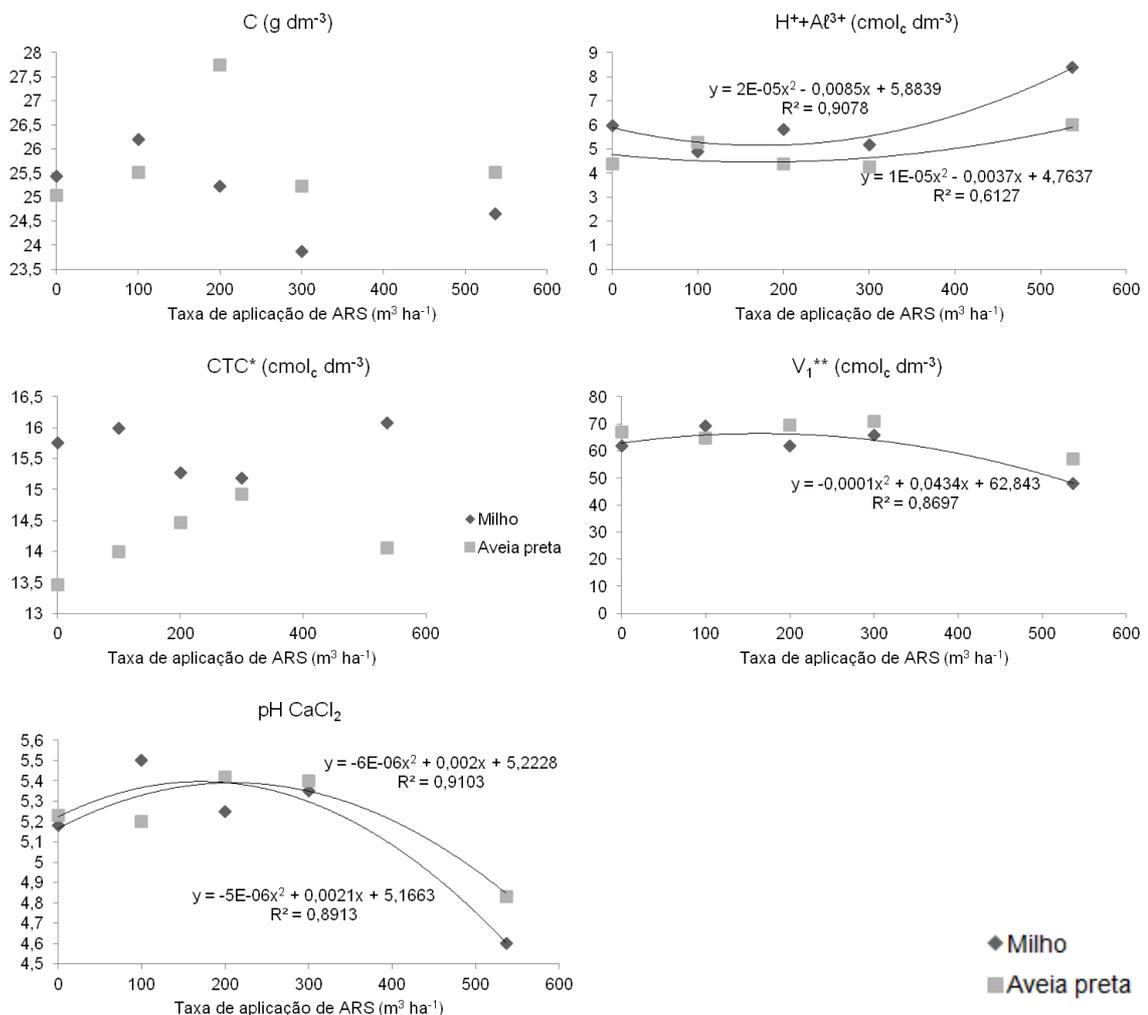


Figura 8 Teores de carbono, acidez potencial, capacidade de troca de cátions e saturação por bases ($V_1\%$) e pH do solo, após o cultivo de milho adubado em cobertura com água residuária de suinocultura e aveia preta em sequência - Cascavel-PR, 2011.

Quanto ao pH do solo, já foram observadas por Pavinato e Rosolem (2008) elevações com a adição de resíduos vegetais. Esse resultado seria decorrente da complexação dos H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial. As reações de troca de ligantes entre ânions orgânicos e os grupos OH^- terminais dos óxidos de Fe e Al têm sido propostas como causas da elevação do valor de pH do solo, após a adição dos resíduos vegetais. A elevação do pH do solo decorrente da decomposição da palha do milho e pode ser observada nas taxas de aplicação de ARS, exceto a taxa de $100\ m^3 ha^{-1}$.

Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Silva (2009b), que avaliou a acidificação do solo com taxas de nitrogênio (50, 100, 150 e $200\ mg\ dm^{-3}$) em que o pH apresentou diminuição à medida que se aumentaram as doses de nitrogênio aplicadas, independente da fonte utilizada.

Estudos realizados por Queiroz *et al.* (2004), aplicando intensivamente dejetos líquidos de suínos em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, cultivado com poáceas forrageiras, relataram que houve acúmulo de P, K, N e Zn no solo na profundidade 0-20 cm, e aumento na capacidade de troca de cátions e alumínio trocável e decréscimo do pH e soma de bases. Comportamentos semelhantes aos encontrados neste estudo.

Brito, Vendrame e Brito (2005) observaram que, em todos os tratamentos em que se aplicou resíduo orgânico, os valores de pH do solo foram menores do que o da testemunha, porém, diferenças significativas só foram observadas para os tratamentos correspondentes à aplicação de esterco de bovino e de ave poedeira, provavelmente, devido à maior liberação de compostos nitrogenados e ácidos orgânicos, durante a decomposição. O que também pode ter ocorrido com a água residuária de suinocultura aqui testada.

Scherer, Baldiserra e Nesi (2007) não constataram efeitos de esterco da aplicação de suínos sobre os fatores de acidez do solo, cátions básicos, CTC e teor de matéria orgânica do solo. A diferença de comportamento pode ser explicada pela taxa de aplicação máxima ($115\ m^3\ ha^{-1}$) ser inferior a deste estudo. No entanto, para a taxa de aplicação de $100\ m^3\ ha^{-1}$, também não se observou diferença significativa para acidez, CTC e pH do solo.

Em síntese geral do presente estudo, a utilização de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura na cultura do milho e aveia preta em sequência não influenciou a área foliar, massa seca e fresca da cultura do milho; aumentou o teor de clorofila, massa fresca e seca (chegando a 87% de aumento na massa seca) e reduziu a relação folha:colmo da cultura da aveia preta.

Os teores foliares no milho foram crescentes, conforme o aumento da taxa de aplicação, para fósforo, nitrogênio (sendo suprida a demanda da cultura com a taxa de

100 m³ ha⁻¹) e manganês na cultura do milho; foram decrescentes para potássio e magnésio.

Os teores foliares na aveia preta foram crescentes, conforme o aumento da taxa de aplicação, para nitrogênio, cálcio (até a taxa de 200 m³ ha⁻¹) e sódio na cultura da aveia preta; Os teores foliares de fósforo, potássio, magnésio e cobre foram decrescentes, conforme o aumento da taxa de aplicação; não influenciou os teores foliares de zinco e manganês.

Nenhuma das culturas nos tratamentos que receberam água residuária de suinocultura apresentou deficiência de nutrientes.

A utilização de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura na cultura do milho e aveia preta em sequência, apresentou os seguintes efeitos nos atributos físicos do solo: não influenciou o teor de água do solo, o que indica que a matéria orgânica presente na água residuária de suinocultura não foi suficiente para aumentar a retenção de água no solo; houve redução da macroporosidade e porosidade total do solo, quanto maior a taxa de aplicação na cultura do milho, apresentando deficiência de aeração do solo para a cultura, contudo, após o cultivo da aveia preta observou-se aumento na macroporosidade do solo, suprimindo a compactação das taxas até 200 m³ ha⁻¹; aumentou a microporosidade do solo quanto maior a taxa de aplicação na cultura do milho e diminuiu após o cultivo da aveia preta; houve aumento da densidade do solo quanto maior a taxa de aplicação e após o cultivo da aveia preta houve redução de densidade do solo, abaixo dos níveis críticos de deficiência de aeração e para o crescimento das raízes; a aveia preta contribuiu para aumentar a qualidade física do solo e reduzir a compactação na camada superficial de 0-15 cm.

Sobre os atributos químicos do solo, a utilização das taxas de água residuária de suinocultura aumentou os teores de K⁺, Cu e Zn, reduziu os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe no solo, não influenciou o teor de carbono no solo e, conseqüentemente, de matéria orgânica e aumentou a acidez potencial e a capacidade de troca de cátions, conseqüentemente, reduziu a saturação por bases e o pH do solo.

6 CONCLUSÃO

Nas condições em que este experimento foi realizado, pode-se concluir que a aplicação água residuária de suinocultura em taxas de até $200 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ são viáveis e suprem a necessidade das culturas do milho e aveia preta por nutrientes, não prejudicando atributos físicos e químicos do solo.

Em virtude da grande variação dos componentes da água residuária, condições climáticas e edáficas recomenda-se levar em consideração estes parâmetros ao aplicar determinada taxa de água residuária no solo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo a grande limitação foi causada pela falta dos dados de produtividade da cultura do milho, o que seria o resultado mais importante para determinação do rendimento da cultura.

As taxas de aplicação baseadas em teor de nitrogênio total de Kjeldhal podem não ser ideais como base no cálculo para adubação nitrogenada, pois o tratamento assim dimensionado e aplicado, apresentou-se como uma dosagem excessiva e desnecessária, apresentando resultados semelhantes ao tratamento três vezes menor em volume aplicado.

A água residuária de suinocultura deve ser testada em demais culturas e variedades de milho, podendo ser uma prática interessante quando utilizada na fertirrigação.

REFERÊNCIAS

ABRANCHES, J. L.; BATISTA, G. S.; RAMOS, S. B.; PRADO, R. M. Resposta da aveia preta à aplicação de zinco em Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 278-282, 2009.

AGROLINK. **Cereais de inverno**. Disponível em: <www.agrolink.com.br/cereaisdeinvernoinf_tec_index.asp>. Acesso em: 3 jun. 2010.

AITA, C.; PORT, O.; GIACOMINI, S. J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.901-910, 2006.

ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 1227-1237, 2008.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ, V. V .H.; MARTINS, C. E.; SOUZA, D. P. H. Produtividade e valor nutritivo do capim Elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 1589-1595, 2000.

AOAC. Phosphorus in meat. Automated method 972.22. In **Official method of analysis of AOAC International**, 15th ed. Arlington: AOAC International, 1990.

Association of Official Analytical Chemists -AOAC (1990). **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 14 ed. Washington, 1298p. 1990.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

ASSMANN, J. M.; BRAIDA, J. A.; CASSOL, J. C.; MAGIEROI, E. C.; MANTELI, C.; GRIZ, E. Produção de matéria seca de forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2408-2416, 2009.

ASSMANN, T. S.; ASSMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1515-1523, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA - ABIPECS. **Relatório de exportações do primeiro trimestre 2010 - ABIPECS**, São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA - ABIPECS. **Relatório anual ABIPECS 2007/2008**. São Paulo, 2008.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BARZEGAR, A.R.; YOUSEFIL, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.247, n.2, p.295-301, 2002.

BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro : ABES, 2003. 267 p.

BERENGUER, P.; CELA, S.; SANTIVERI, F.; BOIXADERA, J.; LLOVERAS, J. Copper and zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilized with liquid swine manure. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 4, p. 1056-1061, 2008.

BOMFIM, C. Carne suína brasileira recebe permissão para ser vendida nos EUA. **Jornal Floripa**, Florianópolis, 2012. Disponível em: <[http://www.jornalfloripa.com.br/Brasil/index.php?pg= not%EDcia&id=16370](http://www.jornalfloripa.com.br/Brasil/index.php?pg=not%EDcia&id=16370)>. Acesso em: 16 jan. 2012.

BORKET, C.M. Micronutrientes na planta. *In*: BÜLL, L.T.; ROSOLEM, C.A. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, Philadelphia, v. 23 p. 343-353, 1927.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total: determination of nitrogen in soil by Kjeldahl method. **Journal Agricultural Science**, Madison, v. 55, p. 11-33, 1965.

BRITO, O. R.; VENDRAME, P. R. S.; BRITO, R. M. Alterações das propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 33-40, 2005.

BUCKLEY, K. E.; MOHR, R. M.; THERRIEN, M. C. Yield and quality of oat in response to varying rates of swine slurry. **Canadian Journal of Plant Science**, Manitoba, n. 90, p. 645-653, 2010.

BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. 301 p.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A.; MUNIZ, A. S.; Effects of wastewater from a cassava industry on soil chemistry and crop yield of lopsided oats (*Avena strigosa* Schreb.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 53, n. 1, p. 19-26, 2010.

CALONEGO, J. C.; POLETO, L. F.; DOMINGUES, F. N.; TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2011.

CAMARGO, C. E. O.; FREITAS, J. G.; CANTARELLA, H. Aveia e centeio. *In*: Van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *et al.* (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p. 52-53. (Boletim Técnico, 100).

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2000. 41 p. Circular Técnica n. 6.

CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURI, N. SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, 2008.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E.D.; SULC, R.M.; LANG, C.R.; FLORES, J.P.C.; LOPES, M.L.T.; SILVA, J.L.S.; CONTE, O.; WESP, C.L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.S.; BAYER, C. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. **Nutrient Cycling Agroecosystem**, v.88, p.259-273, 2010.

CELA, S.; BERENQUER, P.; SANTIVERI, F.; LLOVERAS, J. Potential phosphorus, potassium, and magnesium surpluses in an irrigated maize monoculture fertilized with pig slurry. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 1, p. 96-102, 2010.

CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC CRAAQ. **Guide de référence en fertilisation**. 1. ed., Québec: CRAAQ, Canadá, 2003.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S.; TRENTIN, E. E.; GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, 2005. p. 1287-1295.

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. A.; BÉLANGER, G.; ROCHETTE, P.; ERIKSEN-HAMEL, N.; BITTMAN, S.; BUCKLEY, K.; MASSÉ, D.; GASSER, M.O. Yield and nutrient export of grain corn fertilized with raw and treated liquid swine manure. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 5, p. 1303-1309, 2008.

CIANCIO, N. H. R. **Produção de grãos, matéria seca e acúmulo de nutrientes em culturas submetidas à adubação orgânica e mineral**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2010.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2 ed. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.71, p.1-9, 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n.2, 1995. Encarte.

COSTA, S. Mobilidade de nitrato em coluna de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 190-194, 1999.

DA ROS, C. O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 135-140, 1996.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 257-261, 1993.

DAL BOSCO, T. C.; SAMPAIO, S. C.; IOST, C.; SILVA, L. N. da; CARNELLOSI, C. F.; EBERT, D. C.; SCHREINER, J. S. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – estudo de caso. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 139-144, 2008.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (Circular, 73).

DÍEZ, P. C.; BRUNNENMEISTER, N. F.; MUÑOZ, N. G.; GALLARDO, A. Effects of exotic and native tree leaf litter on soil properties of two contrasting sites in the Iberian Peninsula. **Plant and Soil**, Crawley, v. 350, p. 179–191, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**, 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006, 306 p.

ERTHAL, V. J. T. **Fertirrigação de capim-Tifton 85 e aveia preta com águas residuárias de bovinocultura: efeitos no solo e nas plantas**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 458-466, 2010.

EVANS, L. S.; GMUR, N. F.; COSTA, F. Leaf surface and histological perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain. **American Journal of Botany**, Madison, v. 64, p. 903-913, 1977.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FARIA, R. D. Água como fator de produção. In: CASÃO JR., R.; SIQUEIRA, R. MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (eds.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. 204 p.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L.; TRIVELIN, P. C. O. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e utilização do N residual pela sucessão aveia preta-milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1138-1141, 2008.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FEY, R.; LANA, M. C.; ZOZ, T.; RICHART, A.; LUCHESE, E. B. Relações entre lixiviação de nitrato e produção de biomassa do milho com dejetos suínos provenientes de diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 212-218, 2010.

FIORI, M. G. S.; SMANHOTTO, A.; MALMANN, L.; DIETER, J.; SAMPAIO, S. C.; NOBREGA, L.H. Modificações na densidade do solo cultivado com milho frente ao uso de

água residuária da suinocultura. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. 1 CD-Rom.

FLOSS, E. L.; FEDERIZZI, L. C.; PACHECO, M. T.; CARVALHO, F. I. F.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, J. L.; OLIVEIRA, J. C.; BENIN, G.; MOLIN, R.; GARRAFA, M.; TRAGNAGO, J. L.; CECCON, G.; CASTRO, R. L.; SOUZA, C. A. Análise conjunta do ensaio brasileiro de cultivares de aveia branca, 2008. *In*: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, n. 29., 2009, Porto Alegre. **Resultados experimentais**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 401-411.

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; CECON, P. R. PINTO, F. A.; GALVÃO, J. C. F.; Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura em solo cultivado com milho. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 95-102, 2005.

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção de milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 8, n. 1, p. 120-125, 2004.

GALVÃO, J. R.; MORAIS, F. I. O.; TOFOLI, R. C. Z. Massa seca e limitações nutricionais do milho, em um Latossolo Amarelo, sob floresta secundária e sistema agroflorestral. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 137-145, 2009.

GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 276 p.

GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S. da; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R. C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 955-965, 2010.

GOMES, K.R.; AMORIM, A.V.; FERREIRA, F.J.; ALMEIDA FILHO, F.A.; LACERDA, C.F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.4, p.365–370, 2011.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; TRAUTMANN, R. R.; MARENGONI, N. G.; RIBEIRO, O. L.; SANTOS, A. L. Produtividade do milho em resposta a adubação com NPK e Zn em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e Latossolo Vermelho eutrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1231-1236, 2007.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Potafos – Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, 2001.

HARMSSEN, G. W.; KOLENBRANDER, G. J. Soil inorganic nitrogen. *In*: BARTOLEMEW, W. V.; CLARK, F. E. (eds.). **Soil nitrogen**. Madison, Wisconsin: American Society Agronomy, 1965. p. 43-92.

HATI, K.M.; MANDAL, K.G.; MISRA, A.K.; GHOSH, P.K.; BANDYOPADHYAY, K.K. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. **Bioresource Technology**, Oxford, v.97, n.16, p.2182-2188, 2006.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. Estatística da Produção Pecuária. **Indicadores IBGE**. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201103_publ_completa.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2012.

IZZO, R. NAVARI-IZZO, F., QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. **Jornal of Pelam Nutrition**, New York, v.14, p. 687-699, 1991.

KIEHL, E. J. L. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 263 p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages. v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um LATOSSOLO VERMELHO, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, n. 26, p. 857-867, 2002.

KLEINHOFES, A.; WARNER, R.L. Advances in nitrate assimilation. *In*: MIFLIN, B. J.; STEWART, P. J. (eds.). **The biochemistry of plants**. London: Academic Press Inc., 1990. v. 16, p. 89-120.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos suínos estudados no Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, J. O.; LEMOS FILHO, L. C. A.; GUIMARÃES, F. V. A.; OLIVEIRA, T. S.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v.18, p. 455-465, 2006.

LASLOWSKI, M. A. **Avaliação ambiental e econômica do biogás, obtido através da biodigestão anaeróbia dos dejetos da suinocultura**. 2004. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR, 2004.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, n. 3, p. 421-428, 1978.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: ANDA, 1999. 58 p. (Boletim Técnico, 8).

LORIA, E. R.; SAWYER, J. E.; BARKER, D. W.; LUNDVALL, J. P.; LORIMOR, J. C. Use of anaerobically digested swine manure as a nitrogen source in corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 1119-1129, 2007.

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

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica 76).

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 170-177, 2011.

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997, 319 p.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARNO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed., atual. e ampl.- Viçosa: Ed. UFV, 2007. 358 p.
- MARCATO, S. M.; LIMA, G. J. M. M. Efeito da restrição alimentar como redutor do poder poluente dos dejetos suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 855-863, 2005.
- MARTIN, T. N.; VENTURINI, T.; API, E.; PAGNONCELLI, A.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. Perfil do manejo da cultura de milho no sudoeste do Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.1, p. 1-8, 2011.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.
- MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MÔNACO, P. A. V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Revista Ambiente e Água*, v.4, n.2, p.31-45, 2009.
- MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; FREITAS, S. P.; VIDIGAL, S. M.; GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.
- MAULI, M. M.; NÓBREGA, L. H. P.; ROSA, M. R.; LIMA, G. P.; RALISH, R. Variation on the amount of winter cover crops residues on weeds incidence and soil seed bank during an agricultural year. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 4, p. 683-690, 2011.
- MEDEIROS, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; DALLA ROSA, J. GABOTINI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.
- MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.
- MELO, F. B.; CORA, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011.
- MENEGHETTI, A. M. **Aspectos ambientais e agronômicos da cultura do minimilho sob aplicação de água residuária de suinocultura tratada após lagoa de estabilização**. 2010, 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2010.
- MICKENHAGEN, R. **Elementos sobre pastagens das gramíneas Tifton 68 e Tifton 85**. Araçatuba: Fazenda Progresso, 1996. 27 p.

MOLINE, E. F. V.; FARIAS, E. A. P.; BRASILINO, M. F.; BARBOZA, E.; SCHLINDWEIN, J. A. Redução das perdas de água e solo em função do volume de palhada na superfície de um solo em Rondônia. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 2, p. 91-97, 2011.

MONDARDO, A. Manejo e conservação do solo. *In*: TORRADO, P. V., ALOISI, R. R. (coord.). **Plantio direto no Brasil**. Campinas: Fundação Cargil, 1984. p. 53-61.

MONDARDO, D.; CASTAGNARA, D. D.; OLIVEIRA, P. S. R.; ZOZ, T.; MESQUITA, E. E. Produção e composição químico-bromatológica da aveia preta fertilizada com doses crescentes de dejetos líquido suíno. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 509-517, 2011.

MOSADDEGHI, M. R.; MAHBOUBI, A. A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, p. 173-179, 2009.

NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C.; MACHADO, J. R. Adubação nitrogenada e perfilhamento da aveia preta em duas condições de fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1071-1080, 2000.

NAKAGAWA, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; ZUCARELI, C. Teores de nutrientes da folha bandeira e grãos de aveia-preta em função da adubação fosfatada e potássica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 833-840, 2009.

NASCIMENTO, M. B. H.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, A. P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. *In*: NICOLAIEWSKY, S. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho** *In*: EMBRAPA. Suinocultura Intensiva. Concórdia: EMBRAPA - Centro Nacional de Suínos e Aves, 1998. Cap. 1. p. 13-26.

NOVAIS, R. F.; SAYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. *In*: NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

OLIVEIRA, M. F. B.; SALVADOR, A.; LEITE, M. A. S.; MAHL, D.; GRECO, C. R.; MARQUES, J. P.; COSTA, A. M.; PONTES, J. R. V.; SILVA, A. R. B.; BENEZ, S. H. 2001. Produção de matéria seca e de grãos nas culturas de aveia de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e triticale (*Triticum turgidocereale* (Kiss) Mackey), sob diferentes sistemas de preparo do solo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: CONBEA, 2001. p. 138-143.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1993. 188 p.

OLIVEIRA, P. A. V. Sistema de produção de suínos em cama sobreposta. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9., 2001, Gramado. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2001. p.44-55.

OLIVEIRA, R. A.; FREITAS, W. S.; GALVÃO, J. C. F.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura nas características nutricionais do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 357-369, 2004.

OLIVEIRA, W. **Uso da água residuária da suinocultura em pastagens da *Brachiaria decumbens* e grama estrela *Cynodom plectostachyum***. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

OLSEN, S. R. Micronutrients Interactions. *In*: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 243-264.

PACHECO, F. P.; TONINI M.; NÓBREGA, L. H. P.; SANTORUM, M.; DAL BOSCO, T. D. SAMPAIO, S. C. Monitoramento das propriedades físicas do solo irrigado com água residuária no cultivo da soja. *In*: LEO, N. D.; MONTICO, S.; NARDÓN, G. **Avances em Ingeniería Rural - 2007-2009**. Rosário, Santa Fé, Argentina: Rosário: UNR Editora, 2009, p. 796-803.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PERDOMO, C. C. **Impacto ambiental causado pelos dejetos suínos**. Porto Alegre: FEPAM, 1997. 7 p.

PERDOMO, C. C. **Sugestões para o manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 1999. (Instrução técnica para o suinocultor n. 12)

PERDOMO, C. C.; COSTA, R. R.; MIRANDA, C. R. **Dimensionamento de sistema de tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1999, 5 p. (Comunicado Técnico n. 234).

PEREIRA, D. C.; COSTA, L. A. M.; COSTA, M. S. S. M., LUZ, P. R. A. Plantas de cobertura solteiras e consorciadas submetidas à decomposição após manejo mecânico. *In*: LEO, N. D.; MONTICO, S.; NARDÓN, G. CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL Y II DEL MERCOSUR, 10. 2009. **Anais....** Rosário – Santa Fé – Argentina: UNR Editora, 2009, p. 533-536.

PORTAS, A. A.; VECHI, V. A.; Aveia preta boa para a agricultura, boa para pecuária. Coordenadoria de assistência técnica integral, n. 55, 2006. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/novacati/tecnologias/catiresponde/catiresp.html>>. Acesso em: 22 nov. 2011.

PRIOR, M. **Efeito da água residuária de suinocultura no solo e na cultura do milho**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2008.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. 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.

RAIJ, B. Van. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

REICHARDT, J.; MAUAD, M.; WOLSCHIK, D. Adubação nitrogenada aplicada no início do perfilhamento da aveia preta. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 71-81, 2008.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. .; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 2006. 18 p.

REINERT, D. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p.1805-1816, 2008.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2005. 41 p.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. *In*: BLACK, C. A. (ed.). **Methods of soil analysis – Part 1**. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-137.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta do milho se desenvolve. **Potafos – Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 103, set. 2003. Disponível em: <<http://www.potafos.org/ppiweb/brazil.nsf/>>. Acesso em: 1 fev. 2011.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiología vegetal**. México: Grupo Editorial Iberoamérica. 1992. 760 p.

SAMPAIO, S. C.; FIORI M. G. S.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P. Comportamento das formas de nitrogênio em solo cultivado com milho irrigado com água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 138-149. 2010.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S. OLIVEIRA, J. T. Gramíneas anuais de inverno. *In*: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **FORAGEIRAS PARA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 340 p.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, J. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (¹⁵N) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1185-1194, 2010.

SCHERER, E. E. Nutrientes no esterco de suínos: diagnose e uso na adubação. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 10, p. 48-50, 1997.

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**, Viçosa, n. 31, p. 23-131, 2007.

SILVA, J. O. R.; MELLO, L. M. M.; CESARIN, A. L.; LIMA, R. C.; MELLO, A. M. Comportamento da cultura do milho (*Zea mays L.*) em plantio direto, sob diferentes arranjos espaciais e doses de adubação. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011. Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBEA, 2011a. 1 CD-Rom.

SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P.; Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes

naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias**, Coleção Ciências Ambientais. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br/dspace>>. p. 1-13. Acesso em: 04 fev, 2011b.

SILVA, T. O.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011c.

SILVA, T. R. B. Acidificação de um Neossolo Quartzarênico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia e sulfato de amônio. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 1, p. 32-37, 2009a.

SILVA, T. R. B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na aveia preta. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 1, p. 171-176, 2009b.

SILVA, T. R. B.; GUZELLA, E. R.; FREITAS, L. B.; MAIA, S. C. M. Efeito da aplicação de nitrogênio em cobertura e zinco via foliar no milho safrinha em semeadura direta. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 29-39, 2009.

SIMEPAR, Tecnologia e informações ambientais 2011. Região de Cascavel. Disponível em:<<http://www.simepar.br>>. Acesso em: 17 fev 2012.

SMANHOTTO, A. **Aplicação de água residuária tratada de suinocultura em solo cultivado com soja**. 2008, 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2008.

SOARES, E.; LIMA, L. A.; MISCHAN, M. M.; MELLO, F. A. F.; BOARETTO, A. E. Efeito da relação entre teores trocáveis de Ca e Mg do solo na absorção de K por plantas de centeio. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.58, n.1, p. 315-330, 1983.

SORATTO, R. P.; SILVA, Â. H.; CARDOSO, S. M.; MENDONÇA, C. G.. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 62-70. 2011.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G. Disponibilidade de micronutrientes no sistema plantio direto, na presença e ausência de plantas de cobertura submetido a diferentes fontes de fertilizantes. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 1, p. 28-37, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. *In*: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafós, 1997. p. 109-110.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHENEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TOME JUNIOR, J. B. **Manual para a interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária. 1997. 247 p.

TONINI, M.; NÓBREGA, L. H. P.; DAL BOSCO, T.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A.; PACHECO, F. P. Development and quality of soybean seeds under swine waste water.. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2008. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s. e], 2008.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TSUNECHIRO, A. **Análises e indicadores do agronegócio**. Instituto de Economia Agrícola – IEA. São Paulo, v. 5, n. 3, mar. 2010. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 3 jun. 2010.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 372–377, 2010.

VAZ DE MELO, A.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUN, H.; SANTOS, M. M.; COIMBRA, R. R.; SILVA, R. R.; REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.

VILELA, E. F.; BULL, L. T. Avaliação do crescimento de plantas de milho em função de doses de potássio e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 281-289, 1999.

VOGELER, I. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. **Water, Air and Soil Pollut.** Guelph, v. 196, p.385-392, 2009.

WELZ, B. **Atomic absorption spectrometry**. Weinheim: VCH, 1985.