



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUO SUINÍCOLA
DISPOSTOS NA SUPERFÍCIE DE LISÍMETROS**

TALITA DANTAS PEDROSA

Sinop, Mato Grosso
Fevereiro, 2016

TALITA DANTAS PEDROSA

**POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES DE RESÍDUO SUÍNICO
DISPOSTOS NA SUPERFÍCIE DE LISÍMETROS**

Orientador: Profa. Dr^a. ROSELENE MARIA SCHNEIDER

Coorientador: Prof. Dr. Adilson Pacheco de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Sinop, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Biodiversidade.

Sinop, Mato Grosso
Fevereiro, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P372p Pedrosa, Talita Dantas.

Potencial de Lixiviação de Nutrientes de Resíduo Suinícola Dispostos na Superfície de Lisímetros / Talita Dantas Pedrosa. -- 2016
x, 36 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Roselene Maria Schneider.

Co-orientador: Adilson Pacheco de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Reuso de água. 2. lâmina de irrigação. 3. evapotranspiração. 4. couve-flor. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
Avenida Alexandre Ferronato, nº 1.200 - Setor Industrial - Cep: 78557267 - Sinop/MT
Tel : 66 3531-1663/r. 206 - Email : ppgcam@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "Potencial de lixiviação de nutrientes de resíduo suínico disposto na superfície de lisímetros."

AUTOR : Mestranda TALITA DANTAS PEDROSA

Dissertação defendida e aprovada em 26/02/2016.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador Doutor(a) Roselene Maria Schneider
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Roselene Maria Schneider

Examinador Interno/Coorientador Doutor(a) Adilson Pacheco de Souza
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Adilson Pacheco de Souza

Examinador Externo Doutor(a) Manoel Euzébio de Souza
Instituição : Universidade Estadual de Mato Grosso - UNEMAT

Manoel Euzébio de Souza

SINOP, 26/02/2016.

DEDICATÓRIA

Dedico a realização deste trabalho aos meus amáveis e queridos pais, José Mendes Pedrosa e Sandolene Dantas Pedrosa. Agradeço pelo imenso carinho e amor que me proporcionaram durante essa longa caminhada e por serem sempre o meu porto seguro, obrigada por todos os ensinamentos, pois tenham a certeza de que foram muito valiosos e me ajudaram a entender a importância de procurar em Deus as respostas para todos os meus anseios e crescimento pessoal, a vocês dedico este trabalho com o meu mais profundo amor e admiração.

Muito Obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom precioso da vida.

À minha orientadora Roselene Maria Schneider, pela paciência e por todos os ensinamentos repassados, orientando-me para a realização deste sonho.

Ao meu coorientador professor Adilson Pacheco de Souza, por todas as experiências compartilhadas, orientação em campo e na elaboração deste trabalho.

Ao professor Ednaldo Antônio de Andrade, pela ajuda com os dados e auxílio na estatística.

Em especial agradeço ao amigo Henrique Takiyuki Ozima, pela ajuda árdua durante o primeiro ano de execução deste projeto.

À Luciana Vieira Mattos, Willian Henrique da Silva Lima e Gabriele Wolf pela colaboração e companheirismo tanto em campo como em laboratório.

Ao meu esposo Rafael Rodolfo de Melo pelo amor dedicado e incentivo para o meu progresso na carreira acadêmica, e por ser minha inspiração todos os dias para que eu possa me tornar uma profissional exemplar.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT pela aprovação e concessão de bolsa para a realização desta pesquisa.

À Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT *campus* Sinop por ter me proporcionado a oportunidade de iniciar um curso de pós-graduação e por ter fortalecido a conclusão do mesmo.

À todos o meu muito obrigada!

RESUMO GERAL

Neste trabalho avaliou-se o potencial de lixiviação de nutrientes de resíduos suínica dispostos na superfície de lisímetros. A pesquisa foi realizada nas dependências da Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* de Sinop – MT (11°58' S e 55°38' W). Para a execução do experimento foram confeccionados e instalados em campo 27 lisímetros que foram preenchidos com solo e posteriormente receberam incorporação de resíduo de atividade suínica em três taxas (0, 50 e 150 m³ ha⁻¹) com uma única aplicação antes do transplântio das mudas na superfície dos lisímetros. Foi realizado o transplântio de mudas de couve-flor *Brassica Oleraceae*, variedade Verona CMS na superfície dos lisímetros e após o transplântio foram aplicadas lâminas de irrigação que forneceram (100, 125 e 150%) da evapotranspiração potencial da cultura. Foram realizadas quatro coletas de lixiviado aos 10, 20, 30 e 40 dias. A lixiviação de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) foi crescente concomitantemente ao aumento da lâmina nos lisímetros testemunha. Demais formas de nitrogênio, como nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻), apresentaram maiores concentrações aos 40 dias, porém, houve redução na lixiviação desses elementos concomitante ao aumento da lâmina. As lâminas 125 e 150 e a taxa 150 transportaram NO₃⁻ em menor concentração para fora da zona de raízes. As concentrações de íons H⁺ foram crescentes (redução do valor do pH) com o aumento da lâmina, variando de 0,808x10⁻⁰⁶ a 2,66x10⁻⁰⁶ nos lisímetros testemunha, porém, houve redução com o aumento da taxa na lâmina de 150%, bem como aumento com o tempo observado na lâmina 150%. O balanço de fósforo aplicado e lixiviado permitiu concluir que a maior parte do nutriente ficou retido na solução do solo. As menores concentrações de cobre encontradas no lixiviado foram observadas na taxa 150 aos 20 dias. A aplicação de 150 m³ ha⁻¹ e a reposição de 100% ETC pode ser indicada como uma boa alternativa para hortaliças de ciclo curto (inferiores a 40 dias), visto que as concentrações de Cu e Zn não ultrapassam os limites da resolução Conama n°. 396/2008, nesse intervalo de tempo, para um Latossolo vermelho-amarelo.

Palavras-Chave: Reuso de água, lâmina de irrigação, evapotranspiração, couve-flor.

ABSTRACT

This work evaluates the potential for leaching of nutrients pig waste disposed in the lysimeters surface. The survey was conducted on the premises of the Federal University of Mato Grosso, campus Sinop - MT (11 ° 58' S and 55 ° 38' W). For the implementation of the experiment were fabricated and installed in the field 27 lysimeters that were filled with soil and then received pig activity residue incorporation at three rates (0, 50 and 150 m³ ha⁻¹) with a single application before the transplanting of seedlings on the surface of the lysimeters. Was conducted transplanting of Brassica oleracea cauliflower seedlings, variety Verona CMS on the surface of the lysimeters and after transplanting irrigation levels were applied which provided (100, 125 and 150%) of potential evapotranspiration. Four samples of leachate were performed at 10, 20, 30 and 40 days. Leaching total Kjeldahl nitrogen (TKN) was increased concomitantly with the increase of the water irrigation depths in the lysimeters witness. Other forms of nitrogen such as nitrite (NO₂⁻) and nitrate (NO₃⁻), showed higher concentrations after 40 days, however, there was a reduction in the leaching of these elements concomitant to increased blade. The water irrigation depths 125 and 150 and rate 150 NO₃⁻ carried out in a lower concentration of the root zone. The H⁺ ion concentrations were increased (reduction of the pH value) with the increase of the water irrigation depths ranging from the 0,808x10⁻⁰⁶ 2,66x10⁻⁰⁶ lysimeters control, however, decreased with increasing charge on water irrigation depths 150%, and increase with time observed in water irrigation depths 150%. The phosphorus balance applied and leached concluded that most of the nutrient was retained in the soil solution. The lower Cu concentrations found in the leachate were observed in the rate 150 at 20 days. The application of 150 m³ ha⁻¹ and replacement of 100% ETc can be indicated as a good alternative to short cycle vegetables (less than 40 days), whereas the concentrations of Cu and Zn do not exceed the limits of Resolution CONAMA 396/2008, in this period of time, for a red-yellow Latosol.

Keywords: Reuse of water, water depth, evapotranspiration, cauliflower.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
1º. ARTIGO: TRANSPORTE DE NITROGÊNIO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO	3
INTRODUÇÃO	4
MATERIAL E MÉTODOS	4
RESULTADOS E DISCUSSÃO	6
VOLUME DE ÁGUA APLICADO NA IRRIGAÇÃO.....	6
VOLUME DE ÁGUA COLETADO	7
AVALIAÇÃO DO PH	8
AVALIAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	9
AVALIAÇÃO DE NITRITO	10
AVALIAÇÃO DE NITRATO.....	10
CONCLUSÕES	12
AGRADECIMENTOS	12
REFERÊNCIAS	12
2º. ARTIGO: LIXIVIAÇÃO DE FÓSFORO, COBRE E ZINCO EM LISÍMETROS COM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO DE SUINOCULTURA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO	15
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	17
LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	17
LISÍMETROS	17
ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO.....	17
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA ÁGUA DE REUSO.....	17
IMPLANTAÇÃO DO CULTIVO	18
TAXA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO	18
COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS	18
AVALIAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
VOLUME DE ÁGUA APLICADO E COLETADO.....	19
FÓSFORO	21
COBRE	22
ZINCO	23
CONCLUSÕES	24
AGRADECIMENTOS	24
REFERÊNCIAS	24
CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	28
ANEXOS	30

LISTA DE TABELAS – 1º ARTIGO

Tabela 1. Volume aplicado de irrigação (L) em diferentes lâminas e épocas de coleta do lixiviado, em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 2. Volume coletado (L) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta do lixiviado, em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 3. Volume coletado (L) em diferentes lâminas de irrigação e taxas de aplicação de água de reuso em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 4. Concentração de íons H^+ ($mg L^{-1}$) e valores de pH (entre parêntesis) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 5. Concentração de íons H^+ ($mg L^{-1}$) e valores de pH (entre parêntesis) em diferentes lâminas de irrigação e taxa de aplicação de água de reuso em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 6. Concentração de NTK ($mg L^{-1}$) em diferentes lâminas de irrigação, taxas de aplicação de água de reuso e tempos de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 7. Concentração de NO_2^- ($mg L^{-1}$) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 8. Concentração de NO_3^- ($mg L^{-1}$) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tabela 9. Concentração média de nitrogênio total, NO_3^- aplicado e lixiviado (em 4 coletas) e a média de NO_3^- retido no solo em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

LISTA DE TABELAS – 2º ARTIGO

Tabela 1. Volume de irrigação em litros submetido a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta.

Tabela 2. Volume de água coletado em litros submetido a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta.

Tabela 3. Volume de água coletado em litros submetido a diferentes lâminas de irrigação e taxas de aplicação de água de reuso.

Tabela 4. Concentração de íons H^+ ($mg L^{-1}$) e valores de pH (entre parêntesis) submetidas a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta.

Tabela 5. Concentração de íons H^+ ($mg L^{-1}$) e valores de pH (entre parêntesis) submetidas a diferentes lâminas de irrigação e taxa de aplicação de água de reuso.

Tabela 6. Concentração de P ($mg L^{-1}$) submetidas a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta.

Tabela 7. Concentração média total de P aplicado e lixiviado (em 4 coletas) e a média de nutriente retido no solo.

Tabela 8. Concentração de Cu ($mg L^{-1}$) submetida a diferentes taxas de água de reuso e épocas de coleta.

Tabela 9. Concentração de Zn ($mg L^{-1}$) submetida a diferentes taxas de água de reuso e lâminas de irrigação.

Tabela 10. Concentração de Zn ($mg L^{-1}$) submetidas a diferentes taxas de água de reuso e épocas de coleta.

LISTA DE SIGLAS

Al – Alumínio
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC – Capacidade de Troca Catiônica
Cu – Cobre
DAAR – Dias Após Aplicação de Água de Reuso
ECA – Evaporação Tanque Classe A
ET0 – Evapotranspiração de Referência Diária
ETc – Evapotranspiração da Cultura Diária
FAPEMAT – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso
Fe – Ferro
Kc – Coeficiente da Cultura
Kp – Coeficiente do Tanque
L - Litros
N – Nitrogênio
NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl
P – Fósforo
pH – Potencial Hidrogeniônico
UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez
Zn – Zinco

INTRODUÇÃO GERAL

Na agricultura a utilização de água de reuso para fins de irrigação é uma prática considerada antiga por ser bastante utilizada em países como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No entanto, segundo Hussar et al. (2005), no Brasil a reutilização de águas residuárias ainda é pequena se comparada à outros países, contudo, mesmo diante desta realidade registram-se no país várias utilizações dessas águas em irrigação de culturas, mesmo que de forma não controlada.

Chae e Tabatabai (1986) indicaram que razões culturais favorecem a utilização de resíduos no solo, sendo que no Brasil os autores relataram que não há tradição na reutilização desses resíduos, sobretudo das águas residuárias ou efluentes.

As águas residuárias além de serem um atrativo para a utilização na agricultura devido ao seu baixo custo de obtenção apresentam em sua composição uma série de elementos químicos que podem ser absorvidos pelas plantas (SMANHOTTO et al., 2010). A fertirrigação é uma das técnicas que oferece à planta o nutriente prontamente disponível na solução do solo (MARCUSI, 2005).

Todavia, deve-se tomar cuidado com as quantidades de água de reuso aplicadas no solo, pois estas apresentam composição química muito variável, com elementos que podem ser encontrados em quantidades muito além das necessidades nutricionais da planta (BASSO et al., 2005).

A movimentação vertical e descendente desses elementos químicos no perfil do solo pode significar problemas em virtude do crescimento no interesse pela aplicação de água residuária na agricultura (OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001). Ceretta et al. (2005) revelaram que a disposição de água de reuso pode causar contaminação de água subterrâneas e de rios, através do escoamento sobretudo de nitrato (NO_3^-) e fósforo (P).

Costa et al. (2014) dizem que as diferenças existentes no solo em relação ao pH, quantidade de matéria orgânica, bem como a quantidade e o tipo de argila, podem influenciar na capacidade de troca catiônica, possibilitando também a lixiviação de nitrato pós conversão de amônio a nitrato em diferentes taxas.

Entre os elementos presentes na composição das águas residuárias, o nitrogênio tem merecido atenção especial quanto à forma de aplicação deste elemento no solo (RODRIGUES et al., 2011).

Campbell et al. (1993) afirmaram que a lixiviação é basicamente influenciada pela quantidade e tipo de adubo aplicado, exigência e absorção de nitrogênio pelas plantas, quantidade e frequência de precipitação pluvial, manejo de irrigação, condições de drenagem e dinâmica das transformações do nitrogênio (mineralização, imobilização e desnitrificação) em maior ou em menor grau em função da percolação da água no perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (JADOSKI et al., 2010).

O fosfato apresenta baixa mobilidade se comparado ao nitrato, tanto que Heathwaite et al. (2000) explicaram que em solos agricultáveis, as perdas de fosfato pela movimentação vertical são consideradas insignificantes. Porém, quando as taxas de material orgânico são aplicadas no solo em quantidades que excedem aquilo que é demandado pela cultura, este cenário pode ser revertido, com movimentações de fósforo no perfil do solo devido à diminuição da capacidade de adsorção do solo, ocasionada pela ocupação dos sítios de

adsorção, seja por fosfatos existentes no solo de aplicações anteriores ou moléculas orgânicas (COSTA et al., 2014).

Os metais cobre (Cu) e zinco (Zn) também são elementos essenciais para o crescimento de plantas, porém, estes são requeridos em concentrações menores que os macronutrientes. Dentre os micronutrientes, o Cu é o que apresenta menor mobilidade no solo, em virtude de sua forte adsorção nos coloides orgânicos e inorgânicos do solo. Solos com aplicações frequentes de água residuária da suinocultura podem aumentar a quantidade das formas solúveis e trocáveis de cobre e zinco no solo, de modo a potencializar as perdas desses elementos via lixiviação diminuindo sua disponibilidade para as plantas (BASSO et al., 2012).

Assim, de acordo com o exposto, teve-se por objetivo neste trabalho avaliar o transporte de nitrogênio (nitrogênio total Kjeldahl – NTK, nitrito e nitrato), fósforo, cobre e zinco em lisímetros após a aplicação de água de reuso da suinocultura na cultura de couve-flor.

1º. ARTIGO: TRANSPORTE DE NITROGÊNIO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE
ÁGUA DE REUSO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Transporte de nitrogênio em função da aplicação de água de reuso e lâminas de irrigação

Resumo A aplicação de resíduos de atividades suínícolas é uma prática comum em muitas regiões, todavia, persistem incertezas quanto aos riscos associados a aplicações com fins agrícolas. Neste trabalho apresenta-se o transporte de nitrogênio assimilável em lisímetros submetidos a taxas de água de reuso e lâminas de irrigação, com cultivo de couve-flor (*Brassica Oleracea* L.) variedade Verona CMS no período de agosto a outubro de 2014. Foram aplicadas três taxas de água de reuso da suinocultura (0, 50 e 150 m³ ha⁻¹) e três lâminas de irrigação (100%, 125% e 150% da evapotranspiração potencial da cultura – ETc), com três repetições. Foram coletadas amostras do lixiviado aos 10, 20, 30 e 40 dias após a aplicação da água de reuso (DAAR). A lixiviação de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) foi crescente com o aumento da lâmina de irrigação nos lisímetros sem água de reuso, com médias de 7,84 para 22,78 mg L⁻¹. As demais formas de nitrogênio, como nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻), apresentaram maiores concentrações aos 40 DAAR, porém, houve redução na lixiviação desses elementos com o aumento da lâmina de irrigação. As lâminas 125 e 150% da ETc e a taxa 150 m³ ha⁻¹ transportaram NO₃⁻ em menor concentração. As concentrações de íons H⁺ foram crescentes com o aumento da lâmina, variando de 0,808x10⁻⁰⁶ a 2,66x10⁻⁰⁶ nos lisímetros sem água de reuso, porém, houve redução com o aumento da taxa na lâmina de 150% da ETc. Houve aumento da concentração de íons H⁺ com o tempo observado na lâmina de 150%.

Palavras-chave: manejo da irrigação; evapotranspiração, resíduos de suinocultura, couve-flor, hortaliça.

Introdução

Dentre as diversas demandas da agricultura, o emprego de água de reúso tem sido uma prática rotineira, podendo ser por muitas vezes, a única fonte de nutrientes para o solo e para as culturas. No Brasil, Estados Unidos e em alguns países da Europa, a disposição de água de reuso no solo tem sido bastante utilizada, pois viabiliza a redução dos custos com disposição final do resíduo, além de fornecer nutrientes que proporcionam a melhoria da fertilidade do solo (Freitas et al. 2010).

Embora a utilização e disposição de resíduos orgânicos tenham crescido e ganhado destaque no cenário nacional e internacional, é fundamental a análise das potencialidades de contaminação de solos, águas subterrâneas e superficiais. Em geral, esses problemas podem decorrer do volume aplicado, da capacidade de biossorção, da permeabilidade e porosidade do solo (Abreu Neto et al. 2009).

A utilização de água de reuso na agricultura pode ocasionar a movimentação de elementos químicos, com destaque para o nitrogênio (N). As aplicações excessivas de biofertilizantes resultam em baixas eficiências da utilização de N e acarretam perdas elevadas por lixiviação, escoamento, volatilização, desnitrificação, dentre outros processos (Kirda et al. 2001).

Matos et al. (2004) afirma que o nitrato (NO₃⁻) e o amônio (NH₄⁺) ocorrem de forma natural no solo como produtos da mineralização do material orgânico.

A lixiviação de nitrato (NO₃⁻) depende das taxas de aplicação de adubos nitrogenados ou compostos orgânicos, mas o excesso de irrigação também podem promover a lixiviação de nitratos no perfil do solo, tornando-os assim indisponíveis para as plantas (Zhu et al. 2005). Esta indisponibilidade pode ser uma preocupação do ponto de vista agrícola, pois NO₃⁻ é a forma principal de absorção de nitrogênio pelas plantas, e ainda, uma das formas de N mais facilmente lixiviadas no solo, com potencial de contaminação de águas subterrâneas.

Neste sentido, teve-se por objetivo avaliar o transporte de nitrogênio (nitrogênio total Kjeldahl – NTK, nitrito e nitrato) em lisímetros, após a aplicação de diferentes taxas de água de reuso de suinocultura e lâminas de irrigação, visando subsidiar a integridade dos recursos naturais pela busca das taxas de água de reuso e lâminas de irrigação que promoveram menores movimentações destes elementos no solo, deixando-os disponíveis em maior concentração para as plantas.

Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida nas dependências da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Sinop, localizado em 11° 51' S e 55° 29' W, durante o período de agosto a outubro de 2014. Durante o experimento nenhuma precipitação aconteceu. O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo. Pela classificação climática de Köppen, o clima predominante da região Centro-Norte é o tipo Aw (tropical quente e úmido), caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro); com baixa amplitude térmica anual (médias mensais variando entre 24 e 27 °C) e precipitação média anual em torno de 1974 mm (Souza et al. 2013).

Para o estudo de lixiviação foram construídos vinte e sete lisímetros, dispostos em canteiros, e inseridos em trincheiras de 1,20 m de profundidade e 0,30 m de diâmetro, conforme Figura 1. A estrutura dos lisímetros era de PVC rígido preenchido com solo, mantendo a mesma sequência do perfil original. Antes do preenchimento dos lisímetros realizou-se a caracterização química e física do solo em duas profundidades 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Para o preenchimento dos lisímetros uma trincheira isolada foi aberta com aproximadamente 1 m de profundidade. A partir desta trincheira, as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70 e 70-80 cm, foram

demarcadas para que pudessem ser retiradas amostras de solo para determinação da densidade do solo. Buscou-se reconstituir o perfil do solo no lisímetro por meio das densidades determinadas. O lisímetro era provido de um sistema de coleta (funil e garrafa) na parte inferior da trincheira, onde o lixiviado era armazenado para posterior coleta.

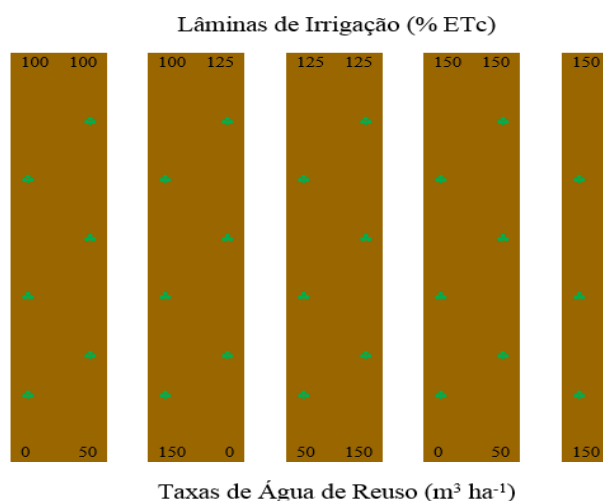


Figura 1. Croqui experimental da disposição dos lisímetros em canteiros, sob variação das lâminas de irrigação e taxas de água de reuso na cultura da couve-flor.

Na análise química do solo da camada 0–20 cm foram obtidas as concentrações de 2,46 e 32,00 mg dm⁻³ para fósforo e potássio; de 2,03 e 1,72 cmol dm⁻³ para cálcio e magnésio; de 3,90 e 0,59 mg dm⁻³ para zinco e cobre; concentração nula de Alumínio; pH (H₂O) de 5,4; capacidade de troca catiônica (CTC – pH 7,0) de 6,98 cmol dm⁻³ e teor de matéria orgânica em 38,22 g dm⁻³. Quanto a análise física, foram identificados 462, 250 e 288 g dm⁻³ para os teores de argila, de silte e areia, respectivamente. Por conseguinte, na camada de 20–40 cm, foram obtidos 4,61 e 55,00 mg dm⁻³ para fósforo e potássio; e de 3,75 e 1,30 cmol dm⁻³ para cálcio e magnésio; concentração nula de alumínio; e 4,85 e 0,84 mg dm⁻³ para zinco e cobre; pH (H₂O) de 5,9; capacidade de troca catiônica (CTC – pH 7,0) de 8,01 cmol dm⁻³ e teor de matéria orgânica em 43,00 g dm⁻³. Na análise física, os teores de argila, silte e areia foram de 483, 167 e de 350 g dm⁻³, respectivamente.

Após a caracterização química e física do solo, determinou-se a adubação química complementar seguindo as recomendações técnicas de Zanuzo et al. (2013) para a couve-flor cv. Verona. Nesse contexto, a adubação de plantio correspondeu a adição de 10 g de ureia, 15 g de cloreto de potássio, 20 g de superfosfato simples e 12,5 g de calcário dolomítico na superfície de cada um dos lisímetros antes do transplantio das mudas.

A água de reuso da suinocultura foi coletada em uma propriedade rural no município de Vera-MT, após tratamento em biodigestores. O resíduo (água de reuso) foi caracterizado química e fisicamente, apresentando: pH de 6,85, turbidez de 4.970 UNT, condutividade elétrica de 1,1 S m⁻¹, concentração de sólidos totais dissolvidos de 7,0 g L⁻¹, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 283,3, NTK de 308,7, NO₂⁻ de 154,7, NO₃⁻ de 811,36, P total de 150,29, zinco (Zn) de 35,90 e concentração de cobre (Cu) de 10,88 mg L⁻¹. A aplicação da água de reuso foi realizada uma única vez na superfície dos lisímetros, antes do transplantio das mudas, em três taxas de aplicação, 0, 50 e 150 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. As plantas de bordadura assim como as mudas que se encontravam na superfície dos lisímetros também receberam água de reuso de efluentes nas mesmas taxas de aplicação supracitadas.

Realizou-se o transplantio das mudas de couve-flor (*Brassica Oleracea* L.) variedade Verona CMS, manualmente em cada um dos lisímetros, em 3 de agosto de 2014. O espaçamento adotado foi de 0,50 x 0,50 m (entre plantas e entre linhas), indicando assim, que a distância entre lisímetros foi de 0,50 m. Após o transplantio foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento, com turno de rega diário, por um período de 40 dias, por meio da utilização de mangueiras gotejadoras de polietileno, com espaçamento entre gotejadores de 25 cm, vazão de 7,5 L h⁻¹ m⁻¹ e pressão de trabalho de 10 metros de coluna de água (m.c.a).

As lâminas de irrigação avaliadas foram de 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ETc), dada pelas Equações 1 e 2. As lâminas foram determinadas em função da evapotranspiração de referência diária (ET₀), obtida pelo método do Tanque Classe A, que por sua vez, considera a evaporação do Tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque (Kp), que depende do tipo de tanque, das condições climáticas e do local em que se encontra instalado. Empregou-se o método de Cuenca (1989), recomendado por Souza et al. (2015) com valor médio de Kp (0,7795) estimado para o município de Sinop – MT. Empregou-se ainda o valor do coeficiente da cultura Kc (0,65) recomendado por Allen et al. (1998) para obtenção da ETc.

$$ET_0 = ECA * Kp \quad [1]$$

$$ET_c = ET_0 * Kc \quad [2]$$

Em que:

ET_0 é a evapotranspiração de referência diária ($L m^2$);

ET_c é a evapotranspiração da cultura diária ($L m^2$);

ECA é a evaporação do tanque classe A diária ($L m^2$);

Kp é o coeficiente do tanque;

Kc é o coeficiente da cultura e depende do estágio de desenvolvimento.

Foram realizadas quatro coletas de lixiviado (10, 20, 30 e 40) DAAR ao longo da condução do experimento. Os elementos químicos avaliados foram NTK, NO_2^- , NO_3^- , concentração de íons H^+ , sendo as análises realizadas no Laboratório de Tratamentos de Resíduos e nos Laboratórios Integrados de Pesquisas em Ciências Químicas, da UFMT – Sinop seguindo a metodologia descrita no Standard Methods of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados no esquema de parcela subdividida, com fatorial na parcela $3 \times 3 \times 4$: taxas de aplicação de água residuária, lâminas de irrigação e coletas ao longo do tempo respectivamente, com três repetições. Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente, e submetidos à análise de variância e, em função dos resultados dos testes F, foram realizados teste de média de Scott Knott para testar o efeito dos tratamentos na lixiviação dos elementos supracitados a um nível de 5% de significância, com utilização do programa estatístico Sisvar 5.5 Build 82.

Resultados e Discussões

Volume de Água Aplicado na Irrigação

A Tabela 1 apresenta o volume de água aplicado por meio da irrigação na superfície dos lisímetros, bem como o volume total aplicado durante a condução do experimento. O volume total de água aplicado foi crescente com o aumento da ET_c (totalizando 179,73, 224,67, 269,61 litros para os incrementos de 0, 25 e 50% da ET_c), todavia, observou-se tendência de redução do volume diário aplicado ao longo do tempo experimental para todas as lâminas em função da redução da ET_0 .

Para um eficiente manejo da água de irrigação é fundamental conhecer a quantidade de água requerida pela cultura, em determinado período de tempo, de modo a não limitar seu crescimento e sua produção, nas condições climáticas locais (Bernardo et al. 2006), assim, a utilização do coeficiente da cultura (Kc) para determinação da ET_c , indica que a cultura não estará submetida a deficiência hídrica (Silva et al. 2010).

O fornecimento de 100% ET_c é considerado suficiente para suprir as demandas por água pelas culturas, todavia, Lima et al. (2008) avaliando diferentes lâminas de irrigação observaram que o aumento da lâmina contribuiu significativamente para o aumento da produtividade. Ressalta-se que a essa pressuposição não é válida para todas as culturas, visto que a reposição da ET_c indica que as perdas por percolação e evaporação serão minimizadas, e ainda, que cada cultura apresentará uma função de resposta à quantidade de água aplicada dependente da quantidade e frequência de irrigação, método de aplicação da água, estágio de desenvolvimento, variabilidade do solo, condições climáticas, práticas culturais, dentre outros fatores.

Em suma, o fornecimento de água em lâminas maiores do que a ET_c demandada pela couve-flor cv. Verona (125 e 150% ET_c) pode propiciar maior formação de lixiviado (percolação da água no perfil do solo). Nesse sentido, quando se considera que as precipitações na região são de aproximadamente de $2.000 \text{ mm ano}^{-1}$, concentradas em 7 meses (Souza et al. 2013), podem ocorrer períodos com recarga natural de água (precipitações) superiores a ET_c média diária. Portanto, a avaliação conjunta entre volume aplicado e volume coletado pode ser um indicativo para avaliação do transporte de nitrogênio no solo, quando empregado via água de reuso em cultivos na estação chuvosa.

Tabela 1. Volume aplicado de irrigação (L) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta do lixiviado, em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tempo (DAAR)*	Lâmina de irrigação (% ETc)**		
	100	125	150
10	59,85 Ca	74,81 Ba	89,78 Aa
20	55,18 Cb	68,98 Bb	82,77 Ab
30	30,91 Cd	38,64 Bd	46,37 Ad
40	33,79 Cc	42,24 Bc	50,69 Ac
Total (L)	179,73	224,67	269,61

*DAAR – dias após a aplicação da água de reuso; **Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Ressalta-se que apesar das lâminas de irrigação e taxas de aplicação de água de reuso terem sido definidas com o intuito de se buscar um aumento na produtividade da couve-flor, as componentes do desempenho agrônômico do cultivo não foram avaliadas.

Volume de Água Coletado

O volume de água coletado após as irrigações apresentou interação significativa entre lâmina de irrigação e tempo (Tabela 2) e entre taxa de água residuária e lâmina (Tabela 3).

A redução do volume coletado foi observada para as lâminas 125 e 150% ETc em época de coleta. Esta redução pode ser explicada pela irrigação, visto que, o excedente hídrico propicia a ocorrência da translocação de partículas sólidas do solo (principalmente argilas), que por sua vez, favorece o processo de acomodação do solo no interior dos lisímetros, reduzindo a permeabilidade do mesmo ao longo do tempo (Imhoff et al. 2001).

Na lâmina de 100% ETc também foi observado a geração de lixiviado, comportamento este que não era esperado, pois o fornecimento de água a cultura foi baseado na evapotranspiração da mesma, implicando no fornecimento de todo o conteúdo de água recomendado para a cultura. Todavia, a determinação da ET_0 pelo método do tanque classe A tende a propiciar superestimativas, mesmo considerando valores de coeficiente do tanque (K_p) calibrados regionalmente (Barros et al., 2009). Entretanto, esse método é uma alternativa interessante no manejo da irrigação, por sua simplicidade de operação e baixo custo. O volume total coletado correspondeu a 8,86; 10,72 e 12,72% do volume aplicado, para as lâminas de 100, 125 e 150% ETc, respectivamente.

Tabela 2. Volume coletado (L) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta do lixiviado, em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tempo (DAAR)*	Lâmina de irrigação (% ETc)**		
	100	125	150
10	5,14 Ca	8,19 Ba	11,96 Aa
20	3,61 Ca	5,87 Bb	8,51 Ab
30	3,50 Ba	4,89 Bb	6,89 Ac
40	3,68 Ba	5,14 Bb	6,94 Ac
Total (L)	15,93	24,09	34,30

*DAAR – dias após a aplicação da água de reuso; **Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios de volume coletado proveniente da interação entre taxa de água residuária e lâmina de irrigação, sendo que nesse desdobramento, o volume lixiviado aumentou concomitantemente com o incremento das lâminas, independentemente da taxa de água residuária. O maior volume lixiviado foi observado na lâmina 150 com a taxa 0.

Tabela 3. Volume coletado (L) em diferentes lâminas de irrigação e taxas de aplicação de água de reuso em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Lâminas (% ETc)	Taxa de água residuária ($m^3 ha^{-1}$)**			Total (L)
	0	50	150	
100	3,80 Ac	4,10 Ac	4,10 Ab	12,00
125	5,56 Ab	6,06 Ab	6,45 Aa	18,07
150	10,34 Aa	8,59 Ba	6,79 Ca	25,72

**Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

O desdobramento das taxas dentro das lâminas foi significativo apenas na lâmina 150% ETC, uma vez que o volume foi decrescente com o aumento da taxa de resíduo aplicada. Observou-se que o volume total coletado também foi maior para a maior lâmina, com média de 25,72 L.

O balanço entre a quantidade total de água aplicada pela irrigação e coletada indicou que o conteúdo de água remanescente foi demandado pela atmosfera por evaporação ou ficou armazenado nos poros do solo.

Avaliação do pH

Os valores de pH das amostras foram avaliados por meio da concentração de íons H^+ . O transporte de íons H^+ apresentou interação significativa entre lâmina de irrigação e tempo (Tabela 4) e entre taxa de água residuária e lâmina (Tabela 5). O desdobramento das lâminas dentro do tempo mostrou que o transporte de íons H^+ foi significativo apenas aos 40 DAAR, sendo a maior concentração observada na lâmina de 150% ETC, com valor de $3,81 \times 10^{-06}$ (valor equivalente ao pH de 5,68).

Tabela 4. Concentração de íons H^+ ($mg L^{-1}$) e valores de pH (entre parêntesis) no lixiviado em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tempo (DAAR)*	Lâmina de irrigação (% ETC)**		
	100	125	150
10	$0,56 \times 10^{-06}$ Aa (6,45)	$0,84 \times 10^{-06}$ Aa (6,21)	$0,61 \times 10^{-06}$ Ac (6,38)
20	$0,37 \times 10^{-06}$ Aa (6,56)	$0,42 \times 10^{-06}$ Aa (6,47)	$0,22 \times 10^{-06}$ Ac (6,75)
30	$0,75 \times 10^{-06}$ Aa (6,20)	$1,58 \times 10^{-06}$ Aa (5,93)	$1,91 \times 10^{-06}$ Ab (5,96)
40	$1,08 \times 10^{-06}$ Ba (6,02)	$1,42 \times 10^{-06}$ Ba (5,92)	$3,81 \times 10^{-06}$ Aa (5,68)

*DAAR – dias após a aplicação da água de reuso; **Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Nota: Valores de pH foram transformados em íons H^+ utilizando função $[H^+] = 10^{-(pH)}$.

O valor de pH observado foi ácido ao longo do período de monitoramento, embora tenha ocorrido diferenças significativas apenas em 150% ETC. Acredita-se que com o tempo a mineralização da matéria orgânica e do nitrogênio, bem como a diminuição da CTC do solo, podem ter proporcionado a solubilização dos íons H^+ , provocando o seu aumento no lixiviado, e consequentemente, reduzindo o valor de pH.

Neste sentido, não foi observada forte influência das lâminas na variação do pH. Contudo, aos 40 dias as lâminas de 100 e 125% ETC foram as que proporcionaram menores concentrações de íons H^+ .

Malavolta et al. (1980) afirmaram que as plantas possuem uma faixa de pH considerada ideal para o desenvolvimento das mesmas, estando essa faixa entre 6,0 a 6,5. A disponibilidade dos nutrientes sofre influência do pH do solo, o nitrogênio por exemplo é melhor aproveitado pela planta em solo com pH acima de 5,5.

Tabela 5. Concentração de íons H^+ ($mg L^{-1}$) e valores de pH (entre parêntesis) em diferentes lâminas de irrigação e taxa de aplicação de água de reuso em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Lâminas (% ETC)	Taxa de água residuária ($m^3 ha^{-1}$)**		
	0	50	150
100	$0,81 \times 10^{-06}$ Ab (6,25)	$0,78 \times 10^{-06}$ Aa (6,18)	$4,64 \times 10^{-07}$ Aa (6,50)
125	$0,67 \times 10^{-06}$ Ab (6,31)	$1,70 \times 10^{-06}$ Aa (5,90)	$8,21 \times 10^{-07}$ Aa (6,19)
150	$2,66 \times 10^{-06}$ Aa (6,06)	$1,49 \times 10^{-06}$ Ba (6,26)	$7,57 \times 10^{-07}$ Ba (6,19)

**Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Nota: Valores de pH foram transformados em íons H^+ utilizando função $[H^+] = 10^{-(pH)}$.

Os dados do desdobramento das taxas dentro da lâmina (Tabela 5) mostraram que o transporte dos íons H^+ foi significativo apenas na lâmina de 150% ETC, apresentando maior concentração nos lisímetros com ausência de água residuária - testemunha ($2,66 \times 10^{-06}$) e menor nos lisímetros que receberam as demais taxas ($1,49 \times 10^{-06}$) e ($7,57 \times 10^{-06}$), respectivamente.

O transporte de íons H^+ avaliado por meio do desdobramento da lâmina dentro da taxa mostrou que houve significância apenas nos lisímetros testemunha apresentando comportamento crescente concomitantemente ao aumento da lâmina. Segundo Vilela et al. (2010), os solos do Cerrado e da Amazônia são solos em sua maioria ácidos, corroborando com o resultado de pH encontrado por este estudo, justificando assim, a correção da acidez a partir da incorporação de calcário dolomítico ao solo antes do transplantio.

Dados do boletim técnico do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) n. 200, 2007, informam que a cultura da couve-flor é pouco tolerante à acidez, exigindo pH (H₂O) entre 6,0 e 6,8.

Neste sentido, observou-se que os valores de pH na maioria dos tratamentos mantiveram-se dentro da faixa considerada ideal para o desenvolvimento das mudas de couve-flor.

Avaliação de Nitrogênio Total Kjeldahl

A lixiviação de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) sofreu influência de todos os tratamentos, tendo apresentado interação tripla significativa (tempo, taxa e lâmina). A Tabela 6 mostra o desdobramento do tempo em taxa e lâmina nas linhas bem como, o desdobramento da taxa em tempo e lâmina nas colunas e o desdobramento das lâminas em tempo e taxa nas colunas.

Tabela 6. Concentração de NTK (mg L⁻¹) em diferentes lâminas de irrigação, taxas de aplicação de água de reuso e tempos de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Lâmina (% ETc)	Taxa (m ³ ha ⁻¹)	Tempo (DAAR)**			
		10	20	30	40
100	0	7,84 Aa(a)	9,64 Aa(a)	4,41 Ac(a)	3,59 Aa(a)
100	50	4,65 Bb(a)	3,92 Bb(a)	22,78 Aa(a)	7,19 Ba(a)
100	150	2,12 Ab(a)	1,99 Ab(a)	3,72 Ac(b)	1,44 Aa(a)
125	0	2,18 Ab(b)	4,26 Ab(a)	2,58 Ac(a)	5,59 Aa(a)
125	50	2,53 Ab(a)	0,01 Ab(a)	6,94 Ab(b)	1,84 Aa(a)
125	150	4,71 Ab(a)	4,22 Ab(a)	9,42 Ab(a)	5,58 Aa(a)
150	0	11,53 Aa(a)	10,26 Aa(a)	4,22 Bc(a)	0,01 Ba(a)
150	50	0,01 Ab(a)	0,01 Ab(a)	0,37 Ac(c)	2,09 Aa(a)
150	150	0,01 Ab(a)	0,01 Ab(a)	0,10 Ac(b)	0,01 Aa(a)

**Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas entre parêntesis representam o desdobramento das lâminas em taxa e tempo nas colunas.

O desdobramento do tempo em taxa e lâmina apresentou significância nas interações entre lâmina 100 e taxa 50 bem como, entre lâmina 150 e taxa 0. Na interação com a lâmina 100, taxa 50 o NTK apresentou efeito crescente com o tempo, a maior concentração foi observada aos 30 DAAR de 22,78 mg L⁻¹ com posterior redução aos 40 DAAR. Na interação entre a lâmina 150, taxa 0 a lixiviação do elemento sob efeito do tempo reduziu de 11,53 para 0,01 mg L⁻¹. Os demais tratamentos observados não diferiram entre si. Os resultados indicaram que o tratamento entre lâmina 150, taxa 150 não ofereceu risco de perdas de NTK para fora da zona de raízes ao longo das coletas realizadas, disponibilizando-o em maior concentração para as mudas de couve-flor.

Sommer e Husted (1995) afirmaram que o nitrogênio amoniacal quando aplicado no solo sofre nitrificação, uma vez que a maior parte do nitrogênio presente em efluentes suinícolas estão na forma amoniacal quando aplicados no campo. Este decréscimo na lixiviação de NTK pode estar associado à intensificação dos processos de mineralização do nitrogênio orgânico.

O desdobramento das taxas em interação com tempo de coleta e lâminas de irrigação observados nas colunas, mostraram significância na lixiviação de NTK. O aumento da taxa provocou redução da lixiviação observado para a lâmina de 100 aos 10, 20 e 30 DAAR, porém, na lâmina de 125 houve aumento de nitrogênio sendo lixiviado aos 30 DAAR. A lâmina 150 apresentou efeito semelhante ao ocorrido na lâmina 100, em que a variação das taxas provocou redução nas concentrações lixiviadas, mas neste caso apenas aos 10 e 20 DAAR.

Nesse contexto, as perdas de nitrogênio orgânico observadas nos lisímetros sem água residuária foram provenientes da incorporação de ureia ao solo (fertilizante utilizado como fonte de nitrogênio) antes do transplântio das mudas de couve-flor.

Avaliando o desdobramento das lâminas aos 10 DAAR em interação com a taxa 0, observou-se que o aumento de 50% na lâmina de irrigação na ausência de água residuária favoreceu significativamente o aumento da lixiviação do nitrogênio, 7,84 para 11,53 mg L⁻¹. Todavia, neste período, o aumento da lâmina não apresentou influência na lixiviação de NTK nas taxas de 50 e 150 m³ ha⁻¹.

Aos 30 DAAR também se verificou efeito da lâmina na lixiviação do NTK, visto que a concentração deste elemento no lixiviado reduziu concomitantemente com o aumento da lâmina, passando de 22,78 para 0,37 mg L⁻¹ na taxa 50 e de 3,72 para 0,10 mg L⁻¹ na taxa 150, na taxa 0 o transporte de NTK não foi significativo.

Para Sangoi et al. (2003), a incorporação de adubo rico em nitrogênio contribui com a lixiviação de NTK. Gomes e Souza (2002) compararam o efeito de quatro lâminas de água sobre a produtividade da alface e constataram maior eficiência de utilização de água na produção total e comercial da alface para as lâminas com base em 25% e 50% da evaporação do tanque classe A.

Ademais, se reforça que a aplicação de ureia desencadeia os processos de volatilização e lixiviação. Araújo et al. (2004), relataram em seus estudos maiores doses de ureia propiciam maior concentração lixiviada de NH_4^+ . Em suma, os dados encontrados por este estudo indicam que a lâmina 150 e taxa 150 favoreceram menores perdas de NTK, deixando-o em maior concentração no solo.

Avaliação de Nitrito

Na Tabela 7 apresenta-se o transporte de NO_2^- no desdobramento das lâminas dentro do tempo. Em geral, a influência das lâminas no transporte de nitrito é pequena, sendo significativa apenas na coleta realizada aos 40 DAAR, com redução na concentração de NO_2^- com o aumento da lâmina.

Esta redução pode ter sido influenciada pelo maior fornecimento de água, que provavelmente inibiu a atividade das nitrobactérias nesse período, levando a um acúmulo de NO_2^- no perfil do solo. Riley et al. (2001) avaliando a lixiviação de nitrogênio e os níveis de nitrato, nitrito e amônio no solo observaram que a concentração de NO_2^- na camada superficial do solo foi significativa na primeira semana após o início da irrigação. Mullane et al. (2015) observaram que a concentração de nitrito reduziu significativamente após a quarta irrigação.

Tabela 7. Concentração de NO_2^- (mg L^{-1}) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tempo (DAAR)*	Lâminas de irrigação (% ETc) **		
	100	125	150
10	1,42 Ac	1,39 Ac	1,97 Ab
20	4,97 Ab	4,03 Ab	3,45 Ab
30	4,55 Ab	5,34 Ab	4,40 Aa
40	8,31 Aa	8,76 Aa	5,92 Ba

*DAAR – dias após a aplicação da água de reuso; **Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

O desdobramento do tempo nas lâminas observado nas colunas mostrou que o transporte de NO_2^- apresentou comportamento crescente ao longo do tempo para todas as lâminas. Este aumento de concentração pode estar relacionado à conversão do NTK a NO_2^- . O aumento da lâmina favorece a movimentação vertical descendente do nitrito no interior do lisímetro e a diluição do elemento. Este comportamento evidencia que houve movimentação de NO_2^- ao longo do período experimental e que os processos de nitrificação podem ter exercido influência nas concentrações lixiviadas do NO_2^- .

Escobar et al. (2004) avaliando o efeito de aplicação de diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados sob o crescimento de plantas de mudas e as perdas de nitrogênio por lixiviação, observaram perdas mais elevadas para aplicações de ureia e sulfato de amônio ao longo de 30 dias.

As perdas de NO_2^- em decorrência da variação das lâminas de irrigação foram pequenas, apresentando significância apenas aos 40 DAAR. Porém, considerando o desdobramento do tempo as concentrações foram crescentes para qualquer uma das lâminas. Assim, observou-se que as concentrações de NO_2^- transportadas para fora dos lisímetros foram superiores ao valor máximo estabelecido pela Resolução Conama n° 396 de 2008, que estabelece que concentrações de NO_2^- acima de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ apresentam potencial poluidor de água subterrânea.

Avaliação de Nitrato

A análise de variância mostrou que houve significância entre lâmina de irrigação e tempo para o NO_3^- (Tabela 8). Observou-se que o aumento da lâmina de água proporcionou menores perdas significativas de NO_3^- aos 20 e 40 DAAR, justificadas pela diluição de NO_3^- , ou seja, com comportamento semelhante do nitrito.

Tabela 8. Concentração de NO_3^- (mg L^{-1}) em diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Tempo (DAAR)*	Lâminas de irrigação (% ETc) **		
	100	125	150
10	19,55 Ac	12,80 Ac	12,37 Ac
20	33,42 Ab	24,03 Bb	20,21 Bc
30	32,75 Ab	38,76 Aa	40,17 Aa
40	46,43 Aa	48,48 Aa	28,29 Bb

*DAAR – dias após a aplicação da água de reuso; **Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Anami et al. (2008) avaliando o coeficiente de dispersão hidrodinâmico e o fator de retardamento do NO_3^- concluíram que NO_3^- possui elevado potencial de contaminação, considerando sua alta mobilidade e deslocamento em colunas de solo. Nesse caso, o transporte de NO_3^- ocorreu em concentrações acima do valor máximo permitido (10 mg L^{-1}) pela Resolução Conama nº 396 de 2008, independentemente da lâmina de irrigação e do período de coleta, representando, portanto, um potencial poluidor da água subterrânea.

O transporte de NO_3^- por meio da interação entre tempo e lâminas, mostra que houve variação na lixiviação do nitrato ao longo do tempo para todas as lâminas aplicadas, caracterizando-a como variação significativa, uma vez que para as quatro coletas, o processo de lixiviação apresentou tendência de comportamento crescente. O tempo caracteriza-se como fator preponderante no processo de nitrificação do N amoniacal no solo. Aita et al. (2007), em condições subtropicais, ao aplicarem 130 kg ha^{-1} de N amoniacal provindo de dejetos líquidos de suínos, verificaram que 20 dias após a aplicação dos dejetos praticamente todo o N amoniacal havia sido oxidado a nitrato.

Aita e Giacomini (2008) avaliando o acúmulo e o deslocamento de NO_3^- no solo após a aplicação de dejetos líquidos de suínos em milho em plantio direto observaram ao longo de três anos, que a quantidade de NO_3^- aumentou rapidamente nas camadas superficiais do solo, logo após a aplicação dos dejetos, acompanhada pela rápida transferência do elemento para as camadas inferiores em função da elevada taxa de nitrificação do N amoniacal dos dejetos aplicados. Boeira (2009) avaliando a lixiviação de nitrogênio em Latossolo incubado com lodo de esgoto observou que o aumento das doses proporcionou maiores lixiviações do nitrogênio mineralizado.

Os resultados desse estudo reafirmam as considerações de Escobar et al. (2004), que observaram maiores proporções de N na forma de nitrato em água de lixiviação, independentemente do tipo de fertilizante aplicado. Segundo Costa et al. (1999) as perdas de nutrientes causadas pela lixiviação são importantes por indicar baixas eficiências de utilização de nutrientes pelas culturas e, por consequência, menores rendimentos.

A Tabela 9 apresenta a concentração de nitrogênio total ($\text{NTK} + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$), concentração de NO_3^- aplicado e lixiviado em lisímetros provenientes da incorporação da água de reuso antes do transplantio das mudas, bem como a concentração de NO_3^- retida no solo.

Tabela 9. Concentração média de nitrogênio total, NO_3^- aplicado e lixiviado (em 4 coletas) e a média de NO_3^- retido no solo em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo e cultivados com couve-flor cv. Verona.

Lâminas de irrigação (% ETC)	Taxas de água residuária ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Nitrogênio Total (mg)	NO_3^- aplicado (mg)	NO_3^- lixiviado (mg)	NO_3^- no solo (mg)
L100	T0	-	0,00	120,99	-
	T50	114,73	73,02	134,19	-
	T150	344,19	219,07	140,19	78,88
L125	T0	-	0,00	198,21	-
	T50	114,73	73,02	194,97	-
	T150	344,19	219,07	163,05	56,02
L150	T0	-	0,00	326,23	-
	T50	114,73	73,02	187,95	-
	T150	344,19	219,07	151,82	67,25

Li: lâmina de irrigação; Ti: taxa de água residuária; NO_3^- : nitrato.

As médias de nitrogênio total mostram o potencial que o resíduo apresenta indicando que a parcela de nitrato existente no nitrogênio total pode ter se convertido a nitrato por meio da nitrificação, justificando as altas concentrações encontradas do elemento superior a concentração aplicada ao solo.

A maior concentração de nitrato ocorreu na lâmina 150 e taxa 0 ($326,23 \text{ mg}$), e que apenas em 100% ETC o aumento das taxas de água residuária proporcionou maiores concentrações de nitrato no lixiviado. Para as lâminas de 125 e 150% ETC observou-se uma diminuição na concentração de nitrato lixiviado concomitantemente ao aumento da concentração de nitrato aplicada. O aumento da lâmina proporcionou maior lixiviação de nitrato, sendo este efeito observado até mesmo para os lisímetros tratados com a taxa 0. O tratamento entre lâmina 100 e taxa 150 foi o que apresentou nitrato em maior concentração no solo e, portanto, disponível para as plantas.

Em suma, a concentração de NO_3^- no lixiviado foi superior a concentração aplicada nas taxas 0 e $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para as três lâminas avaliadas indicando que havia no solo nitrato proveniente de outras fontes diferentes da água de reuso e inferior a esta concentração em $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para todas as lâminas avaliadas indicando que parte desse nutriente ficou retido na solução do solo e, portanto, disponível para a cultura.

Marofi et al. (2015) observaram que as concentrações de nitrato no lixiviado foram muito maiores quando aplicadas águas residuais quando comparados com tratamentos que não receberam nenhum tipo de adubo, e

afirmaram ainda, que a maior parte dos elementos presentes em águas residuais ficam retidos no solo, ocasionando assim menor concentração desses elementos nas águas de lixiviação.

Conclusões

O volume de lixiviado foi crescente conforme maiores foram os incrementos de água pela irrigação, todavia, decrescente ao aumento das taxas de água residuária de suinocultura.

As lâminas de 100 e 125% ETc proporcionaram maiores concentrações de íons H^+ aos 40 dias após a aplicação de água residuária de suinocultura.

O pH do Latossolo vermelho-amarelo permaneceu ácido durante os 40 dias da aplicação de água residuária de suinocultura, porém, dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da couve-flor, implicando em melhores condições de absorção de nutrientes pelas plantas.

O menor transporte de NTK ocorreu com interação da lâmina 150 e taxa 150 aos 10 DAAR, bem como na lâmina 150 e taxa 150 aos 30 DAAR, caracterizando este tratamento tanto do ponto de vista agrícola como ambiental o mais eficiente no sentido de garantir nutrientes na zona de raízes e resguardar a integridade dos recursos hídricos subterrâneos.

A variação das lâminas de irrigação proporcionou pouca influência no transporte de NO_2^- , enquanto que, lâminas superiores a 100% da evapotranspiração da cultura propiciaram transportes em menores concentrações de NO_3^- no perfil do solo em lisímetros.

Agradecimentos

À FAPEMAT (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso) pela concessão de bolsa para o primeiro autor e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro (Edital MCTI/CNPq Nº 14/2014).

Referências

- ABREU NETO, M. S. de, OLIVEIRA, R. A. de. (2009). Remoção de matéria orgânica, de nutrientes e de coliformes no processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, 29(1), 148-161.
- AITA, C., GIACOMINI, S. J. (2008). Nitrato no Solo com a Aplicação de Dejetos Líquidos de Suínos no Milho em Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5), 2101-2111.
- AITA, C., GIACOMINI, S. J., HÜBNER, A. P. (2007). Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(1), 95-102.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. (300p). Roma: FAO (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2012). *Standard methods for examination of water and wastewater*. (1496p). 22. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF.
- ANAMI, M.H., SAMPAIO, S.C., SUSZEK, M., DAMASCENO, S., QUEIROZ, M.M.F. (2008). Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(1), 75-80.
- ARAÚJO, A. R. de, CARVALHO, J. L. N., GUILHERME, L. R. G., CURTI, N., MARQUES, J. J. (2004). Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. *Ciência e Agrotecnologia*, 28(3), p. 537-541.
- BARROS, V. R., SOUZA, A. P., FONSECA, D. C., SILVA, L. B. D. (2009). Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. *Agrária*, 4(2), 198-203.
- BERNARDO, S., SOARES, A. A., MANTOVANI, E. C. (2006). *Manual de Irrigação*. (613p). 8. ed. atualizada e ampliada. Viçosa: UFV.
- BOEIRA, R.C. lixiviação de nitrogênio em latossolo incubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(4), p. 947-958.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (2008). *Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008*. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília.
- CHAHAL, M.K., TOOR, G.S., NKEDI-KIZZA, P., SANTOS, B.M. Effect of tomato ackinghouse wastewater properties on phosphorus and cation leaching in a spodosol. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), p. 999–1009.
- COSTA, S.N., MARTINEZ, M.A., MATOS, A.T., RAMOS, V.B.N. (1999). Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(2), 190-194.
- ESCOBAR, R. F., BENLLOCH, M., HERRERA, E., NOVELO, J.M. G. (2004). Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Horticulturae*, 101(1-2), 39–49.
- FREITAS, G. A., SANTOS, L. B., SIEBENEICHLER, S. C., NASCIMENTO, I. R., SILVA, R. R., CAPONE, A. (2010). Resíduo de efluente de frigorífico bovino como fertilizante alternativo para a produção de rúcula. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia (impresso)*, 3(2), 39-44.
- GOMES, E. P., PÁDUA SOUSA, A. (2002). Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em função dos valores de lâminas de água aplicados por gotejamento superficial e subsuperficial. *Irriga*, 7(1), 35-41.
- IMHOFF, S., SILVA, A. P. da, DIAS JUNIOR, M. de S., TORMENA, C. A. (2001). Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 25(1), 11-18.
- KIRD, C., DERICI, M. R., SCHEPERS, J. S. (2001). Yield response and N fertiliser recovery of rainfed wheat growing in the Mediterranean region. *Field Crops Research*, 71(2) 113–122.
- LIMA, L. A., CUSTÓDIO, A. A. P de, GOMES, N. M. (2008). Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(6), 1832-1842.
- MALAVOLTA, E. (1980). *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres Ltda., São Paulo. 251p.
- MAY, A., TIVELLI, S. W., VARGAS, P. F., SAMRA, A. G., SACCONI, L. V., PINHEIRO, M. Q. (2007). *A cultura da couve-flor*. Campinas: Instituto Agronômico (Série Tecnologia APTA, Boletim Técnico IAC, 200), <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/Tecnico200.pdf>. Acessado em: 19 abril 2016.
- MAROFI, S., SHAKARAMI, M., RAHIMI, G., ERSHADFATH, F. (2015). Effect of wastewater and compost on leaching nutrients of soil column under basil cultivation. *Agricultural Water Management*, 158, 266–276.
- MATOS, A. T., LEMOS, A. F., BARROS, F. M. (2004). Mobilidade de nitrato em solos de rampas de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial. *Engenharia na Agricultura*, 12(1), 57-65.
- MENDONÇA, J. C., SOUSA, E. F., ANDRE, R. G. B., BERNARDO, S. (2006). Coeficientes do tanque classe A para estimativa de evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 14(1), 123-128.
- MULLANE, J. M., FLURY, M., IQBAL, H., FREEZE, P. M., HINMAN, C., COGGER, C. G., SHI, Z. (2015). Intermittent rainstorms cause pulses of nitrogen, phosphorus, and copper in leachate from compost in bioretention systems. *Science of the Total Environment*, 537, 294–303.
- RILEY, W. J., ORTIZ-MONASTERIO, I., MATSON, P. A. (2001). Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61, 223-236.
- SANGOI, L., ERNANI, P. R., LECH, V.A., RAMPAZZO, C. (2003). Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Ciência Rural*, 33(1), 65-70.
- SILVA, D., MEZA, F. J., VARAS, E. (2010). Estimating reference evapotranspiration (eto) using numerical weather forecast data in central Chile. *Journal of Hydrology*, 382, 64–71.

- SOMMER, S.G., HUSTED, S. (1995). The chemical buffer system in raw and digested animal slurry. *The Journal of Agricultural Science*, 124(1), 45-53.
- SOUZA, A. P., ALMEIDA, F. T., ARANTES, K. R., MARTIM, C. C., SILVA, J. O. (2015). Coeficientes de Tanque Classe A para estimativa da evapotranspiração de referência diária na região de transição Cerrado-Amazônia. *Scientia Plena*, 11(5), 02-04.
- SOUZA, A. P., MOTA, L. L., ZAMADEI, T., MARTIM, C. C., ALMEIDA, F. T., PAULINO, J. (2013). Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1, 34-43.
- VILELA, L. C., SANTOS, A. C., BARRETO, P. M., BRITO, S. dos S., SILVA, J. E. C. da., OLIVEIRA, L. B. T. de. (2010). Propriedades químicas de latossolo vermelho em função da aplicação de gessagem e calagem. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, 8(1), 19-27.
- ZANUZO, M. R., RIBEIRO, L. M., LANGE, A., MACHADO, R. A. F., MASSAROTO, J. A. (2013). Desempenho agrônomo de genótipos de couve-flor nas condições edafoclimáticas de Sinop. *Horticultura Brasileira*, 31(2), 332-337.
- ZHU, A. N., ZHANG, J. B., ZHAO, B. Z., CHENG, Z. H., LI, L. P. (2005). Water balance and nitrate leaching losses under intensive crop production with Ochric Aquic Cambosols in North China Plain. *Environment International*, 31(6), 904-912.

2°. ARTIGO: LIXIVIAÇÃO DE FÓSFORO, COBRE E ZINCO EM LISÍMETROS COM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REUSO DE SUINOCULTURA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Lixiviação de fósforo, cobre e zinco em lisímetros com latossolo vermelho-amarelo submetido à aplicação de água de reuso de suinocultura e lâminas de irrigação

Resumo Teve-se por objetivo avaliar a lixiviação de fósforo, cobre e zinco em lisímetros com Latossolo vermelho-amarelo submetido a diferentes taxas de água de reuso e lâminas de irrigação, ao longo de 40 dias do ciclo inicial de cultivo da couve-flor cv. Verona CMS, no período de agosto a outubro de 2014, na região de Sinop - MT. Foram aplicadas em única parcela (antes do transplantio) as taxas de água de reuso da suinocultura (0, 50 e 150 m³ha⁻¹). Adotou-se a aplicação diária das lâminas de irrigação de 100, 125 e 150% da evapotranspiração potencial da cultura (ET_c), pela utilização de um sistema de irrigação por gotejamento. Foram realizadas coletas do lixiviado aos 10, 20, 30 e 40 dias após a aplicação da água de reuso. Pelo balanço de fósforo aplicado e lixiviado, observou-se elevados percentuais de P retido no solo, indicando baixa mobilidade desse elemento. As menores concentrações de cobre no lixiviado ocorreram na taxa 150 m³ha⁻¹ aos 20 dias após a aplicação da água de reuso. A aplicação de 150 m³ha⁻¹ nos lisímetros irrigados com 100% da ET_c apresenta-se como boa alternativa para cultivos de hortaliças de ciclo curto (inferior a 40 dias) na região de Sinop - MT, pois não ultrapassa os limites da resolução Conama n°. 396/2008.

Palavras-Chave evapotranspiração potencial couve-flor lisímetros lixiviação reuso.

Introdução

A utilização de água residuária oriunda da suinocultura na agricultura representa uma fonte alternativa de nutrientes e matéria orgânica (Bertol et al. 2010), e tem seu crescimento aliado a disponibilização de elementos como fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) (Smanhotto 2010). Embora estes elementos sejam essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas, quando aplicados em excesso, podem tornar-se fontes poluidoras de águas superficiais e subterrâneas.

As perdas de P podem ocorrer via superfície e subsuperfície (Shigaki et al. 2006) sendo potencialmente maior em solos arenosos quando submetidos a elevadas aplicações de adubos minerais ou orgânicos (Hooda et al. 2000). Outro problema associado ao P é a eutrofização de águas superficiais (Sharpley et al. 2001) decorrentes de escoamento superficial e lixiviação. No caso da lixiviação, quando atinge as águas subterrâneas, pode ocorrer contribuição em águas de superfície (rios e lagos) devido à percolação obedecer à morfologia.

Todavia, o solo possui elevada capacidade de adsorção de fósforo e sua mobilidade é inferior quando comparada com outros nutrientes (James et al. 1996), sendo que em alguns casos, as perdas de fósforo por percolação em solos agricultáveis são consideradas insignificantes (Basso et al. 2005). Bertol et al. (2010) evidenciaram que o fósforo pode ser perdido com maior suscetibilidade quando empregado com água de reuso da suinocultura em comparação com a adubação com formulados de NPK, evidenciando assim, que o transporte de P no solo é maior quando disponibilizado por fontes orgânicas.

Para Campos (2010) a movimentação de Cu e Zn no perfil do solo depende das propriedades físicas e químicas de cada tipo de solo e das propriedades físico-químicas do íon metálico. Segundo He et al. (2005) alguns processos como precipitação-dissolução, adsorção-dessorção, complexação-dissociação e oxidação-redução controlam a disponibilidade e a mobilidade desses elementos no solo. Os metais Cu e Zn apresentam baixa mobilidade em perfis de solo e, portanto, tendem a acumular-se na superfície do solo (Conte et al. 2003) reduzindo seu potencial de lixiviação. Todavia, a utilização excessiva de água residuária pode ocasionar perdas em subsuperfície (Sistani et al. 2008).

Campos (2010) ressalta que as variações de pH, processos biológicos, a própria toxicidade química do elemento e o ambiente, também exercem papel fundamental na disponibilidade e mobilidade desses metais.

De acordo com Rieuwerts et al. (2006), o pH tem influência sob os íons metálicos catiônicos, pois estes íons tornam-se mais móveis em condições de pH ácido. Entretanto, Oliveira et al. (2002) afirmaram que sob condições de pH acima de seis, possivelmente ocorrerá a dissociação de H⁺ de grupos OH da matéria orgânica e dos óxidos de Fe e Al e, conseqüentemente, aumentará a adsorção dos metais com posterior precipitação, implicando em redução de suas biodisponibilidades.

Neste sentido, teve-se por objetivo neste trabalho avaliar o transporte de fósforo, cobre e zinco em lisímetros com latossolo vermelho-amarelo, após a aplicação de diferentes taxas de água de reuso da suinocultura e lâminas de irrigação.

Material e Métodos

Local de condução do experimento

A pesquisa foi conduzida nas dependências da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Sinop, localizado em 11° 51' S e 55° 29' W, durante o período de agosto a outubro de 2014. Durante o experimento nenhuma precipitação aconteceu. O solo da área do experimental foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo. Pela classificação climática de Köppen, o clima predominante da região Centro-Norte é o tipo Aw (tropical quente e úmido), caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro); com baixa amplitude térmica anual (médias mensais variando entre 24 e 27 °C) e precipitação média anual em torno de 1974 mm (Souza et al., 2013).

Lisímetros

Para o estudo de lixiviação foram construídos vinte e sete lisímetros, dispostos em canteiros com distância entre lisímetros de 0,50 m e inseridos em trincheiras de aproximadamente 1,20 m de profundidade e 0,30 m de diâmetro, conforme Figura 1. A estrutura dos lisímetros era de PVC rígido preenchido com solo, mantendo a mesma sequência do perfil original. Realizou-se a caracterização química e física do solo em duas profundidades 0 – 20 cm e 20 – 40 cm para posterior preenchimento dos lisímetros.

Para o preenchimento dos lisímetros foi aberta uma trincheira isolada com aproximadamente 1,0 m de profundidade, na qual, foram retiradas amostras indeformadas a cada 10 cm para determinação da densidade do solo. Buscou-se reconstituir o perfil do solo no lisímetro mantendo as densidades das respectivas camadas. O lisímetro era provido de um sistema de coleta (funil e garrafa), posicionado na parte inferior da trincheira, no qual o lixiviado era armazenado para posterior coleta.

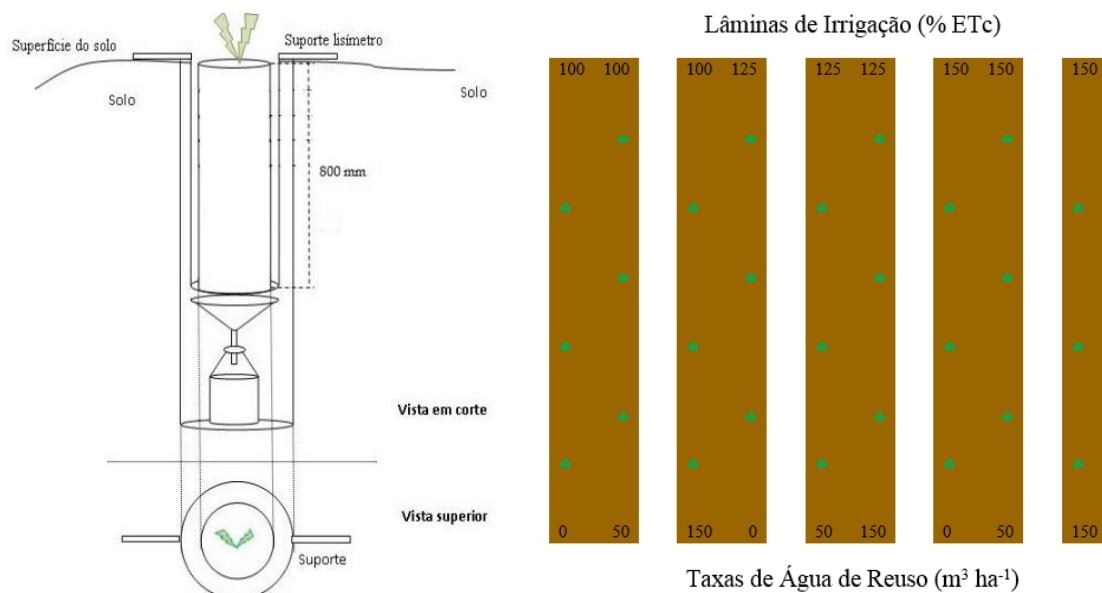


Figura. 1 Esquema de construção dos lisímetros e disposição em canteiros com variação das lâminas de irrigação e taxas de água de reuso.

Análise química e física do solo

Na análise química realizada na camada de solo 0 – 20 cm foram determinados as concentrações de 2,46 e 32,00 mg dm⁻³ para fósforo e potássio e 2,03 e 1,72 cmol dm⁻³ para cálcio e magnésio, respectivamente; quanto aos micronutrientes foram obtidas concentrações de zinco e cobre iguais 3,90 e 0,59 mg dm⁻³, respectivamente; com concentração nula para alumínio, pH (H₂O) de 5,4, capacidade de troca catiônica (CTC – pH7,0) de 6,98 cmol dm⁻³ e teor de matéria orgânica em 38,22 g dm⁻³; quanto a análise textural foram identificados 462, 250 e 288 g dm⁻³ para os teores de argila, de silte e areia, respectivamente. Na camada de 20 – 40 cm, para as mesmas variáveis supracitadas, foram obtidas concentrações de 4,61 e 55,00 mg dm⁻³, 3,75 e 1,30 cmol dm⁻³, 85 e 0,84 mg dm⁻³ para P, K, Ca, Mg, Cu e Zn, respectivamente; pH (H₂O) medido igual a 5,9, capacidade de troca catiônica (CTC – pH7,0) de 8,01 cmol dm⁻³ e teor de matéria orgânica em 43,00 g dm⁻³; quanto a análise física, os teores de argila, silte e areia foram de 483, 167 e de 350 g dm⁻³, respectivamente.

Caracterização química e física da água de reuso

A água de reuso da suinocultura foi coletada em uma propriedade rural no município de Vera-MT, após tratamento por meio de biodigestores. Foram determinadas as características químicas e físicas do resíduo (água

de reuso), sendo obtido: pH de 6,85, turbidez de 4.970 UNT, condutividade elétrica de $1,1 \text{ S m}^{-1}$, concentração de sólidos totais dissolvidos de $7,0 \text{ g L}^{-1}$, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 283,3, nitrogênio total Kjeldahl (NTK) de 308,7, nitrito (NO_2^-) de 154,7, nitrato (NO_3^-) de 811,36, fósforo total (P) de 150,29, zinco (Zn) de 35,90 e concentração de cobre (Cu) de $10,88 \text{ mg L}^{-1}$.

Implantação do cultivo

Após a caracterização química e física do solo a adubação química complementar foi calculada seguindo as recomendações técnicas de Zanuzo et al. (2013) para a couve-flor cv. Verona. Nesse contexto, a adubação de plantio correspondeu a adição de 10 g de ureia, 15 g de cloreto de potássio, 20 g de superfosfato simples e 12,5 g de calcário dolomítico na superfície de cada um dos lisímetros antes do transplantio das mudas.

Realizou-se o transplantio das mudas de couve-flor (*Brassica Oleracea* L) variedade Verona CMS, manualmente em cada um dos lisímetros, em 03/08/2014. O espaçamento adotado foi de $0,50 \times 0,50 \text{ m}$ (entre plantas e entre linhas). Após o transplantio foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento, sendo a irrigação realizada diariamente, por um período de 40 dias, por meio do uso de mangueiras gotejadoras de polietileno, com espaçamento entre gotejadores de 25 cm, vazão de $7,5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e pressão de trabalho de 10 mca.

Taxa de aplicação de água e lâminas de irrigação

A aplicação da água de reuso foi realizada uma única vez, na superfície dos lisímetros, antes do transplantio das mudas, em três taxas de aplicação, 0, 50 e $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Após o transplantio foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento, com irrigação diária, totalizando um período de irrigação de 40 dias. As lâminas de irrigação fornecidas foram de 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ET_c), obtido pelas Equações 1 e 2.

As lâminas foram determinadas em função da evapotranspiração de referência diária (ET_0), obtida pelo método do Tanque Classe A, que por sua vez considera o produto entre a evaporação do Tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque (K_p), dependente do tipo de tanque, das condições climáticas e do local em que se encontra instalado. Empregou-se o método de Cuenca (1989) recomendado por Souza et al. (2015) com valor médio de K_p (0,7795) estimado para o município de Sinop – MT. Utilizou-se o valor do coeficiente da cultura K_c (0,65) recomendado por Allen et al. (1998) no cálculo da ET_c .

$$ET_0 = ECA * K_p \quad [1]$$

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad [2]$$

Em que:

ET_0 é a evapotranspiração de referência diária (L m^{-2});

ET_c é a evapotranspiração da cultura diária (L m^{-2});

ECA é a evaporação do tanque classe A diária (L m^{-2});

K_p é o coeficiente do tanque;

K_c é o coeficiente da cultura e depende do estágio de desenvolvimento.

Coleta e análise das amostras

Foram realizadas quatro coletas de lixiviado (10, 20, 30 e 40 dias após a aplicação da água residuária) ao longo da condução do experimento. Os elementos avaliados no lixiviado foram P, Cu e Zn, concentração de íons H^+ , bem como o monitoramento do volume de água aplicada e o volume de água coletado. As análises foram realizadas no Laboratório de Tratamentos de Resíduos e nos Laboratórios Integrados de Pesquisas em Ciências Químicas, seguindo a metodologia descrita no Standard Methods of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Avaliação e análise estatística dos dados

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcela subdividida, com fatorial na parcela $3 \times 3 \times 4$ (taxas de aplicação x lâminas de irrigação x épocas de coleta), com três repetições. Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente, e submetidos à análise de variância e teste F, e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. O pacote estatístico utilizado foi o Sisvar 5.5 Build 82.

Resultados e Discussão

Volume de água aplicado e coletado

O maior percentual da ETc gerou maiores volumes de água aplicada com irrigação, independentemente da época, sendo o volume total de água aplicado de 179,73, 224,67, 269,61 L para os incrementos de 0, 25 e 50% da ETc. Todavia, observou-se tendência de redução do volume diário aplicado ao longo do tempo experimental para todas as lâminas em função da redução da ET₀.

Esta pesquisa foi conduzida em uma área que ocorre precipitações anuais de 2.000 mm ano⁻¹, concentradas em sete meses – outubro a abril (Souza et al., 2013), assim o fornecimento de lâminas de irrigação (125 e 150%) superiores à 100% ETc tornaram-se fundamentais para geração de lixiviado e entendimento da movimentação de P, Cu e Zn em períodos de precipitações superiores à demanda da couve-flor.

Tabela 1 Volume de irrigação em litros submetido a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta

Tempo (dias)	Lâmina de irrigação (% ETc)*		
	100	125	150
10	59,85 Ca	74,81 Ba	89,78 Aa
20	55,18 Cb	68,98 Bb	82,77 Ab
30	30,91 Cd	38,64 Bd	46,37 Ad
40	33,79 Cc	42,24 Bc	50,69 Ac
Total (L)	179,73	224,67	269,61

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Quanto ao volume de água coletado, os dados apresentaram interação significativa entre lâmina de irrigação e tempo e ainda entre taxa de água de reuso e lâmina de irrigação. A Tabela 2 permitiu observar que o volume coletado foi crescente quanto maior foi o fornecimento de água pela irrigação.

Em todos os tempo de coleta, observou-se redução do volume coletado para as lâminas de 125 e 150% ETc. Esta redução pode ser explicada pela irrigação, visto que, o excedente hídrico propicia a ocorrência da translocação de partículas solidas do solo (principalmente argilas), que por sua vez, favorece o processo de acomodação do solo no interior dos lisímetros, reduzindo a permeabilidade do mesmo ao longo do tempo (Imhoff et al., 2001). Entretanto, mesmo na reposição de 100% ETc observou-se a formação de lixiviado nos lisímetros. Segundo Barros et al. (2009) a determinação da evapotranspiração de referência (ET₀) pelo tanque classe A propicia a geração de superestimativas mesmo quando Kp for calibrado regionalmente.

O volume total coletado para as lâminas de 100, 125 e 150% ETc foi de 8,86; 10,72 e 12,72% do volume aplicado, respectivamente.

Tabela 2 Volume de água coletado em litros submetido a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta

Tempo (dias)	Lâmina de irrigação (% ETc)*		
	100	125	150
10	5,14 Ca	8,19 Ba	11,96 Aa
20	3,61 Ca	5,87 Bb	8,51 Ab
30	3,50 Ba	4,89 Bb	6,89 Ac
40	3,68 Ba	5,14 Bb	6,94 Ac
Total (L)	15,93	24,09	34,30

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 são apresentadas as interações da lâmina de irrigação e taxas, sendo observado que o volume lixiviado aumentou com o incremento das lâminas, independentemente das taxas de água residuária aplicada. Na maior lâmina irrigada e na ausência de água residuária ocorrem os maiores volumes lixiviados (10,34 L). A variação das taxas apresentou significância apenas na lâmina 150%, sendo que nesse caso, houve redução no volume coletado com o aumento das taxas. O volume total coletado também foi maior para a maior lâmina (25,72 L).

A diferença entre volume de água aplicado e coletado indica que o restante do conteúdo de água remanescente foi demandado pela atmosfera por evaporação e/ou estava armazenado nos poros do solo.

Tabela 3 Volume de água coletado em litros submetido a diferentes lâminas de irrigação e taxas de aplicação de água de reuso

Lâminas (% ETc)	Taxa de água residuária (m ³ ha ⁻¹) *			
	0	50	150	Total (L)
100	3,80 Ac	4,10 Ac	4,10 Ab	12,00
125	5,56 Ab	6,06 Ab	6,45 Aa	18,07
150	10,34 Aa	8,59 Ba	6,79 Ca	25,72

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

pH

O pH das amostras foi avaliado por meio da concentração de íons H⁺. O transporte desses íons apresentou interação significativa para lâmina x tempo e taxa de água residuária x lâmina. O transporte de íons H⁺ foi significativo apenas 40 dias após a aplicação da água residuária, sendo a maior concentração observada na lâmina de 150% ETc, conforme observa-se na Tabela 4.

O pH foi caracterizado como ácido ao longo do período experimental, embora tenha sido observado que os resultados do desdobramento do tempo foram significativos apenas na lâmina de 150% ETc. Nesse caso, com o tempo a mineralização da matéria orgânica e do nitrogênio, bem como a diminuição da CTC do solo, podem ter proporcionado a solubilização dos íons H⁺, provocando o seu aumento no lixiviado e reduzindo o pH ao longo do tempo. Aos 40 dias após a aplicação da água de reuso, observou-se que as lâminas de 125 e 150% proporcionaram maior concentração de íons H⁺.

Tabela 4 Concentração de íons H⁺ (mg L⁻¹) e valores de pH (entre parêntesis) submetidas a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta

Tempo (dias)	Lâmina de irrigação (% ETc)*		
	100	125	150
10	0,56x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,45)	0,84x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,21)	0,61x10 ⁻⁰⁶ Ac (6,38)
20	0,37x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,56)	0,42x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,47)	0,22x10 ⁻⁰⁶ Ac (6,75)
30	0,75x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,20)	1,58x10 ⁻⁰⁶ Aa (5,93)	1,91x10 ⁻⁰⁶ Ab (5,96)
40	1,08x10 ⁻⁰⁶ Ba (6,02)	1,42x10 ⁻⁰⁶ Ba (5,92)	3,81x10 ⁻⁰⁶ Aa (5,68)

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Nota: Valores de pH foram transformados em íons H⁺ utilizando função [H⁺] = 10^{-(pH)}.

A Tabela 5 apresenta os dados da interação taxas x lâmina, corroborando com o fato de que o transporte dos íons H⁺ foi significativo apenas na lâmina de 150%, com maior e menor concentração nos lisímetros que não receberam água residuária e com as maiores taxas, respectivamente (2,66x10⁻⁰⁶ valor de pH 6,06; 1,49x10⁻⁰⁶ valor de pH 6,26; e 7,57x10⁻⁰⁶ valor de pH 6,40). A avaliação do transporte de íons H⁺ na interação lâmina x taxa, indica que houve significância apenas nos lisímetros com ausência de água residuária, sendo este crescente com o aumento das lâminas.

Segundo Caires e Rosolem (1998) solos ácidos interferem no desenvolvimento adequado de raízes, sendo necessária a realização de calagem para correção da acidez. Dessa forma a acidez apresentada em solos pode ser um fator preocupante ao considerarmos que a produtividade pode ser afetada. Neste sentido, a lâmina que proporcionou maior transporte desses íons para fora da zona do sistema radicular da planta foi a de 150% ETc, observado na taxa 0, apresentando concentração de íons H⁺ de 2,66x10⁻⁰⁶. Por conseguinte, as taxas 50 e 150 m³ ha⁻¹ apresentaram efeito semelhante ao observado nessa interação com a lâmina 150% ETc.

Tabela 5 Concentração de íons H⁺ (mg L⁻¹) e valores de pH (entre parêntesis) submetidas a diferentes lâminas de irrigação e taxa de aplicação de água de reuso

Lâminas (% ETc)	Taxa de água residuária (m ³ ha ⁻¹)*		
	0	50	150
100	0,81x10 ⁻⁰⁶ Ab (6,25)	0,78x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,18)	4,64x10 ⁻⁰⁷ Aa (6,50)
125	0,67x10 ⁻⁰⁶ Ab (6,31)	1,70x10 ⁻⁰⁶ Aa (5,90)	8,21x10 ⁻⁰⁷ Aa (6,19)
150	2,66x10 ⁻⁰⁶ Aa (6,06)	1,49x10 ⁻⁰⁶ Ba (6,26)	7,57x10 ⁻⁰⁷ Ba (6,40)

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Nota: Valores de pH foram transformados em íons H^+ utilizando função $[H^+] = 10^{(-pH)}$.

Fósforo

A Tabela 6 mostra que as concentrações lixiviadas de fósforo nas lâminas de irrigação e aos 10 e 30 dias após a aplicação da água residuária não diferiram estatisticamente. Todavia, a lixiviação do P aos 20 dias, aumentou significativamente com o aumento das lâminas de irrigação. Aos 40 dias, esse comportamento diferiu das demais épocas de coleta, visto que houve aumento na lixiviação de P entre 100 e 125% ETc, com posterior redução de 125 para 150% ETc.

Para Basso et al. (2005), a mobilidade do P no solo é muito baixa, justificando assim, o fato das perdas por lixiviação em solos agricultáveis serem consideradas insignificantes. Segundo Tomé Jr (1997), o teor de fósforo disponível tende, normalmente, a diminuir com a profundidade, acompanhando o teor de matéria orgânica do solo. Segundo Hesketh; Brooks (2000) aplicações de P em concentrações que excedem à demanda da cultura podem propiciar a lixiviação deste elemento no perfil do solo.

Tabela 6 Concentração de P ($mg L^{-1}$) submetidas a diferentes lâminas de irrigação e épocas de coleta

Tempo (dias)	Lâmina de irrigação (% ETc)*		
	100	125	150
10	0,12 Ab	0,10 Ac	0,28 Ab
20	1,30 Ba	1,57 Ba	2,32 Aa
30	0,30 Ab	0,31 Ac	0,42 Ab
40	0,08 Bb	0,96 Ab	0,01 Bb

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Maggi et al. (2011) avaliando os impactos do percolado em lisímetros de drenagem em diferentes épocas de coleta sob a aplicação de diferentes taxas de água residuária de suinocultura durante o ciclo da cultura da soja, observaram modelos de regressão quadráticos para as concentrações de fósforo no percolado ao longo do tempo. Essa abordagem corrobora com os dados encontrados neste trabalho, que apesar de não ter sido ajustados modelos de regressão, permitiu observar que ao longo das coletas as concentrações de P no lixiviado aumentaram e logo depois diminuíram.

Nas lâminas 100 e 125% ETc aos 20 dias após a aplicação da água residuária, observou-se menores concentrações de P no lixiviado em relação a lâmina de 150 % da ETc. Este resultado indica que as concentrações de P encontradas submetidas à variação das lâminas foram muito heterogêneas em função das diferentes épocas de coleta.

A Tabela 7 apresenta as concentrações médias totais do fósforo aplicado oriundo da água de reuso e coletado em lisímetros e a média de nutriente retido no solo. Os resultados mostraram que a maior concentração de P lixiviado foi proveniente da lâmina de 150% ETc e na taxa de $0 m^3 ha^{-1}$, com concentração de $8,37 mg L^{-1}$, e que nas lâminas de 100 e 125% ETc, o aumento das taxas de P aplicado proporcionaram maiores concentrações do elemento no lixiviado. Na lâmina de 150% ETc observou-se diminuição na concentração de P lixiviado em função do aumento da concentração de P aplicada.

A concentração de P no lixiviado foi inferior à concentração aplicada na taxa 50 e $150 m^3 ha^{-1}$ para as três lâminas avaliadas. No tratamento em que não houve a aplicação de água residuária observou-se concentrações de P no lixiviado para as três lâminas de irrigação, decorrentes da lixiviação proveniente de fontes existentes no solo e da adubação química complementar realizada com superfosfato simples na implantação do experimento. O balanço de P aplicado e lixiviado nos lisímetros mostrou que a maior parte do nutriente ficou retido no solo e, portanto, disponível para a cultura e que a variação das lâminas de irrigação de 125 para 150 proporcionou redução da concentração de P lixiviado apenas na taxa 150, variando de 5,87 para 4,48 mg respectivamente.

Resultados encontrados por Chahal et al. (2011) corroboram com esta pesquisa, uma vez que foram observadas concentrações de fósforo e potássio no lixiviado foram inferiores às concentrações aplicadas de água residuária.

Tabela 7 Concentração média total de P aplicado e lixiviado (em 4 coletas) e a média de nutriente retido no solo

Lâminas de irrigação (% ETc)	Taxas de água residuária (m ³ ha ⁻¹)	P aplicado (mg)	P lixiviado (mg)	P no solo (mg)
L100	T0	0,00	1,82	-
	T50	13,53	1,68	11,85
	T150	40,58	2,44	38,14
L125	T0	0,00	3,89	-
	T50	13,53	3,58	9,95
	T150	40,58	5,87	34,71
L150	T0	0,00	8,37	-
	T50	13,53	6,96	6,57
	T150	40,58	4,48	36,10

Li: lâmina de irrigação; Ti: taxa de água residuária; P: fósforo.

Cobre

A Tabela 8 apresenta a concentração de Cu no lixiviado sob variação das taxas de água residuária e épocas de coleta, sendo que foram observadas variações na concentração de Cu no lixiviado apenas aos 20 e 40 dias após a aplicação da água residuária. A mobilidade do Cu neste estudo foi muito reduzida, pois as concentrações lixiviadas não ultrapassaram 0,044 mg L⁻¹, indicando que parte do metal aplicado junto ao efluente ficou retido nas partículas de solo no interior dos lisímetros ou foi absorvida pela cultura utilizada.

Tabela 8 Concentração de Cu (mg L⁻¹) submetida a diferentes taxas de água de reuso e épocas de coleta

Tempo (dias)	Taxa de água residuária (m ³ ha ⁻¹)*		
	0	50	150
10	0,012 Ab	0,013 Ac	0,014 Ab
20	0,015 Bb	0,028 Ab	0,021 Bb
30	0,015 Ab	0,017 Ac	0,012 Ab
40	0,031 Ba	0,039 Aa	0,044 Aa

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

As concentrações de cobre obtidas foram menores do que as observações de Barros et al. (2003), que pela aplicação de taxas de efluente suinícola submetido ao tratamento integrado, em colunas deformadas de solo, encontraram concentração máxima lixiviada de Cu em torno de 0,06 mg L⁻¹. Messias et al. (2007) observaram baixa movimentação de Fe, Zn e Cu com os teores de lodo de esgoto, sendo que as concentrações de Cu observadas em solo sem aplicação da água residuária mostraram-se uniformes em profundidade, entretanto, para os solos que receberam a aplicação dos dejetos suinícolas, os autores observaram maiores concentrações do metal nas camadas superficiais (0 até 5,0 cm). Para Oliveira e Mattiazzo (2001) essa baixa movimentação pode estar relacionada com mecanismos de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução.

A coleta realizada aos 20 dias mostrou que houve aumento da concentração do elemento apenas para a taxa de 50 m³ ha⁻¹, enquanto que, aos 40 dias as maiores concentrações de Cu ocorreram nos solos com aplicação de água residuária. Notou-se tendência de aumento da concentração de Cu com o tempo para as três taxas avaliadas. Nesse caso, a presença do metal Cu, independentemente da taxa, foi incrementada pela adubação de plantio.

Messias et al. (2007) avaliando a movimentação do ferro, cobre, zinco e cádmio em um solo tratado com lodo de esgoto, observaram que o aumento da dose de lodo aumenta a concentração de elementos lixiviados com exceção para o cobre. Em suma, as menores concentrações de Cu encontradas no lixiviado foram observadas na taxa 0 em todas as épocas de coleta. Aos 20 dias não houve diferenças entre as taxas de 0 e 150 m³ ha⁻¹, sendo caracterizados como o período e as taxas que proporcionaram menores perdas de Cu por lixiviação.

Embora tenham sido observadas baixas concentrações de Cu nas condições experimentais e considerando que a utilização do resíduo possa acontecer durante décadas, faz-se necessário haver monitoramento da água subterrânea no sentido de garantir que o metal não se concentre no recurso hídrico.

Zinco

A concentração de zinco apresentou variações crescentes com o aumento da lâmina de irrigação para as taxas de 0 e 150 m³ ha⁻¹ (Tabela 09), variando de 0,139 para 0,486 mg L⁻¹ e de 0,228 para 0,349 mg L⁻¹, respectivamente.

A variação das taxas de água de reuso provocou efeito significativo na lixiviação do metal em qualquer uma das lâminas observadas, sendo que nas parcelas testemunhas, a lixiviação de Zn também foi observada, confirmando o fato de que pode ser decorrente da adubação incorporada ao solo. Como as parcelas não receberam aplicação de efluente e, portanto, possuem menor teor de matéria orgânica quando comparados aos demais lisímetros, o menor teor de matéria orgânica pode ter proporcionado maior lixiviação de Zn. A presença de matéria orgânica fornece cargas negativas ao solo, e estas por sua vez, atuam no sentido de manter adsorvido os elementos de carga positiva (como Cu e Zn), que, conseqüentemente, terão sua mobilidade reduzida no perfil do solo.

A afinidade dos metais com o solo varia conforme o tipo, quantidade de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC), pH, quantidade de argila, mineralogia, dentre outras características; e ainda, sofre influência de características dos próprios metais (MCLEAN; BLEDSOE, 1992). Segundo Paganini et al. (2004) grande quantidade de Zn pode ser fixada na fração orgânica do solo, podendo ainda, ser temporariamente imobilizado nos micro-organismos quando após a adição de matéria orgânica no solo. Neste contexto, evidencia-se que os tratamentos com reposição de 100% da ETC e nas taxas 0 e 150 m³ ha⁻¹ proporcionaram menores perdas de Zn para a couve-flor.

Tabela 9 Concentração de Zn (mg L⁻¹) submetida a diferentes taxas de água de reuso e lâminas de irrigação

Lâmina de irrigação (%) ETC)	Taxa de água residuária (m ³ ha ⁻¹)*		
	0	50	150
100	0,139 Bb	0,322 Aa	0,228 Bb
125	0,201 Bb	0,306 Aa	0,376 Aa
150	0,486 Aa	0,385 Ba	0,349 Ba

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na Tabela 10 observa-se que o aumento das taxas de água de reuso aplicadas aos lisímetros foi significativa apenas aos 40 dias, com aumento nas perdas de Zn nos lisímetros sob aplicação do efluente. Este comportamento pode ser explicado com base nos valores de pH (Tabela 4), visto que Campos (2010) afirma que baixos valores de pH favorecem a lixiviação e a disponibilidade de metais no solo, e que o aumento do pH eleva a CTC e permite a formação de quelatos pelo material orgânico, diminuindo sua mobilidade no solo.

Messias et al. (2007) avaliando a mobilidade de micronutrientes observaram que não houve variações na lixiviação de Cu e Zn ao longo do tempo (60 dias), mesmo para solos com maior concentração do lodo de esgoto (75 mg ha⁻¹).

Tabela 10 Concentração de Zn (mg L⁻¹) submetidas a diferentes taxas de água de reuso e épocas de coleta

Tempo (dias)	Taxa de água residuária (m ³ ha ⁻¹)*		
	0	50	150
10	0,201 Ac	0,213 Ac	0,183 Ac
20	0,217 Ac	0,268 Ac	0,279 Ab
30	0,402 Aa	0,349 Ab	0,397 Aa
40	0,280 Bb	0,521 Aa	0,412 Aa

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Nesse sentido, a taxa de 150 m³ ha⁻¹ de água de reuso apresentou-se como boa opção para ser utilizada no fornecimento de nutrientes a couve-flor até 30 dias. Os dados avaliados aos 40 dias apresentaram concentrações de Zn maiores em comparação aos demais períodos avaliados. Ressalta-se que a aplicação continuada de água de reuso no solo como fonte de nutrientes para culturas agrícolas pode contribuir para a contaminação das águas subterrâneas, principalmente pelas variações nas concentrações de Cu e Zn e em conformidade com o previsto na resolução Conama n.º. 396/2008 (valores máximos de 2,0 e 5,0 mg L⁻¹ para cobre e zinco, respectivamente).

Conclusões

O volume de lixiviado foi crescente com o aumento da quantidade de água fornecida pela irrigação, todavia, decrescente com o aumento das taxas de água residuária de suinocultura.

As lâminas de 100 e 125% ETc proporcionaram maiores concentrações de íons H⁺ aos 40 dias após a aplicação de água residuária de suinocultura.

As concentrações de P lixiviado foram maiores aos 20 dias após a aplicação de água residuária, independentemente da lâmina de irrigação. As menores concentrações de Cu encontradas no lixiviado foram observadas na taxa 150 m³ ha⁻¹ aos 20 dias após aplicação da água de reuso.

A aplicação de 150 m³ ha⁻¹ e a reposição de 100% ETc pode ser indicada como uma boa alternativa para hortaliças de ciclo curto (inferiores a 40 dias), visto que as concentrações de Cu e Zn não ultrapassam os limites da resolução Conama n°. 396/2008, nesse intervalo de tempo, para um Latossolo vermelho-amarelo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso pela concessão de uma bolsa para o primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro ao projeto (Edital MCTI/CNPq Nº 14/2014).

Referências

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. (300p). Roma: FAO (Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2012). *Standard methods for examination of water and wastewater*. (1496p). 22. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF.

BARROS, L. S. S., AMARAL, L. A. do, LUCAS JÚNIOR, J. de. (2003). Poder poluente de águas residuárias de suinocultura após utilização de um tratamento integrado. *Brazilian Journal of Veterinary Research And Animal Science*, 40(2), 126-135.

BASSO, C.J., CERETTA, C.A., DURIGON, R., POLETTO, N., GIROTTO, E. (2005). Dejeito líquido de suínos: II - perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, 35(6), 1.296-1.304.

BERTOL, O. J., FEY, E., FAVARETTO, N., LAVORANTI, O. J., RIZZI, N. E. (2010). Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 1841-1850.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. (2008). *Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008*. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília.

CAIRES, E. F., ROSOLEM, C. A. (1998). Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. *Bragantia*, 57(1).

CAMPOS, M. C. C. (2010). Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 6(3), 547–565.

CHAHAL, M. K., TOOR, G. S., NKEDI-KIZZA, P., SANTOS, B. M. (2011). Effect of tomato ackinghouse wastewater properties on phosphorus and cation leaching in a spodosol. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 999–1009.

CONTE, E., ANGHINONI, I., RHEINHEIMER, D. S. (2003). Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 893-900.

CUENCA, R. H. (1989). *Irrigation system design: an engineering approach*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 133p.

- HE, Z. L., YANG, X. E., STOFFELLA, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19(2-3), 125–140.
- HESKETH, N., BROOKES, P. C. (2000). Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality*, 29(1), 105-110.
- HOODA, P.S., EDWARDSB, A.C., ANDERSONB, H.A., MILLER, A. A. (2000). Review of water quality concerns in livestock farming areas. *Science of the Total Environment*, 250(1-3), 143-167.
- IMHOFF, S., SILVA, A. P. da, DIAS JUNIOR, M. de S., TORMENA, C. A. (2001). Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 25(1), 11-18.
- JAMES, D.W., KOTUBY-AMACHER, J., ANDERSON, G.L., HUBER, D.A., 1996. Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring. *Journal Environmental Quality*, 25(4), 770–775.
- MAGGI, C. F., FREITAS, P.S. L. de., SAMPAIO, S. C., DIETER, J. (2011). Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(2), 170–177.
- MCLEAN, J. E., BLEDSOE, B. E. (1992). *Behavior of metals in soils*. (pp. 19-56). Washington – DC: EPA Environmental Assessment Sourcebook.
- MENDONÇA, J. C., SOUSA, E. F., ANDRE, R. G. B., BERNARDO, S. Coeficientes do tanque classe A para estimativa de evapotranspiração de referência em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 14(1), 123-128.
- MESSIAS, A. S., SILVA, H. A., LIMA, V. N., SOUZA, J. E. G. (2007). Avaliação da mobilidade de micronutrientes em solo tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 3(3), 193-211.
- MESSIAS, A. S., SILVA, H. A., LIMA, V. N., SOUZA, J. E. G. de. (2007). Avaliação da mobilidade de micronutrientes em solo tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 3(3), 193-211.
- OLIVEIRA, F. C., MATTIAZZO, M. E. (2001). Mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, 58(4), 807-812.
- OLIVEIRA, P. A. V. (Org.). (2002). *Produção e manejo de dejetos de suínos*. Curso de Capacitação em Práticas Ambientais Sustentáveis Treinamentos. (pp. 72-90). Concórdia: Embrapa Suínos e Aves.
- PAGANINI, W. S. da., SOUZA, A. de., BOCCHIGLIERI, M. M. (2004). Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 9(3), p.225-239.
- RIEUWERTS J. S., ASHNORE, M. R., FARAGO, M. E., THORNTON, I. (2006). The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. *Science of the total Environment*, 366(2-3), 864–875.
- SHARPLEY, A. N., MCDOWELL R.W., KLEINMAN, P. T. A. (2001). Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil*, 237(2), 287-307.
- SHIGAKI, F., SHARPLEY, A., PROCHNOW, L. I. (2006). Sourcerelated transport of phosphorous in sourface runoff. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2229-2235.
- SISTANI, K. R., MCLAUGHLIN, M. R., BRINK, G. E. (2008). Soil nutrient evaluation from swine effluent application to five forage-system practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82(3), 265-271.

SMANHOTTO, A., SOUSA, A. de P., SAMPAIO, S. C., NÒBREGA, L. H. P., PRIOR, M. (2010). Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. *Engenharia Agrícola*, 30(2), 346-357.

SOUZA, A. P., ALMEIDA, F. T., ARANTES, K. R., MARTIM, C. C., SILVA, J. O. (2015). Coeficientes de Tanque Classe A para estimativa da evapotranspiração de referência diária na região de transição Cerrado-Amazônia. *Scientia Plena*, 11(5), p.0204.

SOUZA, A. P., MOTA, L. L., ZAMADEI, T., MARTIM, C. C., ALMEIDA, F. T., PAULINO, J. (2013). Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1(1), 34-43.

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

ZANUZO, M. R.; RIBEIRO, L. M.; LANGE, A.; MACHADO, R. A. F.; MASSAROTO, J. A. (2013). Desempenho agrônômico de genótipos de couve-flor nas condições edafoclimáticas de Sinop. *Horticultura Brasileira*, 31(2), 332-337.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude dos argumentos apresentados conclui-se que o volume de lixiviado foi crescente com o aumento da quantidade de água fornecida pela irrigação e, decrescente com o aumento das taxas de água residuária de suinocultura.

O pH do Latossolo vermelho-amarelo permaneceu ácido após 40 dias da aplicação de água residuária de suinocultura, porém dentro da faixa de pH considerada ideal para o desenvolvimento de couve-flor.

O menor transporte de NTK ocorreu nas menores lâminas de irrigação e na ausência de água residuária.

A variação das lâminas de irrigação proporcionou pouca influência no transporte de NO_2^- .

Menores concentrações de NO_3^- no perfil do solo em lisímetros foram observadas para as lâminas superiores a 100% ETC.

As concentrações de P lixiviado foram maiores aos 20 dias após a aplicação de água residuária, independentemente da lâmina de irrigação.

As menores concentrações de Cu encontradas no lixiviado foram observadas na taxa $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aos 20 dias após aplicação da água de reuso.

A aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e a reposição de 100% ETC pode ser indicada como uma boa alternativa para hortaliças de ciclo curto (inferiores a 40 dias), visto que as concentrações de Cu e Zn não ultrapassam os limites da resolução Conama nº. 396/2008, nesse intervalo de tempo, para um Latossolo vermelho-amarelo.

Para as condições do experimento e de acordo com os resultados obtidos, recomenda-se a continuidade desta pesquisa com algumas alterações, por exemplo, aumentar a quantidade de coletas ao longo do tempo bem como o número de repetições dos tratamentos.

REFERÊNCIAS

- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; FLORES, É. M. de M.; GIROTTO, E. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. Santa Maria, **Ciência Rural**, v.42, n.4, abr. 2012.
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejetos líquidos de suínos: II - perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. Santa Maria, **Ciência Rural**, v.35 n.6, p.1.296-1.304, set./dez. 2005.
- CAMPBELL, C. A.; ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; AKINREMI, O. O. Nitrate leaching as influenced by fertilization in the Brown soil zone. Ottawa, **Canadian Journal of Soil Science**, v.73, n.4, p.387-397, 1993.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. Dejetos líquidos de suínos: I., perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. Santa Maria, **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, nov./dez. 2005.
- CHAE, Y. M.; TABATABAI, M. A. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. Madison, **Journal of Environmental Quality**, v.15, n.2, p.193-198, maio/jun. 1986.
- COSTA, A. L. da.; LIMA, J. M. de.; NETO, M. R.; SILVA, C. A.; CANNATA, M. G. Lixiviação de nitrogênio e fósforo em solos tratados com lodo de esgoto e água residuária de suinocultura. Belém, **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 4, p. 396-406, out./dez. 2014.
- HEATHWAITE, L.; SHARPLEY, A.; GBUREK, W. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. Madison, **Journal Environmental Quality**, v.29, n.1, p.158-166, mar./abr. 2000.
- HUSSAR, G. J.; PARADELA A. L.; BASTOS M. C.; REIS T. K. B.; JONAS T. C.; SERRA W.; GOMES J. P. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação da beterraba. Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 035-045, jan/dez 2005.
- JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. Guarapuava, **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v3, n.1, p. 193-200, 2010.
- MARCUSSI F. F. N. Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em planta de pimentão. Jaboticabal, **Engenharia Agrícola** v.25, n.3, p.642-650, set./dez. 2005.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba, **Scientia Agrícola**, 58 n.4, p.807-812, out./dez. 2001.
- RODRIGUES, M. B.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; REIS, C. F.; GOMES, S. D. Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e na produtividade da alface. Espírito Santo do Pinhal, **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.8, n.3, p.173-182, jul./set. 2011.
- SMANHOTTO, A.; SOUSA, A. de P.; SAMPAIO, S. C.; NÒBREGA, L. H. P.; PRIOR, M. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de

suinocultura em solo cultivado com soja. Jaboticabal, **Engenharia Agrícola**, v. 30 n. 2, p.346-357, mar./abr. 2010.

ANEXOS

ANEXO I. Tabelas com as análises estatísticas realizadas.

Tabela 1. Quadro de análise de variância para volume de irrigação aplicado.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >F_c
Tempo	3	27.349,12	9.166,37	0,000	0,000
Lâmina	2	9.088,21	4.544,11	0,000	0,000
Taxa	2	0,00	0,00	0,000	1,000
Lâmina*Taxa	4	0,00	0,00	0,000	1,000
Tempo*Taxa	6	0,00	0,00	0,000	1,000
Tempo*Lâmina	6	729,14	121,52	0,000	0,000
Tempo*Lâmina*Taxa	12	0,00	0,00	0,000	1,000
Erro	72	0,00	0,00		
Total Corrigido	107	37.166,48			

Tabela 2. Quadro de análise de variância para volume coletado.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >F_c
Tempo	3	192,84	64,28	24,059	0,000
Lâmina	2	380,33	190,16	71,176	0,000
Taxa	2	11,65	5,82	2,180	0,120
Lâmina*Taxa	4	37,25	6,20	2,324	0,042
Tempo*Taxa	6	20,41	3,40	1,273	0,281
Tempo*Lâmina	6	69,33	17,33	6,487	0,000
Tempo*Lâmina*Taxa	12	17,14	1,43	0,535	0,885
Erro	72	192,36	2,67		
Total Corrigido	107	921,31			

Tabela 3. Quadro de análise de variância para pH

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >F_c
Tempo	3	5.036,08	1.678,69	9,253	0,000
Lâmina	2	1.645,68	822,84	4,535	0,014
Taxa	2	1.098,82	549,41	3,028	0,055
Lâmina*Taxa	4	1.971,12	492,78	2,716	0,036
Tempo*Lâmina	6	3.043,53	507,25	2,796	0,017
Tempo*Taxa	6	919,24	153,21	0,844	0,540
Tempo*Lâmina*Taxa	12	2.706,67	225,56	1,243	0,272
Erro	72	13.062,79	181,43		
Total Corrigido	107	29.483,91			

Tabela 4. Quadro de análise de variância para NTK.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >F_c
Lâmina	2	93,12	46,56	3,217	0,064
Taxa	2	190,67	95,33	6,587	0,007
Lâmina*Taxa	4	294,93	73,73	5,095	0,006
Erro 1	18	260,50	14,47		
Tempo	3	887,05	295,68	25,701	0,000
Lâmina*Tempo	6	189,70	31,62	2,748	0,021
Taxa*Tempo	6	159,20	26,53	2,306	0,047
Lâmina*Taxa*Tempo	12	339,33	28,28	2,458	0,012
Erro2	54	621,26	11,50		
Total corrigido	107	3.035,74			

Tabela 5. Quadro de análise de variância para NO₃⁻.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >F_c
Lâmina	2	1.171,99	585,99	4,285	0,030
Taxa	2	609,20	304,60	2,227	0,137
Lâmina*Taxa	4	815,53	203,88	1,491	0,247
Erro 1	18	2.461,53	136,75		
Tempo	3	11.321,33	3.773,78	29,013	0,000
Lâmina*Tempo	6	2.453,07	408,85	3,143	0,010
Taxa*Tempo	6	983,43	163,91	1,260	0,291
Lâmina*Taxa*Tempo	12	1.282,81	106,90	0,822	
Erro2	54	7.023,91	130,07		
Total corrigido	107	28.122,82			

Tabela 6. Quadro de análise de variância para NO₂⁻.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >F_c
Lâmina	2	20,09	10,05	1,356	0,283
Taxa	2	18,90	9,45	1,276	0,303
Lâmina*Taxa	4	27,37	6,84	0,923	0,472
Erro 1	18	133,36	7,40		
Tempo	3	503,63	167,88	88,072	0,000
Lâmina*Tempo	6	39,03	6,65	3,413	0,006
Taxa*Tempo	6	13,99	2,33	1,223	0,309
Lâmina*Taxa*Tempo	12	25,53	2,13	1,116	0,367
Erro2	54	102,93	1,91		
Total corrigido	107	884,83			

Tabela 7. Quadro de análise de variância para P.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >Fc
Tempo	3	42,836	14,279	107,95	0,000
Lâmina	2	2,123	1,061	8,025	0,001
Taxa	2	0,109	0,055	0,413	0,663
Tempo*Lâmina	6	8,156	1,359	10,277	0,000
Tempo*Taxa	6	1,354	0,226	1,707	0,132
Lâmina*Taxa	12	0,742	0,185	1,402	0,242
Tempo*Lâmina*Taxa	4	2,003	0,167	1,262	0,260
Erro	72	9,524	0,132		
Total corrigido	107	66,848			

Tabela 8. Quadro de análise de variância para Cu.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >Fc
Tempo	3	0,0105	0,0035	47,709	0,000
Lâmina	2	0,0001	0,0000	0,949	0,392
Taxa	2	0,0006	0,0003	4,253	0,018
Tempo*Lâmina	6	0,0006	0,0001	1,304	0,267
Tempo*Taxa	6	0,0010	0,0002	2,228	0,050
Lâmina*Taxa	4	0,0008	0,0002	2,867	0,029
Tempo*Lâmina*Taxa	12	0,0014	0,0001	1,601	0,110
Erro	72	0,0053	0,0001		
Total corrigido	107				

Tabela 9. Quadro de análise de variância para Zn.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr >Fc
Tempo	3	0,796	0,265	15,529	0,000
Lâmina	2	0,576	0,288	16,841	0,000
Taxa	2	0,073	0,037	2,145	0,124
Tempo*Lâmina	6	0,084	0,014	0,821	0,558
Tempo*Taxa	6	0,228	0,038	2,220	0,051
Lâmina*Taxa	12	0,435	0,109	6,363	0,000
Tempo*Lâmina*Taxa	4	0,167	0,014	0,815	0,634
Erro	72	1,231	0,017		
Total corrigido	107	3,591			

ANEXO 2. Normas do periódico utilizado para elaboração dos artigos

Artigo 1 e 2 – Environmental Monitoring and Assessment.

Instructions for Authors - Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Title page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- [LaTeX macro package \(zip, 182 kB\)](#)

Headings

Please use the decimal system of headings with no more than three levels.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

References

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

- Journal article

Harris, M., Karper, E., Stacks, G., Hoffman, D., DeNiro, R., Cruz, P., et al. (2001). Writing labs and the Hollywood connection. *Journal of Film Writing*, 44(3), 213–245.

- Article by DOI

Slifka, M. K., & Whitton, J. L. (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *Journal of Molecular Medicine*, doi:10.1007/s001090000086

- Book

Calfee, R. C., & Valencia, R. R. (1991). *APA guide to preparing manuscripts for journal publication*. Washington, DC: American Psychological Association.

- Book chapter

O’Neil, J. M., & Egan, J. (1992). Men’s and women’s gender role journeys: Metaphor for healing, transition, and transformation. In B. R. Wainrib (Ed.), *Gender issues across the life cycle* (pp. 107–123). New York: Springer.

- Online document

Abou-Allaban, Y., Dell, M. L., Greenberg, W., Lomax, J., Peteet, J., Torres, M., & Cowell, V. (2006). Religious/spiritual commitments and psychiatric practice. Resource document. American Psychiatric Association. http://www.psych.org/edu/other_res/lib_archives/archives/200604.pdf. Accessed 25 June 2007.

Journal names and book titles should be italicized.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

- [EndNote style \(zip, 3 kB\)](#)

Tables

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.