

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

GUILHERME PEREIRA POLIDO

**ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMA PLANTIO DIRETO:
EFEITOS SOBRE ATRIBUTOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO
DO MILHO**

**ALEGRE – ES
2021**

GUILHERME PEREIRA POLIDO

ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMA PLANTIO DIRETO:
EFEITOS SOBRE ATRIBUTOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO
MILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

Coorientador: Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel

ALEGRE –ES

2021

GUILHERME PEREIRA POLIDO

ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMA PLANTIO DIRETO:
EFEITOS SOBRE ATRIBUTOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO
MILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 30 de abril de 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

Universidade Federal do Espírito Santo - Orientador



Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo - Membro 1



Prof. Dr. Mauricio Novaes Souza

Instituto Federal do Espírito Santo - Membro 2



Prof. Dr. Diego Lang Burak

Universidade Federal do Espírito Santo - Membro 3

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

- P766a Polido, Guilherme Pereira, 1994-
Água residuária de suinocultura e sistema plantio direto: efeitos sobre atributos do solo, desenvolvimento e nutrição do milho / Guilherme Pereira Polido. - 2021.
103 f. : il.
- Orientador: Renato Ribeiro Passos.
Coorientador: Otacílio José Passos Rangel.
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.
1. Ciência do Solo. 2. Fertilidade do solo. 3. Solos - Manejo. 4. Adubos e fertilizantes orgânicos. 5. Milho. 6. Produtividade agrícola. I. Passos, Renato Ribeiro. II. Rangel, Otacílio José Passos. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de tornar esse sonho realidade, sendo minha base nos momentos de dificuldade.

Dedico à minha família, em especial, aos meus pais Nilgésio e Magda e meu irmão Gustavo, por todo apoio emocional, espiritual e de todas as formas possíveis para que eu pudesse concluir mais essa etapa da minha vida.

À minha namorada Francielle, por todo o apoio e carinho durante esses últimos anos, sendo sempre gentil, paciente e atenciosa, dando-me todo apoio necessário para que tudo isso se tornasse possível.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFES, pela oportunidade de usufruir de um ensino de qualidade e, além disso, pela oportunidade de participar de um meio tão vasto e tão heterogêneo que é a universidade, local onde pude crescer pessoalmente e profissionalmente.

Ao Ifes – *Campus* Alegre, pela seção da área experimental e por todo apoio técnico durante o desenvolvimento do experimento.

Agradeço aos professores, Renato Ribeiro Passos e Otacílio José Passos Rangel, por todo suporte e conhecimento transmitido durante esses anos de curso, auxiliando diretamente no meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao Rafael N. Almeida, por sua grande contribuição no trabalho, auxiliando nas análises estatísticas.

Ao estudante de doutorado Rebyson B. Guidinelle, por toda ajuda prestada, auxiliando diretamente na condução do experimento e na elaboração da dissertação.

À CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, pela concessão de bolsa de auxílio aos estudos e à FAPES, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Agradeço a todos os amigos os quais tive a oportunidade de conhecer durante o curso e me auxiliaram na execução desta pesquisa, dentre eles uma menção especial a Yuri, Ramon, Dal Col, Thomaz, Danilo, Pedro, Alex, Amanda e Ronaldo.

À FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pelo auxílio financeiro para condução e realização do experimento por meio do processo Nº 76443264/16.

RESUMO GERAL

A água residuária de suinocultura (ARS) é gerada em grande quantidade nas granjas suínas, possuindo esse resíduo uma elevada carga orgânica que, se bem manejada, fornece água e nutrientes para as culturas e, ao associar seu uso a formas de manejo conservacionistas do solo, como o sistema plantio direto, pode ser uma alternativa sustentável para recuperação de áreas degradadas e manutenção da água e nutrientes no solo. Nesse sentido, este trabalho buscou evidenciar duas premissas: i) o estabelecimento de um sistema de manejo conservacionista em conjunto ao incremento de diferentes lâminas de água residuária de suinocultura proporcionam alterações nas propriedades químicas e físicas do solo e; ii) a utilização de irrigação com ARS em conjunto com o sistema plantio direto proporciona acréscimo no desenvolvimento e nutrição mineral do milho. Diante do proposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial do uso agrícola da ARS na irrigação da cultura do milho, cultivado em diferentes lâminas de irrigação e sistemas de manejo do solo, por meio dos parâmetros morfoagronômicos do milho, bem como sobre os atributos químicos e físicos do solo e sobre os teores foliares de macro e micronutrientes em trabalho desenvolvido a campo. O experimento foi constituído de dois sistemas de manejo do solo, sistema plantio convencional (SPC) e sistema plantio Direto (SPD), e cinco lâminas de irrigação com ARS (50%, 75%, 100%, 125%, e 150% da evapotranspiração real-ET_c da cultura do milho), possuindo três repetições e implantado no esquema fatorial 5x2 cultivado em faixas. O presente estudo, conduzido na área experimental do Ifes – *Campus* de Alegre, faz parte de um projeto iniciado no ano de 2017 onde já foram conduzidos dois ciclos de cultivo do milho. Os dados apresentados representam os resultados do terceiro ciclo de cultivo na mesma área experimental. Durante o ciclo de desenvolvimento do milho, foi realizada uma coleta das folhas no estágio de pendramento, para determinação dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn. A avaliação dos parâmetros morfoagronômicos do milho foi realizada quando as plantas estavam em estágio adequado para a silagem. Ao término do ciclo do milho, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm para posteriores análises químicas e físicas dos objetos em estudo. De modo geral, as lâminas de ARS proporcionaram as maiores médias significativas para os atributos químicos testados, observadas sob o manejo convencional do solo. A maioria dos atributos químicos apresentou alguma diferença entre as médias obtidas na comparação entre o SPC e SPD nas lâminas de ARS testadas. Contudo, na profundidade de 0 a 10 cm isso não ocorreu para o potássio, sódio, H+Al e COT; na profundidade de 10 a 20 cm não houve diferença nos valores de pH, Na, H+Al, Zn e COT; e na profundidade de 20 a 40 cm não houve diferença para pH, Na, Al, H+Al, Cu, Fe e COT que não foram influenciados por nenhum dos sistemas de manejo adotados. De modo geral, não houve diferença entre as médias obtidas para os atributos físicos analisados na comparação entre os sistemas de manejo e nas lâminas de ARS aplicadas nas diferentes profundidades investigadas. Os sistemas de manejo do solo não influenciaram os teores foliares dos nutrientes avaliados, com exceção do Ca que apresentou maiores teores em todas as lâminas de ARS no SPC. O peso de espiga na massa verde (PEMV) e a massa seca de planta (MSP) responderam linearmente ao incremento das lâminas de ARS, comprovando o efeito positivo da ARS no incremento da produção de material vegetal para produção de silagem, além de favorecer o aumento de AP, AIE, DC e MFP.

Palavras-chave: Resíduos de Suinocultura. Sistemas de Manejo do Solo. Fertilidade do Solo. Nutrição do Milho.

GENERAL ABSTRACT

Swine wastewater (ARS) is generated in large quantities on swine farms, and this residue has a high organic load that, if well managed, provides water and nutrients for crops and, by associating its use with conservationist forms of soil management, as the no-tillage system, can be a sustainable alternative for the recovery of degraded areas and maintenance of water and nutrients in the soil. In this sense, this work sought to highlight two premises: i) the establishment of a conservationist management system together with the increase of different depths of swine wastewater provide changes in the chemical and physical properties of the soil and; ii) the use of irrigation with ARS in conjunction with the no-tillage system provides an increase in the development and mineral nutrition of corn. In view of the proposed, the objective of this work was to evaluate the potential of the agricultural use of ARS in the irrigation of corn, cultivated in different irrigation depths and soil management systems, through the morphoagronomic parameters of corn, as well as on the attributes chemical and physical properties of the soil and on the foliar contents of macro and micronutrients in field work. The experiment consisted of two soil management systems, conventional tillage system (SPC) and no-tillage system (SPD), and five irrigation depths with ARS (50%, 75%, 100%, 125%, and 150% of the real evapotranspiration-ET_c of the maize crop), with three replications and implanted in a 5x2 factorial scheme cultivated in strips. The present study, conducted in the experimental area of Ifes - Campus de Alegre, is part of a project started in 2017 where two cycles of corn cultivation have already been conducted. The data presented represent the results of the third cropping cycle in the same experimental area. During the maize development cycle, leaves were collected at the tacking stage to determine the leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, Cu and Zn. The evaluation of the morphoagronomic parameters of corn was performed when the plants were at an appropriate stage for silage. At the end of the corn cycle, soil samples were collected in the 0-10, 10-20 and 20-40 cm layers for further chemical and physical analysis of the objects under study. In general, the ARS depths provided the highest significant means for the chemical attributes tested if observed under conventional soil management. Most chemical attributes showed some difference between the averages obtained in the comparison between SPC and SPD in the ARS slides tested. However, at 0 to 10 cm depth this did not occur for potassium, sodium, H+Al and TOC; at a depth of 10 to 20 cm there was no difference in the values of pH, Na, H+Al, Zn and TOC; and at a depth of 20 to 40 cm there was no difference for pH, Na, Al, H+Al, Cu, Fe and COT which were not influenced by any of the management systems adopted. In general, there was no difference between the averages obtained for the physical attributes analyzed in the comparison between the management systems and in the ARS blades applied at the different investigated depths. Soil management systems did not influence the foliar contents of the evaluated nutrients, with the exception of Ca, which showed the highest levels in all ARS depths in the SPC. Ear weight in green mass (PEMV) and plant dry mass (MSP) responded linearly to the increase in ARS blades, proving the positive effect of ARS in increasing the production of plant material for silage production, in addition to favoring the increase in AP, AIE, DC and MFP.

Keywords: Swine Residues, Soil Management Systems, Soil Fertility, Corn Nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 – Dados meteorológicos durante a condução do ciclo de cultivo do milho no ano de 2019	23
Figura 2 - Biodigestor anaeróbio e tanque impermeabilizado localizados próximos ao local de condução do experimento.....	25
Figura 3 - Irrigâmetro instalado próximo ao experimento	27
Figura 4 – Sistema plantio convencional e sistema plantio direto	28
Figura 5 - Foto aérea do local onde o experimento foi conduzido	29
Figura 6 – Mucuna-preta implantada no sistema plantio direto antes da condução do experimento.....	30
Figura 7 – Área experimental após o plantio do milho.....	31
Figura 8 - Representação do sistema de irrigação e disposição do experimento.....	32
Figura 9 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos químicos do solo (pH, P, K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , Al ⁺³ , H+Al, T, t, Fe ⁺² , Cu ⁺² e Zn ⁺² na profundidade de 0-10 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	39
Figura 10 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos químicos do solo (pH, P, K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , Al ⁺³ , H+Al, T, t, Fe ⁺² , Cu ⁺² e Zn ⁺² na profundidade de 10-20 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	46
Figura 11 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos químicos do solo (pH, P, K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , Al ⁺³ , H+Al, T, t, Fe ⁺² , Cu ⁺² e Zn ⁺² na profundidade de 20-40 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	53
Figura 12 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos físicos do solo: densidade do solo (Ds), resistência à penetração (RP) e velocidade de infiltração básica (VIB) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	58

Capítulo 2

Figura 1 – Dados meteorológicos durante a condução do ciclo de cultivo do milho no ano de 2019	70
Figura 2 - Biodigestor anaeróbio e tanque impermeabilizado localizados próximos ao local de condução do experimento.....	72
Figura 3 - Irrigâmetro instalado próximo ao experimento	74
Figura 4 – Sistema plantio convencional e Sistema plantio direto.....	75
Figura 5 - Foto aérea do local onde o experimento foi conduzido	76

Figura 6 – Mucuna-preta implantada no sistema plantio direto antes da condução do experimento.....	
Figura 7 – Área experimental após o plantio do milho.....	
Figura 8 - Representação do sistema de irrigação e disposição do experimento...	
Figura 9 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn no milho	85
Figura 10 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos parâmetros morfológicos da cultura do milho ao fim do ciclo de cultivo: altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), produtividade de espiga por planta (PEP), peso de espiga na massa verde (PEMV), massa fresca de planta (MFP) e massa seca de planta (MSP)	89

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 – Caracterização química do solo antes do primeiro ciclo de cultivo	24
Tabela 2 - Caracterização física do solo antes do primeiro ciclo de cultivo	24
Tabela 3 - Caracterização química da ARS utilizada no experimento	26
Tabela 4 - Volume de ARS utilizado e precipitação registrada no ciclo de cultivo do milho.....	32
Tabela 5 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos químicos do solo (pH, P, K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , Al ⁺³ , H+Al, T, t, Fe ⁺² , Cu ⁺² e Zn ⁺² na profundidade de 0-10 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	37
Tabela 6 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos químicos do solo (pH, P, K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , Al ⁺³ , H+Al, T, t, Fe ⁺² , Cu ⁺² e Zn ⁺² na profundidade de 10-20 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	43
Tabela 7 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos químicos do solo (pH, P, K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , Al ⁺³ , H+Al, T, t, Fe ⁺² , Cu ⁺² e Zn ⁺² na profundidade de 20-40 cm, ao fim do ciclo de cultivo do milho	51
Tabela 8 – Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos atributos físicos do solo: densidade do solo (Ds), resistência à penetração (RP) e velocidade de infiltração básica (VIB) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm , ao fim do ciclo de cultivo do milho	56

Capítulo 2

Tabela 1 – Caracterização química do solo antes do primeiro ciclo de cultivo	71
Tabela 2 - Caracterização física do solo antes do primeiro ciclo de cultivo	71
Tabela 3 - Caracterização química da ARS utilizada no experimento	73
Tabela 4 – Volume de ARS utilizado e precipitação registrada no ciclo de cultivo do milho.....	79
Tabela 5 - Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn do milho	81
Tabela 6 – Efeito das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD), nos parâmetros morfológicos da cultura do milho ao fim do ciclo de cultivo: altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), produtividade de espiga por planta (PEP), peso de espiga na massa verde (PEMV), massa fresca de planta (MFP) e massa seca de planta (MSP)	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	10	
2	REFERÊNCIAS	13	
CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO COM DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO CULTIVO DO MILHO.....			17
1	INTRODUÇÃO.....	19	
2	MATERIAL E MÉTODOS	21	
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33	
4	CONCLUSÕES.....	61	
5	REFERÊNCIAS	62	
CAPÍTULO 2 - DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO CULTIVADO EM LATOSSOLO E SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO			70
1	INTRODUÇÃO.....	72	
2	MATERIAL E MÉTODOS	74	
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85	
4	CONCLUSÕES	95	
5	REFERÊNCIAS.....	95	

1 INTRODUÇÃO GERAL

É amplamente conhecido que o aumento populacional fez com que a demanda por alimentos aumentasse muito nos últimos anos, exigindo ambientes agrícolas cada vez mais produtivos, necessários para suprir o aumento exponencial da demanda por alimentos. Entretanto, com a intensificação das práticas agropecuárias, tem-se elevado progressivamente o volume de resíduos gerados no processo, suscitando divergências entre o aumento da produção agrícola, o uso dos recursos naturais e os impactos ocasionados ao meio ambiente (LIMA et al., 2006; CARNEIRO et al., 2009; TILMAN et al., 2011).

No setor pecuário, a criação de suínos, *commodity* presente em diversas propriedades rurais do Brasil, apresenta destaque significativo, contribuindo com o aumento de empregos e renda para o país. Contudo, a atividade possui um grande gargalo ambiental proveniente do volume de resíduos gerados no processo de criação dos suínos. Esses resíduos, ao serem mal descartados, podem ocasionar contaminação do solo e dos cursos d'água, gerando, assim, grande desequilíbrio ambiental (DE LUCA et al., 2017). Nessa perspectiva, pesquisas vêm sendo realizadas à procura de soluções quanto ao destino correto desses resíduos (BOLZANI et al., 2012; LUCAS et al., 2013; HOMEN et al., 2014; ROSA et al., 2017).

A importância da suinocultura está diretamente atrelada à relevância da carne suína na cadeia alimentar, sendo a principal fonte de proteína animal do mundo, responsável por cerca de 43% do consumo mundial de carne, com representativas 110,9 milhões de toneladas de carne suína consumidas por ano, caracterizando-se como a carne mais consumida na atualidade. O Brasil é hoje o 4º maior produtor e exportador de carne suína, com uma produção de aproximadamente 3,98 milhões de toneladas e rebanho de cerca de 41 milhões de animais (ABPA, 2019; IBGE, 2020). Tratando-se do volume de resíduos gerados, Oliveira (1993) descreve que um suíno adulto gera, em média, cerca de 0,27m³ de dejetos por mês. Com base nessa informação, estima-se que a produção de resíduos totalize 140 milhões de m³/mês no Brasil e 730 mil m³/mês no Espírito Santo (EFFGEN, 2014).

O uso de dejetos suínos na agricultura é uma alternativa para a redução da poluição gerada pelo seu processo produtivo, disponibilizando água e nutrientes para as plantas, resultando em ganhos produtivos. Porém, seu uso necessita de ajustes na forma como esse resíduo é tratado e disponibilizado para as plantas. KOZEN (2006) descreve que o tratamento dos dejetos de suínos por meio de biodigestores anaeróbicos auxilia na redução da demanda química e bioquímica de oxigênio, fósforo, cobre e zinco, dando origem a um produto ambientalmente mais seguro. Os dejetos de suínos, quando tratados em biodigestores anaeróbicos, geram três subprodutos: o biogás, o biofertilizante sólido e a água residuária de suinocultura (ARS) (MACHADO et al., 2015).

A ARS é o principal subproduto gerado da biodigestão anaeróbia, pois se trata de um material resultante rico em macro e micronutrientes, como N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, além da matéria orgânica, contribuindo para melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (CABRAL et al., 2011). Entretanto, o uso indiscriminado e por longos períodos da ARS pode causar a contaminação do solo pelo excessivo aporte de nutrientes, com destaque para os metais pesados, principalmente Cu e Zn. Tal constatação indica a necessidade do monitoramento dos teores desses elementos, de forma que eles não ultrapassem o limite máximo permitido no solo (DIESEL, 2002). Dessa forma, de acordo com a Resolução do CONAMA (2009), os valores agrícolas máximos permitidos no solo para o Cu e Zn são de 200 e 450 mg kg⁻¹, respectivamente.

O uso da ARS de maneira inapropriada pode trazer não só acúmulo de metais pesados no solo, como também pode ocasionar problemas como salinização e impermeabilização do solo, desequilíbrio de nutrientes e contaminação dos lençóis freáticos (SEGANFREDO, 2000). Porém, se bem manejada, a ARS pode fornecer água e nutrientes para as plantas, além de contribuir com o acúmulo de matéria orgânica no solo, ao mesmo tempo em que reduz seu potencial poluidor (ERTHAL et al., 2010).

Dessa forma, alguns autores vêm realizando pesquisas com o intuito de avaliar o potencial de uso agrícola da ARS (FREITAS et al., 2004; CABRAL et al., 2011; BATISTA et al., 2017; TONIAZZO et al., 2018; GUIDINELLE, 2019), com grande parte dessas pesquisas comprovando que seu uso não só reduz o potencial poluidor e

fornece água e nutrientes para as plantas, como também reduz a demanda por insumos externos e aumenta a sustentabilidade do sistema produtivo.

O sistema plantio convencional (SPC), principal sistema de manejo dos ambientes agrícolas adotado atualmente, resulta em significativas mudanças ambientais, tais como: perda da biodiversidade, redução da cobertura vegetal, degradação do solo e contaminação da água (NEDER, 2014). A degradação se dá, principalmente, por conta do manejo inadequado do solo e da água, ocasionando em perda do potencial produtivo e aumento dos custos de produção (PIGNATARO NETTO et al., 2009). Dessa forma, o uso consciente do solo e da água é imprescindível para reverter os problemas relacionados à degradação, bem como estabelecer sistemas de cultivo sustentáveis (CARVALHO et al., 2007).

O manejo tem total influência sobre os atributos do solo. No SPC, o constante revolvimento do solo, a ausência de cobertura vegetal e a utilização frequente de fertilizantes minerais e defensivos agrícolas alteram fortemente a estrutura física do solo, reduzindo os teores de matéria orgânica e a atividade microbiana, ocorrendo o empobrecimento do solo com o decorrer dos anos (SIPILÄINEN et al., 2013). Na contramão do SPC, surgiu o sistema plantio direto (SPD) como uma alternativa para mitigar os processos de degradação dos solos agrícolas (LAMAS et al., 2016).

O SPD é caracterizado por três premissas básicas: rotação de culturas, não revolvimento do solo e presença constante de cobertura vegetal (ANDREOTTI et al., 2008). Em conjunto, essas premissas proporcionam redução da erosão hídrica, incremento do teor de matéria orgânica, aumento da atividade biológica do solo e maior estabilidade de agregados, caracterizando-se como uma forma de manejo sustentável (MELO JUNIOR et al., 2011). Diversos autores evidenciam que a adoção do SPD proporciona melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, em sucessão aos cultivos, minimizando os impactos gerados pelo manejo (OLIVEIRA et al., 2015; SANTOS et al., 2017; COLOMBO et al., 2017).

Uma cultura que se adaptou muito bem ao SPD foi o milho (CRUZ et al., 2006). Seu plantio, intercalado com a rotação de alguma leguminosa sem revolvimento do solo, favorece a deposição de resíduos vegetais ricos em nutrientes, proporcionando melhoria dos atributos químicos de uma forma geral, além de exercer papel físico

importante na regulação da temperatura do solo, manutenção da umidade, aumento da agregação e, principalmente, no combate à erosão (RODRIGUES et al., 2018). Autores como Lara et al. (2004); Carvalho et al. (2015) e Favarato et al. (2016) comprovam melhores resultados agronômicos para o milho quando cultivado no SPD.

Dessa forma, propõem-se duas hipóteses gerais: i) o estabelecimento de um sistema de manejo conservacionista em conjunto ao incremento de diferentes doses de ARS proporcionam alterações nas propriedades químicas e físicas do solo e a; ii) a utilização de irrigação com ARS em conjunto com o sistema plantio direto proporciona acréscimo no desenvolvimento e nutrição mineral do milho.

Exposta a temática da pesquisa, propõe-se o objetivo geral do trabalho: avaliar o efeito do uso de diferentes doses de ARS, associadas a dois sistemas de manejo do solo, nas alterações dos atributos químicos e físicos do solo e no desenvolvimento e nutrição mineral da cultura do milho.

2 REFERÊNCIAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2019.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2020.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, A. F. M.; MESQUITA, F. O. Desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da suinocultura. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 75-88, 2017.

BOLZANI, H. R.; OLIVEIRA, D. L. O.; LAUTENSCHLAGER, S. R. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura no solo e na qualidade dos seus lixiviados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 385-392, 2012.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 8, p. 823-832, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; DE SOUZA, E. D.; DOS REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; DE AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, A. J. A.; SOUZA, E. H.; MARQUES, C. T. S.; GAMA, E. V. S.; NACIF, P. G. S. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na Região de Amargosa, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 941-944, 2007.

CARVALHO, N. S.; OLIVEIRA, A. B. B.; PESSOA, M. M. C.; NETO, V. P. C.; SOUSA, R. S.; CUNHA, J. R.; COUTINHO, A. G.; SANTOS, V. M.; ARAUJO, A. S. F. Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 10, n. 43, p. 4076-4081, 2015.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; DE OLIVEIRA, L. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, v. 12, n. 1, p. 21-29, 2017.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 420/2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Data da legislação: 28/12/2009 - Publicação DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALUARENGAÊ, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho em sistema plantio direto. **Embrapa Milho e Sorgo - Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006.

DE LUCA, S. Q. J.; HUSSAR, G. J. Estudo da eficiência de um sistema de tratamento de efluentes líquidos de suinocultura. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 72-85, 2017.

DE OLIVEIRA, P. A. V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. **Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E)**, 1993.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. EMBRAPA-CNPSA/EMATER-RS, Boletim informativo, 31 p. v. 14. Concórdia. 2002.

EFFGEN, E. M. **Potássio no solo, na planta e produção de capim mombaça decorrente do uso de água residuária da suinocultura**. Tese (Doutorado em

Produção Vegetal) - Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2014.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; Pereira, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. D.; GUARCONI, R. C.; BALBINO, J. D. S. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 497-506, 2016.

FREITAS, W. D. S.; DE OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem produção do milho para silagem1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2004.

HOMEN, B. G. C.; NETO, O. B. A.; CONDE, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Pecuária – julho a setembro de 2020**. Disponível em:< ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202003caderno.pdf > Acesso em: 18 dez. 2020.

KONZEN, E. A. Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos. Sete Lagoas (MG): **Embrapa Milho e Sorgo**, 2006.

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B.; DE LA TORRE, E. D. J. R.; STAUT, L. A. Sistema plantio direto e convencional: efeito na produtividade de fibra de três cultivares de algodoeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2016.

LARA, W. A. R. C.; RODRIGUES, B. J. A.; URQUIAGA, S. S. C. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, 2004.

LIMA, M. A.; PESSOA, M. C. P. Y.; LIGO, M. A. V. **Emissões de metano da pecuária**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2006, 76p.

LUCAS, S. D.; SAMPAIO, S. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; GOMES, S. D.; KESSLER, N. C.; PRADO, N. V. Long-term behavior of Cu and Zn in soil and leachate of an intensive no-tillage system under swine wastewater and mineral fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 7, p. 639-647, 2013.

MACHADO, N. S.; SILVA, J. N.; OLIVEIRA, M. V. M.; COSTA, J. M.; BORGES, A. C. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbia de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 4, p. 344-356, 2015.

MELO JÚNIOR, H. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, 2011.

NEDER, H. D. Trabalho e Pobreza Rural no Brasil. In: **O Mundo rural no Brasil do século 21**: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília, DF: Embrapa, 2014.1182p.

OLIVEIRA, D.; DE LIMA, R. P.; VERBURG, J.; ERNST, E. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 280-285, 2015.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens e com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 1441-1448, 2009.

RODRIGUES, G. A.; SANTOS, G. O.; CARRASQUEIRA, A.; MACHADO, E. R.; ASSIRATI, E.; MACRI, R. C. V. Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 293-304, 2018.

ROSA, D. M.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, P. A. M.; REIS, R. R.; SBIZZARO, M. Fertilização do milho via água residuária de suinocultura e qualidade ambiental do sistema solo-água. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, 2017.

SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M., OLIVEIRA, M. P.; CALDAS, M. B.; ROQUE, C. G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2017.

SEGANFREDO, M. A. **Análises do risco de poluição do ambiente, quando se usa dejetos de suínos como adubo do solo**. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 3 p. (Comunicado Técnico, 268).

SIPILÄINEN, T.; HUHTAL, A. Opportunity costs of providing crop diversity in organic and conventional farming: would targeted environmental policies make economic sense? **European Review of Agricultural Economics**, v. 40, n. 3, p. 441-462, Aug. 2013.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

TONIAZZO, F.; RODRIGUES, A. C.; ROSA, M. M.; DA ROS, C. O.; BECEGATO, V. A.; LAVNITCKI, L.; HENKES, J. A.; CANTONI, F. Avaliação da liberação de CO₂ em solo com adição de águas residuárias suínícolas e impactos ambientais e sócias da suinocultura. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 253-274, 2018.

CAPÍTULO I

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO COM DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO CULTIVO DO MILHO

RESUMO

O uso da água residuária de suinocultura representa uma excelente alternativa para um melhor destino desse resíduo rico em macro e micronutrientes, além de elevada carga orgânica. Entretanto, seu descarte sem critério pode ocasionar problemas graves ao solo e aos cursos d'água, como salinização e aumentos dos teores de metais pesados. Apesar de apresentar riscos ao meio ambiente, esse resíduo possui elevado potencial na disponibilização de água e nutrientes para o solo e plantas, quando bem manejado. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água residuária de suinocultura (ARS), em conjunto com dois sistemas de manejo do solo, sobre os atributos químicos e físicos de um Latossolo, após três ciclos de cultivo do milho, sendo o terceiro ciclo objeto de estudo deste trabalho. O experimento foi realizado num esquema fatorial 5x2, sendo constituído por cinco lâminas de irrigação com ARS (50, 75, 100, 125 e 150% da ETC do milho) e dois sistemas de manejo do solo (sistema plantio convencional – SPC e sistema plantio direto – SPD). Após o fim do terceiro ciclo de cultivo, coletaram-se amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 cm para avaliação dos atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Na, Al, H + Al, T, t, Fe, Cu, Zn e COT) e físicos do solo (densidade do solo – Ds, resistência do solo à penetração – Rp e velocidade básica de infiltração - VIB). Não foi possível observar mudanças na maioria dos atributos químicos do solo em função dos sistemas de manejo (SPC e SPD); no entanto, os atributos químicos responderam ao incremento das lâminas de irrigação com ARS, nas três profundidades, em comparação com as testemunhas. Foi possível observar tendência de aumento, em função do acréscimo nas lâminas de irrigação com ARS, nos valores de P, K, Na, T e Fe, com os resultados mais nítidos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Não foram observados problemas relacionados ao excesso de Na no solo, apesar do aumento de seus teores com a aplicação da ARS. Quanto aos metais pesados (Cu e Zn), não houve grande incremento de seus teores para as três camadas avaliadas, mantendo-se abaixo do limite agrônômico máximo permitido pela legislação. Não houve influência dos sistemas de manejo e lâmina de irrigação com ARS sobre os atributos físicos do solo.

Palavras-chave: Dejetos Suínos, Sistema Plantio Direto, Fertilidade do Solo.

ABSTRACT

The use of swine wastewater represents an excellent alternative for a better destination of this residue rich in macro and micronutrients, in addition to high organic load. However, their uncritical disposal can cause serious problems to the soil and waterways, such as salinization and increases in heavy metal levels. Despite presenting risks to the environment, this residue has high potential in providing water and nutrients to the soil and plants, when well managed. Thus, the objective was to evaluate the effect of different irrigation depths with swine wastewater (ARS), together with two soil management systems, on the chemical and physical attributes of an Oxisol, after three cycles of corn cultivation, being the third cycle object of study of this work. The experiment was carried out in a 5x2 factorial scheme, consisting of five irrigation depths with ARS (50, 75, 100, 125 and 150% of corn ETc) and two soil management systems (conventional planting system - SPC and planting system direct - SPD). After the end of the third cultivation cycle, soil samples were collected in the layers of 0-10, 10-20, 20-40 cm to evaluate the chemical attributes (pH, P, K, Ca, Mg, Na, Al, H + Al, T, t, Fe, Cu, Zn and COT) and soil physics (soil density - Ds, soil penetration resistance - Rp and basic infiltration velocity - VIB). It was not possible to observe changes in most soil chemical attributes as a function of management systems (SPC and SPD); however, the chemical attributes responded to the increase of irrigation depths with ARS, in the three depths, in comparison with the controls. It was possible to observe an increasing trend, due to the increase in irrigation depths with ARS, in the values of P, K, Na, T and Fe, with the clearest results in the 0-10 and 10-20 cm layers. No problems related to excess Na in the soil were observed, despite the increase in its contents with the application of ARS. As for heavy metals (Cu and Zn), there was no great increase in their contents for the three evaluated layers, remaining below the maximum agronomic limit allowed by legislation. There was no influence of management systems and irrigation depth with ARS on the physical attributes of the soil.

Keywords: Swine Manure, No-Tillage System, Soil Fertility.

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura caracteriza-se como uma *commodity* de grande importância no cenário nacional e internacional, sendo atualmente a principal fonte de proteína animal consumida no mundo, representando 43% do consumo mundial de carne (ABPA, 2019). Porém, o aumento de produção também suscitou questionamentos acerca da necessidade de destinação adequada para o grande volume de dejetos sólidos e líquidos oriundos do processo de criação dos suínos (CIVARDI et al., 2014).

Os dejetos suínos, se manejados incorretamente, apresentam enorme potencial poluidor. Segundo Perdomo et al. (2003), seu descarte sem critérios técnicos pode ocasionar contaminação do lençol freático, acúmulo de elementos tóxicos nas plantas, desequilíbrio nutricional, salinização e impermeabilização do solo, bem como contaminação das plantas por meio de patógenos e parasitas presentes nos dejetos.

Uma forma de amenizar o potencial poluidor dos dejetos suínos é o tratamento desses resíduos em biodigestores anaeróbios, reduzindo sua carga orgânica, os sólidos totais e suspensos, bem como a concentração de macro e micronutrientes (KOZEN, 2006). A água residuária de suinocultura (ARS) é o principal subproduto gerado no processo de biodigestão, apresentando boa aplicabilidade no fornecimento de água e nutrientes para as culturas (CABRAL et al., 2011).

Os macro e micronutrientes (tais como N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Cu) são disponibilizados na forma mineral ou orgânica, necessitando, nesse caso, da mineralização para sua completa disponibilização às plantas (SMANHOTTO et al., 2010). Um bom planejamento quanto ao uso da ARS na agricultura não só fornece benefícios ao solo e às plantas, como também pode reduzir seu potencial poluidor (FONSECA et al., 2007).

Entretanto, Cavallet et al. (2006) descrevem que o correto uso da ARS na agricultura, de forma a minimizar os impactos ambientais negativos, necessita de monitoramento constante do solo e da ARS, uma vez que alguns de seus componentes (N, P, K, Na, Cu e Zn) estão presentes na ARS em concentrações capazes de causar desequilíbrio, caso aplicada de forma excessiva. Dentre os componentes descritos, o Cu e o Zn merecem cuidados especiais, pois em altas

concentrações podem contaminar o solo e causar toxidez às plantas. Segundo Resolução do CONAMA (2009), os valores agronômicos máximos permitidos para Cu e Zn no solo são, respectivamente, 200 e 450 mg kg⁻¹, ocasionando problemas de contaminação do solo quando acima desses valores.

Outro fator que assume grande importância sobre as condições ambientais dos sistemas agropecuários é o manejo do solo. O uso constante de máquinas agrícolas, irrigação, fertilizantes e agrotóxicos danificam a estrutura do solo, comprometem a sua cobertura vegetal e ocasionam redução do potencial produtivo dos ambientes agropecuários (RANGEL et al., 2008). Sistemas de manejo convencional têm sido associados a essa problemática constantemente (CHAVES et al., 2006; PEREIRA et al., 2015; DE LIMA et al., 2019).

Frente aos fatos, uma alternativa eficiente se refere à utilização do sistema plantio direto (SPD) (LAMAS et al., 2016). Esse sistema utiliza plantas de cobertura com elevado valor nutricional com o intuito de formar a palhada que será depositada sobre o solo, sendo importante na proteção física da superfície do solo, bem como pela ciclagem de nutrientes realizada por intermédio da mineralização da matéria orgânica presente no solo (TORRES et al., 2008). A implantação do SPD pode, após anos consecutivos de avaliação, proporcionar melhorias nos atributos físicos do solo, através do aumento da infiltração da água no solo, maior agregação de partículas e menor resistência à penetração do solo, bem como incremento na fertilidade do solo (CARVALHO et al., 2015).

Seu uso caracteriza-se como uma forma de manejo conservacionista do solo, uma vez que a ausência de revolvimento do solo, em conjunto com a rotação de culturas e manutenção da cobertura vegetal, promove melhores condições para que o ambiente produtivo seja sustentável. O SPD adiciona benefícios ao solo como a melhoria de sua agregação, a ciclagem de nutrientes (FREITAS et al., 2017), aumento da porosidade e da capacidade de manter-se úmido (ALVEZ et al., 2017). Costa et al. (2015) descrevem que o SPD contribui para redução do escoamento de água, solo e nutrientes pelo processo de erosão, uma vez que a cobertura vegetal promove melhor proteção, bem como a maior agregação do solo, proporcionando maior infiltração de água e menor escoamento superficial.

O uso do SPD demanda longo tempo de implantação para que possa proporcionar melhorias nos atributos do solo. Spera et al. (2009) descrevem que o uso constante do SPD proporciona melhorias em diversos atributos do solo, atuando, principalmente, no acúmulo de matéria orgânica em superfície, melhor aeração do solo, agregação de partículas, menor densidade do solo e redução da resistência do solo à penetração radicular.

Dessa forma, o uso da ARS para irrigação total ou parcial das culturas agrícolas pode ser uma alternativa para suprir a demanda de água e nutrientes, ao mesmo tempo em que reduz a pressão sobre os corpos hídricos (CUNHA, 2018). Seu uso em conjunto com o SPD apresenta grande potencial, pois devido às características de não revolvimento do solo, utilização da rotação de cultura e plantio sobre a palhada oferece ao solo condições para manutenção de sua umidade, ao mesmo tempo em que favorece a ciclagem de nutrientes e acúmulo de matéria orgânica (TORRES et al., 2008). Como consequência, os atributos químicos, físicos e biológicos são melhorados ao longo do tempo.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com diferentes lâminas de ARS, combinadas com dois sistemas de manejo do solo, nos atributos químicos e físicos do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – *Campus Alegre*, localizado em Rive, distrito do município de Alegre, coordenadas 20°44'05" a 20°45'51" latitude Sul e 41°25'50" a 41°29'44" longitude Oeste. O clima da região é do tipo "Cwa", segundo classificação de Köppen, apresentando verão quente e úmido e inverno frio e seco, com temperatura e precipitação média anual de 23,1°C e 1341 mm, respectivamente (LIMA et al., 2008).

Durante a condução do experimento, foi mensurada a precipitação diária com o auxílio de um pluviômetro instalado na área experimental. As temperaturas máximas e mínimas foram obtidas a partir de dados coletados pela estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, Alegre-A617, localizada no município de

Alegre, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo - CCAE-UFES (INMET, 2019) (Figura 1).

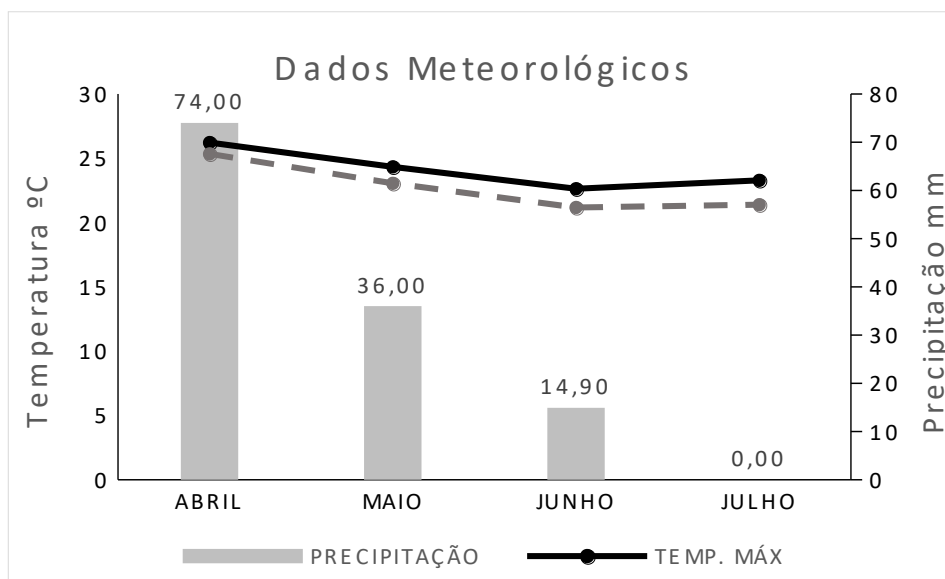


Figura 1 – Dados meteorológicos durante a condução do experimento no ano de 2019.

Fonte: INMET (2019).

A caracterização química e física do solo da área experimental foi realizada antes do primeiro ciclo de cultivo, no ano de 2017, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabelas 1 e 2). O solo do local foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média, apresentando histórico de manejo e uso caracterizado pelo preparo intensivo do solo, por intermédio da aração e gradagem e cultivo de olerícolas e culturas anuais por mais de 30 anos.

Tabela 1 – Caracterização química do solo antes do primeiro ciclo de cultivo

Atributos	Profundidades do solo (cm)		
	0-10	10-20	20-40
pH (H ₂ O)	5,86	5,94	5,98
NT (dag/kg)	0,338	0,329	0,288
P (mg/dm ³)	34,1	30,35	24,63
K (mg/dm ³)	61,67	60,67	48,67
Na (mg/dm ³)	4,17	4,0	3,33
Ca (cmol _c /dm ³)	2,15	2,33	2,30
Mg (cmol _c /dm ³)	0,57	0,56	0,56
Al (cmol _c /dm ³)	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmol _c /dm ³)	3,52	3,29	2,64
SB (cmol _c /dm ³)	2,89	3,12	3,01
t (cmol _c /dm ³)	2,89	3,12	3,01
T (cmol _c /dm ³)	6,41	6,36	5,64
V (%)	44,96	48,22	53,35
m (%)	0,00	0,00	0,00
Fe (mg/dm ³)	104,90	98,80	86,43
Cu (mg/dm ³)	0,5	0,5	0,5
Zn (mg/dm ³)	15,6	14,50	8,61

Fonte: Guidinelle (2019).

pH: Potencial Hidrogeniônico; NT: Nitrogênio Total; P: Fósforo; K: Potássio; Na: Sódio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Al: Acidez trocável; H + Al: Acidez Potencial; SB: Soma de Bases; t: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V: Índice de Saturação por Bases; m: Índice de Saturação por Alumínio.

Tabela 2 - Caracterização física do solo antes do primeiro ciclo de cultivo

Atributos	Profundidades do solo (cm)		
	0-10	10-20	20-40
Ds (kg/dm ³)	1,63	1,74	1,76
RP (MPa)	1,62	2,75	6,24
	Textura do solo (%)		
Areia Total (%)	63	62	57
Silte (%)	10	10	10
Argila (%)	27	28	33
VIB (mm/h ¹)	28,0		

Fonte: Guidinelle (2019).

Ds: Densidade do solo; RP: Resistência a penetração, e; VIB: Velocidade de infiltração básica, 1/Superfície do solo.

Para a irrigação do experimento, utilizou-se água residuária de suinocultura (ARS) oriunda do setor de suinocultura do Ifes - *Campus Alegre*. A ARS foi obtida por meio do processo de digestão anaeróbia em biodigestor instalado no setor. O setor possui capacidade para abrigar 40 matrizes em produção e mais 10 para reposição, não atingindo valores máximos de lotação, apresentando em média 32 fêmeas nas baias de gestação, 8 na maternidade e cada fêmea tendo, em média, 10 leitões. Ainda são abrigados 3 machos para reprodução, entre 150 a 250 animais na creche e 250 a 300 animais no setor de crescimento/terminação. O número médio de suínos oscila

entre 523 a 673 animais, com produção diária de dejetos estimada em 3,1 m³, conforme metodologia proposta por Oliveira (1993).

Antes de chegar ao biodigestor, é feito o tratamento preliminar dos resíduos (fezes, urina e água) para filtragem das partes mais grosseiras e da gordura presente no resíduo. Feito isso, o resíduo é depositado no biodigestor, onde ocorre a digestão anaeróbica. O produto líquido resultante é a ARS, que fica armazenada em um tanque impermeabilizado, de onde é bombeada para irrigação. O biodigestor e o tanque impermeabilizado possuem capacidade máxima de armazenamento de 300 m³ e 250 m³, respectivamente. O biodigestor é utilizado a 60-70% de sua máxima capacidade.



Figura 2 - Biodigestor anaeróbio e tanque impermeabilizado localizados próximos ao local de condução do experimento.

Fonte: Autor.

A ARS armazenada no tanque impermeabilizado foi amostrada e enviada para caracterização química (Tabela 3) no Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas – Fullin, em Linhares - ES.

Tabela 3 - Caracterização química da ARS utilizada no experimento

Parâmetro Analisado	Unidade	Valores
Condutividade Elétrica (C.E.)	ds/m	5,16
pH	-	7,85
Razão de adsorção Sódio (RAS)	-	1,6
Ferro (Fe)	mg/L	0,52
Sódio (Na)	mg/L	50,0
Cloro (Cl)	mg/L	< 0,15
Zinco (Zn)	mg/L	0,11
Cobre (Cu)	mg/L	< 0,05
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	< 5
Fósforo (PO ₄ ³⁻)	mg/L	61,87
Potássio (K)	mg/L	210,0
Cálcio (Ca)	mg/L	54,40
Magnésio (Mg)	mg/L	12,00
Boro (B)	mg/L	0,42
Manganês (Mn)	mg/L	0,25
Nitrogênio (N) (NO ₃ ⁻)	mg/L	2,3
Nitrogênio (N) (NH ₄ ⁺)	mg/L	511,0

*<Limite de Quantificação.

Fonte: Guidinelle (2019).

O cálculo do volume de ARS a ser utilizada na irrigação foi efetuado a partir de um equipamento denominado irrigômetro (Figura 3). Esse equipamento foi construído pela empresa Irrigacerto Irrigação Ltda., com base na cultura a ser trabalhada (milho), nas características do solo da área experimental e do sistema de irrigação. O irrigômetro é um equipamento preciso e de fácil manuseio, que tem se mostrado eficiente para determinação da evapotranspiração, indicando o momento e o tempo correto de irrigação (OLIVEIRA; RAMOS, 2008).

As leituras da evapotranspiração foram realizadas a cada 24h, avaliando-se assim a necessidade de irrigação em cada fase de desenvolvimento da cultura. Durante a condução do experimento, a pluviosidade foi monitorada com o auxílio de um pluviômetro acoplado ao irrigômetro. Nos dias em que houve precipitação, descontou-se da lâmina de irrigação o volume de chuva. Nos casos em que o volume de chuvas em 24 horas foi superior à evapotranspiração da cultura, não foi realizado o manejo de irrigação.

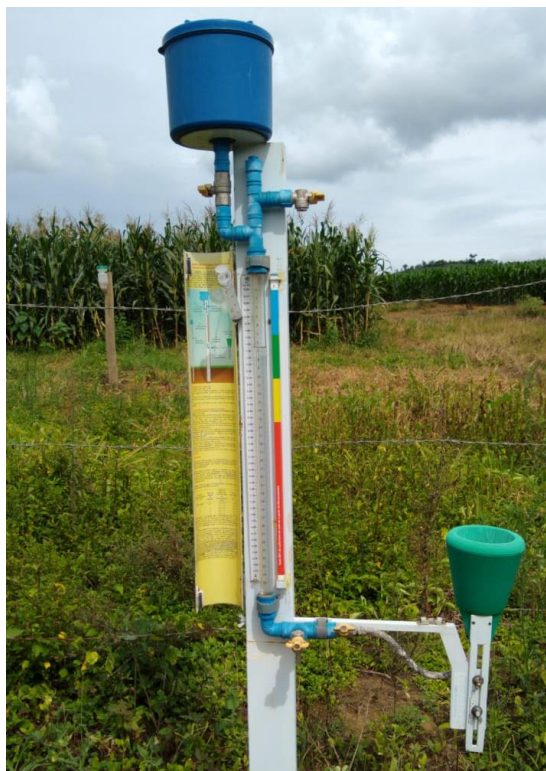


Figura 3 - Irrigâmetro instalado próximo ao experimento.

Fonte: Autor.

Devido a complicações técnicas e operacionais na instalação e casualização do sistema de irrigação, o experimento foi implantado no esquema em faixas, seguindo método proposto por DUARTE (1996). Sua utilização garante que as diferentes lâminas de irrigação e os métodos de manejo do solo permaneçam em linhas contínuas, facilitando o manejo do experimento.

O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial 5 x 2, sendo composto por cinco (5) lâminas de irrigação com ARS ($L_1=50\%$, $L_2=75\%$, $L_3=100\%$, $L_4=125\%$, $L_5=150\%$ da ETc), onde a lâmina L_3 é mensurada partir de leitura no irrigâmetro e as demais lâminas foram obtidas a partir de regra de três simples; e dois (2) sistemas de manejo (sistema plantio convencional – SPC e sistema plantio direto – SPD) (Figura 4), com 3 repetições, obtendo-se um total de 30 parcelas experimentais. Adicionalmente, foram implantadas duas parcelas testemunha (uma para cada sistema de manejo), irrigadas com água “bruta” na lâmina de 100% da ETc. Cada parcela experimental possui dimensão de 10 x 10m (100 m²).



Figura 4 – Sistema plantio convencional e sistema plantio direto.

Fonte: Autor.

O atual experimento seguiu o mesmo planejamento dos dois ciclos anteriores de cultivo do milho, realizados na mesma área experimental e respeitando as mesmas demarcações dos ciclos anteriores no local, de forma a se avaliar o efeito acumulado das lâminas de irrigação e dos sistemas de manejo do solo ao longo do tempo, sendo realizados até então três ciclos de cultivo (Figura 5).

O 1º ciclo de cultivo foi conduzido no período de 02/01/2018 a 07/04/2018 e o 2º ciclo de 13/04/18 a 21/07/2018. O terceiro ciclo de cultivo do milho, objeto desta pesquisa, foi conduzido no período de 04/04/2019 a 07/07/2019, totalizando 96 dias de cultivo para cada um dos ciclos.



Figura 5 - Foto aérea do local onde o experimento foi conduzido.

Fonte: Autor/ Adaptado do Google Maps.

Com as parcelas experimentais demarcadas, realizou-se a implantação dos sistemas de manejo do solo. Nas parcelas sob SPC, o solo foi arado uma vez e gradeado duas vezes antes do plantio do milho. Já nas parcelas onde o sistema de manejo adotado foi o SPD, realizou-se, cerca de 4 meses antes do plantio do milho, o plantio da leguminosa mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) (Figura 6).



Figura 6 – Mucuna-preta implantada nas parcelas sob SPD antes do plantio do milho.

Fonte: Autor.

Antes do plantio, foi feita a quebra de dormência das sementes da leguminosa, imergindo as mesmas em água durante o período de, aproximadamente, 24 horas. Feito isso, realizou-se a semeadura seguindo o espaçamento de 0,5 m entre linhas, profundidade de plantio de 2 a 3 cm e a deposição de 4 sementes por metro (WUTKE et al., 2014), com semeadura manual. Não houve adubação da leguminosa e a irrigação foi realizada com água bruta. Ao atingir o estágio de florescimento, realizou-se o corte da leguminosa, depositando os resíduos sobre o solo. Duas semanas após o corte da leguminosa, realizou-se o plantio do milho sobre os resíduos culturais. No SPD não houve aração e gradagem, sendo o solo alterado apenas na linha de semeadura.

Utilizou-se um milho híbrido indicado para a região e apto para silagem, com percentual de germinação de 85%. A semeadura ocorreu no espaçamento de 0,8 x 0,2 m, com o auxílio de uma semeadora-adubadora projetada para plantio direto, com autonomia de 4 linhas de plantio e 5 cm de profundidade para a deposição das sementes, apresentando estande de 5 plantas por metro linear (62.500 plantas/ha). Cada parcela experimental recebeu 12 linhas de plantio, com 10 metros de comprimento cada. Utilizaram-se os dados da caracterização química do solo anterior à instalação do experimento (Tabela 1) para recomendação de adubação, calculada de acordo com o manual de adubação e calagem do Espírito Santo (PREZOTI et al., 2007). Não foi necessário o uso de calcário no solo.

Para a adubação de plantio, aplicou-se 15 kg/ha de ureia, 145 kg/ha de superfosfato simples e 32 kg/ha de cloreto de potássio. A adubação de cobertura foi dividida em duas aplicações, onde, foram aplicados 145 kg/ha de ureia e 32 kg/ha de cloreto de potássio na primeira adubação e, 145 kg/ha de ureia na segunda adubação. Como utilizou-se a análise de solo anterior ao primeiro ciclo de cultivo (Tabela 1), a adubação de plantio e cobertura do experimento foi semelhante aos dois ciclos de cultivo anteriores ao atual, desconsiderando assim o efeito residual dos ciclos anteriores. Durante à condução do experimento, foram feitas capinas e roçadas semimecanizadas, de acordo com a necessidade, para o controle das plantas espontâneas. Não foram utilizados agrotóxicos na condução do experimento.



Figura 7 – Área experimental após o plantio do milho.

Fonte: Autor.

Após o preparo da área e o plantio do milho, realizou-se a implementação do sistema de irrigação. O sistema utilizado foi o de aspersão convencional semifixo, instalado no meio de cada parcela experimental. O sistema consiste de um conjunto motobomba instalado ao lado do tanque impermeabilizado de ARS, no setor de suinocultura do Ifes – *Campus Alegre*, com distância aproximada de 150 m da área experimental, com linha principal em aclave passando entre as parcelas de SPC e SPD. A partir da linha principal foram instaladas dez linhas laterais, cinco de cada lado da linha principal, onde em cada par de linhas laterais aplicou-se uma das lâminas de irrigação pré-determinadas. Cada par de linhas de irrigação recebeu 6 aspersores de impacto do tipo miniaspensor pingo giro completo, com saída de 3,2 x 2,4 mm cada, representando um aspensor para cada parcela experimental (Figura 8).

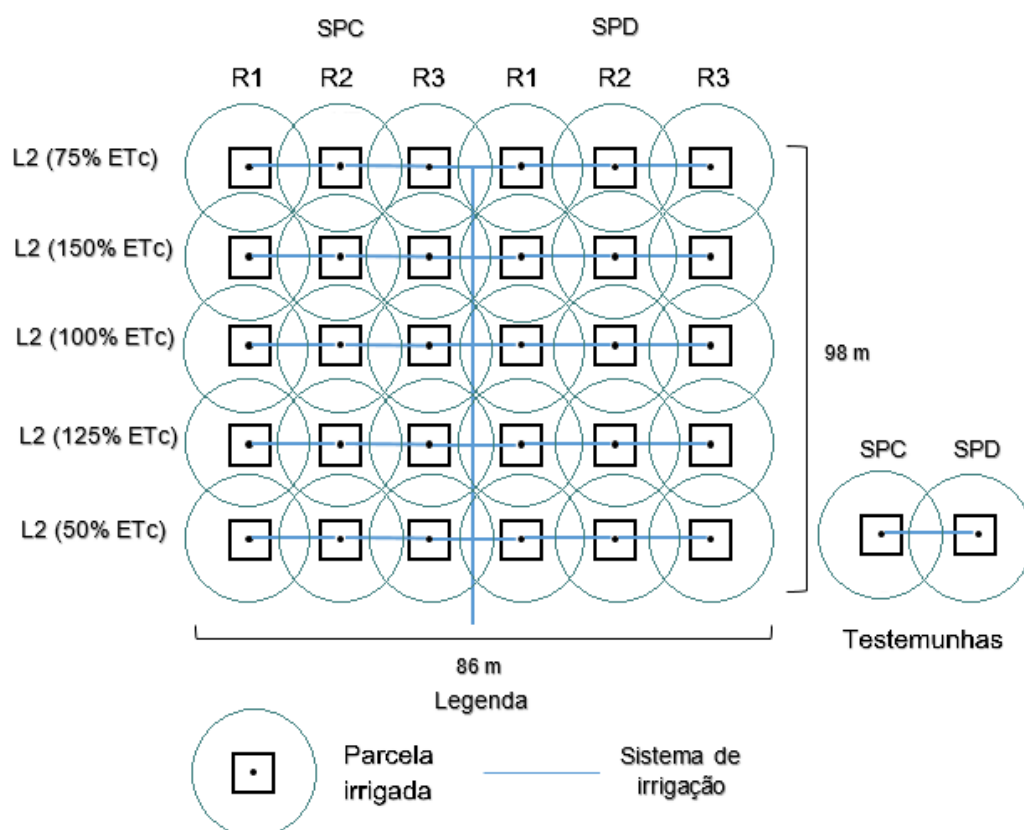


Figura 8 - Representação do sistema de irrigação e sua disposição no experimento.

Fonte: Autor.

A irrigação do milho com ARS ocorreu a partir do dia 26/04/2019, realizada até dois dias antes do encerramento do terceiro ciclo de cultivo. Como descrito anteriormente, cada linha de cultivo recebeu uma lâmina de irrigação. O volume de irrigação com ARS variou de acordo com a fase de desenvolvimento do milho, sendo acompanhadas por uma régua de desenvolvimento do milho acoplada ao irrigômetro. Dessa forma, ao fim do experimento, obtiveram-se os seguintes volumes de ARS utilizados na irrigação e precipitação (Tabela 4).

Tabela 4 - Volume de ARS e precipitação registrada no terceiro ciclo de cultivo do milho

Lâminas (%)	mm	m ³ /ha
50	77,62	776,20
75	116,47	1164,70
100	155,30	1553,00
125	194,11	1941,10
150	232,95	2329,50
Precipitação*	124,90 mm	

Fonte: Autor (2019).

*Precipitação obtida a partir de um pluviômetro instalado na área experimental, referente ao período de condução do ciclo de plantio do milho.

Ao término do ciclo do milho, coletaram-se amostras de solo em cada uma das parcelas experimentais nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. A amostragem foi feita ao acaso, nas linhas centrais do plantio do milho em cada parcela. Foram coletadas 10 amostras simples em cada parcela, originando uma amostra composta. Em cada uma das amostras compostas foram avaliados os seguintes atributos químicos do solo: pH em água, P, K, Ca, Mg, Na, Al, H + Al, T, t, Fe, Cu, Zn e carbono orgânico total (COT) (TEIXEIRA et al., 2017).

Além das análises químicas, realizaram-se as avaliações da densidade do solo (Ds), pelo método do anel volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017), da resistência do solo à penetração (RP) (STOLF, 1991), além da velocidade de infiltração básica (VIB) da água no solo (BERNARDO et al., 2006).

As análises estatísticas foram feitas considerando as profundidades do solo como fatores independentes, uma vez que, como se trata de um experimento a campo, existe grande variabilidade dos atributos do solo relacionados, principalmente, ao fluxo de água e sua distribuição, condicionando interferência no movimento das bases trocáveis no solo. As parcelas testemunhas de SPC e SPD e irrigadas somente com água bruta na lâmina de 100% da ETc estão presentes somente para efeito de comparação com os demais tratamentos, não estando presentes no desenho experimental.

Foi realizada análise de variância dos dados, avaliando a interação entre as lâminas de irrigação com ARS e os sistemas de manejo do solo, além dos efeitos isolados dos fatores descritos. Quando a interação entre os fatores foi significativa,

fez-se o desdobramento das lâminas de irrigação com ARS dentro de cada sistema de manejo do solo, através da análise de regressão dos dados. O modelo estatístico que melhor se ajustou para cada uma das variáveis foi determinado pelo grau de significância e coeficiente de determinação da regressão. A análise da influência dos sistemas de manejo em cada lâmina de irrigação com ARS foi feita pelo teste F. Nas variáveis em que não se observou interação significativa entre as lâminas de irrigação e os sistemas de manejo, os efeitos foram analisados de forma isolada. Utilizou-se o programa estatístico R para a realização das análises estatísticas (TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas análises estatísticas da interação dupla entre as diferentes lâminas de irrigação com ARS e os sistemas de manejo para os atributos químicos do solo (pH, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al⁺³, H + Al, T, t, Fe⁺², Cu⁺², Zn⁺² e COT), nas três profundidades de amostragem do solo (0-10, 10-20, 20-40 cm).

A interação fatorial entre lâminas de irrigação e sistemas de manejo foi significativa ($p < 0,05$) na profundidade de 0 a 10 cm, sendo os dados mostrados na Tabela 5 e na Figura 9. Observando-se a Tabela 5, nota-se que as diferenças significativas ocorreram para as diferentes variáveis analisadas, apresentado o SPC as maiores médias obtidas, exceto para o K⁺, Na⁺, H + Al, e COT, onde não houve diferença significativa entre os tratamentos testados.

A variável pH apresentou as maiores médias nas lâminas 100%, 125% e 150% de irrigação com ARS no SPC na profundidade de 0 a 10 cm, indicando que o fato da água residuária de suinocultura apresentar pH de 7,85 não foi capaz de influenciar o pH do solo no SPD (Tabela 5). Dessa forma, pode-se supor que o trato convencional do solo foi o fator que contribuiu para o aumento no nível de pH do solo comparativamente ao SPD. Nesse sentido, Meurer et al. (2012) afirmam que o SPD pode promover a redução do pH do solo por permitir o acúmulo de resíduos de plantas na superfície do solo. Soratto et al. (2008) relatam que ambientes que adotaram a pouco tempo o SPD podem apresentar valores mais baixos de pH nas camadas

superficiais do solo. Outra hipótese para os valores mais baixos de pH na camada de 0-10 cm do SPD é o plantio da mucuna-preta, na qual foi realizado o corte e a deposição dos resíduos sobre o solo dias antes do plantio do milho. Tais resíduos liberam H^+ durante o processo de decomposição e auxiliam na redução do pH do solo (CIOTTA et al., 2002).

Quanto à variável fósforo no solo, o resultado encontrado pode estar associado à maior disponibilidade do P no sistema convencional comparativamente ao SPD na profundidade de 0 a 10 cm, supondo-se que isso tenha ocorrido devido a uma maior adsorção desse nutriente no solo sob plantio direto (Tabela 5). Contudo, o resultado obtido não era esperado, uma vez que os níveis de fósforo em SPD normalmente apresentam-se maiores quando comparados ao SPC, devido ao acúmulo de P orgânico e/ou inorgânico nesse sistema (TIECHER et al., 2012; NUNES, 2014; RODRIGUES et al., 2016). Dessa forma, pode-se supor que o baixo teor de P no SPD deve-se à falta de estabilização desse sistema.

Quanto à variável K^+ , observou-se a falta de diferença entre as médias obtidas, tanto entre os sistemas de manejo como nos níveis de ARS aplicados na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 5). Esse resultado pode refletir a ausência de estabilização do SPD, já que o K^+ é um dos nutrientes mais ciclados no plantio direto, fato que poderia ocasionar uma diferença significativa entre os tratamentos em estudo (MIELNICZUK, 2005).

Os resultados obtidos para as variáveis Ca^{+2} e Mg^{+2} , na profundidade de 0-10 cm, podem estar associadas ao fato de, embora não tenha sido necessário o uso do calcário para correção da acidez do solo para a implantação da cultura, no SPC houve revolvimento do solo e isso pode ter favorecido os níveis dos atributos Ca^{+2} e Mg^{+2} . Quando o solo é revolvido, há uma melhor distribuição do Ca^{+2} e Mg^{+2} presente no corretivo, fato que não ocorre no SPD (Tabela 5).

Um elemento importante de ser avaliado em locais com aplicações constantes de ARS é o Na. De acordo com Bernardes (2017) e Vivian et al., (2010), a presença de Na^+ na constituição da ARS apresenta potencial de salinização do solo. Isso se deve por conta que o sódio é utilizado como palatabilizante nas rações de suínos que posteriormente são eliminados nas fezes desses animais (MEURER et al., 2012).

O excesso desse elemento no solo pode vir a causar problemas de salinização do solo, causando a dispersão dos coloides e a redução dos macroporos, influenciando diretamente na qualidade física do solo (SILVA, 2018). Porém, segundo Souza et al. (2010), apesar de a ARS apresentar alto potencial de salinização, a adubação química no solo promove maiores níveis de salinidade do que a aplicação de águas residuárias da suinocultura.

Com o aumento do Na no solo, ocorre um desequilíbrio com outros cátions, principalmente o Ca e Mg. O Na pode substituir esses íons no solo, ocasionando a dispersão dos agregados, tornando o solo adensado e compactado em condições secas e disperso e pegajoso em condições úmidas. Por outro lado, o acúmulo de sais solúveis (Ca e Mg) no solo aumenta sua floculação, a permeabilidade e a friabilidade (DIAS et al., 2010). Geralmente, as alterações na estrutura dos solos ocorrem quando a Porcentagem de Sódio Trocável (PST) é maior que 15% (RIBEIRO et al., 2010).

Dessa forma, para a profundidade de 0-10 cm (Tabela 5), não foi possível observar influência dos sistemas de manejo do solo nos teores de Na^+ . Porém, verificou-se um incremento nos teores de Na^+ no solo ao se compararem as parcelas testemunhas com as parcelas irrigadas com ARS. Os resultados corroboram com trabalho realizado por Queiroz et al. (2004), que também relataram aumentos nos teores de Na^+ em função das lâminas de ARS aplicadas. Apesar do aumento nos teores Na^+ em todas as parcelas irrigadas com ARS, tais valores não foram suficientes para ocasionar problemas de salinidade, apresentando valores de PST bem abaixo dos 15%, preconizado como prejudicial para estrutura do solo, descrito por Ribeiro et al. (2010).

Os resultados obtidos para Al^{+3} e H+Al , na profundidade de 0 a 10 cm, expressam que, independentemente dos níveis de ARS aplicados via irrigação ou do sistema de cultivo, seus teores não foram influenciados por estes fatores, exceto para o alumínio em 150% de ARS no SPD (Tabela 5). Tal fato pode ser explicado pelos baixos valores de pH e o decréscimo de seus valores em função da lâmina de ARS aplicada, encontrados na camada de 0-10 cm do SPD, uma vez que os teores de Al^{3+} no solo são fortemente influenciados pelo pH do solo.

Observa-se na Tabela 5 que a CTC potencial (T) na profundidade de 0 a 10 cm apresentou o mesmo comportamento para os diferentes sistemas de manejo e níveis de lâmina de irrigação com ARS, sendo as maiores médias obtidas no SPC em todos os níveis de ARS. Esse comportamento era esperado uma vez que o mesmo ocorreu para os componentes isolados que compõem a CTC. Por sua vez, as médias do parâmetro CTC efetiva (t) foram maiores para o SPC nas lâminas 75%, 100% e 150% de ARS. Pereira Junior (2016), em trabalho com diferentes doses de ARS, encontrou a mesma tendência da T e t, com respostas lineares em seus valores à medida que se aumentaram as doses de ARS aplicadas.

Quanto aos micronutrientes na profundidade de 0 a 10 cm, verificou-se que o Cu^{2+} apresentou as maiores médias no SPC para todas as lâminas de irrigação com ARS estudadas. Já para os teores de Fe^{2+} e Zn^{2+} , não houve diferença entre as médias obtidas na interação entre os sistemas de manejo e as lâminas de irrigação, exceto em 75% e 100% de ARS no SPC, e 125% e 150% de ARS no SPD, que apresentaram médias significativamente menores (Tabela 5). Esses resultados se aproximam dos resultados obtidos por Freitas et al. (2005), que ao avaliarem a influência do uso da ARS no solo, encontraram resultados semelhantes aos do presente trabalho, afirmando que a ARS proporcionou incrementos nos teores de Cu^{2+} e Zn^{2+} do solo, porém, com concentrações abaixo dos teores máximos permitidos pela CONAMA (2009). Apesar de não extrapolar o limite máximo permitido, os teores de Cu^{2+} e Zn^{2+} foram classificados como altos, de acordo com classificação descrita por Prezotti et al. (2007), independente das lâminas de irrigação com ARS, sistemas de manejo e profundidade avaliadas.

As análises dos teores de COT na profundidade de 0 a 10 cm revelaram não haver diferença entre as médias obtidas para os fatores sistemas de manejo e lâminas de irrigação com ARS (Tabela 5). Esse resultado pode indicar que o SPD não havia atingido a sua estabilidade na época da coleta das amostras de solo, uma vez que esse resultado não era esperado, mas sim, a obtenção de maiores médias estatisticamente significativas no SPD. Nesse sentido, Muniz et al. (2014) afirmam que a incorporação da palhada ao solo no sistema convencional de manejo por meio da aração e gradagem, ao invés da incorporação lenta como ocorre no sistema plantio

direto, ocasiona uma rápida oxidação do carbono orgânico, resultando numa redução dos resíduos culturais e deste carbono.

Tabela 5 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos químicos do solo (pH, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al⁺³, H +Al, T, t, Fe⁺², Cu⁺², Zn⁺² e COT), na profundidade de 0-10 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho

Sistemas de Manejo	Lâminas de irrigação com ARS					
	Test. ^{1/}	50%	75%	100%	125%	150%
	pH (H ₂ O)					
SPC	4,85	5,11 a	5,24 a	5,22 a	5,00 a	5,56 a
SPD	4,91	5,17 a	5,36 a	4,92 b	4,84 b	4,90 b
	P (mg/dm ³)					
SPC	25,77	29,70 a	47,68 a	70,45 a	82,50 a	85,56 a
SPD	28,37	31,23 a	42,95 a	49,47 b	46,54 b	74,71 a
	K ⁺ (mg/dm ³)					
SPC	15,60	76,70 a	63,79 a	109,29 a	117,52 a	123,76 a
SPD	14,30	70,20 a	61,27 a	88,40 a	154,18 a	106,08 a
	Ca ⁺² (cmol _c /dm ³)					
SPC	1,77	2,23 a	2,51 a	1,99 a	1,90 a	2,56 a
SPD	1,63	1,87 a	1,30 b	1,44 b	2,28 a	1,90 b
	Mg ⁺² (cmol _c /dm ³)					
SPC	0,53	0,59 a	0,71 a	0,57 a	0,62 a	0,79 a
SPD	0,54	0,63 a	0,62 b	0,53 b	0,57 b	0,61 b
	Na ⁺ (mg/dm ³)					
SPC	0,00	6,30 a	5,52 a	7,68 a	9,47 a	8,60 a
SPD	0,00	4,45 a	7,92 a	6,68 a	8,73 a	7,65 a
	Al ⁺³ (cmol _c /dm ³)					
SPC	0,12	0,07 a	0,03 a	0,08 a	0,15 a	0,00 b
SPD	0,09	0,06 a	0,02 a	0,13 a	0,15 a	0,24 a
	H+Al (cmol _c /dm ³)					
SPC	2,26	3,49 a	2,64 a	3,55 a	3,82 a	3,03 a
SPD	2,11	3,05 a	3,22 a	3,69 a	3,77 a	3,74 a
	T (cmol _c /dm ³)					
SPC	4,60	6,53 a	6,05 a	6,43 a	6,69 a	6,72 a
SPD	4,31	5,75 b	5,33 b	5,91 b	7,05 a	6,56 b
	t (cmol _c /dm ³)					
SPC	2,41	3,11 a	3,45 a	2,96 a	3,01 a	3,70 a
SPD	2,29	2,76 a	2,14 b	2,35 b	3,44 a	3,06 b
	Cu ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	1,22	3,53 a	3,56 a	3,55 a	3,45 a	3,82 a
SPD	1,14	2,69 b	2,37 b	3,05 b	2,93 b	3,03 b
	Fe ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	93,48	147,58 a	142,69 b	142,17 b	175,69 a	170,61 a
SPD	93,53	151,05 a	161,14 a	172,75 a	173,30 a	171,45 a
	Zn ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	7,39	12,41 a	13,15 a	13,68 a	16,54 a	15,80 a
SPD	5,87	12,50 a	12,84 a	12,65 a	12,07 b	13,44 b
	COT (dag/kg ¹)					
SPC	0,97	1,39 a	1,39 a	1,31 a	1,26 a	1,31 a
SPD	1,09	1,43 a	1,33 a	1,18 a	1,27 a	1,18 a

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste F a 5% de significância; ^{1/} Testemunha irrigada com água sob lâmina de 100% da ETc, somente para comparação.

Nota-se, pela Figura 9, que houve diferenças significativas entre as lâminas de irrigação com ARS para cada sistema de manejo, exceto para o teor de Zn^{+2} no SPD. Contudo, para os parâmetros pH, K^+ , Mg^{+2} , Na^+ e H + Al, observou-se que os mesmos apresentaram ajustes semelhantes nas curvas de regressão para o SPC e SPD, obtendo o pH um ajuste cúbico até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS; para o K^+ e Na^+ , o ajuste foi linear até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS; para o Mg^{+2} e a acidez potencial o ajuste foi quadrático até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS.

Nas variáveis onde o SPD e SPC apresentaram linhas de regressão com ajustes distintos, verificou-se para o P que o SPD apresentou linha de tendência com ajuste linear para as doses crescentes de irrigação com ARS, enquanto no SPC obteve um ajuste quadrático. O teor de Ca^{+2} apresentou, nos dois sistemas de manejo, um ajuste quadrático até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS. Para o teor de Al^{+3} , verificou-se um ajuste linear crescente no SPD, enquanto para o Zn^{+2} observou-se um ajuste linear crescente no SPC. Na CTC efetiva, verificou-se um ajuste quadrático no SPC e um ajuste linear no SPD.

O comportamento das curvas dos parâmetros analisados na camada de 0-10 cm, de uma maneira geral, indica uma relação direta entre o incremento dos teores encontrados com o aumento da lâmina de irrigação com a ARS devido a sua composição química, com as maiores respostas sendo encontrados nos teores de P, K, Na, Al^{+3} , T, t e Fe^{+2} . Assim, neste estudo, o aumento da lâmina de ARS está associado a um incremento desses parâmetros, até o limite de 150% de ARS, exceto para os teores de alumínio no SPC e zinco no SPD, para os quais não houve ajuste e do COT no qual apresentou decréscimo dos seus teores em função do incremento nas lâminas de ARS.

Quanto ao decréscimo dos teores de COT em função do incremento nas lâminas de ARS, tal fato pode estar relacionado à manutenção da umidade e da atividade microbiana do solo, criando assim condições favoráveis para a decomposição da matéria orgânica do solo (BARTON et al., 2005). Homem et al. (2014) também verificaram decréscimos nos teores de COT em solo que recebeu ARS, por outro lado, autores têm relatado aumentos dos teores de COT no solo pela

aplicação da ARS, principalmente em experimentos de longa duração (DAL BOSCO et al., 2008; PRIOR, 2008; LOURENZI, 2014).

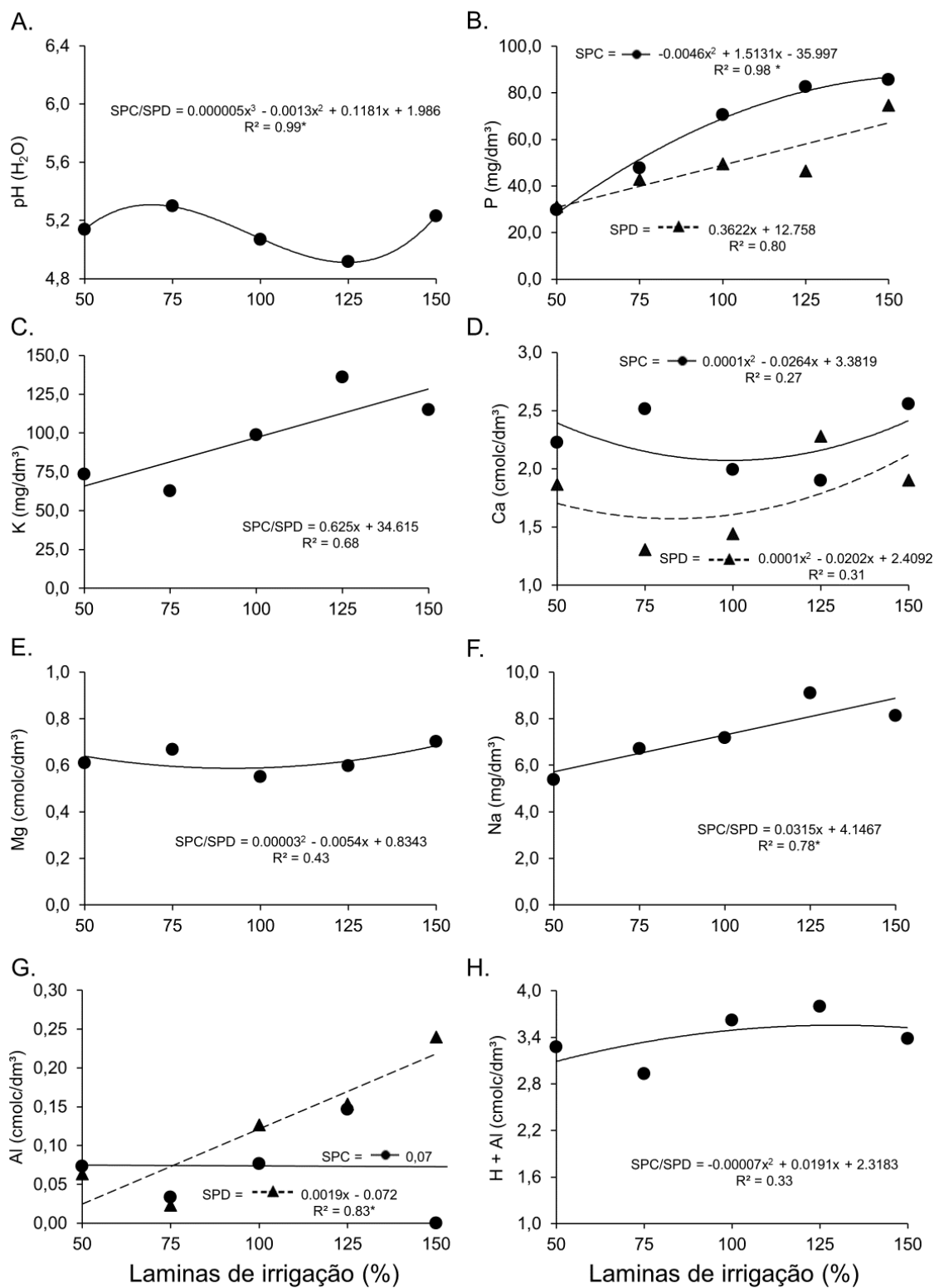
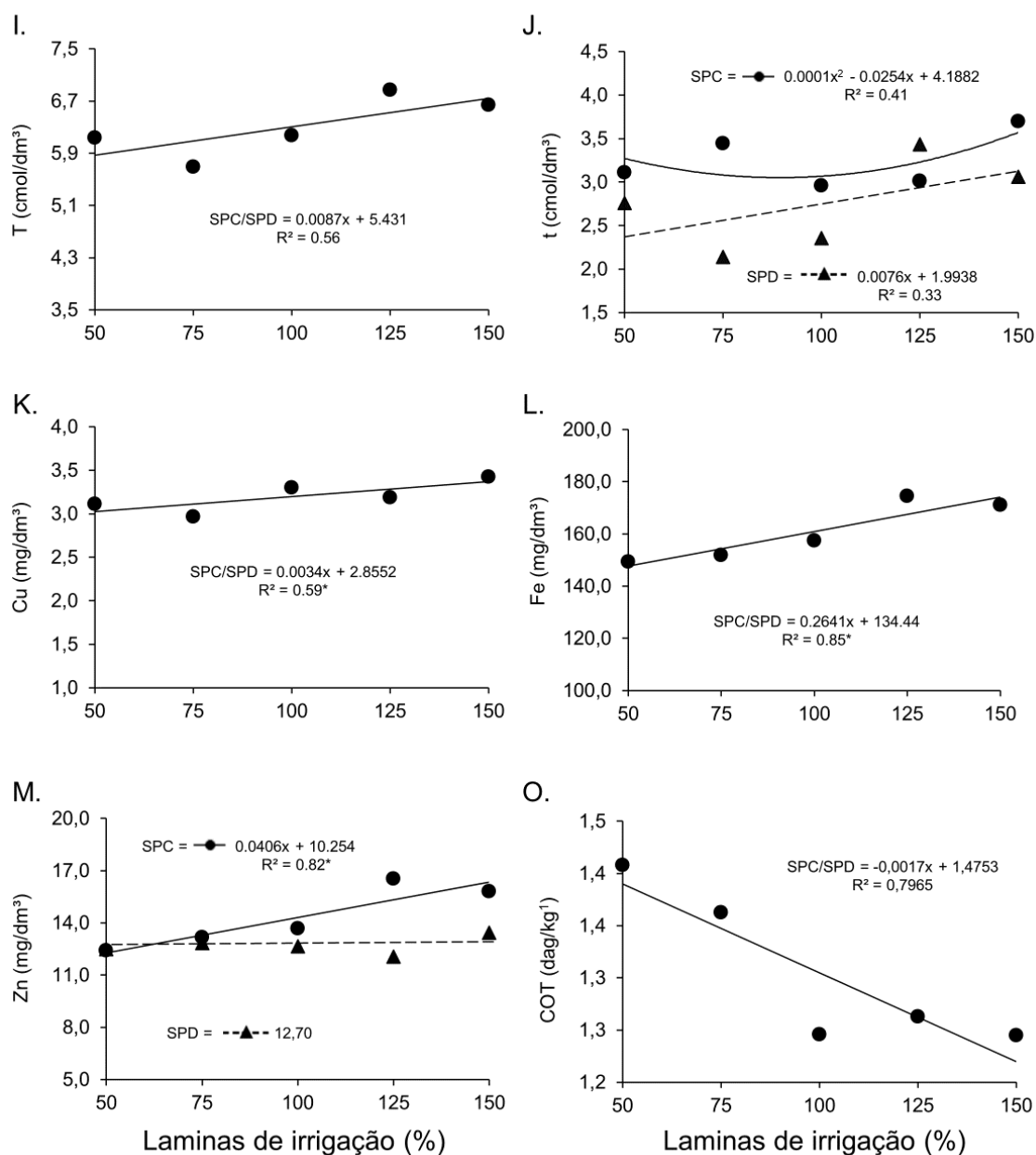


Figura 9 - continuação



*significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

Figura 9 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos químicos do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Na, Al, H +Al, T, t, Fe, Cu e Zn), na profundidade de 0-10 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho.

Na interação fatorial entre lâminas de irrigação e sistemas de manejo ($p < 0,05$) na profundidade de 10 a 20 cm, verifica-se, pela Tabela 6, que diferenças significativas foram notadas entre as médias dos parâmetros avaliados, exceto em pH, H + Al, Zn^{+2} e COT. Para as demais variáveis, as maiores médias foram observadas no SPC, exceto para o Fe^{+2} , onde a menor média foi encontrada no SPC na lâmina de 100% de ARS, e para o Al^{+3} nas lâminas de 100% e 150% de ARS no SPC.

A falta de diferença entre as médias observadas para pH, H+Al, COT, Na⁺ e Zn⁺² entre os sistemas de manejo e lâminas de irrigação com ARS analisadas na profundidade de 10 a 20 cm parece indicar, tanto na forma de plantio, se convencional ou direto, ou na lâmina utilizada, que os tratamentos testados não foram capazes de influenciar esses atributos químicos (Tabela 6). A ausência de diferença significativa entre a média dos valores de pH e H+Al pode estar relacionadas ao histórico da área, já que a calagem foi dispensada em função do baixo nível de acidez do solo e adequada saturação por bases antes do plantio. Já o COT na profundidade de 10 a 20 cm pode estar associado ao fato de que talvez o SPD não tivesse adquirido estabilidade devido ao pouco tempo de cultivo, fazendo com que, nessa profundidade, seu comportamento fosse semelhante ao SPC. Franchini et al. (2012), trabalhando com diferentes sistemas de manejo do solo, relataram que o SPD possuiu um período de estabilização de cerca de 6 anos de duração, onde seus resultados agrônômicos tendem a ser iguais ou inferiores ao SPC. Quanto aos teores de Na⁺² e Zn⁺² obtidos na profundidade analisada, pode-se supor que os teores identificados refletem a realidade química do solo, uma vez que de 0 a 10 cm também não se obteve diferença.

As diferenças encontradas para a variável P nas lâminas de irrigação 100% e 125% com ARS indicam que a irrigação do solo que supre a demanda hídrica do milho, ou até 25% superior, alterou os teores de P, com efeitos positivos no SPC (Tabela 6). Nesse sentido, as maiores médias encontradas para o SPC podem estar relacionadas ao revolvimento do solo antes do plantio, facilitando o deslocamento do P, com movimentação no perfil do solo via fluxo de água (DUARTE et al., 2016).

Dentre os atributos químicos do solo que apresentaram comportamento estatístico semelhante entre as médias obtidas na comparação entre os sistemas de manejo para as diferentes lâminas de irrigação com ARS, o K⁺, Cu⁺² e Ca⁺² (exceto em 125% ARS para o Ca) no SPC quando comparado ao SPD em todas as lâminas estudadas, entre 10 e 20 cm, demonstra, para estas variáveis, que o sistema de manejo interfere nos teores de K⁺, Cu⁺² e Ca⁺² nessa profundidade (Tabela 6). Esse resultado pode estar associado à mobilidade vertical do K e do Ca no solo devido a uma maior facilidade de infiltração no SPC, onde houve os procedimentos de aração e gradagem comparativamente ao SPD, onde não há revolvimento do solo. Dessa

maneira, durante a irrigação, é possível que esses nutrientes avancem ao longo do perfil do solo (GORSKOPF et al., 2015).

Quanto às médias obtidas para a variável Mg^{+2} , observou-se que, independentemente da lâmina com ARS aplicada, na profundidade de 10 a 20 cm, não houve diferença entre os teores deste nutriente (exceto em 100% de ARS) nos sistemas de manejo estudados (Tabela 6). Esse resultado era esperado, uma vez que não foi efetuada a calagem.

A ocorrência de menores teores médios de Al^{+3} na profundidade de 10 a 20 cm, nas lâminas de 100% e 150% de ARS no SPC, pode estar associada a fatores associados a características da parcela de solo sob cultivo, que por sua vez favoreceram a redução do nível de Al^{3+} comparativamente ao SPD. Nos demais tratamentos, não ocorreram diferenças significativas entre lâminas de irrigação e sistemas de manejo investigados (Tabela 6).

A presença de maiores valores médios de T no SPC, na profundidade de 10 a 20 cm, exceto quando aplicado 150% de ARS, está associada aos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} além da acidez potencial.

A presença de maiores valores médios de t no SPC, exceto na lâmina de 125% de ARS, associa-se aos teores dos cátions Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} encontrados no solo sob condições de pH natural. É necessário considerar que no experimento não foi realizada a calagem, ou seja, o cultivo se deu sob pH natural do solo.

Tabela 6 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos químicos do solo (pH, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al⁺³, H +Al, T, t, Fe⁺², Cu⁺² e Zn⁺²), na profundidade de 10-20 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho

Sistemas de Manejo	Lâminas de irrigação com ARS					
	Test. ^{1/}	50%	75%	100%	125%	150%
	pH (H ₂ O)					
SPC	5,12	5,42 a	5,70 a	5,37 a	5,19 a	5,84 a
SPD	5,09	5,36 a	5,74 a	4,92 a	5,17 a	5,07 a
	P (mg/dm ³)					
SPC	21,17	16,71 a	35,82 a	63,46 a	75,24 a	50,94 a
SPD	19,58	26,90 a	31,63 a	36,69 b	26, 63 b	46,21 a
	K ⁺ (mg/dm ³)					
SPC	24,81	54,69 a	55,55 a	83,46 a	94,81 a	86,32 a
SPD	22,88	52,00 b	46,89 b	63,27 b	91,35 b	66,91 b
	Ca ⁺² (cmol _c /dm ³)					
SPC	1,85	2,48 a	2,54 a	2,05 a	2,19 a	2,78 a
SPD	1,51	1,78 b	1,39 b	1,51 b	2,13 a	2,05 b
	Mg ⁺² (cmol _c /dm ³)					
SPC	0,50	0,52 a	0,67 a	0,57 a	0,58 a	0,75 a
SPD	0,50	0,57 a	0,69 a	0,50 b	0,57 a	0,63 a
	Na ⁺ (mg/dm ³)					
SPC	0,00	5,08 a	4,17 a	6,05 a	10,23 a	7,38 a
SPD	0,00	6,13 a	4,88 a	5,80 a	6,95 a	6,93 a
	Al ⁺³ (cmol _c /dm ³)					
SPC	0,05	0,00 a	0,01 a	0,02 b	0,05 a	0,00 b
SPD	0,07	0,03 a	0,00 a	0,15 a	0,04 a	0,09 a
	H+Al (cmol _c /dm ³)					
SPC	2,03	3,08 a	2,01 a	3,03 a	3,60 a	2,31 a
SPD	1,61	2,72 a	2,15 a	3,22 a	2,59 a	3,44 a
	T (cmol _c /dm ³)					
SPC	4,44	6,25 a	5,38 a	5,88 a	6,66 a	6,10 a
SPD	3,67	5,23 b	4,37 b	5,41 b	5,55 b	6,32 a
	t (cmol _c /dm ³)					
SPC	2,46	3,17 a	3,38 a	2,87 a	3,11 a	3,79 a
SPD	2,13	2,53 b	2,22 b	2,34 b	3,00 a	2,98 b
	Cu ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	1,06	3,17 a	2,84 a	3,02 a	2,87 a	2,97 a
SPD	1,14	2,37 b	2,15 b	2,61 b	2,51 b	2,77 b
	Fe ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	89,74	141,65 a	150,37 a	143,65 b	186,71 a	170,33 a
SPD	93,47	161,08 a	142,39 a	175,24 a	172,92 a	162,80 a
	Zn ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	6,72	10,35 a	11,18 a	14,44 a	12,08 a	11,84 a
SPD	5,58	9,87 a	9,09 a	10,27 a	11,11 a	11,63 a
	COT (dag/kg ¹)					
SPC	1,01	1,32 a	1,34 a	1,31 a	1,24 a	1,29 a
SPD	1,18	1,41 a	1,32 a	1,22 a	1,27 a	1,29 a

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste F a 5% de significância; ^{1/} Testemunha irrigada com água sob lâmina de 100% da ET_c, somente para comparação.

Nota-se, pela Figura 10, que houve diferenças significativas entre as diferentes lâminas de irrigação com ARS para cada sistema de manejo na profundidade de 10 a

20 cm, exceto para os teores de Al^{+3} no SPC (Figura 10G), Cu^{+2} (Figura 10K), Zn^{+2} (Figura 10M) e COT (Figura 10O).

O pH apresentou o mesmo ajuste para o SPD e SPC, sendo o modelo cúbico decrescente até 125% de ARS o que melhor explica o comportamento dessa variável (Figura 10A).

Verificou-se para o P que o SPD apresentou linha de tendência com ajuste linear crescente com o aumento das de irrigação com ARS, enquanto no SPC observa-se um ajuste cúbico (Figura 10B).

Os teores de K^{+} (Figura 10C) apresentaram ajuste linear crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS.

Os teores de Ca^{+2} apresentaram, no SPD e no SPC, um ajuste cúbico que diminui até 100% de ARS e assume comportamento crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 10D).

Quanto ao Mg^{+2} , verificou-se que as médias obtidas apresentaram, no SPC, um ajuste linear crescente até o limite de 150% de ARS, enquanto no SPD essa variável obteve comportamento com ajuste cúbico (Figura 10E).

Os teores de Na^{+} apresentaram ajuste linear crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 10F).

Quanto às respostas do Al^{+3} , notou-se que as médias obtidas para o SPC não apresentaram diferenças significativas. Contudo, para o SPD, obteve-se um ajuste cúbico para as doses crescente de ARS (Figura 10G).

A variável H+Al apresentou, tanto no SPC como no SPD, ajuste linear crescente até o limite de 150% de irrigação com ARS (Figura 10H).

A T apresentou ajuste cúbico crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS no SPC e SPD (Figura 10I).

Para os valores de t , verificou-se um ajuste linear crescente no SPD, e um ajuste cúbico que diminui até 100% de ARS e assume comportamento crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS para o SPC (Figura 10J).

Para os teores de Fe^{+2} , verificou-se um ajuste linear crescente no SPC e um ajuste cúbico no SPD (Figura 10L).

O comportamento das curvas dos parâmetros analisados na camada de 10-20 cm indica que para boa parte dos atributos químicos analisados, o aumento das lâminas de ARS contribui para o incremento dos teores desses atributos, assim como aconteceu na camada de 0-10 cm, porém de forma menos proeminente, com as melhores respostas encontradas para os atributos K, P, Mg^{+2} , Na, H+Al, T, t , e Fe^{+2} . Dessa forma, o aumento da lâmina de ARS está diretamente relacionado a um incremento desses parâmetros, até o limite de 150% de ARS, exceto para o teor de alumínio no SPC e zinco, cobre e COT para ambos os sistemas de manejo, onde os quais não apresentaram ajuste.

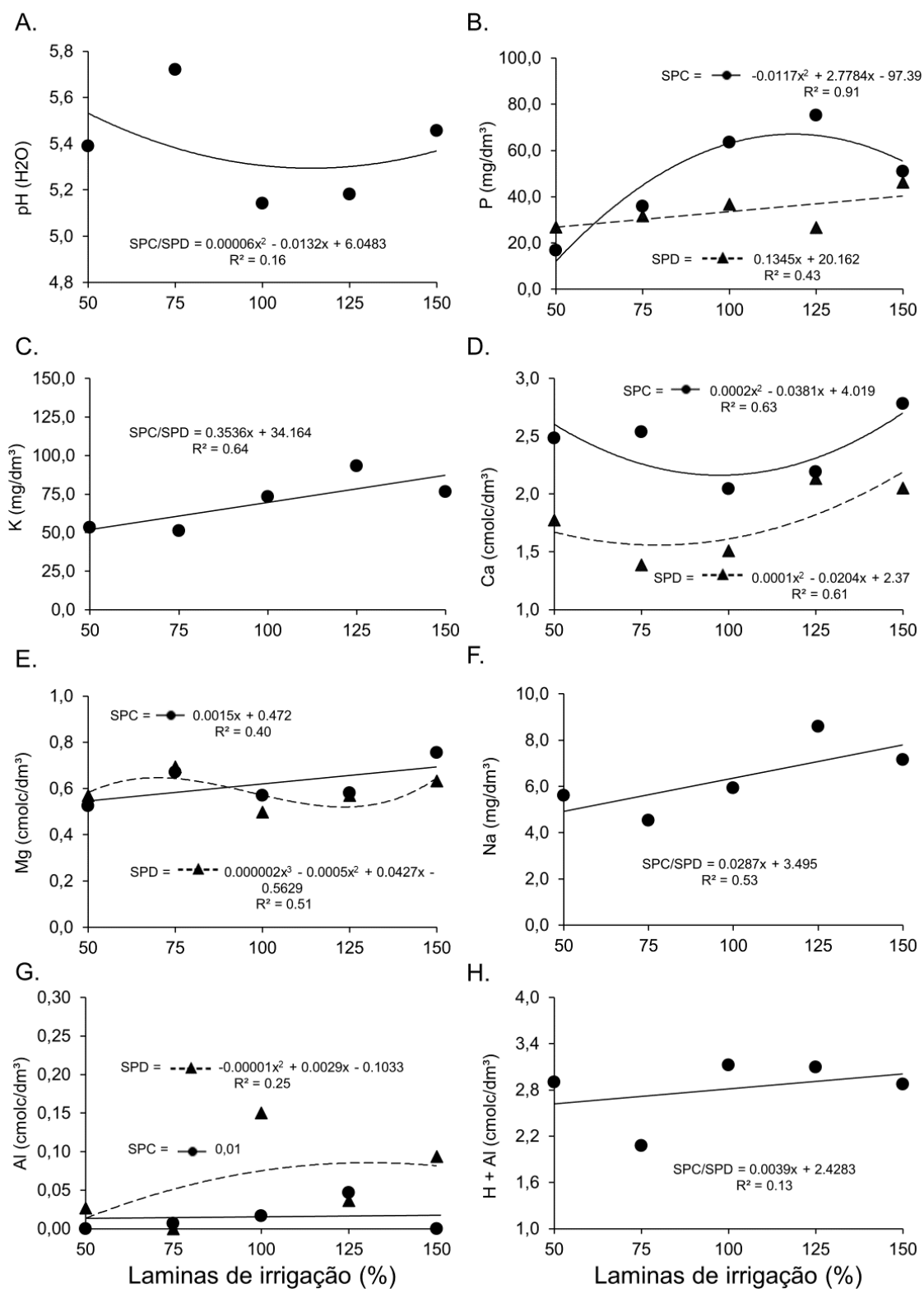
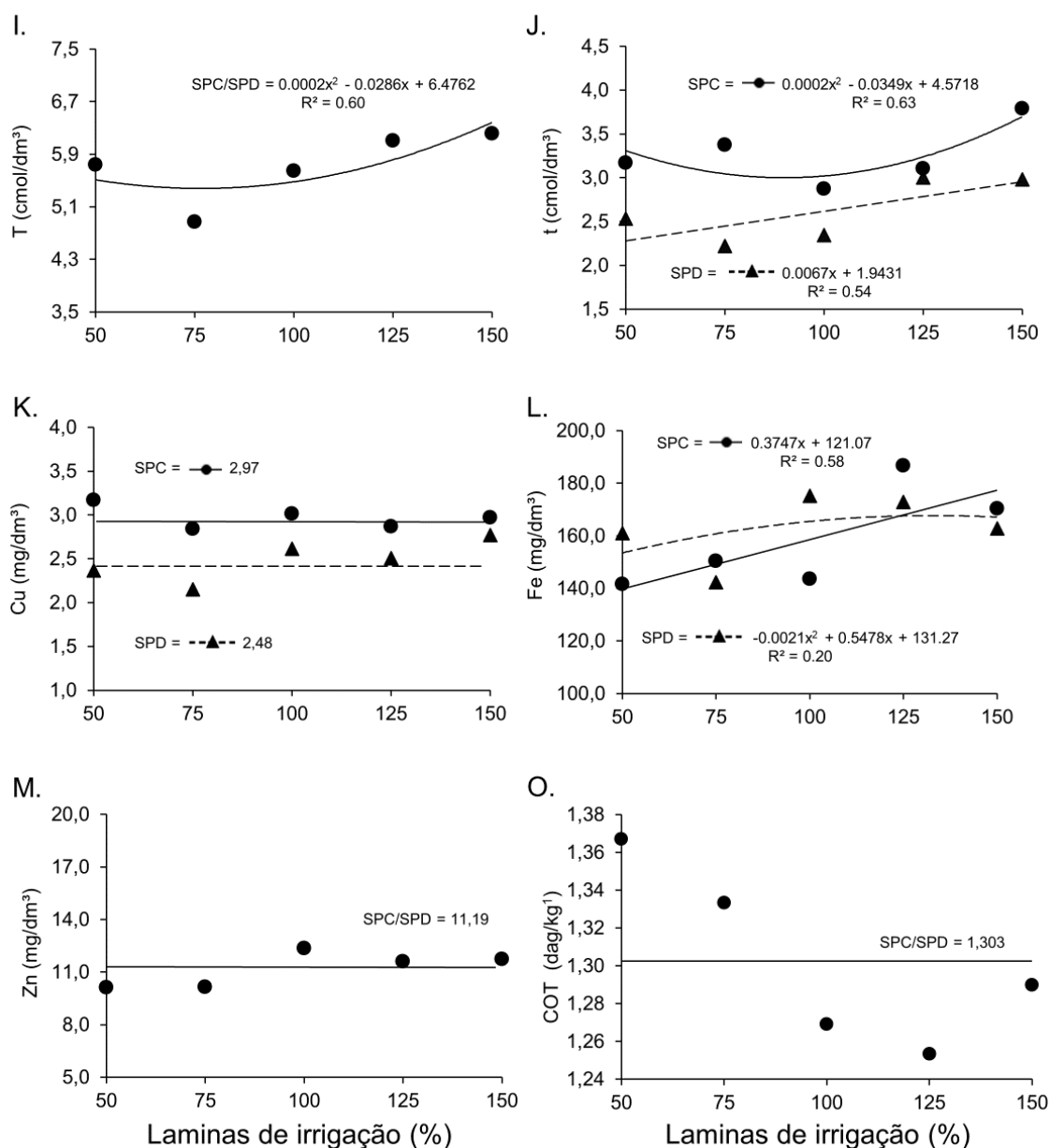


Figura 10 – continuação



* significativo a 5% de significância pelo teste F.

Figura 10 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos químicos do solo (pH, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al, H +Al, T, t, Fe⁺², Cu⁺² e Zn⁺²), na profundidade de 10-20 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho.

Na interação fatorial entre lâminas de irrigação e sistemas de manejo ($p < 0,05$) na profundidade de 20 a 40 cm, verifica-se na Tabela 7 que diferenças significativas foram notadas entre os atributos químicos do solo, exceto em pH, Na⁺, H+Al, Cu⁺², Fe⁺² e COT. Para o P, a diferença estatística entre as médias ocorreu apenas na lâmina de 125% de ARS, com maior teor no SPC. Para os demais parâmetros, as maiores médias foram observadas no SPC, exceto o K⁺, em que a menor média foi

encontrada em SPC nas parcelas que receberam 100% da lâmina de irrigação com ARS e, para o Mg^{+2} na lâmina de 75% de ARS no SPC.

Para os atributos químicos que não apresentaram diferença entre as médias obtidas, pode-se supor que os diferentes volumes das lâminas de irrigação com ARS aplicadas foram incapazes de alterar as variáveis químicas analisadas na profundidade de 20 a 40 cm, independentemente do tipo de sistema de manejo adotado. Esse resultado pode estar associado ao histórico da área, podendo os valores encontrados para o $H+Al$, Cu^{+2} e COT nessa profundidade não ter relação com os tratamentos testados (Tabela 7). Contudo, para as variáveis pH, Na^{+} e Fe^{+2} percebe-se que, embora não tenham apresentado diferenças estatísticas na comparação entre os sistemas de manejo investigados, ao comparar com os valores obtidos na parcela testemunha, observa-se menores valores encontrados, indicando que a ARS contribuiu para o aumento no níveis dessas variáveis no solo (Tabela 7).

A ausência de diferenças significativas entre as médias dos teores de P na profundidade de 20 a 40 cm, exceto na lâmina de 125% de ARS obtido no SPC, pode estar associado a pouca mobilidade que este nutriente possui no solo, fato que se torna mais evidente à medida que se afasta da superfície do solo (SÁ, 2004). Outro fator importante é a presença da mucuna-preta nas parcelas do SPD antecedendo o cultivo do milho. Como se trata do terceiro ciclo de cultivo, é possível que tenha ocorrido a exportação do P pela mucuna-preta inferindo que a reciclagem de nutrientes proporcionada pela planta de cobertura não foi suficiente para compensar a exportação do P ocasionada pelo milho e pela mucuna-preta explicando, assim, os menores teores encontrados nesse sistema em comparação com o SPC, já que nesse sistema não houve o plantio da planta de cobertura. Cunha et al. (2011), avaliando os atributos químicos de um solo cultivado com feijão e milho em sucessão ao plantio de mucuna-preta, descreveram que houve redução dos teores de P após o cultivo, afirmando que a reciclagem de nutrientes pela leguminosa não foi suficiente para a manutenção dos teores de P no solo (Tabela 7).

Para os teores de K^{+} , foi possível verificar que na profundidade de 20 a 40 cm as médias obtidas não apresentavam diferença significativa, exceto nas parcelas que receberam a lâmina de 100% de ARS, sendo a maior média encontrada no SPD. Embora o manejo da cultura no plantio direto ainda não estivesse estabilizado, esse

resultado pode estar associado à facilidade de liberação do potássio dos resíduos orgânicos. O potássio apresenta-se nos resíduos na forma prontamente disponível, sendo liberado para o solo pela lavagem e início de decomposição dos tecidos vegetais. Isso explica, em parte, os maiores teores de K^+ no solo sob SPD, onde houve o cultivo prévio da mucuna-preta (Tabela 7). Outro aspecto que merece destaque é o fato de que os valores encontrados para os teores de K^+ no solo serem maiores do que aqueles obtidos na testemunha, isso se deve a alta mobilidade do K no solo, em conjunto com os altos teores de K^+ presentes na ARS (Tabela 3), indicando que a ARS afeta positivamente na sua disponibilidade na profundidade de 20 a 40 cm.

Para os teores de Ca^{+2} , na profundidade de 20 a 40 cm, observou-se o mesmo padrão obtido nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, onde as médias obtidas para o SPC foram superiores as encontradas no SPD. Uma hipótese para os maiores valores de Ca^{+2} encontrados no SPC se deve às sucessivas irrigações com ARS em conjunto com processos mecânicos típicos do SPC na área de cultivo, que apesar de não alcançar camadas abaixo dos 20 cm do solo, pode ter contribuído indiretamente para que a mobilidade vertical do Ca^{+2} fosse aumentada e dessa forma possa ter alcançado as camadas mais profundas do solo, justificando a diferença estatística encontrada, quando se analisa os valores obtidos comparativamente com o SPD (Tabela 7).

O comportamento dos valores médios obtidos para os teores de Mg^{+2} na profundidade de 20 a 40 cm indicam que as menores lâminas de ARS (50% e 75%) propiciaram a obtenção de médias mais altas no SPD, enquanto a maior lâmina (150% de ARS) favoreceu a ocorrência de maior média significativa no SPC (Tabela 7). A maior média significativa obtida para o Mg^{+2} nessa profundidade, em condições de manejo convencional, provavelmente se relaciona ao volume da lâmina de irrigação, fazendo com que a aplicação de 150% de ARS promovesse a lixiviação do magnésio ao longo do perfil do solo, ao menos até a profundidade de 20 a 40 cm (AMARAL et al., 2017).

A presença de maiores valores médios de T no SPC na profundidade de 20 a 40 cm pode ser vinculada aos teores de Ca^{+2} no solo sob cultivo, considerando que este nutriente é o único que apresenta comportamento semelhante ao resultado obtido na capacidade de troca de cátions do solo (Tabela 7). Outro fator que também pode ter contribuído positivamente para isso é a ocorrência de maiores teores de potássio

na água de irrigação com ARS, comparativamente a testemunha irrigada com água bruta, uma vez que o K^+ participa do cálculo dos valores de T.

O resultado obtido para a CTC efetiva (t) sugere que, em condições de pH natural, as maiores médias significativas para esse atributo refletem o comportamento encontrado para o Ca^{+2} , que por sua vez compõe, assim como o Al^{+3} , Mg^{+2} e K^+ , os cátions presentes no solo e utilizados para definir a t. Dessa forma, as médias significativas obtidas no SPC para a t podem refletir, de modo destacado, a relevância que o Ca^{+2} teve para a definição deste atributo químico (Tabela 7).

Para o Zn^{+2} , na profundidade de 20 a 40 cm, verificou-se que as maiores médias encontradas ocorreram no SPC, podendo esse fato estar relacionados ao sistema de manejo, já que permitiu a ocorrência de diferenças significativas para as médias obtidas para os teores de Zn^{+2} na comparação entre SPD e SPC. Considerando a capacidade que a matéria orgânica possui em imobilizar o zinco por meio da adsorção, a sua maior ocorrência no SPD em função de seu manejo pode ter contribuído para a ocorrência de menores médias de Zn^{+2} (BERTOL, 2005). Destaca-se, também, o fato de que os teores de Zn^{+2} encontrados na profundidade de 20 a 40 cm foram maiores do que aqueles amostrados na testemunha, indicando que esses valores possuem relação com a ARS utilizada na irrigação.

Tabela 7 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos químicos do solo (pH, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al⁺³, H+Al, T, t, Fe⁺², Cu⁺² e Zn⁺²), na profundidade de 20-40 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho

Sistemas de Manejo	Lâminas de irrigação com ARS					
	Test. ^{1/}	50%	75%	100%	125%	150%
	pH (H ₂ O)					
SPC	5,19	5,86 a	5,81 a	5,41 a	5,42 a	5,93 a
SPD	5,31	5,55 a	6,17 a	5,41 a	5,53 a	5,28 a
	P (mg/dm ³)					
SPC	5,99	10,39 a	21,11 a	26,70 a	51,47 a	24,04 a
SPD	7,59	12,92 a	22,51 a	23,64 a	19,18 b	20,44 a
	K ⁺ (mg/dm ³)					
SPC	9,88	39,17 a	41,08 a	49,75 b	55,99 a	55,21 a
SPD	10,92	35,88 a	35,53 a	58,59 a	48,45 a	49,23 a
	Ca ⁺² (cmol _c /dm ³)					
SPC	1,71	2,25 a	2,67 a	2,01 a	2,51 a	2,78 a
SPD	1,84	1,57 b	1,29 b	1,62 b	2,10 b	2,10 b
	Mg ⁺² (cmol _c /dm ³)					
SPC	0,53	0,45 b	0,62 b	0,53 a	0,61 a	0,71 a
SPD	0,56	0,58 a	0,76 a	0,43 a	0,62 a	0,60 b
	Na ⁺ (mg/dm ³)					
SPC	0,00	3,67 a	4,68 a	5,43 a	8,12 a	7,00 a
SPD	0,00	5,10 a	3,48 a	4,90 a	6,60 a	6,77 a
	Al ⁺³ (cmol _c /dm ³)					
SPC	0,03	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
SPD	0,01	0,00 a	0,00 a	0,05 a	0,00 a	0,01 a
	H+Al (cmol _c /dm ³)					
SPC	1,20	1,54 a	1,68 a	2,53 a	2,72 a	1,87 a
SPD	0,87	1,62 a	1,51 a	2,20 a	1,93 a	2,28 a
	T (cmol _c /dm ³)					
SPC	3,46	4,36 a	5,09 a	5,22 a	6,03 a	5,54 a
SPD	3,29	3,89 b	3,67 b	4,42 b	4,79 b	5,13 b
	t (cmol _c /dm ³)					
SPC	2,29	2,82 a	3,42 a	2,69 a	3,30 a	3,67 a
SPD	2,43	2,27 b	2,16 b	2,27 b	2,87 b	2,86 b
	Cu ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	1,14	2,62 a	2,25 a	2,27 a	2,41 a	2,10 a
SPD	0,90	1,77 a	1,71 a	2,06 a	1,96 a	2,07 a
	Fe ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	86,72	126,61 a	128,49 a	128,08 a	168,56 a	141,01 a
SPD	91,23	112,85 a	123,57 a	147,83 a	141,52 a	135,99 a
	Zn ⁺² (mg/dm ³)					
SPC	4,59	8,33 a	7,81 a	8,49 a	9,58 a	10,04 a
SPD	5,20	6,86 b	5,95 b	8,42 a	7,74 b	8,28 b
	COT (dag/kg ¹)					
SPC	0,81	0,94 a	0,98 a	0,89 a	0,95 a	0,99 a
SPD	0,75	0,98 a	0,93 a	0,90 a	1,01 a	0,97 a

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste F a 5% de significância; 1/ Testemunha irrigada com água sob lâmina de 100% da ET_c, somente para comparação.

Nota-se, pela Figura 11, que houve diferenças significativas entre as diferentes lâminas de irrigação com ARS para cada sistema de manejo nas profundidades de 20

a 40 cm, para o pH (Figura 11A), P (Figura 11B), K (Figura 11C), Ca^{+2} (Figura 11D) e Mg^{+2} (Figura 11E).

Verificou-se para a variável pH que o SPD apresentou linha de tendência com ajuste linear decrescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS, enquanto o SPC obteve para este parâmetro um ajuste quadrático até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 11A).

Para os teores de P, verificou-se ausência de ajuste no SPD e um ajuste cúbico crescente até 125% de ARS para o SPC (Figura 11B).

Notou-se para os teores de K^{+} no solo que tanto no SPD como no SPC houve um ajuste linear crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 11C).

Verificou-se para os teores de Ca^{+2} nos dois de manejo estudados (SPD e SPC) ajuste linear crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 11D).

Para os teores de Mg^{+2} , verificou-se um ajuste linear crescente até o limite de 150% de ARS no SPC e um ajuste cúbico para o SPD (Figura 11E).

As variáveis T (Figura 11I) e t (Figura 11J) apresentaram ajustes lineares crescentes até o limite de 150% de água de irrigação com ARS tanto no SPD como também no SPC.

Observou-se para os teores de Fe^{+2} um ajuste cúbico crescente para os sistemas de cultivo (SPC e SPD) até o limite de 150% de ARS (Figura 11L).

Foi possível observar para os teores de Zn^{+2} no solo que tanto no SPD como no SPC houve resposta linear crescente para os acréscimos nas lâminas de ARS (Figura 11M).

O comportamento das curvas dos atributos químicos analisados na camada de 20-40 cm demonstra que, assim como nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, alguns atributos químicos apresentaram incrementos em seus teores em função do aumento das lâminas de ARS, os maiores resultados foram encontrados nos teores de P no

SPC e K, Ca, Mg, T, t, Zn e Fe em ambos os sistemas. Dessa forma, é possível inferir que o fornecimento de ARS contribuiu positivamente no incremento dos teores de boa parte dos atributos químicos avaliados na camada de 20-40 cm, exceto para os teores de P no SPD, Na⁺, H+Al, Cu e COT em ambos os sistemas, para os quais não apresentaram ajuste.

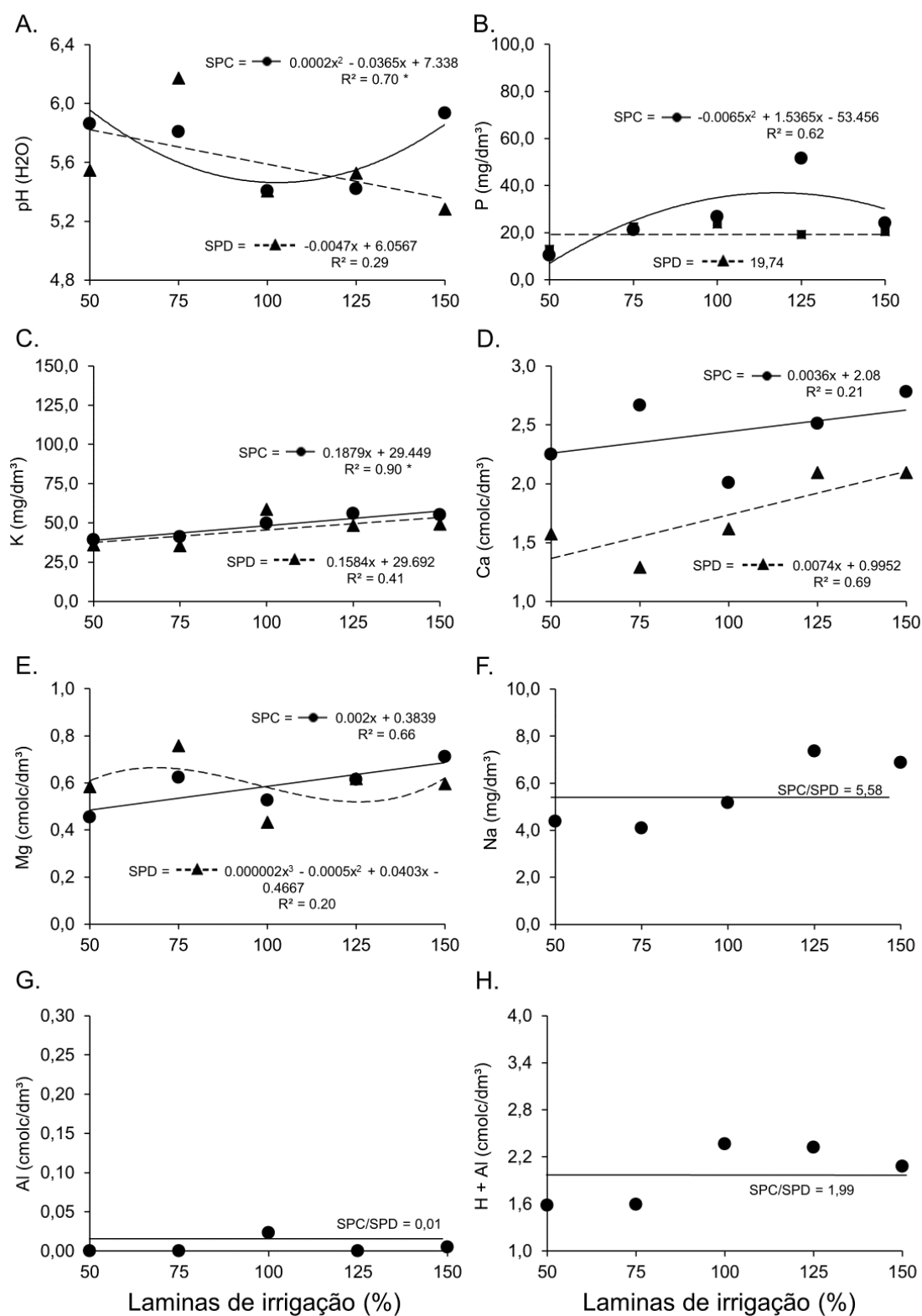
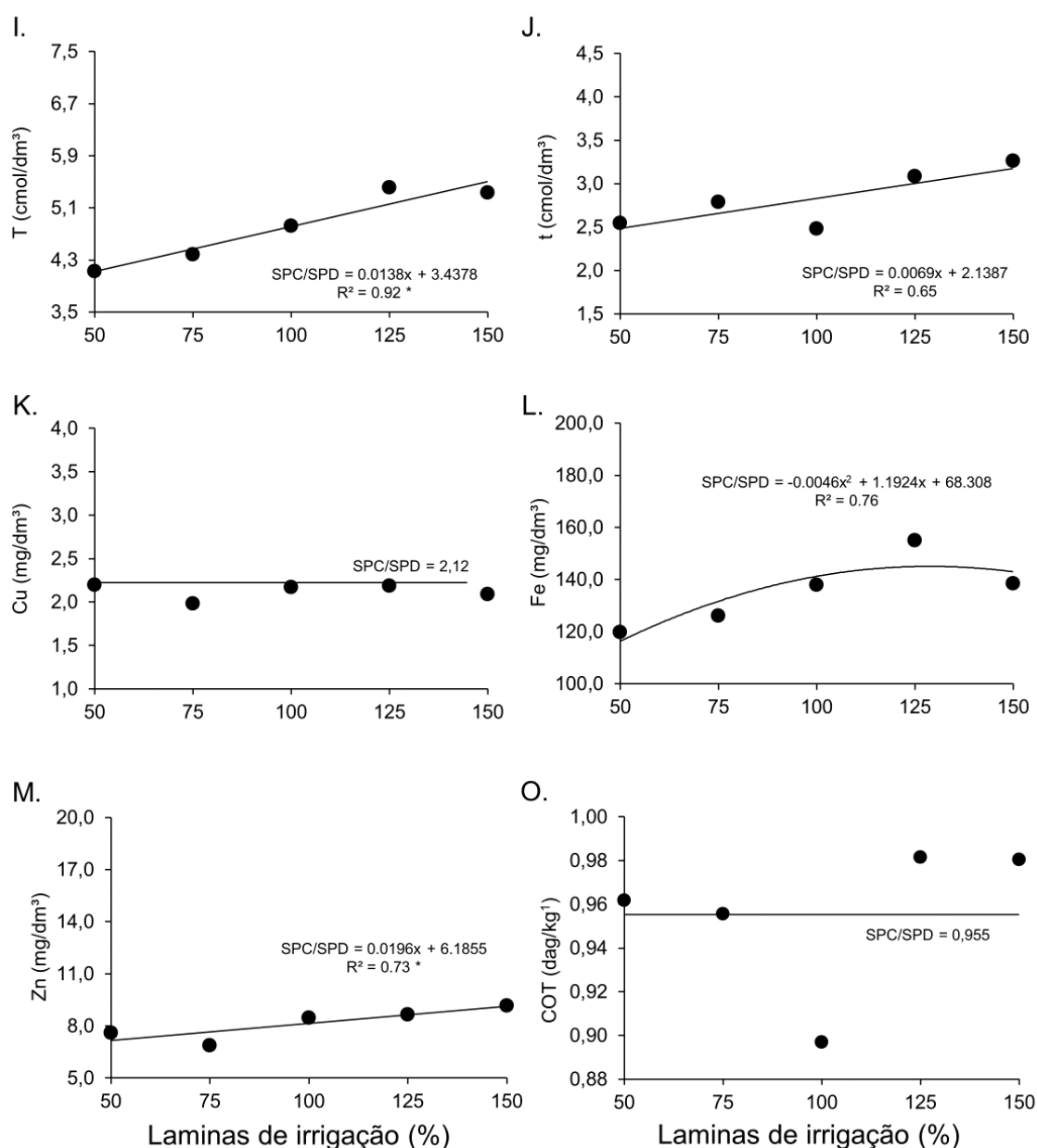


Figura 11 – continuação



* significativo a 5% de significância pelo teste F.

Figura 11 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos químicos do solo (pH, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Al⁺³, H +Al, T, t, Fe⁺², Cu⁺² e Zn⁺²), na profundidade de 20-40 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho.

Além dos atributos químicos do solo, também foram realizadas análises estatísticas para averiguação da interação fatorial entre as lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo ($p < 0,05$) nos atributos físicos do solo: densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (Rp) e velocidade de infiltração de básica (VIB), nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. A VIB foi avaliada apenas na profundidade de 0-10 cm. (Tabela 8 e Figura 12).

A densidade do solo (D_s) é uma propriedade física de grande importância, uma vez que interfere em alguns processos, como infiltração e armazenamento de água no solo, crescimento de raízes e erosão (SILVA et al., 2010). De acordo com Reichert et al. (2003), os valores críticos de D_s do solo são: 1,30 a 1,40 kg/dm³ para solos de textura argilosa, 1,40 a 1,50 kg/dm³ para solos de textura média e 1,70 a 1,80 kg/dm³ para solos de textura arenosa.

O solo do experimento foi classificado como de textura média (Tabela 2), portanto sua faixa de D_s crítica encontra-se entre 1,40 a 1,50 kg/dm³. Dessa forma, é possível afirmar que, para ambos os sistemas de manejo e profundidades do solo, a D_s crítica se encontra acima desses valores (Tabela 8). Tal fato está atrelado ao histórico de uso intenso da área por mais de 30 anos, exigindo maior tempo após a instalação do atual experimento para que seja possível observar mudanças significativas na D_s .

A resistência do solo à penetração (R_p) é outra propriedade física do solo de grande destaque, utilizada principalmente para avaliar o grau de compactação do solo influenciando, assim como a D_s , no desenvolvimento radicular das plantas. Trata-se de um atributo que apresenta grandes variações, sendo fortemente influenciado por fatores como a textura, umidade do solo, estrutura, densidade e manejo do solo (STOLF et al., 1983).

Segundo Silva et al. (2010), o valor crítico de R_p para que o crescimento radicular não seja prejudicado é abaixo de 2,0 Mpa. De acordo com os dados de R_p obtidos neste estudo (Tabela 8), verifica-se que todos os valores estão acima do limite crítico estabelecido, ocorrendo um aumento da R_p em sub-superfície.

Para a camada de 0 a 10 cm, verificou-se que não houve diferença estatística entre as médias obtidas para os atributos físicos D_s , R_p e VIB entre os sistemas de manejo e em todas as lâminas de ARS (Tabela 8). Dessa forma, o SPD não foi capaz de proporcionar alterações aos atributos físicos do solo na profundidade de 0 a 10 cm, provavelmente devido ao tempo de duração desse sistema. Sistemas plantio direto estáveis, ou seja, que são influenciados principalmente pelo aporte de matéria orgânica das culturas e pela ausência de revolvimento do solo, podem ocorrer após um período de 4 anos na profundidade de 0 a 10 cm (VIERA et al., 1984).

A VIB é o valor mínimo e constante no qual a infiltração de água no solo atinge sob chuva ou irrigação contínua (BERNARDO et al., 2006). Seu conhecimento é importante, principalmente, para uma melhor elaboração e dimensionamento de um projeto de irrigação (REICHERT et al., 2003). Bernardo et al. (2006) classificam o solo de acordo com a VIB, em que: solo com VIB muito alta (>30,0 mm/h), solo com VIB alta (30,0-15,0 mm/h), solo com VIB média (15,0-5,0 mm/h) e solo com VIB baixa (<5,0 mm/h). Dessa forma, é possível observar que a VIB obtida na área experimental oscilou entre alta e muito alta (Tabela 8), não sendo possível observar efeito dos sistemas de manejo e lâminas de irrigação com ARS nos valores obtidos.

Na avaliação dos atributos físicos D_s e R_p na profundidade de 10 a 20 cm, notou-se a ocorrência de diferença significativa entre as médias obtidas nas lâminas 50% e 75% de ARS, apresentando o SPD as maiores médias em ambos os casos (Tabela 8). A ocorrência de maior D_s e R_p no SPD pode estar associada, dentre outros fatores, à ausência da movimentação do solo. De acordo com Da Ros et al. (1996), solos sob SPD podem apresentar atributos físicos, como D_s e R_p , em valores superiores ao SPC.

Na avaliação dos atributos físicos na profundidade de 20 a 40 cm, não foram observadas diferenças significativas entre as médias da variável D_s e os tratamentos estudados. Quanto aos valores médios de R_p , verificou-se diferenças significativas entre as médias obtidas nas lâminas 50% e 125% de ARS, sendo os valores médios mais altos para R_p encontrados no SPC (Tabela 8). Quanto à D_s , o resultado obtido pode estar relacionado ao fato de que o SPD em estudo não ter alcançado a sua estabilidade, que segundo Hill (1990) ocorre em profundidades de 6,7 a 17,2 cm, após 11 anos.

Tabela 8 – Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos físicos do solo: densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp) e velocidade de infiltração básica (VIB) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho

Sistemas de manejo	Lâminas de Irrigação ARS					
	Test. ^{1/}	50%	75%	100%	125%	150%
0 - 10 cm						
Ds (kg/dm ³)						
SPC	1,56	1,53 a	1,53 a	1,57 a	1,60 a	1,54 a
SPD	1,56	1,59 a	1,60 a	1,52 a	1,55 a	1,54 a
Rp (MPa)						
SPC	4,56	3,75 a	2,74 a	3,24 a	3,61 a	2,74 a
SPD	3,39	4,69 a	4,69 a	3,46 a	3,61 a	2,45 a
VIB (mm/h)						
SPC	56,00	24,17 a	53,33 a	23,50 a	15,17 a	32,17 a
SPD	31,50	21,83 a	38,17 a	32,83 a	17,67 a	29,67 a
10 - 20 cm						
Ds (kg/dm ³)						
SPC	1,59	1,53 b	1,53 b	1,58 a	1,57 a	1,63 a
SPD	1,60	1,66 a	1,63 a	1,64 a	1,64 a	1,55 a
Rp (MPa)						
SPC	8,17	3,75 b	2,74 b	7,59 a	8,68 a	6,36 a
SPD	6,43	7,08 a	5,49 a	7,52 a	9,98 a	5,49 a
20 - 40 cm						
Ds (kg/dm ³)						
SPC	1,55	1,56 a	1,61 a	1,59 a	1,57 a	1,65 a
SPD	1,52	1,61 a	1,64 a	1,58 a	1,56 a	1,60 a
Rp (MPa)						
SPC	13,17	13,82 a	13,78 a	11,86 a	14,55 a	11,68 a
SPD	13,49	11,00 b	13,46 a	11,72 a	9,00 b	13,64 a

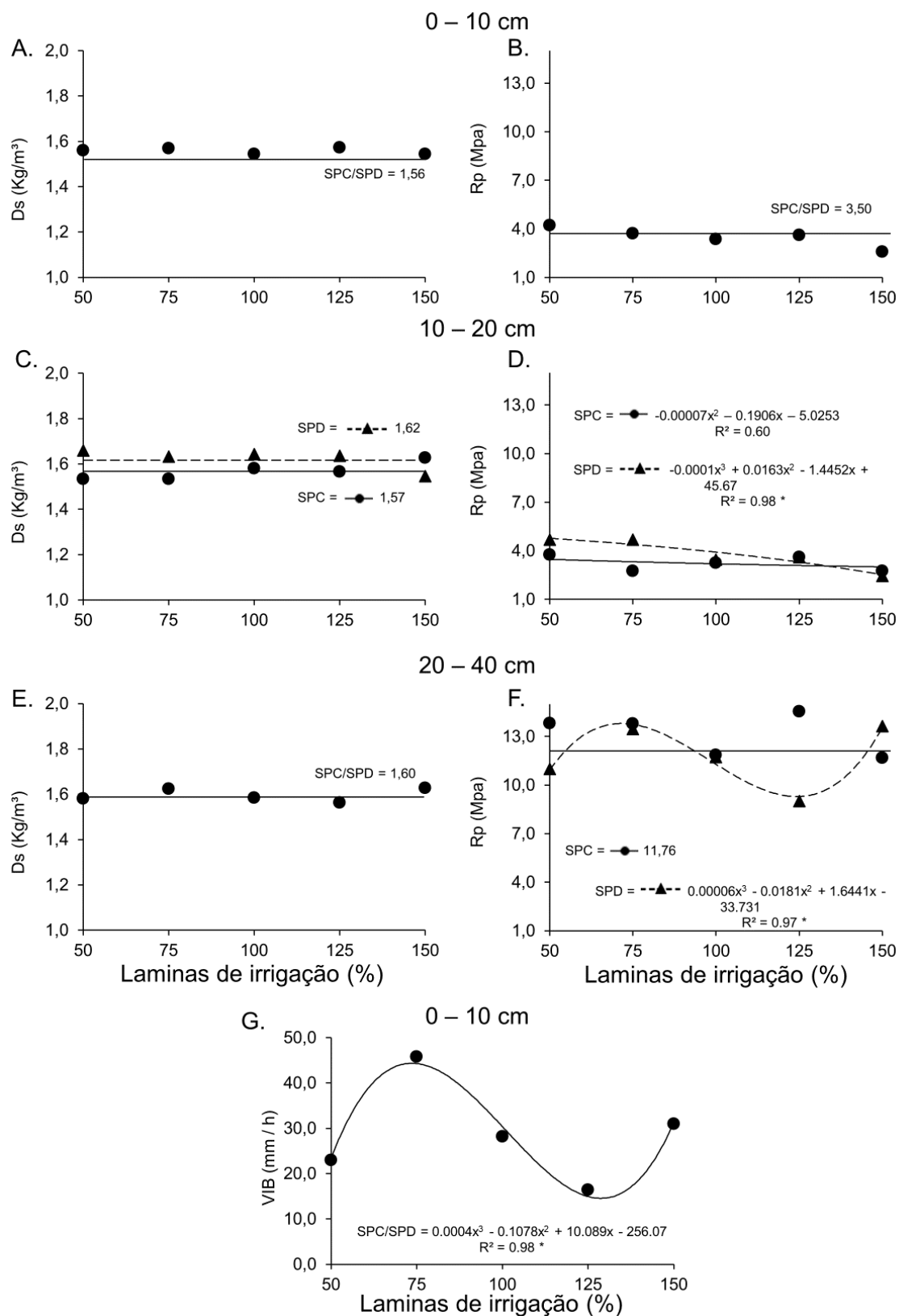
* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste F a 5% de significância; ^{1/} Testemunha irrigado com 100% da lâmina com água bruta.

Nota-se, pela Figura 12, que na profundidade de 0 a 10 cm não houve diferenças significativas entre os valores médios obtidos para os atributos Ds (Figura 12A) e Rp (Figura 12B), nas diferentes lâminas de irrigação com ARS e em ambos os sistemas de manejo. Já para a VIB (Figura 12G), verificou-se um ajuste cúbico, sem, contudo, haver diferenças entre o SPD e SPC.

Na análise dos atributos Ds e Rp, na profundidade de 10 a 20 cm, verificou-se que, enquanto a densidade do solo não apresentou diferença significativa entre os valores médios obtidos nas diferentes lâminas de ARS dentro do fator SPD e do fator SPC (Figura 12C), o atributo Rp apresentou comportamento distinto para as linhas de regressão, cujos ajustes para o SPC foi do tipo cúbico até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS e no SPD o ajuste foi do tipo polinomial até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 12D).

Observa-se que, pela Figura 12E, na profundidade de 20 a 40 cm, não houve diferenças significativas entre os valores médios obtidos para o atributo Ds entre o SPC e SPD, nas diferentes lâminas de irrigação com ARS. Por sua vez, na análise do atributo Rp (Figura 12F), na camada de 20 e 40 cm de profundidade, verificou-se um ajuste cúbico para os efeitos das lâminas de irrigação com ARS no SPD.

A falta de resultados mais concretos para os dados de Rp pode estar relacionada com a inexistência dos dados relacionados à umidade do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm do momento em que foi feito o teste de resistência à penetração, já que os valores são altamente influenciáveis pela umidade do solo (HAMZA et al., 2005). Outro ponto que pode ser levado em consideração é o pouco tempo em que os sistemas de manejo estão implementados na área, necessitando de maior tempo experimental para que ocorram mudanças significativas nessa variável (BERTOL et al., 2001; SECCO et al., 2005; LOURENTE et al., 2011).



* significativo a 5% de significância pelo teste F.

Figura 12 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo (SPC e SPD) nos atributos físicos do solo: densidade do solo (D_s), resistência à penetração (R_p) e velocidade de infiltração básica (VIB) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, ao fim do terceiro ciclo de cultivo do milho.

A partir dos resultados encontrados, é possível afirmar que, de uma forma geral a ARS contribuiu para que a maioria dos atributos químicos do solo avaliados apresentassem incrementos em seus teores quando comparados com os teores encontrados nas parcelas testemunha e com a caracterização química do solo antes da montagem do experimento. Também foi observado que não ocorreram problemas de salinização e excesso de metais pesados no solo. Esses resultados obtidos a campo revelam que, após três ciclos de cultivo do milho, a ARS apresentou-se viável no fornecimento de água e nutrientes sendo, assim, uma alternativa para condicionar melhorias nos atributos químicos do solo em substituição, total ou parcial, dos fertilizantes minerais.

4 CONCLUSÕES

De modo geral, as lâminas de ARS estudadas nas diferentes profundidades, proporcionaram as maiores médias significativas para os atributos químicos testados no SPC.

Entre os sistemas de manejo investigados, os maiores valores médios atribuídos aos atributos químicos foram encontrados, de modo geral, na lâmina 150% de ARS nas diferentes profundidades analisadas.

A maioria dos atributos químicos apresentou alguma diferença entre as médias obtidas na comparação entre o SPC e SPD nas lâminas de ARS testadas. Contudo, na profundidade de 0 a 10 cm isto não ocorreu para o potássio, sódio, H+Al e COT; entre 10 a 20 cm não houve diferença no pH, Na, H+Al, Zn e COT; entre 20 a 40 cm não houve diferença no pH, Na, Al, H+Al, Cu, Fe e COT que não foram influenciados por nenhum dos sistemas de manejo adotados.

Na comparação entre as lâminas de ARS testadas no SPC e SPD na profundidade de 0 a 10 cm, verificou-se ajuste linear para a maioria dos atributos químicos analisados. Na profundidade de 10 a 20 cm, as lâminas de ARS testadas no SPC e SPD apresentou ajuste cúbico para a maioria dos atributos químicos

analisados. Entre 20 e 40 cm de profundidade, verificou-se que as lâminas de ARS testadas no SPC e SPD apresentou ajuste linear para a maioria dos atributos químicos analisados.

De modo geral, não houve diferença entre as médias obtidas para os atributos físicos do solo analisados na comparação entre os sistemas de manejo e nas lâminas de ARS aplicadas nas diferentes profundidades investigadas.

5 REFERÊNCIAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2019.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2020.

AMARAL, L. A.; ASCARI, J. P.; DUARTE, W. M.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; NEVES, J. C.; MATOS, A. D.; SILVA, D. D. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 47-51, 2005.

BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR, M. D.; MCGILL, A. C.; VAN SCHAİK, A. P.; FITZGERALD, N. B.; PANDEY, S. P. Land application of domestic effluent onto four soil types: Plant uptake and nutrient leachig. **Journal of Environmental Quality**, v.34, p.635-643, 2005.

BERNARDES, R. F. B. **Água residuária de suínos em um sistema agroflorestal: atributos químicos e translocação de nutrientes no solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 76 f. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BERTOL, O. J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. 209 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CABRAL, J. R.; DE FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 8, p. 823-832, 2011.

CARVALHO, N. S.; OLIVEIRA, A. B. B.; PESSOA, M. M. C.; COSTA NETO, V. P. C.; SOUSA, R. S.; CUNHA, J. R.; COUTINHO, A. G.; SANTOS, V. M.; ARAÚJO, A. S. F. de. Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 10, n. 43, p. 4076-4081, 2015

CAVALLET, L.E.; LUCCHESI, L.A.C.; MORAES, A.; SCHIMIDT, E.; PERONDI, M.A.; FONSECA, R.A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.724–729, 2006.

CHAVES, L. C. G.; DE ANDRADE, E. M.; CRISOSTOMO, L. A.; NESS, R. L. L.; LOPES, J. F. B. Risco de degradação em solo irrigado do distrito de irrigação do perímetro Araras Norte, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 3, p. 292-298, 2006.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

CIVARDI, J. F. D.; DE CASTRO, D. M.; DOS REIS, J. G. M.; CASAROTTO, E. L. **Alternativas sustentáveis com o uso de biodigestores e logística integrada na suinocultura: uma análise para a região de Itaporã-MS.** ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, XVI, p. 01-16, 2014.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 420/2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Data da legislação: 28/12/2009 - Publicação DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. D. B.; MOREIRA, J. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011.

CUNHA, E. G. **Influência de biocarvão e água residuária da suinocultura nos atributos do solo, no desenvolvimento inicial e na nutrição mineral do milho.** Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Campus de Alegre, ES, 2018.

CUNHA, N. R. D. S.; LIMA, J. E. D.; GOMES, M. F. D. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 91-122, 2005.

DA ROS, C. O.; LOPES, C. E. L.; SECCO, D.; PASA, L. Influência do tempo de adoção no sistema plantio direto nas características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., Lages, 1996. **Resumos**. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, p.153-155, 1996.

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

DE FREITAS, L.; DE OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

DE LIMA, P. A.; GUERRA, A. J. T. Degradação do solo em municípios do sul do Estado de Mato Grosso do sul decorrente da implantação da colônia agrícola nacional de Dourados—CAND. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 402-412, 2019.

DE OLIVEIRA, P. A. V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. **Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E)**, 1993.

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

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. **Embrapa Meio-Norte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

DUARTE, C. F. D.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J.; CASSARO, L. H.; BREURE, M. F.; PROCHERA, D. L.; BISERRA, T. T. Capim-piatã adubado com diferentes fontes de fósforo. **Investigação**, v. 15, n. 4, p. 58-63, 2016.

DUARTE, J. B. **Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola.** Monografia (Especialização em Estatística e Informática) Programa de pós-graduação em Estatística e Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1996.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Brazil.), v. 64, n. 2, p. 194-209, March/Apr. 2007.

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

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

GROHSKOPF, M. A. CORREA, P. C. C. C.; MAFRA, M. H.; PANISSON, J. Organic Nitrogen in a Typic Hapludox Fertilized with Pig Slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 127-139, 2015.

GUIDINELLE, R. B. **Água residuária de suinocultura e sistema plantio direto no desenvolvimento do milho para produção de silagem**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Alegre, ES. 2019.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. Soil Science Society of America. **Journal, Madison**, v.54, n.1, p.161-166, 1990.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B; CONDE, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I.M. Efeito do uso prolongado de água residuária de suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um latossolo vermelho-amarelo. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 3, p. 299–309, 2014.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: 26 set. 2020.

KONZEN, E. A. Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos. Sete Lagoas (MG): **Embrapa Milho e Sorgo**, 2006.

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B; DE LA TORRE, E. D. J. R.; STAUT, L. A. Sistema plantio direto e convencional: efeito na produtividade de fibra de três cultivares de algodoeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 2, p. 34-40, 2016.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; AVELINO, R. C.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre - ES. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 327-332, 2008.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

LOURENZI, C. R. **Dejetos de suínos: produção de culturas, efeitos na matéria orgânica e na transferência de formas de fósforo**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

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

MEDEIROS, S. D.; GHEYI, H. R.; PÉREZ-MARIN, A. M.; LOUREIRO, S. F. A.; DANTAS, F. P. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1047-1055, 2011.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; CARMONA, F.C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. (ED.). **Fundamentos de Química do Solo**. 5 ed. Porto Alegre: EVANGRAF, 2012.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.165-178, 2005.

MUNIZ, J.; KRETZSCHMAR, A.A. RUFATO, L.; PELIZZA, T.R. RUFATO, A.R.; MACEDO, T.A. General aspects of physalis cultivation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.6, p.964-970, jun, 2014.

NUNES, R.S. **Eficiência de uso do fósforo em sistemas de manejo do solo e adubação fosfatada por um longo período**. Tese (Doutorado em Agronomia). 150 f. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de manejo convencional, município de Reserva-PR. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 65-76, 2015.

PEREIRA JUNIOR, A. M. **Uso de água residuária de suinocultura em sistema agroflorestal**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente). Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Uberlândia 2016.

PREZOTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação**. Vitória – ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p

PRIOR, M. **Efeito da água residuária de suinocultura no solo e na cultura do milho**. (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; DIETER, J.; COSTA, M. S. S. M. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 744-755, 2015.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivados com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 80, p. 1609-1623, 2007.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p. 11-19, 2010.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P.S.; WITHERS, P.J.A.; TELES, A.P.B.; HERRERA, W.F.B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 1050-1061, 2016.

ROSA, D. M. SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, P. A. M.; REIS, R. R.; SBIZZARO, M. Fertilização do milho via água residuária de suinocultura e qualidade ambiental do sistema solo-água. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, 2017.

SÁ, J. C. M. **Adubação fosfatada no Sistema Plantio Direto**. In YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafós, p. 201-222, 2004.

SCHERER, E. E.; NESI, N. C.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p. 1375-1383, 2010.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005

SILVA, A. P; TORMENA, C. A; DIAS JUNIOR, M.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-281.

SILVA, M. A. A. P. A. **Aplicação de água residuária de suinocultura após dois anos sucessivos em sistema agroflorestral**. Dissertação (Mestrado em Qualidade ambiental) Programa de pós-graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2018.

SMANHOTTO, A.; SOUZA, A. de; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; PRIOR, M. Cobre zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**. v. 30, p. 346-357, 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A. Efeitos do uso da água residuária da suinocultura na condutividade elétrica e hidráulica do solo. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 134-143, 2010.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. D.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 129-136, 2009.

STOLF, R. Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; URLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1).

TEAM, R. C. **A language and envirommet for statistical computing**. Vienna, Austria, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Centro Nacional de Pesquisas em Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 3 ed – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 575p.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; RASCHE, J. W.; BRUNETTO, G.; MALLMAN F. J.; PICCIN, R. Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetida à adubação sulfatada. **Bragantia**, n. 20, p.1-10, 2012.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

TOSTA, M. S. **Adubação nitrogenada na produção e na qualidade de frutos de maracujazeiro amarelo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2009.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, jul. 1984.

VIVIAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, campina Grande, v.14, n.3, p. 320-325, 2010.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Eds.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. v.1, p.61-167.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 487-495, 2007.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO CULTIVADO EM LATOSSOLO E SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

RESUMO

O manejo convencional do solo promove alterações em sua estrutura, aumento dos processos erosivos e redução do potencial produtivo. O descarte de dejetos suínos no ambiente causa degradação ao solo e da água, devido a sua elevada carga de matéria orgânica e nutrientes. A associação entre um sistema conservacionista de manejo do solo com a utilização agrícola de resíduos da suinocultura pode promover ganhos produtivos, com melhoria na nutrição das plantas. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a nutrição e o desenvolvimento do milho, com características para silagem, irrigado com diferentes lâminas de água residuária de suinocultura (ARS) e cultivado em dois sistemas de manejo do solo. O experimento foi composto por cinco lâminas de irrigação com ARS (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc da cultura do milho) e dois sistemas de manejo do solo (sistema plantio convencional – SPC e sistema plantio direto – SPD). O estado nutricional foi avaliado em folhas de milho amostradas no estágio de pendramento, onde foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn. Os parâmetros morfoagronômicos do milho (altura de plantas-AP, altura de inserção da espiga-AIE, diâmetro do colmo-DC, produtividade de espigas por planta-PEP, peso de espiga na massa verde-PEMV, massa fresca de planta-MFP e massa seca de planta-MSP) foram avaliados com as espigas no estágio pré-farináceo. Não houve influência dos sistemas de manejo nos teores foliares dos nutrientes, com exceção do Ca que apresentou teores mais elevados no SPC. Foram observados teores foliares adequados para N, P, Ca e Mg. O aumento das lâminas de ARS refletiu em maiores PEMV e MSP, parâmetros que estão diretamente relacionados ao volume de silagem produzida, além de favorecer o aumento de AP, AIE, DC e MFP.

Palavras-chave: Dejetos de Suínos, Sistema Plantio Direto, Milho Silagem.

ABSTRACT

Conventional soil management promotes changes in its structure, an increase in erosion processes and a reduction in productive potential. The disposal of swine manure in the environment causes soil and water degradation, due to its high load of organic matter and nutrients. The association between a conservationist soil management system and the agricultural use of swine residues can promote productive gains, with improvement in plant nutrition. Thus, the objective of this research was to evaluate the nutrition and development of corn, with characteristics for silage, irrigated with different depths of swine wastewater (ARS) and cultivated in two soil management systems. The experiment consisted of five irrigation depths with ARS (50, 75, 100, 125 and 150% of the ET_c of the corn crop) and two soil management systems (conventional tillage system - SPC and no-tillage system - SPD). The nutritional status was evaluated in corn leaves sampled at the tacking stage, where the levels of N, P, K, Ca, Mg, Cu and Zn were determined. The morphoagronomic parameters of maize (height of plants-AP, height of ear insertion-IEA, diameter of stem-DC, yield of ears per plant-PEP, weight of ear in green mass-PEMV, fresh mass of plant-MFP and plant dry mass-MSP) were evaluated with the ears in the pre-farinaceous stage. There was no influence of management systems on leaf nutrient contents, with the exception of Ca, which showed higher levels in SPC. Adequate foliar contents for N, P, Ca and Mg were observed. The increase in ARS blades reflected in higher PEMP and MSP, parameters that are directly related to the volume of silage produced, in addition to favoring the increase of AP, AIE, DC and MFP.

Keywords: Swine manure, no-tillage system, silage corn.

1 INTRODUÇÃO

A partir do aumento populacional, a demanda por recursos naturais como água, solo e alimentos aumentou exponencialmente, exigindo cada vez maior produtividade dos sistemas agrícolas. No Brasil, o crescimento das atividades agrícolas resultou na conversão de ambientes ecologicamente estáveis em áreas cultivadas, que vem sendo degradadas por conta de práticas de manejo inadequadas (SAMBUICHI et al., 2012).

Uma alternativa para a redução e recuperação de áreas degradadas é o uso de sistemas agroecológicos de produção, pois se constituem como importante instrumento para a conservação e melhoria ambiental (PALUDO et al., 2012). Seu desenho é elaborado visando à conservação e recuperação dos recursos naturais, caracterizando o sistema produtivo como um ambiente dinâmico e complexo, com diversas interações que necessitam de equilíbrio para manter o ambiente estável e produtivo (ALTIERI et al., 2015; TEIXEIRA et al., 2017).

Tratando-se de problemáticas ambientais, uma atividade agrícola com enorme potencial de degradação é a suinocultura. Segundo dados da ABPA (2019), a carne suína é a mais consumida no mundo e o Brasil se enquadra como 4º maior produtor e exportador dessa *commodity*. De Luca et al. (2017) afirmam que o aumento no consumo de carne suína proporciona maior volume de resíduos provenientes do seu processo de criação. Esses resíduos representam grande risco para o meio ambiente quando mal manejados e descartados de forma incorreta (MEDEIROS et al., 2011; BOLZANI et al., 2012).

Uma forma de amenizar os problemas ocasionados pelos resíduos gerados na suinocultura é o seu tratamento por meio de biodigestores anaeróbicos, auxiliando na redução de elementos potencialmente tóxicos e resultando em um insumo ambientalmente mais seguro (CONDÉ et al., 2012). Dentre os produtos gerados no processo de biodigestão, destaca-se a água residuária de suinocultura (ARS), material com enorme potencial para uso agrícola devido à alta concentração de macro e micronutrientes presentes em sua composição (OLIVI et al., 2015).

Segundo Gomes Filho et al. (2001), a ARS possui quantidades suficientes de nutrientes para o suprimento da demanda nutricional de culturas agrícolas, com concentrações elevadas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Da concentração total desses três nutrientes na ARS, cerca de 67% do N, 33% do P e 100% do K apresentam-se na forma mineral, prontamente absorvíveis pelas plantas. Os demais nutrientes estarão disponíveis para as plantas a partir da mineralização da matéria orgânica, que atua não só fornecendo nutrientes, mas também melhorando atributos como a agregação de partículas, porosidade total, infiltração da água no solo e elevação da capacidade de troca de cátions (BAUMGARNTER et al., 2007).

Uma cultura que apresenta boa aplicabilidade quanto ao uso da ARS na fertirrigação é o milho, pois se trata de uma cultura anual, com alta demanda por água e nutrientes e que permite o período de pousio do solo entre os ciclos de cultivo, evitando problemas de contaminação devido ao uso excessivo de ARS (PRIOR et al., 2015).

De Oliveira et al. (2004) avaliaram o uso de lâminas de ARS na fertirrigação do milho e obtiveram respostas positivas quanto a produtividade das plantas irrigadas com ARS. Esses mesmos autores também observaram que o uso da ARS promoveu um incremento de 23 a 35,8% na proteína bruta das plantas de milho. Em trabalho semelhante, Freitas et al. (2004) relataram aumentos de produtividade média de matéria verde de 52% nas plantas irrigadas com ARS em relação à testemunha, além de aumentos significativos na altura de plantas, número de espigas, altura de inserção e peso de espigas.

Uma forma de controlar os problemas relacionados ao mau manejo do solo é a adoção do sistema plantio direto (SPD). Esse sistema promove diversos benefícios ao solo, tais como: redução da erosão hídrica, incremento de matéria orgânica, aumento da atividade biológica do solo e maior estabilidade dos agregados, sendo considerada como uma prática de manejo sustentável do solo (DE MELO JUNIOR et al., 2011). Dessa forma, o uso do SPD torna-se fundamental para melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, auxiliando no crescimento e desenvolvimento do milho (SAMPAIO et al., 2010; PRIOR et al., 2015; LIMA et al., 2019).

O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a nutrição mineral do milho irrigado com diferentes lâminas de irrigação com ARS e cultivado em dois sistemas de manejo do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – *Campus Alegre*, localizado em Rive, distrito do município de Alegre, coordenadas 20°44'05" a 20°45'51" latitude Sul e 41°25'50" a 41°29'44" longitude Oeste. O clima da região é do tipo "Cwa", segundo classificação de Köppen, apresentando verão quente e úmido e inverno frio e seco, com temperatura e precipitação média anual de 23,1°C e 1341 mm, respectivamente (LIMA et al., 2008).

Durante a condução do experimento, foi mensurada a precipitação diária com o auxílio de um pluviômetro instalado na área experimental. As temperaturas máximas e mínimas foram obtidas a partir de dados coletados pela estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, Alegre-A617, localizada no município de Alegre, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo - CCAE-UFES (INMET, 2019) (Figura 1).

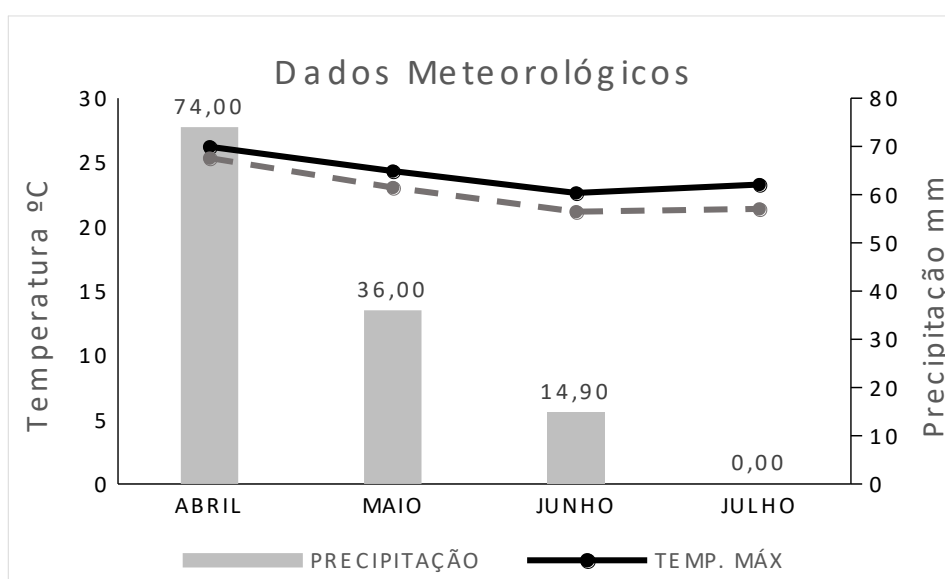


Figura 1 – Dados meteorológicos durante a condução do experimento no ano de 2019.

Fonte: INMET (2019).

A caracterização química e física do solo da área experimental foi realizada antes do primeiro ciclo de cultivo, no ano de 2017, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabelas 1 e 2). O solo do local foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média, apresentando histórico de manejo e uso caracterizado pelo preparo intensivo do solo, por intermédio da aração e gradagem e cultivo de olerícolas e culturas anuais por mais de 30 anos.

Tabela 1 – Caracterização química do solo antes do primeiro ciclo de cultivo

Atributos	Profundidades do solo (cm)		
	0-10	10-20	20-40
pH (H ₂ O)	5,86	5,94	5,98
NT (dag/kg)	0,338	0,329	0,288
P (mg/dm ³)	34,1	30,35	24,63
K (mg/dm ³)	61,67	60,67	48,67
Na (mg/dm ³)	4,17	4,0	3,33
Ca (cmol _c /dm ³)	2,15	2,33	2,30
Mg (cmol _c /dm ³)	0,57	0,56	0,56
Al (cmol _c /dm ³)	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmol _c /dm ³)	3,52	3,29	2,64
SB (cmol _c /dm ³)	2,89	3,12	3,01
t (cmol _c /dm ³)	2,89	3,12	3,01
T (cmol _c /dm ³)	6,41	6,36	5,64
V (%)	44,96	48,22	53,35
m (%)	0,00	0,00	0,00
Fe (mg/dm ³)	104,90	98,80	86,43
Cu (mg/dm ³)	0,5	0,5	0,5
Zn (mg/dm ³)	15,6	14,50	8,61

Fonte: Guidinelle (2019).

pH: Potencial Hidrogeniônico; NT: Nitrogênio Total; P: Fósforo; K: Potássio; Na: Sódio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Al: Acidez trocável; H + Al: Acidez Potencial; SB: Soma de Bases; t: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V: Índice de Saturação por Bases; m: Índice de Saturação por Alumínio.

Tabela 2 - Caracterização física do solo antes do primeiro ciclo de cultivo

Atributos	Profundidades do solo (cm)		
	0-10	10-20	20-40
Ds (kg/dm ³)	1,63	1,74	1,76
RP (MPa)	1,62	2,75	6,24
	Textura do solo (%)		
Areia Total (%)	63	62	57
Silte (%)	10	10	10
Argila (%)	27	28	33
VIB (mm/h ^{1/2})	28,0		

Fonte: Guidinelle (2019).

Ds: Densidade do solo; RP: Resistência à penetração, e; VIB: Velocidade de infiltração básica, 1/Superfície do solo.

Para a irrigação do experimento, utilizou-se água residuária de suinocultura (ARS) oriunda do setor de suinocultura do Ifes - *Campus Alegre*. A ARS foi obtida por meio do processo de digestão anaeróbia em biodigestor instalado no setor. O setor possui capacidade para abrigar 40 matrizes em produção e mais 10 para reposição, não atingindo valores máximos de lotação, apresentando em média 32 fêmeas nas baias de gestação, 8 na maternidade e cada fêmea tendo, em média, 10 leitões. Ainda são abrigados 3 machos para reprodução, entre 150 a 250 animais na creche e 250 a 300 animais no setor de crescimento/terminação. O número médio de suínos oscila entre 523 a 673 animais, com produção diária de dejetos estimada em 3,1 m³, conforme metodologia proposta por Oliveira (1993).

Antes de chegar ao biodigestor, é feito o tratamento preliminar dos resíduos (fezes, urina e água) para filtragem das partes mais grosseiras e da gordura presente no resíduo. Feito isso, o resíduo é depositado no biodigestor, onde ocorre a digestão anaeróbica. O produto líquido resultante é a ARS, que fica armazenada em um tanque impermeabilizado, de onde é bombeada para irrigação. O biodigestor e o tanque impermeabilizado possuem capacidade máxima de armazenamento de 300 m³ e 250 m³, respectivamente. O biodigestor é utilizado a 60-70% de sua máxima capacidade.



Figura 2 - Biodigestor anaeróbio e tanque impermeabilizado localizados próximos ao local de condução do experimento.

Fonte: Autor.

A ARS armazenada no tanque impermeabilizado foi amostrada e enviada para caracterização química (Tabela 3) no Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas – Fullin, em Linhares - ES.

Tabela 3 - Caracterização química da ARS utilizada no experimento

Parâmetro Analisado	Unidade	Valores
Condutividade Elétrica (C.E.)	ds/m	5,16
pH	-	7,85
Razão de adsorção Sódio (RAS)	-	1,6
Ferro (Fe)	mg/L	0,52
Sódio (Na)	mg/L	50,0
Cloro (Cl)	mg/L	< 0,15
Zinco (Zn)	mg/L	0,11
Cobre (Cu)	mg/L	< 0,05
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	< 5
Fósforo (PO ₄ ³⁻)	mg/L	61,87
Potássio (K)	mg/L	210,0
Cálcio (Ca)	mg/L	54,40
Magnésio (Mg)	mg/L	12,00
Boro (B)	mg/L	0,42
Manganês (Mn)	mg/L	0,25
Nitrogênio (N) (NO ₃ ⁻)	mg/L	2,3
Nitrogênio (N) (NH ₄ ⁺)	mg/L	511,0

*<Limite de Quantificação.

Fonte: Guidinelle (2019).

O cálculo do volume de ARS a ser utilizada na irrigação foi efetuado a partir de um equipamento denominado irrigômetro (Figura 3). Esse equipamento foi construído pela empresa Irrigacerto Irrigação Ltda., com base na cultura a ser trabalhada (milho), nas características do solo da área experimental e do sistema de irrigação. O irrigômetro é um equipamento preciso e de fácil manuseio, que tem se mostrado eficiente para determinação da evapotranspiração, indicando o momento e o tempo correto de irrigação (OLIVEIRA; RAMOS, 2008).

As leituras da evapotranspiração foram realizadas a cada 24h, avaliando-se assim a necessidade de irrigação em cada fase de desenvolvimento da cultura. Durante a condução do experimento a pluviosidade foi monitorada com o auxílio de um pluviômetro acoplado ao irrigômetro. Nos dias em que houve precipitação, descontou-se da lâmina de irrigação o volume de chuva. Nos casos em que o volume

de chuvas em 24 horas foi superior à evapotranspiração da cultura, não foi realizado o manejo de irrigação.

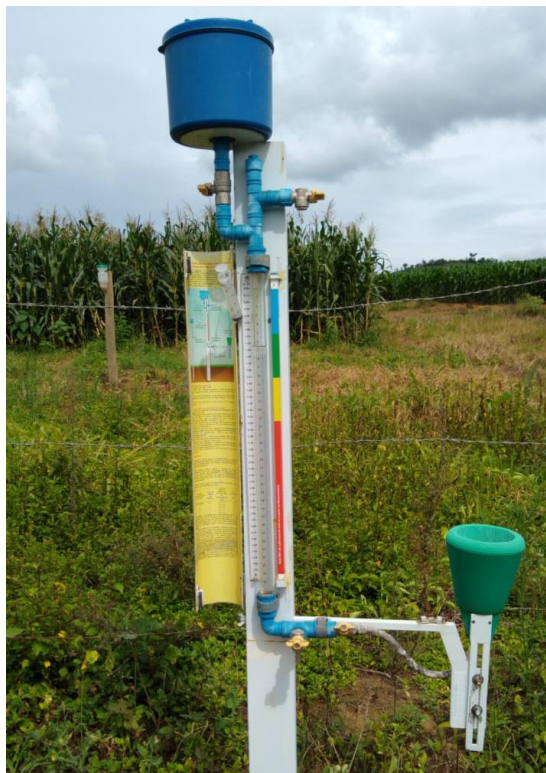


Figura 3 - Irrigâmetro instalado próximo ao experimento.

Fonte: Autor.

Devido a complicações técnicas e operacionais na instalação e casualização do sistema de irrigação, o experimento foi implantado no esquema em faixas, seguindo método proposto por DUARTE (1996). Sua utilização garante que as diferentes lâminas de irrigação e os métodos de manejo do solo permaneçam em linhas contínuas, facilitando o manejo do experimento.

O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial 5 x 2, sendo composto por cinco (5) lâminas de irrigação com ARS (L1=50%, L2=75%, L3=100%, L4=125%, L5=150% da ETc), onde a lâmina L3 é mensurada partir de leitura no irrigâmetro e as demais lâminas foram obtidas a partir de regra de três simples; e dois (2) sistemas de manejo (sistema plantio convencional – SPC e sistema plantio direto – SPD) (Figura 4), com 3 repetições, obtendo-se um total de 30 parcelas experimentais. Adicionalmente foram implantadas duas parcelas testemunha (uma para cada sistema

de manejo), irrigadas com água “bruta” na lâmina de 100% da ETc. Cada parcela experimental possui dimensão de 10 x 10m (100 m²).



Figura 4 – Sistema plantio convencional e sistema plantio direto.

Fonte: Autor.

O atual experimento seguiu o mesmo planejamento dos dois ciclos anteriores de cultivo do milho, realizados na mesma área experimental e respeitando as mesmas demarcações dos ciclos anteriores no local, de forma a se avaliar o efeito acumulado das lâminas de irrigação e dos sistemas de manejo do solo ao longo do tempo, sendo realizados até então três ciclos de cultivo (Figura 5).

O 1º ciclo de cultivo foi conduzido no período de 02/01/2018 a 07/04/2018 e o 2º ciclo de 13/04/18 a 21/07/2018. O terceiro ciclo de cultivo do milho, objeto desta pesquisa, foi conduzido no período de 04/04/2019 a 07/07/2019, totalizando 96 dias de cultivo para cada um dos ciclos.



Figura 5 - Foto aérea do local onde o experimento foi conduzido.

Fonte: Autor/ Adaptado do Google Maps.

Com as parcelas experimentais demarcadas, realizou-se a implantação dos sistemas de manejo do solo. Nas parcelas sob SPC, o solo foi arado uma vez e gradeado duas vezes antes do plantio do milho. Já nas parcelas onde o sistema de manejo adotado foi o SPD, realizou-se, cerca de 4 meses antes do plantio do milho, o plantio da leguminosa mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) (Figura 6).



Figura 6 – Mucuna-preta implantada nas parcelas sob SPD antes do plantio do milho.

Fonte: Autor.

Antes do plantio foi feita a quebra de dormência das sementes da leguminosa, imergindo as mesmas em água durante o período de, aproximadamente, 24 horas. Feito isso, realizou-se a semeadura seguindo o espaçamento de 0,5 m entre linhas, profundidade de plantio de 2 a 3 cm e a deposição de 4 sementes por metro (WUTKE et al., 2014), com semeadura manual. Não houve adubação da leguminosa e a irrigação foi realizada com água bruta. Ao atingir o estágio de florescimento realizou-se o corte da leguminosa, depositando os resíduos sobre o solo. Duas semanas após o corte da leguminosa, realizou-se o plantio do milho sobre os resíduos culturais. No SPD não houve aração e gradagem, sendo o solo alterado apenas na linha de semeadura.

Utilizou-se um milho híbrido indicado para a região e apto para silagem, com percentual de germinação de 85%. A semeadura ocorreu no espaçamento de 0,8 x 0,2 m, com o auxílio de uma semeadora-adubadora projetada para plantio direto, com autonomia de 4 linhas de plantio e 5 cm de profundidade para a deposição das sementes, apresentando estande de 5 plantas por metro linear (62.500 plantas/ha). Cada parcela experimental recebeu 12 linhas de plantio, com 10 metros de comprimento cada. Utilizaram-se os dados da caracterização química do solo anterior à instalação do experimento (Tabela 1) para recomendação de adubação, calculada de acordo com o manual de adubação e calagem do Espírito Santo (PREZOTI et al., 2007). Não foi necessário o uso de calcário no solo.

Para a adubação de plantio, aplicou-se 15 kg/ha de ureia, 145 kg/ha de superfosfato simples e 32 kg/ha de cloreto de potássio. A adubação de cobertura foi dividida em duas aplicações, onde, foram aplicados 145 kg/ha de ureia e 32 kg/ha de cloreto de potássio na primeira adubação e, 145 kg/ha de ureia na segunda adubação. Como utilizou-se a análise de solo anterior ao primeiro ciclo de cultivo (Tabela 1), a adubação de plantio e cobertura do experimento foi semelhante aos dois ciclos de cultivo anteriores ao atual, desconsiderando assim o efeito residual dos ciclos anteriores. Durante a condução do experimento, foram feitas capinas e roçadas semimecanizadas, de acordo com a necessidade, para o controle das plantas espontâneas. Não foram utilizados agrotóxicos na condução do experimento.



Figura 7 – Área experimental após o plantio do milho.

Fonte: Autor.

Após o preparo da área e o plantio do milho, realizou-se a implementação do sistema de irrigação. O sistema utilizado foi o de aspersão convencional semifixo, instalado no meio de cada parcela experimental. O sistema consiste de um conjunto motobomba instalado ao lado do tanque impermeabilizado de ARS, no setor de suinocultura do Ifes – *Campus Alegre*, com distância aproximada de 150 m da área experimental, com linha principal em aclave passando entre as parcelas de SPC e SPD. A partir da linha principal, foram instaladas dez linhas laterais, cinco de cada lado da linha principal, onde em cada par de linhas laterais aplicou-se uma das lâminas de irrigação pré-determinadas. Cada par de linhas de irrigação recebeu 6 aspersores de impacto do tipo miniaspersor pingo giro completo, com saída de 3,2 x 2,4 mm cada, representando um aspersor para cada parcela experimental (Figura 8).

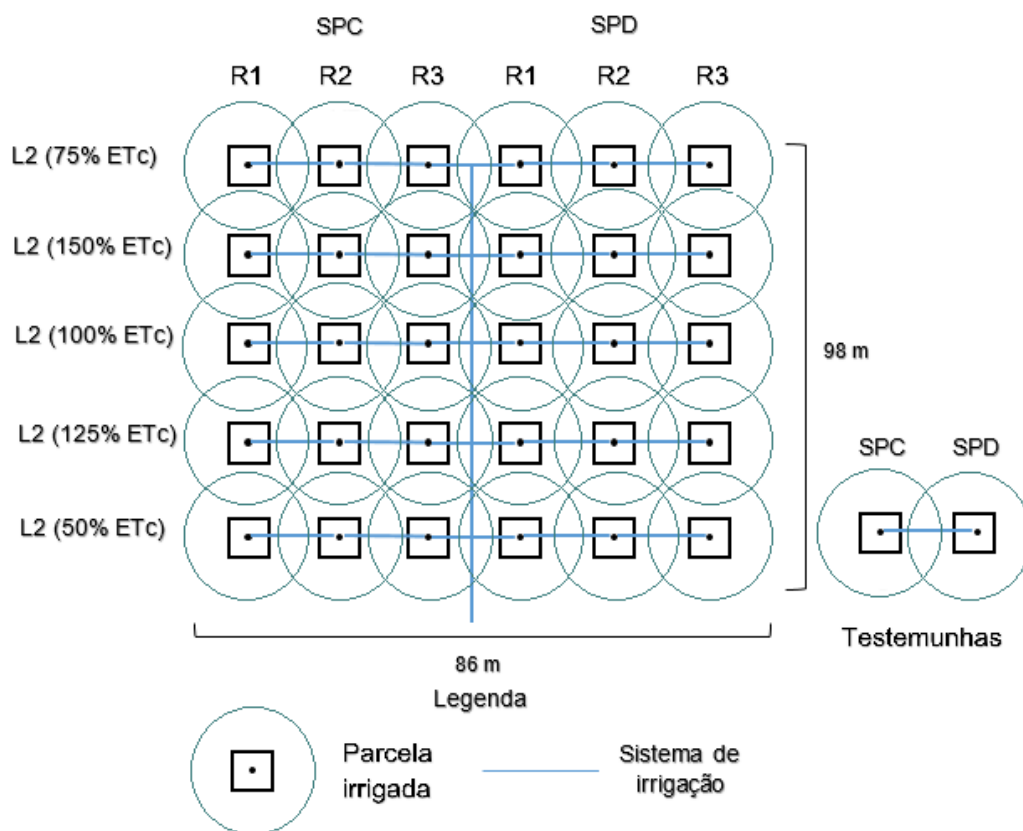


Figura 8 - Representação do sistema de irrigação e sua disposição no experimento.

Fonte: Autor.

A irrigação do milho com ARS ocorreu a partir do dia 26/04/2019, realizada até dois dias antes do encerramento do terceiro ciclo de cultivo. Como descrito anteriormente, cada linha de cultivo recebeu uma lâmina de irrigação. O volume de irrigação com ARS variou de acordo com a fase de desenvolvimento do milho, sendo acompanhadas por uma régua de desenvolvimento do milho acoplada ao irrigômetro. Dessa forma, ao fim do experimento, obtiveram-se os seguintes volumes de ARS utilizados na irrigação e precipitação (Tabela 4).

Tabela 4 - Volume de ARS e precipitação registrada no terceiro ciclo de cultivo do milho

Lâminas (%)	mm	m ³ /ha
50	77,62	776,20
75	116,47	1164,70
100	155,30	1553,00
125	194,11	1941,10
150	232,95	2329,50
Precipitação*	124,90 mm	

Fonte: Autor (2019).

*Precipitação obtida a partir de um pluviômetro instalado na área experimental, referente ao período de condução do ciclo de plantio do milho.

As folhas de milho para análise do estado nutricional foram coletadas quando 50% das plantas estavam em estágio de pendoamento. Coletou-se o terço médio da folha oposta e abaixo da espiga, denominada de folha diagnose-FD em todas as parcelas, nas linhas centrais de cultivo, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Após a coleta, levou-se o material para secagem em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de, aproximadamente, 65 °C até se obter peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo “Willey” e armazenadas para realização das análises químicas.

A partir das amostras secas e moídas, obtiveram-se os extratos por intermédio da digestão sulfúrica para posterior determinação dos teores de N e digestão nítrico-perclórica para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu e Zn (EMBRAPA, 2009). A determinação do teor de N foi feita a partir da metodologia proposta por Bremmer (1965). O teor de P foi determinado por colorimetria, o teor de K por fotometria de chama e os teores de Ca, Mg, Cu e Zn por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2009).

A avaliação dos parâmetros morfoagronômicos do milho foi realizada quando as espigas atingiram o estágio pré-farináceo (ponto de silagem), 96 dias após o plantio. Foram selecionadas 3 plantas em cada uma das 6 linhas centrais de cada parcela, totalizando 18 plantas por parcela. A partir das plantas selecionadas, avaliaram-se: altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do

colmo (DC), produtividade de espigas por planta (PEP), peso de espiga na massa verde (PEMV), massa fresca de planta (MFP) e massa seca de planta (MSP).

Foi realizada análise de variância dos dados avaliando a interação entre as lâminas de irrigação com ARS e os sistemas de manejo do solo, além dos efeitos isolados dos fatores descritos. Quando a interação entre os fatores foi significativa, fez-se o desdobramento das lâminas de irrigação com ARS dentro de cada sistema de manejo do solo, através da análise de regressão dos dados. O modelo estatístico que melhor se ajustou para cada uma das variáveis foi determinado pelo grau de significância e no coeficiente de determinação da regressão.

A análise da influência dos sistemas de manejo em cada lâmina de irrigação com ARS foi feita pelo teste F. Nas variáveis que não se observou interação significativa entre as lâminas de irrigação e os sistemas de manejo, os efeitos foram analisados de forma isolada. Utilizou-se o programa estatístico R para a realização das análises estatísticas (TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas análises estatísticas avaliando a influência dos sistemas de manejo SPC e SPD, associados a diferentes lâminas de irrigação com ARS, sobre os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn em folhas de milho (Tabela 5 e Figura 9). A interação fatorial entre as diferentes lâminas de irrigação com ARS e os sistemas de manejo foram significativas ($p < 0,05$) para os teores de Ca e Zn. Para as demais variáveis avaliadas, nota-se que não houve diferenças significativas entre as médias obtidas na comparação entre os teores foliares de N, P, K, Mg e Cu encontrados no SPC e SPD nas diferentes lâminas de ARS testadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD) nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn em folhas do milho

Sistemas de manejo	Lâminas de Irrigação ARS					
	Test. ^{1/}	50%	75%	100%	125%	150%
N (g/kg)						
SPC	23,8	27,08 a	28,10 a	28,30 a	28,67 a	28,63 a
SPD	24,5	28,40 a	27,67 a	28,27 a	28,77 a	29,17 a
P (g/kg)						
SPC	2,46	2,97 a	3,44 a	4,41 a	3,79 a	4,29 a
SPD	2,72	2,98 a	3,53 a	3,73 a	3,65 a	4,53 a
K (g/kg)						
SPC	7,16	8,70 a	9,13 a	9,12 a	9,47 a	9,27 a
SPD	7,55	8,94 a	8,94 a	9,71 a	9,23 a	10,00 a
Ca (g/kg)						
SPC	5,31	6,17 a	5,52 a	5,68 a	6,24 a	6,27 a
SPD	4,79	5,56 b	5,98 b	4,78 b	4,95 b	4,87 b
Mg (g/kg)						
SPC	1,55	1,90 a	2,31 a	1,87 a	1,96 a	2,26 a
SPD	1,76	1,94 a	2,31 a	1,93 a	1,91 a	1,97 a
Cu (mg/kg)						
SPC	4,14	5,53 a	5,92 a	5,34 a	5,07 a	5,52 a
SPD	3,99	6,60 a	6,62 a	5,94 a	6,11 a	5,66 a
Zn (mg/kg)						
SPC	10,20	14,18 a	13,58 a	18,85 a	13,47 b	15,88 a
SPD	10,32	16,56 a	15,92 a	16,34 a	19,38 a	16,88 a

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste F a 5% de significância; ^{1/} Testemunha irrigada com água sob lâmina de 100% da ETc, somente para comparação.

Pela Figura 9, percebe-se que houve diferenças significativas na interação entre as lâminas de irrigação com ARS e sistema de manejo do solo, exceto para os teores de K (Figura 9C), Ca (Figura 9D), Cu (Figura 9F) e Zn (Figura 9G) no SPD. Para os demais nutrientes estudados, não houve diferença entre o SPD e o SPC.

Verificou-se que, para o teor de N, tanto o SPC quanto o SPD apresentaram linha de tendência com ajuste linear crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 9). Maiores teores foliares de N foram observados nas parcelas irrigadas com ARS, quando comparadas com as parcelas testemunhas. Segundo Prezotti et al. (2007), a faixa adequada de N nas folhas de milho situa-se entre 27-35 g/kg. Dessa forma, os teores de N do respectivo trabalho encontram-se dentro da faixa adequada, diferente das testemunhas que apresentaram deficiência de N. Portanto, a ARS contribuiu com o fornecimento de N para as plantas de milho, apresentado resposta linear em função do incremento nas lâminas de ARS (Figura 9A).

Prior et al. (2015), estudando o comportamento de diferentes formas de N em solo cultivado com milho e irrigado com ARS, concluíram que ocorreu o aumento da concentração do nitrogênio inorgânico no solo em função do aumento das doses de ARS e do tempo de sua utilização, ocorrendo redução em alguns estádios onde as plantas apresentavam maior necessidade de N. Dessa forma, como se trata do terceiro ciclo de cultivo do milho irrigado com ARS, é possível que tenha ocorrido o acúmulo desse nutriente no solo, justificando os maiores teores de N foliar observados.

O N caracteriza-se como o nutriente de maior demanda para a cultura do milho, apresentando a maior exigência nutricional entre os demais nutrientes, sendo o nutriente que mais limita sua produção (BASI et al., 2011). A importância desse elemento está ligada às funções que ele exerce no metabolismo vegetal, atuando diretamente no crescimento vegetativo, além de estar presente na molécula de clorofila, que auxilia na manutenção da atividade fotossintética (NEUMANN et al., 2005).

Uma das hipóteses para os bons resultados encontrados nos teores foliares de N estaria na adubação verde proporcionada pelo plantio da mucuna-preta antes do cultivo do milho no SPD. Porém, apesar da fixação biológica de N proporcionada pela leguminosa, não houve diferença estatística entre o SPC e SPD. Dessa forma, os acréscimos nos teores de N estão relacionados com as lâminas de irrigação com ARS, que contém N em sua composição (Tabela 3). Caovilla et al. (2006) verificaram que a aplicação da ARS contribuiu para o aumento na concentração de N total no solo, fato que pode estar relacionado com os bons resultados de N foliar em ambos os sistemas de manejo deste estudo.

O P é um importante macronutriente para as plantas, desempenhando funções estruturais como armazenamento e transferência de energia para as células, na respiração e fotossíntese, auxiliando no bom crescimento radicular, fundamental para otimizar a absorção de água e nutrientes pela planta (TAIZ et al., 2017). Na cultura do milho, estimam-se que sejam extraídos cerca de 10 kg de P para cada tonelada de grãos produzidos, apresentando assim exigência nutricional muito abaixo do N e K (RESENDE et al., 2006). Apesar disso, por apresentar baixa eficiência no aproveitamento desse nutriente pelas plantas de milho, é recomendado que a

adubação a ser realizada seja de 20 a 30% maior que a necessidade exigida pelas plantas (GRANT et al., 2001).

Notou-se que, para o teor foliar de P, tanto o SPC quanto o SPD apresentaram linha de tendência com ajuste linear crescente até o limite de 150% de lâmina de irrigação com ARS (Figura 9B). Os teores de P considerados adequados para a nutrição do milho encontram-se na faixa de 2-4 g/kg (PREZOTTI et al., 2007). Sendo assim, todos os teores foliares de P, inclusive os da testemunha, encontram-se na faixa adequada. A lâmina de 100% de ARS do SPC e a lâmina de 150% de ARS nos dois sistemas de manejo proporcionaram teores de P um pouco acima desse limite. O incremento nas lâminas de irrigação com ARS promoveu um aumento linear nos teores foliares de P, sem que houvesse respostas dos sistemas de manejo (Figura 9B).

Com relação ao K, não houve ajuste significativo de equação de regressão, considerando as lâminas de ARS. O K é de extrema importância para o desenvolvimento das plantas, atuando na regulação osmótica das células vegetais, além de estar presente em processos bioquímicos relacionados à ativação de enzimas presentes no processo de produção de energia e respiração das plantas (TAIZ et al., 2017). No milho, o K é o segundo nutriente de maior importância para a cultura, onde cerca de 20% de todo K absorvido é destinado para os grãos. São necessários 4,3 kg/ha de K para produzir cerca de 1 tonelada de grãos de milho (BÜLL et al., 1993). Sua presença eleva a qualidade dos grãos bem como o número de grãos na espiga, auxiliando na formação do órgão feminino e elevando a resistência do colmo (TAKASU et al., 2014).

A maior deficiência nutricional encontrada foi nos teores foliares de K (Figura 9C), onde todos os tratamentos, independente de sistemas de manejo e lâminas de irrigação, apresentaram teores de K abaixo da faixa adequada. De acordo com Prezotti et al. (2007), a faixa adequada de K situa-se entre 17-35 g/kg para a cultura do milho. No presente trabalho, os teores foliares de K oscilaram entre 8,7 a 10,0 g/kg. Apesar da deficiência encontrada, os teores de K no solo foram altos em ambos os sistemas de manejo e lâminas de irrigação. Dessa forma, os baixos teores foliares de K podem estar relacionados com a época de colheita da folha diagnose, realizada quando 50% das plantas pendoaram, o que aconteceu aos 49 dias após o plantio. De

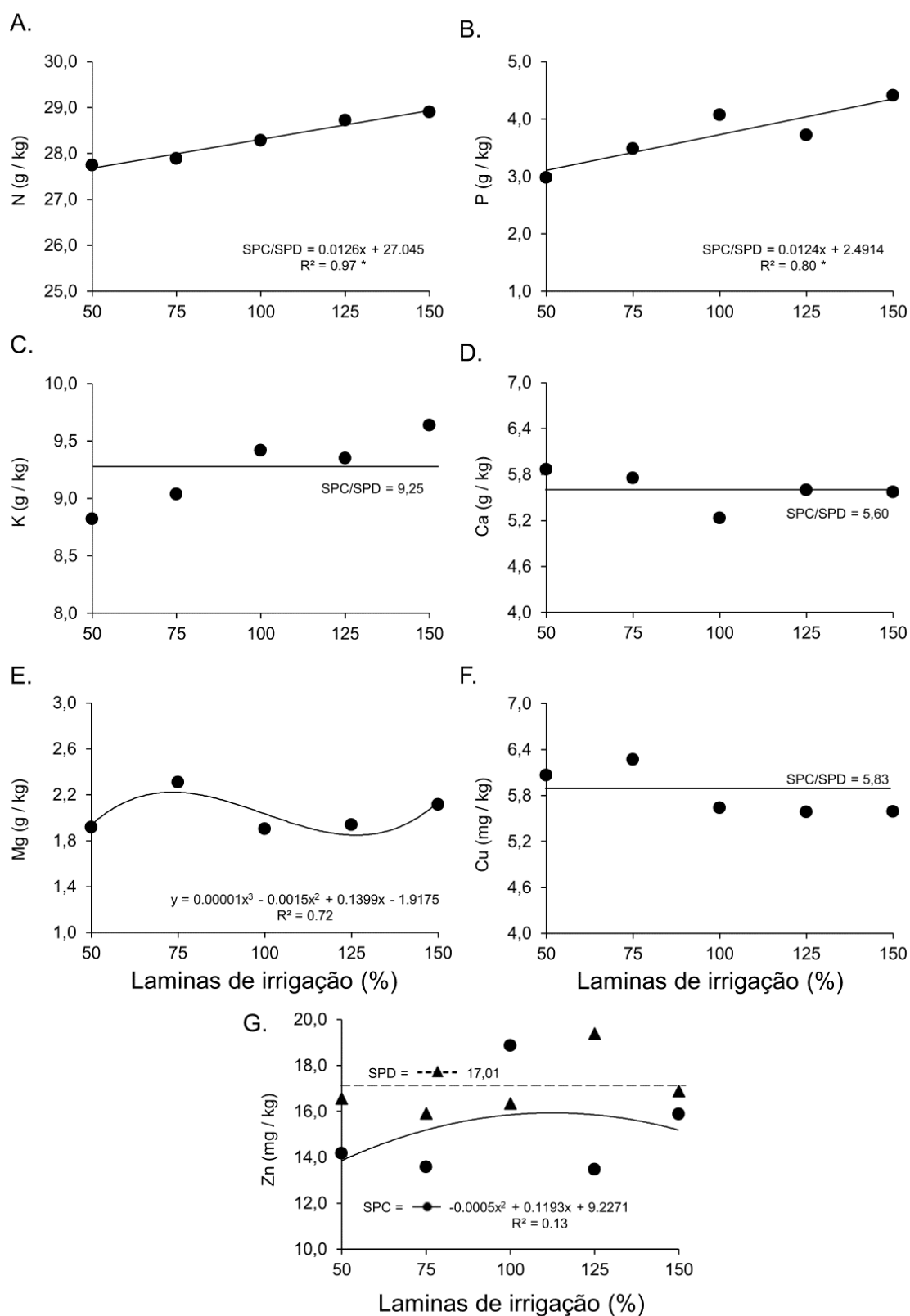
acordo com Borges (2006), o pico de absorção de K em plantas de milho ocorre aos 56 dias após o plantio. Isso ajuda a explicar os baixos valores de K encontrados nas folhas de milho.

Quanto aos teores foliares de Ca, não houve ajuste de equação de regressão. Já para os teores de Mg, observou-se um ajuste cúbico de equação de regressão (Figura 9E).

De acordo com a classificação de Prezotti et al. (2007), a faixa considerada adequada para os teores foliares de Ca e Mg (Figuras 9D e 9E) é de 2,5-8,0 e 1,5-3,0 g/kg, respectivamente. Não houve deficiência desses elementos nas plantas de milho. Ao compararem os resultados com as parcelas testemunhas, verifica-se que houve maiores teores nas parcelas irrigadas com ARS, demonstrando que a mesma contribuiu para elevar os teores de Ca e Mg nas plantas de milho.

Para o teor foliar de Zn nas plantas de milho cultivadas no SPC, verificou-se um ajuste quadrático, com valores crescentes até a lâmina de 100% de ARS (Figura 9G). Para o Cu, não houve ajuste de equação de regressão. Para os micronutrientes Cu e Zn, Prezotti et al. (2007) classificam em 6-20 e 15-100 mg/kg, respectivamente, como sendo as faixas adequadas de seus teores para as plantas de milho. Sendo assim, os teores foliares de Cu apresentaram-se abaixo do limite considerado ótimo na maioria das lâminas de ARS. Apenas as lâminas de 50, 75 e 125% do SPD apresentaram teores foliares de Cu acima da faixa considerada adequada.

Já os teores foliares de Zn apresentaram-se, em sua maioria, dentro da faixa adequada para a cultura do milho. Apenas nas lâminas de 50, 75 e 125% do SPC os teores encontravam-se na faixa de deficiência de Zn. Em relação às testemunhas, os teores de Cu e Zn foram classificados na faixa de deficiência nos dois sistemas de manejo. Não foram detectados incrementos nos teores de Cu e Zn em função do aumento das lâminas de irrigação, porém ao se comparar com os teores foliares das parcelas testemunhas observa-se que houve maiores teores foliares de Cu e Zn nas parcelas irrigadas com ARS.



* significativo a 5% de significância pelo teste F.

Figura 9 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD) nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn em folhas de milho.

Ao analisar os resultados da tabela 5, verifica-se que não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo do solo para os teores foliares de nutrientes, com exceção apenas para o Ca que apresentou maiores teores em todas as lâminas no SPC. Esse resultado vai de encontro com os teores de Ca^{2+} encontrados no solo do experimento após o cultivo do milho (Tabelas 5, 6 e 7; capítulo 1), onde foram observados maiores teores desse nutriente em todas as lâminas de ARS e profundidades do solo no SPC.

Também foi avaliada a interação entre os efeitos dos sistemas de manejo e as lâminas de irrigação com ARS sobre os parâmetros morfoagronômicos da cultura do milho para produção de silagem (altura de planta - AP, altura de inserção da espiga - AIE, diâmetro do colmo - DC, produtividade de espiga por planta - PEP, peso de espiga na massa verde - PEMV, massa fresca de planta - MFP e massa seca de planta - MSP). Conforme os resultados descritos na Tabela 6 e Figura 10.

Os parâmetros AP, AIE, DC, PEP, PEMV, MFP e MSP não apresentaram diferenças significativas entre as médias obtidas na comparação entre o SPC e SPD nas lâminas de ARS testadas (Tabela 6). A ausência de diferença entre os tratamentos testados pode refletir o fato de que, embora a área sob SPD tenha sido utilizada por pouco tempo, talvez o solo tenha adquirido algumas propriedades típicas de solo manejados sob plantio direto, de modo que os resultados obtidos nos dois sistemas de manejo foram estatisticamente iguais. Nesse sentido, Franchini et al. (2012), trabalhando com diferentes sistemas de manejo do solo, relataram que o SPD possuiu um período de estabilização de cerca de 6 anos de duração, onde seus resultados agrônômicos tendem a ser iguais ou inferiores ao SPC.

Tabela 6 – Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD) nos parâmetros morfoagronômicos da cultura do milho: altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), produtividade de espiga por planta (PEP), peso de espiga na massa verde (PEMV), massa fresca de planta (MFP) e massa seca de planta (MSP)

Sistema de manejo	Lâminas de Irrigação ARS					
	Test. ^{1/}	50%	75%	100%	125%	150%
	AP (cm)					
SPC	210,28	212,22 a	229,67 a	234,61 a	237,07 a	246,31 a
SPD	222,56	204,94 a	230,56 a	236,52 a	244,54 a	237,20 a
	AIE (cm)					
SPC	87,33	89,76 a	101,91 a	101,61 a	105,15 a	107,74 a
SPD	96,83	86,93 a	104,24 a	101,35 a	103,91 a	104,28 a
	DC (mm)					
SPC	15,85	17,03 a	17,87 a	18,75 a	19,46 a	20,49 a
SPD	14,84	16,24 a	18,33 a	19,00 a	20,26 a	19,36 a
	PEP (un./planta)					
SPC	1,06	1,09 a	1,13 a	1,06 a	1,09 a	1,07 a
SPD	1,06	1,04 a	1,04 a	1,02 a	1,09 a	1,06 a
	PEMV (g/planta)					
SPC	224,39	214,13 a	288,24 a	317,26 a	331,74 a	359,19 a
SPD	213,11	226,69 a	263,63 a	285,30 a	297,31 a	287,78 a
	MFP (g/planta)					
SPC	384,40	451,31 a	653,67 a	653,13 a	740,36 a	809,56 a
SPD	382,07	481,78 a	662,33 a	678,51 a	727,53 a	642,49 a
	MSP (g/planta)					
SPC	311,55	343,60 a	377,64 a	423,41 a	410,41 a	506,09 a
SPD	305,10	332,92 a	365,94 a	392,40 a	418,04 a	463,32 a

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste F a 5% de significância; ^{1/} Testemunha irrigada com água sob lâmina de 100% da ETc, somente para comparação.

A estatística dos parâmetros morfoagronômicos da cultura do milho permitiu verificar que a interação entre as lâminas de irrigação com ARS e os sistemas de manejo foi não significativa. Assim, os dois sistemas de manejo foram avaliados de forma conjunta em função das lâminas de irrigação com ARS (Figura 10). De maneira geral, as lâminas de irrigação com ARS apresentaram um ajuste linear crescente para os parâmetros morfoagronômicos da cultura do milho. Apenas a variável PEP (Figura 10D) não apresentou incremento em função das lâminas de ARS.

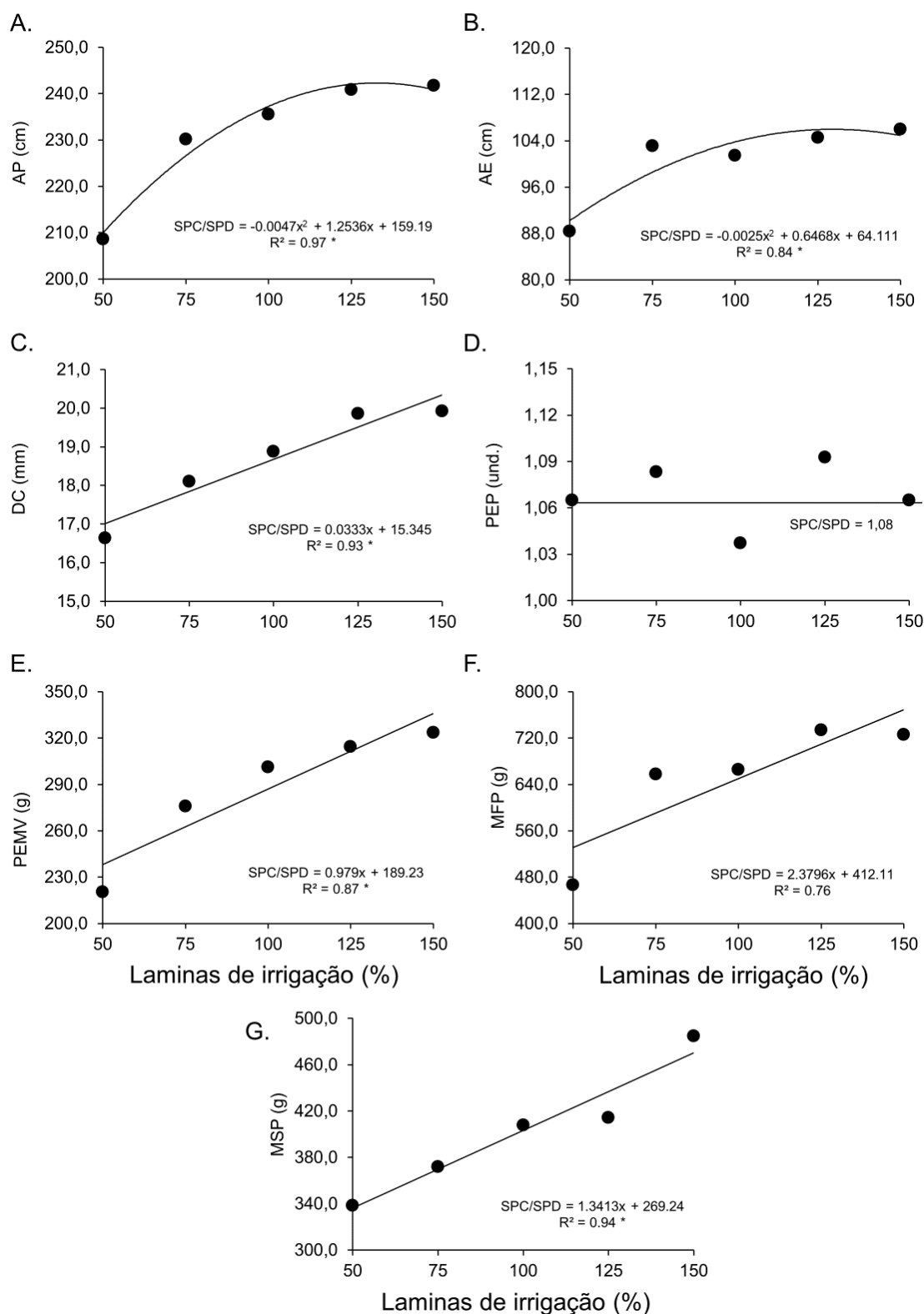
Os parâmetros AP (Figura 10A) e AIE (Figura 10B) apresentaram ajuste quadrático em função das lâminas de ARS, com tendência à estabilidade dos valores no nível de ARS de 125%. Segundo Nogueira et al. (2010), os valores de AP são importantes pois apresentam grande correlação com a produção de MSP. Esses incrementos foram mais acentuados quando são comparados os resultados obtidos nas parcelas irrigadas com maiores lâminas de ARS em relação à lâmina de 50% ou com a parcela testemunha.

Observaram-se incrementos proporcionais de MSP, comparando-se as parcelas testemunhas com as parcelas irrigadas com ARS (50%, 75%, 100%, 125% e 150% da ETc) de, respectivamente, 10,28%, 21,21%, 35,90%, 31,73% e 62,44% para o SPC e 9,12%, 19,94%, 28,61%, 37,01% e 51,86% para o SPD. Freitas et al. (2004), em trabalho realizado com a utilização da ARS para a produção de silagem, encontraram resultados semelhantes aos do presente trabalho, onde apesar da baixa variação entre as parcelas irrigadas nos parâmetros AP e AIE, houve grande incremento nesses parâmetros ao compará-los com as parcelas testemunha.

Foram observados crescimentos lineares em função das lâminas de irrigação com ARS até o limite de 150% para os parâmetros DC (Figura 10C), PEMV (Figura 10E), MFP (Figura 10F) e MSP (Figura 10G). A partir desses resultados, é possível concluir que o fornecimento de ARS, principalmente nas maiores lâminas, contribuiu para um maior volume de material para silagem produzida, uma vez que os parâmetros MFP e MSP apresentaram incrementos lineares, influenciados principalmente pelo incremento nos parâmetros DC e PEMV. Neto et al. (2016), avaliando a produtividade da soja que recebeu doses crescentes de ARS, obtiveram crescimento linear na massa de grãos produzidos em função das doses de ARS.

Vale destacar que, os parâmetros PEMV e MSP são de extrema importância ao se observar a qualidade e o volume gerado de material vegetal para silagem. O PEMV está relacionado com o incremento do conteúdo de grãos na silagem que, por sua vez, proporciona maior valor nutritivo, ao mesmo tempo em que participa do incremento nos parâmetros MFP e MSP (CAMPOS et al., 2017). Já a MSP, é extremamente importante, pois é com base em suas informações que se calcula o volume de forragem que será disponibilizada na dieta do animal (MSP/animal/dia) (NEUMANN et al., 2017).

Com base nesses resultados, é possível afirmar que como não houve efeito deletério das maiores lâminas de ARS nos teores foliares de nutrientes do milho, e como a aplicação da ARS proporcionou ganhos de produtividade observados no presente trabalho, é aconselhado o uso de ARS em sua maior lâmina (150% da ETc). Dessa forma, ao mesmo tempo em que está se destinando de forma correta um maior volume de um passivo ambiental (ARS), está se fornecendo água e nutrientes para a cultura do milho e, conseqüentemente, incrementando sua produtividade.



* significativo a 5% de significância pelo teste F.

Figura 10 - Efeitos das lâminas de irrigação com ARS e sistemas de manejo do solo (SPC e SPD) nos parâmetros morfoagronômicos da cultura do milho: altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), produtividade de espiga por planta (PEP), peso de espiga na massa verde (PEMV), massa fresca de planta (MFP) e massa seca de planta (MSP).

4 CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo do solo não influenciaram os teores foliares dos nutrientes avaliados, com exceção do Ca, que apresentou maiores teores em todas as lâminas de ARS no SPC.

As lâminas de ARS em conjunto com os sistemas de manejo proporcionaram teores foliares adequados para N, P, Ca e Mg.

Os teores de Cu e Zn se apresentaram abaixo dos limites considerados adequados para a cultura do milho, não ocorrendo problemas relacionados à toxidez desses elementos nas plantas.

Todos os parâmetros morfoagronômicos estudados, com exceção da produtividade de espigas por plantas (PEP), apresentaram maiores resultados em função do incremento das lâminas de ARS nos dois sistemas de manejo do solo, comprovando o efeito positivo da ARS no incremento da produção de material vegetal para produção de silagem.

Considerando a ausência de teores foliares dos nutrientes acima dos limites de suficiência e o aumento dos parâmetros PEMV e MSP das plantas de milho, é recomendada a irrigação com a lâmina de 150% de ARS.

5 REFERÊNCIAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2019**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2019.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2020.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A.; LANA, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, n. 3, p. 869-890, 2015.

BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R. K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 4, n. 3, 2011.

BAUMGARNTER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; VILAS BOAS, M. A. Reuso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 152-163, 2007.

BOLZANI, H. R.; OLIVEIRA, D. L. O.; LAUTENSCHLAGER, S. R. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura no solo e na qualidade dos seus lixiviados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 385-392, 2012.

BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia–UFLA, Lavras, 2006.

BREMNER, J. M. Nitrogen Total. In: SPARKS, D. L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 3. Madison: America Society of Agronomy. (SSSA Book Series, 5). p. 1085-1121, 1996.

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

CAMPOS, S. D. A.; LANA, R. D. P.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, M. N.; TAVARES, V. B. Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 274-281, 2017.

CAOVILLA, F. A. Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivados com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 283-287, 2005. Suplemento

CONDÉ, M. S.; HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B. de; SANTIAGO A. M. F. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 99-106, Julho, 2012.

DE MELO JÚNIOR, H. B.; DE CAMARGO, R.; WENDLING, B. **Sistema de plantio direto na conservação do solo e água e recuperação de áreas degradadas**. 2011.

DE LUCA, S. Q. J.; HUSSAR, G. J. Estudo da eficiência de um sistema de tratamento de efluentes líquidos de suinocultura. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 72-85, 2017.

DE OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E), 1993.

DE OLIVEIRA, R. A.; FREITAS, W. D. S. GALVÃO, J. C. C. PINTO, F. A.; CECON, P. R. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura nas características nutricionais do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 03, 2004.

DUARTE, J. B. **Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola**. Monografia (Especialização em Estatística e Informática) Programa de pós-graduação em Estatística e Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1996.

FERRARI JR., E.; POSSENTI, R. A.; LIMA, M. L. et al. Características, composição química e qualidade de silagens de oito cultivares de milho. **Boletim de Indústria Animal**, v.62, n.1, p.19-27, 2005.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

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

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

GUIDINELLE, R. B. **Água residuária de suinocultura e sistema plantio direto no desenvolvimento do milho para produção de silagem**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Alegre, ES. 2019.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: 26 set. 2020.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; AVELINO, R. C.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre - ES. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 327-332, 2008.

LIMA, C. J. G. D. S.; PEREIRA, L. D. S.; SANTOS, T. O. D. S.; PINTO, S. N.; RODRIGUES, A. C.; NUNES, L. A. P. L. Alterações no solo e produtividade de milho-verde adubado com água residuária da suinocultura. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 167-178, 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed., ver. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; PEREZ-MARIN, A. M.; SOARES, F. A. L.; FERNADES, P. D. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, n. 3, p. 1047-1055, 2011.

NETO, A. J. A.; DO CARMO LANA, M.; RAMPIM, L.; DE MENDONÇA COSTA, L. A.; COPPO, J. C.; ALVES, A. G. Água residuária de suinocultura sobre a produtividade

de soja e milho segunda safra: uso e viabilidade econômica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 350-357, 2016.

NEUMANN, M.; HORST, E. H.; DOCHWAT, A.; LEÃO, G. F. M.; KLOSOVSKI CARNEIRO, M.; DE MELLO, R. P. Agronomic characteristics of corn for silage under nitrogen and potassium levels by covering fertilization. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 1, p. 69-77, 2017.

NEUMANN, M.; SANDINI, I. E.; LUSTOSA, S. P. C.; OST, P. R.; ROMANO, M. A.; FALBO, M. K.; PANSERA, E. R. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p. 418-427, 2005.

NOGUEIRA, P. D. M.; SENA JUNIOR, D. G.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science Technology**, v.3, p.117-124, 2010.

OLIVI, M. C.; DIAS, R. S.; NICOLOSO, R. S. Análise técnica-econômica sobre o uso agrônomo do biofertilizante dos dejetos de suínos na microbacia Santa Fé no município de Itapiranga-SC. In: **Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 29., 2015, Foz do Iguaçu. Desafios e oportunidades profissionais: anais. Curitiba: CONFEA-PR, 2015

PALUDO, R.; COSTABEBER, J. A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, n. 2, p. 63-76, 2012.

PREZOTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação**. Vitória – ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H.; DIETER, J.; COSTA, M. S. D. M. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 744-755, 2015.

RESENDE, A. V. D.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012.

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

SILVA, F. C. D. S. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAKASU, A. T.; HAGA, K. I.; RODRIGUES, R. A. F.; ALVES, C. J. Produtividade da cultura do milho em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 154-161, 2014.

TEAM, R. C. A. **language and envirommet for statistical computing**. Vienna, Austria, 2016.

TEIXEIRA, C. T. M.; PIRES, M. L. L. S. Análise da relação entre produção agroecológica, resiliência e reprodução social da agricultura familiar no Sertão do Araripe. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v.55, n.1, p.47-64, 2017.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Eds.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. v.1, p. 61-167.