

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

**ANA ELISA LYRA BRUMAT**

**AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE  
CAFEIRO CONILON EM DECORRÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ÁGUA  
RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

**ALEGRE – ES**

**2018**

ANA ELISA LYRA BRUMAT

**AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE  
CAFEIRO CONILON EM DECORRÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ÁGUA  
RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em  
Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo,  
como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção  
Vegetal na área de concentração de Recursos Hídricos e  
Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia

Coorientadores: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral

**ALEGRE – ES**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

B893a Brumat, Ana Elisa Lyra, 1992-  
Avaliação da solução e desenvolvimento inicial de cafeeiro conilon em decorrência da aplicação de água residuária de suinocultura / Ana Elisa Lyra Brumat. – 2018.  
55 f. : il.

Orientador: Giovani de Oliveira Garcia.

Coorientadores: Edvaldo Fialho dos Reis ; José Francisco Teixeira do Amaral.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Solos – Análise. 2. Água - Reuso. 3. Suinocultura. 4. Café conilon. I. Garcia, Giovani de Oliveira. II. Reis, Edvaldo Fialho dos. III. Amaral, José Francisco Teixeira do. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 63

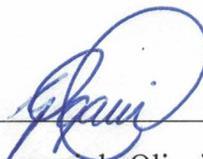
ANA ELISA LYRA BRUMAT

**AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO DO SOLO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE  
CAFEIRO CONILON EM DECORRÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ÁGUA  
RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 31 de julho de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



---

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Coorientador



---

Prof. Dr.ª Ana Paula Almeida Bertossi  
Instituto Federal do Espírito Santo

**À minha avó Nair Cozzer Lyra (*in memoriam*)**

**DEDICO.**

“... Tão seguro quanto o ar ser mais quente no verão  
Da semente sai futuro, nem que seja temporão.”

SEMENTE  
Almir Sater

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelos planos tão perfeitos.

Ao meu pai José Antonio Brumat pelo exemplo de ética e humanidade.

À minha mãe Ana Célia Lyra Brumat pela total dedicação e por todas as orações.

Aos dois, pela coragem de me gerarem em seus corações.

Aos meus irmãos Ana Carolina e João Antonio, minhas inspirações, por terem sido sempre extensão dos meus braços, e o meu coração.

Às minhas tias Maria Emília, Maria do Carmo e Margarida, pelos abraços apertados em todas as minhas chegadas e partidas.

À toda minha família (tios, primos, avós) por tanto incentivo, carinho, e união.

Às pessoas que carrego comigo, Aline pela fiel amizade, Felipe pelo carinho e presente (Heitor), Mirela por todas as visitas, as minhas queridas AgrogirlsST pela amizade que prevalece.

Aos que Alegre me presenteou:

Raquel por tantas conversas, risadas e tardes de café com pão de queijo;

Cacau pelas inúmeras palavras positivas, Flávio por toda companhia durante o trabalho e a troca de experiência, os “meninos lá da área” ;

E tão importante e especial, Ronaldo Willian pela parceria, cuidado e amor.

Aos mestres da minha formação, Robson e Lucilea por se tornarem mais que isso. Ao meu orientador Giovanni de Oliveira Garcia pela enorme paciência, compreensão e amizade que criamos, e ao professor Edvaldo Fialho dos Reis pelo olhar tão humano e pelas palavras de revigoramento.

Aos amigos de pesquisa, Zé Guilherme, Édipo e Marjorie, o trabalho sempre foi mais animado com vocês.

Ao programa de pós-graduação em Produção Vegetal e a UFES pela oportunidade de percorrer este caminho.

Muito Obrigada!!!

## RESUMO

BRUMAT, Ana Elisa Lyra, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, Julho de 2018. **Avaliação da solução do solo e desenvolvimento inicial de cafeeiro conilon em decorrência da aplicação de água residuária de suinocultura.** Orientador Prof. D Sc. Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientador Prof. D Sc. Edvaldo Fialho dos Reis. Coorientador Prof. D Sc. José Francisco Teixeira do Amaral

Economia de fertilizantes, diminuição dos impactos negativos ao ambiente e preservação das fontes de água de boa qualidade tem sido apresentados como fatores importantes decorrentes da utilização de águas residuárias em cultivos agrícolas. Porém, apesar dos benefícios acima citados o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao tema apontam que a realização desta prática de forma incorreta pode acarretar na contaminação dos recursos naturais e afetar negativamente a produção agrícola. Nesse âmbito, destaca-se a importância do monitoramento dos atributos da solução do solo, para o entendimento da funcionalidade do sistema solução-solo-planta. Portanto, monitorar valores de pH, condutividade elétrica e concentração de íons se faz necessária nessas tomadas de decisões, assim como avaliar potenciais riscos de contaminação e danos à estrutura do solo decorrentes das aplicações de água residuária. Objetivou-se de um modo geral, avaliar os efeitos do parcelamento da ARS nos atributos químicos da solução do solo, e no desenvolvimento inicial de plantas de café conilon cv. Robusta, em três texturas de solo. O trabalho foi conduzido na área experimental do centro de ciências agrárias e engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, no município de Alegre – ES. Utilizou-se a cultura do café conilon cv Robusta, onde as plantas foram cultivadas em vasos de 50 dm<sup>3</sup> espaçados em 0,8m entre vasos e 1,0m entre linhas, os vasos foram preenchidos com 40dm<sup>3</sup> de solo. O experimento foi montado no esquema de parcelas subdivididas (3x4x9), sendo nas parcelas o fator textura do solo em três níveis (textura argilosa, média e arenosa), nas subparcelas o fator parcelamento de ARS e adubação mineral em quatro níveis (Adubação mineral convencional ofertada via cloreto de potássio, seguindo a recomendação do manual de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo; ARS<sub>K1</sub>: 100% do potássio, fornecido via ARS até atingir a recomendação (12,50g); ARS<sub>K2</sub>: 100% do potássio, fornecido via ARS dividido em dois parcelamentos num intervalo de 30 dias entre eles (6,25g em cada); ARS<sub>K3</sub>: 100% do potássio, fornecido via ARS, dividido em 3 parcelamentos num intervalo de 30 dias entre eles (4,16g em cada)), e nas subsubparcelas o fator coleta da solução do solo em nove níveis (aos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias do início das aplicações), num delimitamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A aplicação dos parcelamentos deu-se ao 17 dias de transplante das plantas. O volume de ARS utilizado foi calculado de acordo com a quantidade de potássio presente na ARS. A aplicação foi feita de acordo com necessidade de irrigação até atingir a recomendação, após, a irrigação foi feita com água. Foram monitorados pH, CE, Na e K na solução do solo por meio de extratores de cápsula porosa instalados em cada unidade, a cada 10 dias, ao longo dos 90 dias de experimentação (foram realizadas 9 coletas de solução). Com os resultados do monitoramento da concentração de nutrientes no solo, calculou-se a razão de adsorção de sódio e potássio (RAS e RAP respectivamente). Aos 90 dias de experimentação, realizou-se também a medição de área foliar, altura de plantas e massa seca de parte aérea e raiz. Os dados

foram submetidos a análise de variância a 5% de probabilidade. O efeito significativo, para os dados qualitativos foram comparados pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância, e os dados quantitativos foram analisados por meio de regressão. Para a variável pH, houve efeito significativo nas tres texturas de solo apenas para o parcelamento em três vezes, já para a variável CE, houve efeito significativo apenas no parcelamento em duas vezes nas texturas de solo média e arenosa. O parcelamento de ARS dividido em três vezes nas três texturas de solo, apresentaram maiores valores médios de acúmulo de  $\text{Na}^+$  na solução ao término do experimento, inferindo-se que esse parcelamento contribui com a permanência do íon na solução. Para o íon potássio, houve efeito significativo de todos os parcelamentos de ARS nos solos de textura argilosa e arenosa, para a textura média, apenas os parcelamentos de ARS em duas e três vezes apresentaram efeito significativo. A RAS e RAP apontaram potenciais riscos ao solo de textura argilosa. Para o solo de textura argilosa, o parcelamento da ARS em três vezes não foi viável para o desenvolvimento inicial da cultura do cafeeiro conilon. Para o solo de textura média o parcelamento da ARS em três vezes foi eficiente para o incremento das variáveis estudadas, apresentando viabilidade na aplicação da ARS no desenvolvimento inicial das plantas de café conilon. Para o solo de textura arenosa, a aplicação dos parcelamento de ARS apresenta os mesmos efeitos da adubação mineral.

**Palavras-chave:** análise, reuso da água, suinocultura, café conilon

## ABSTRACT

BRUMAT, Ana Elisa Lyra, Center for Agrarian Sciences and Engineering of the Federal University of Espírito Santo, July 2018. **Soil solution evaluation and initial development of coffee conilon due to the application of swine wastewater.** Advisor D Sc. Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientador Prof. D Sc. Edvaldo Fialho dos Reis. Coorientador Prof. D Sc. José Francisco Teixeira do Amaral

Fertilizer economics, reduction of negative impacts on the environment and preservation of good quality water sources have been presented as important factors due to the use of wastewater in agricultural crops. However, despite the aforementioned benefits, the development of research related to the subject point that the practice of this practice in an incorrect way can cause nacontaminação of the natural resources and negatively affect the agricultural production. In this context, the importance of monitoring the attributes of the soil solution is highlighted, in order to understand the functionality of the solution-soil-plant system. Therefore, monitoring pH values, electrical conductivity and ion concentration is necessary in these decision making, as well as assessing the potential risks of contamination and damages to the soil structure resulting from the wastewater applications. The objective of this study was to evaluate the effects of the degradation of ARS on the chemical attributes of the soil solution and on the initial development of decafé conilon cv. Robust in three soil textures. The work was conducted in the experimental area of the Agrarian Sciences and Engineering Center of the Federal University of Espírito Santo, in the municipality of Alegre - ES. The culture of the coffee conilon cv Robusta was used, where the plants were cultivated in pots of 50 dm<sup>3</sup> spaced in 0.8m between pots and 1.0m between rows, the pots were filled with 40dm<sup>3</sup> of soil. The experiment was set up in the sub-split plots scheme (3x4x9). The soil texture factor in three levels (clayey, medium and sandy texture) was plotted in the subplots, the split plot of ARS and mineral fertilization in four levels (Conventional mineral fertilization offered by potassium chloride, following the recommendation of the manual of fertilization and liming for the state of Espírito Santo, ARSK1: 100% of the potassium, provided by ARS until reaching the recommendation (12.50g), ARSK2: 100% of the potassium, supplied ARSK3: 100% of the potassium, provided by ARS, divided into 3 splits in a 30-day interval between them (4.16g in each) ), and in the subsubjects the soil solution collection factor in nine levels (at 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 days from the start of the applications), in a randomized block design with four replications. The application of the parcels occurred after 17 days of plant transplanting. The volume of ARS used was calculated according to the amount of potassium present in ARS. The application was made according to the need of irrigation until reaching the recommendation, after, the irrigation was done with water. PH, CE, Na and K in the soil solution were monitored by means of porous capsule extractors installed in each unit, every 10 days, during the 90 days of experimentation (9 samples were collected). With the results of the monitoring of nutrient concentration in the soil, the sodium and potassium adsorption ratio (RAS and RAP, respectively) was calculated. At 90 days of experimentation, measurements of leaf area, plant height and dry mass of shoot and root were also performed. Data were submitted to analysis of variance at 5% probability. The significant effect for the qualitative data were compared by the Skott-Knott test at 5% significance, and the quantitative data were analyzed by means of regression. For the pH variable, there was a significant effect on the three soil textures only for the three-fold

subdivision, as for the CE variable, there was a significant effect only in the two-fold splitting in the medium and sandy soil textures. The split of ARS divided in three times in the three soil textures, presented higher average values of Na + accumulation in the solution at the end of the experiment, inferring that this partitioning contributes with the permanence of the ion in the solution. For the potassium ion, there was a significant effect of all ARS plotting on clayey and sandy soils for the medium texture, only the two and three times ARS schedules had a significant effect. The RAS and RAP pointed out potential hazards to clay soil. For clayey soils, the three-fold degradation of ARS was not feasible for the initial development of the conilon coffee crop. For the medium - textured soil, the three - time ARS parceling was efficient for the increment of the studied variables, presenting viability in the application of ARS in the initial development of conilon coffee plants. For sandy soils, the application of ARS parceling has the same effects as mineral.

**Keywords:** analysis, water reuse, swine breeding, conil coffee

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Estrutura onde foi executado o experimento .....	16
<b>Figura 2.</b> Esquema de irrigação .....	18
<b>Figura 3.</b> Curva de retenção de água no solo. Solo de textura argilosa(S1); solo de textura média (S2); solo de textura arenosa (S3) .....	19
<b>Figura 4.</b> Extrator de cápsula porosa utilizado no experimento .....	21
<b>Figura 5.</b> Valores médios do pH na solução, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação em três texturas de solo .....	25
<b>Figura 6.</b> Valores médios da CE na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação em três texturas de solo .....	28
<b>Figura 7.</b> Valores médios do comportamento do Sódio (Na) na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	31
<b>Figura 8.</b> Valores médios do comportamento do Potássio (K) na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	34
<b>Figura 9.</b> Valores médios do comportamento da RAS na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	37
<b>Figura 10.</b> Valores médios do comportamento da RAP na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização física e química dos solos utilizados no experimento .....	17
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química da ARS e água para irrigação utilizada no experimento .....	20
<b>Tabela 3.</b> Equações ajustadas e valores médios do pH da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de Adubação Mineral e de ARS ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	26
<b>Tabela 4.</b> Equações ajustadas e valores médios da CEda solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de Adubação Mineral e de ARS ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	29
<b>Tabela 5.</b> Equações ajustadas e valores médios da concentração de Na na solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de Adubação Mineral e de ARS ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	32
<b>Tabela 6.</b> Equações ajustadas e valores médios da concentração de K na solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de Adubação Mineral e de ARS ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	35
<b>Tabela 7.</b> Equações ajustadas e valores médios da concentração da RAS na solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de Adubação Mineral e de ARS ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	38
<b>Tabela 8.</b> Equações ajustadas e valores médios da concentração da RAP na solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de Adubação Mineral e de ARS ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo .....	41
<b>Tabela 9.</b> Área foliar, massa seca (parte aérea e raiz) e altura de plantas de café conilon em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral em três texturas de solo, ao longo de 90 dias de experimentação .....	43

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.2 Geral .....	15
2.3 Específico .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1 Local de realização do experimento .....	16
3.2 Delimitação experimental .....	16
3.3 Coleta do solo e montagem das unidades experimentais.....	16
3.4 Coleta e caracterização da água residuária de suinocultura e água para irrigação .....	19
3.5 Parcelamentos Aplicados .....	20
3.6 Monitoramento da concentração de nutrientes na solução do solo .....	21
3.7 Biometria, massa de plantas e área foliar .....	22
3.8 Análise estatística .....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
4.1 Atributos da solução do solo.....	24
4.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	24
4.1.2 Condutividade Elétrica (CE).....	27
4.1.3 Sódio (Na).....	29
4.1.4 Potássio (K) .....	33
4.1.5 Razão de adsorção de sódio (RAS) .....	36
4.1.6 Razão de adsorção de potássio (RAP) .....	39
4.2 Área foliar, massa seca de plantas e altura de plantas .....	42
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a preservação dos recursos hídricos e com a conservação do meio ambiente tem conduzido o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas visando especialmente o reuso da água, de diversos tipos, oriundas de processos industriais e também agroindustriais.

Nesse âmbito, o uso de efluentes na agricultura, apresenta vantagens como a incorporação de nutrientes e matéria orgânica ao solo (Christofolletti et al, in Silva, 2017), e também como alternativa viável de fertilizantes, tendo em vista que muitas águas residuárias possuem, em sua concentração, teores de nutrientes de interesse agrônômico (OLIVEIRA, 2012).

Por outro lado, o uso agrícola de efluentes sem critérios pode acarretar efeitos indesejáveis, tais como o acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, como aumento nas concentrações P disponível, K e Na trocáveis e acúmulo de zinco trocável no solo, indicando riscos potenciais de contaminação (QUEIROZ et al., 2004).

Neste sentido, para a disposição de efluentes no solo, deve ser considerados efeitos como o potencial de salinização e sodificação dos solos, a capacidade de infiltração do solo e a toxicidade por íons específicos, contudo, os possíveis efeitos da aplicação de efluentes nos atributos químicos e físicos do solo normalmente se pronunciam após longo período de aplicação, e sua intensidade depende da composição do efluente, das condições climáticas e tipo de solo (KENIMER et al., in SILVA, 2017).

Dentre as águas residuárias agropeuárias, destaca-se a ARS (água residuária da suinocultura), que segundo Seganfredo (2004), pode ser utilizada na agricultura como fonte de nutrientes para as plantas, devido à presença de macronutrientes e micronutrientes, além de conter compostos orgânicos que ajudam a melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo.

A ARS compreende a mistura de fezes, urina, água desperdiçada nos bebedouros e na higienização das instalações juntamente com os resíduos de ração, pelos e a poeira decorrente do processo criatório (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO; 2002).

O uso agrícola da ARS adicionada ao solo, promove mineralização dos elementos que poderão ser absorvidos pelas plantas da mesma forma que os dos fertilizantes minerais. Entretanto, ao contrário dos fertilizantes minerais, a ARS possui composição química muito variável, principalmente em função da alimentação e manejo da água empregados nas granjas, diante disso, estudar a dose de ARS aplicada ao solo para verificar a quantidade mais adequada para a reposição dos nutrientes retirados pela planta,

sua contribuição para fertilidade dos solos minimizando os riscos da contaminação dos mesmos, considerando o tipo de solo e as características da própria ARS, são de fundamental importância para um ambiente produtivo e sustentável (DAL BOSCO, 2007).

No entanto, sua aplicação pode causar uma desproporção entre entradas e saídas de nutrientes do solo, o que exige um monitoramento quanto aos riscos de saturação do solo com estes elementos, que poderão ser lixiviados atingindo o lençol freático, ter a disponibilidade para as plantas aumentada, afetar a comunidade microbiana do solo, dentre outros efeitos que desequilibram a funcionalidade do ecossistema (SIMIONI, 2001).

O tipo de solo pode ter grande influência na magnitude do processo de lixiviação. Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de potássio e sódio em relação aos arenosos e a maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil (BORTOLINI et al., 2000).

Dependendo da composição da ARS, da quantidade aplicada, da capacidade de extração das plantas, do tipo de solo e do tempo de aplicação (Seganfredo, 2001), poderá haver o acúmulo de nutrientes, com destaque para o K e Na em solos agrícolas, podendo acarretar em mudanças negativas em algumas características físicas do solo, devido à dispersão de argila e conseqüentemente nas características químicas, influenciando direta ou indiretamente no desenvolvimento das culturas (FEIGIN et al., 1999).

Monitorar os aspectos químicos da solução do solo, apresentam vantagens na tomada de decisão quanto as práticas de fertirrigação, assim como na prevenção dos efeitos deletérios ao solo e a cultura.

Esse monitoramento da solução do solo comumente é feito por meio de extratores de cápsulas porosas, possibilitando o acompanhamento das alterações químicas do solo, como forma de garantir a prevenção de problemas de salinização, por exemplo (Dantas et al., 2014). Sais dissolvidos na solução interagem com o solo por meio de troca iônica (Ramos, 2006), e à medida que a concentração de sais aumenta na solução do solo o potencial osmótico reduz, requerendo assim uma energia maior da planta para absorver a água do solo, podendo comprometer o seu desenvolvimento por um estresse hídrico, mesmo com o teor de água no solo próximo à capacidade de campo (SILVA et al., 2012).

O monitoramento da solução passa a ser ferramenta de extrema importância por possibilitar, ainda durante o ciclo da cultura, ajustes necessários na quantidade de fertilizantes aplicados e evitar flutuações das quantidades de sais na solução do solo

(OLIVEIRA et al., 2012).

A literatura apresenta diversas informações sobre os benefícios do uso agrícola da ARS, porém informações quanto as limitações de uso são pouco difundidas, com poucos trabalhos demonstrando efeitos cumulativos do seu uso, desta forma, vê-se a necessidade no aprimoramento de estudos do efeito da aplicação da ARS em solos agricultáveis, em variadas culturas, gerando informações técnicas que aliem benefícios agrônômicos e ambientais.

Nesse âmbito, destaca-se a importância do monitoramento dos atributos da solução do solo, para o entendimento da funcionalidade do sistema solução-solo-planta.

Sabe-se que a condutividade elétrica mensura a quantidade de sais presente em solução do solo, expressando suas atividades, e o efeito destes ao sistema tem relação também aos valor de pH da solução-solo. É preciso monitorar a concentração desses sais em solução, pois eles interagem com o solo por meio de troca iônica, e se houver a promoção do aumento desses sais na solução do solo de forma acentuada, poderá comprometer a absorção de água pelas plantas, mesmo estando o solo com umidade ideal, assim como a absorção de nutrientes (FERREIRA, 2007).

A preocupação crescente em relação à aplicação de ARS em solos, sem critérios, é o acúmulo de íons em solução-solo, principalmente quando se tem alta solubilidade e mobilidade como o potássio e sódio, onde a movimentação na forma de sais e lixiviação através do solo, gera acúmulo no perfil e até mesmo contaminação do lençol freático e, quando não houver adequada lixiviação, como ocorre em solo de baixa permeabilidade e capacidade de drenagem, pode haver problemas de salinização do solo (VAN RAIJ IN: LO MONACO, 2005).

Além disso, faz-se necessário conhecer os índices de razão de adsorção de sódio e razão de adsorção de potássio, pois são estes que expressam a possibilidade de que a água de irrigação provoque a sodificação e salinização do solo, no que depende a proporção do  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  em relação aos demais cátions, de tal forma que, o acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  nos solos pode acontecer se estes forem os cátions predominantes na solução do solo. Um grande aumento nos teores de sódio em solos agrícolas, se não moitorados, podem vir a alterar certas características físicas decorrentes de dispersão das argilas por exemplo, sendo uma das causas para a redução da porosidade do solo, condutividade hidráulica, taxa de infiltração e da destruição da estrutura do solo, afetando diretamente o desenvolvimento das plantas (HOMEM et al, 2014), assim como se houver acúmulo de  $\text{K}^+$ , haverá disfunções na ligação dos demais íons as cargas do solo, devido a

preferencialidade deste, gerando desbalanço nutricional às culturas.

Portanto, monitorar valores de pH, condutividade elétrica, concentração de íons se faz necessária nessas tomadas de decisões, assim como avaliar potenciais riscos de contaminação e danos à estrutura do solo decorrentes das aplicações de água residuária.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar os efeitos do parcelamento da ARS nos atributos químicos da solução do solo, e no desenvolvimento inicial de plantas de café conilon cv. Robusta, em três texturas de solo.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar o efeito do parcelamento da ARS e da abubação mineral nas texturas de solo argilosa, média e arenosa, através do monitoramento dos teores de pH, condutividade elétrica, concentração de sódio e potássio, bem como a razão de adsorção de sódio e potássio na solução dos solos das texturas utilizadas, aos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias do início dos parcelamentos;
- Avaliar o efeito do parcelamento da ARS e da abubação mineral nas texturas de solo argilosa, média e arenosa, no desenvolvimento inicial das plantas de café conilon (área foliar, massa seca e biometria de plantas), afim de destacar a relevância do seu uso;

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de realização do experimento

O experimento foi conduzido no período de dezembro de 2017 a março de 2018, na Área Experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAUE-UFES), situada no município de Alegre/ES, em local protegido, com dimensões de 15,00 m de comprimento e 7,50 m de largura, pé-direito de 3,0 m e coberto com filme de polietileno, tendo suas laterais abertas, seguindo a orientação Leste-Oeste (Figura 1).



**Figura 1.** Estrutura onde foi executado o experimento.

#### 3.2 Delineamento experimental

O experimento foi montado no esquema de parcelas subdivididas (3x4x9), sendo nas parcelas o fator textura do solo em três níveis, nas subparcelas o fator parcelamento de ARS e adubação mineral em quatro níveis, e nas subsubparcelas o fator coleta da solução do solo em nove níveis, num delimitamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

#### 3.3 Coleta do solo e montagem das unidades experimentais

Trabalhou-se com três texturas de solo (textura argilosa, textura média e textura arenosa) (Tabela 1), caracterizadas por meio de análise física, conforme o manual de análise e classificação da Embrapa (2006). O solo de cada textura foi coletado na camada superficial (0 a 0,2 m), em áreas próximas ao local de execução do experimento. Posteriormente, foram destorroados, peneirados e homogeneizados. Uma amostra de cada textura foi retirada e encaminhada ao laboratório para determinação dos atributos químicos conforme metodologia preconizada pela Embrapa (2011) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização física e química dos solos utilizados no experimento

Atributos	Valores		
	Textura	Textura	Textura
	Argilosa	Média	Arenosa
pH em H <sub>2</sub> O	6,06	5,78	5,51
P (mg dm <sup>3</sup> )	4,98	4,40	103,50
K (mg dm <sup>3</sup> )	54,00	110,00	69,00
Na (mg dm <sup>3</sup> )	3,00	0,00	53,00
Ca (cmolc dm <sup>3</sup> )	1,60	1,63	1,38
Mg (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,60	0,82	0,38
Al (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,05
H + Al (cmolc dm <sup>3</sup> )	1,24	2,32	2,47
SB (cmolc dm <sup>3</sup> )	2,28	2,90	2,17
t (cmolc dm <sup>3</sup> )	2,28	2,90	2,22
T (cmolc dm <sup>3</sup> )	3,52	5,20	4,65
V (%)	64,81	56,00	46,77
Areia Total (%)	41	54	82
Silte (%)	10	11	8
Argila (%)	49	35	10

pH: relação solo-água 1:2,5; P: extrator Mehlich-1 e determinação por colorimetria; K e Na: extrator de Mehlich-1 e determinação por espectrofotometria de chama; Ca e Mg: extrator HCl 1 mol.l-1 e determinação por espectrometria de absorção atômica; Al: extrator KCl 1 mol.L-1 e determinação por titulometria; H+AL: extrator de Acetato de Cálcio 0,5 mol.L-1 pH 7,0.

De acordo com a análise química de cada textura, foi realizada a correção de acidez, 30 dias antes do início do período experimental, e foi determinada pelo método de saturação por bases, segundo Prezotti (2007), conforme Equação 1.

$$NC = \frac{T(V2-V1)}{PRNT} \quad (1)$$

NC = Necessidade de calcário;

V2 = Saturação de base;

V1 = Saturação de base de cada textura de solo;

$T = \text{CTC a pH } 7,0;$

$\text{PRNT} = \text{Poder redutor do calcário (90\%).}$

As unidades experimentais foram caracterizadas por vasos plásticos com capacidade de 50 dm<sup>3</sup>. Após a incorporação do calcário às três texturas de solo, os vasos foram preenchidos com 40 dm<sup>3</sup> de solo, dispostos em quatro fileiras, com espaçamento de 0,80 m entre vasos e 1,0 m entre linhas, totalizando 48 unidades experimentais. Cada fileira correspondeu a um bloco, e continha a combinação das três texturas e parcelamentos.

A cultura utilizada foi a do café conilon cultivar robusta, oriundas de viveiro certificado, estando aclimatadas e com cinco pares de folhas.

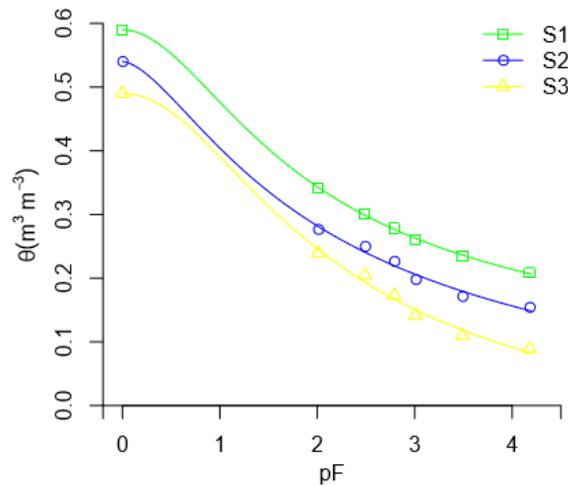
A irrigação foi feita via gotejamento, com canos de polietileno de ½ polegada, sendo um emissor por vaso. A vazão de água nos emissores eram de 2 L.h<sup>-1</sup>, eficiência de 90%, área da unidade experimental de 0,140 m<sup>2</sup> e camada de solo requerida de 0,30 m.

Cada linha de irrigação tinha um registro, que conferia independência na irrigação de cada textura de solo, visto que cada bloco continha as três texturas, como mostra a figura 2.



**Figura 2.** Esquema de irrigação.

Obteve-se a curva de retenção de água no solo (Figura 3) para as três texturas, segundo Embrapa (2006) e utilizou-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980) (Equação 2) para determinar a umidade volumétrica do solo, na tensão requerida de 30kPa para o momento da irrigação, elevando a tensão a 10kPa, a fim de elevar o solo ao valor arbitrário à capacidade de campo atribuída a esta tensão.



**Figura 3.** Curva de retenção de água no solo. Solo de textura argilosa (S1); solo de textura média (S2); solo de textura arenosa (S3).

$$\theta\Psi_m = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\Psi)^n]^m} \quad (2)$$

Em que:

$\theta\Psi_m$  = umidade volumétrica na tensão requerida ( $m^3.m^{-3}$ );

$\theta_r$  = umidade residual ( $m^3.m^{-3}$ );

$\theta_s$  = umidade de saturação ( $m^3.m^{-3}$ );

$\Psi$  = tensão requerida (kPa);

$\alpha$ ,  $n$  e  $m$  = parâmetros empíricos do modelo.

O controle da umidade do solo foi feito por meio da instalação de 12 tensiômetros ao longo das unidades experimentais, posicionados a 0,20 m de profundidade no solo.

### 3.4 Coleta e caracterização da água residuária da suinocultura e água para irrigação

A ARS utilizada no experimento foi coletada na saída do biodigestor da Unidade Produtora de Suínos do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Campus de Alegre, antes de cada aplicação, transportada e armazenada no local de realização do experimento.

Foram efetuadas três coletas da ARS, uma coleta inicial (coleta 1), no dia de início das aplicações, e outras duas aos 30 (coleta 2) e 60 (coleta 3) dias de início das aplicações. Após cada coleta, antes das aplicações, uma amostra da ARS foi analisada para a determinação das características químicas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização química da ARS e água para irrigação, utilizada no experimento

	ARS			Água de Irrigação
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	
pH	7,9	7,8	8,1	6,34
CE (dS m <sup>3</sup> )	3,12	3,02	2,97	0,417
Na (mg L <sup>-1</sup> )	59,34	55,6	48,9	26,0
K (mg L <sup>-1</sup> )	417,0	312,0	323,0	8,0
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	90,8	91,4	92,1	26,4
Mg (mg L <sup>-1</sup> )	9,36	9,76	9,84	15,36
RAS	7,67	7,81	6,85	5,70

\*(RAS) Razão de adsorção de sódio, obtida através da equação 3.

### 3.5 Parcelamentos Aplicados

O potássio, por ser o elemento em maior concentração nesta ARS, foi estabelecido como o elemento preferencial para o cálculo do volume de ARS a ser aplicado, com base nas análises químicas feitas. Para a definição dos parcelamentos seguiu-se a recomendação de adubação potássica para plantio da cultura do café (PREZOTTI et al., 2007), substituindo-se o potássio via mineral pelo potássio contido na ARS.

Os parcelamentos foram determinados da seguinte forma:

- Adubação Mineral: Adubação potássica mineral recomendada para a cultura, fornecida via Cloreto de Potássio (12,50g de K, divididas em três aplicações, num intervalo de 30 dias entre elas) seguindo o manual de recomendação de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo;
- ARS<sub>K1</sub>: 100% do potássio, fornecido via ARS até atingir a recomendação do manual de recomendação de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo (12,50g);
- ARS<sub>K2</sub>: 100% do potássio, fornecido via ARS dividido em dois parcelamentos num intervalo de 30 dias entre eles (6,25g em cada);
- ARS<sub>K3</sub>: 100% do potássio, fornecido via ARS, dividido em 3 parcelamentos num intervalo de 30 dias entre eles (4,16g em cada);

A aplicação dos parcelamentos iniciou-se aos 17 dias de transplântio. A aplicação da ARS foi feita obedecendo a necessidade de irrigação (substituindo a irrigação

convencional), até atingir a dose recomendada de potássio para cada parcelamento, posteriormente, a irrigação foi efetuada com água.

O volume de ARS necessário para o suprimento da dose potássica recomendada para cada parcelamento foi calculado de acordo com a quantidade de potássio presente por litro de ARS coletada para cada aplicação, e sua aplicação foi feita de forma manual com o auxílio de um regador.

### 3.6 Monitoramento da concentração de nutrientes na solução do Solo

O monitoramento da solução foi feito por meio de extratores de capsula porosa (Figura 4), submetidos a vácuo. A solução do solo das diferentes texturas era coletada com uma seringa de 60 ml, por meio de vácuo positivo nos extratores.

A solução coletada foi armazenada em recipientes plásticos, acondicionados em geladeira a uma temperatura de 4°C.

Os extratores foram idealizados e confeccionados pela equipe do grupo de pesquisa coordenada pelo professor Giovanni de Oliveira Garcia, e os mesmos eram compostos por: torneira de três vias, tubo de PVC de ½ polegada, tubo de PVC flexível e incolor e vela de porcelana. Foram instalados na profundidade de 0,15 m, um por vaso, a 0,10 m de sua borda.



**Figura 4.** Extrator de cápsula porosa utilizado no experimento.

Os dados foram coletados a cada 10 dias (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias) do início dos parcelamentos, totalizando nove coletas da solução ao longo do período experimental.

Foram realizadas análises de pH e condutividade elétrica com o auxílio de peagâmetro e condutivímetro de bancada respectivamente, análises de sódio e potássio

via fotômetro de chama. As concentrações de cálcio e magnésio também foram mensuradas na solução dos solos para se obter a razão de adsorção de sódio (RAS) e a razão de adsorção de potássio (RAP). Os valores das concentrações de cálcio e magnésio foram obtidos com o auxílio de kits de titulometria específicos para suas determinações, e os valores de RAS e RAP foram calculados através das equações 3 e 4 respectivamente.

$$RAS = \frac{Na^+}{\left[\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}\right]^{0,5}} \quad (3)$$

$$RAP = \frac{K^+}{\left[\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}\right]^{0,5}} \quad (4)$$

Onde:

$Na^+$  = concentração de sódio ( $mmolc.dm^{-3}$ );

$Ca^{++}$  = concentração de cálcio ( $mmolc.dm^{-3}$ );

$Mg^{++}$  = concentração de magnésio ( $mmolc.dm^{-3}$ );

$K^+$  = concentração de potássio ( $mmolc.dm^{-3}$ ).

### 3.7 Biometria, Massa de plantas e Área Foliar

A biometria das plantas foi efetuada aos 90 dias do início dos parcelamentos, mensurando-se altura de plantas (cm) com uma régua graduada. Posteriormente, as plantas foram cortadas a 5 cm do solo, separando parte aérea de raiz. Determinou-se a área foliar das plantas, pelo método destrutivo, coletando todas as folhas e submetendo-as à aparelho de leitura de imagem. As raízes foram lavadas sob água corrente para determinação de massa seca.

Após a determinação da área foliar, as folhas, assim como caules e raízes foram levados à estufa de circulação, a temperatura de 65°C por 72 horas. Foram determinadas massa seca total da parte aérea (folhas e caule) e raiz, por meio de balança analítica expressos em gramas.

### 3.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos a Análise de variância a 5% de probabilidade. Os

efeitos significativos das variáveis do monitoramento da solução do solo (pH, CE, Na, K, RAS e RAP aos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias do início dos parcelamentos) foram analisados por meio de regressão. O efeito significativo para as variáveis área foliar, massa seca das plantas e biometria foram comparados pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

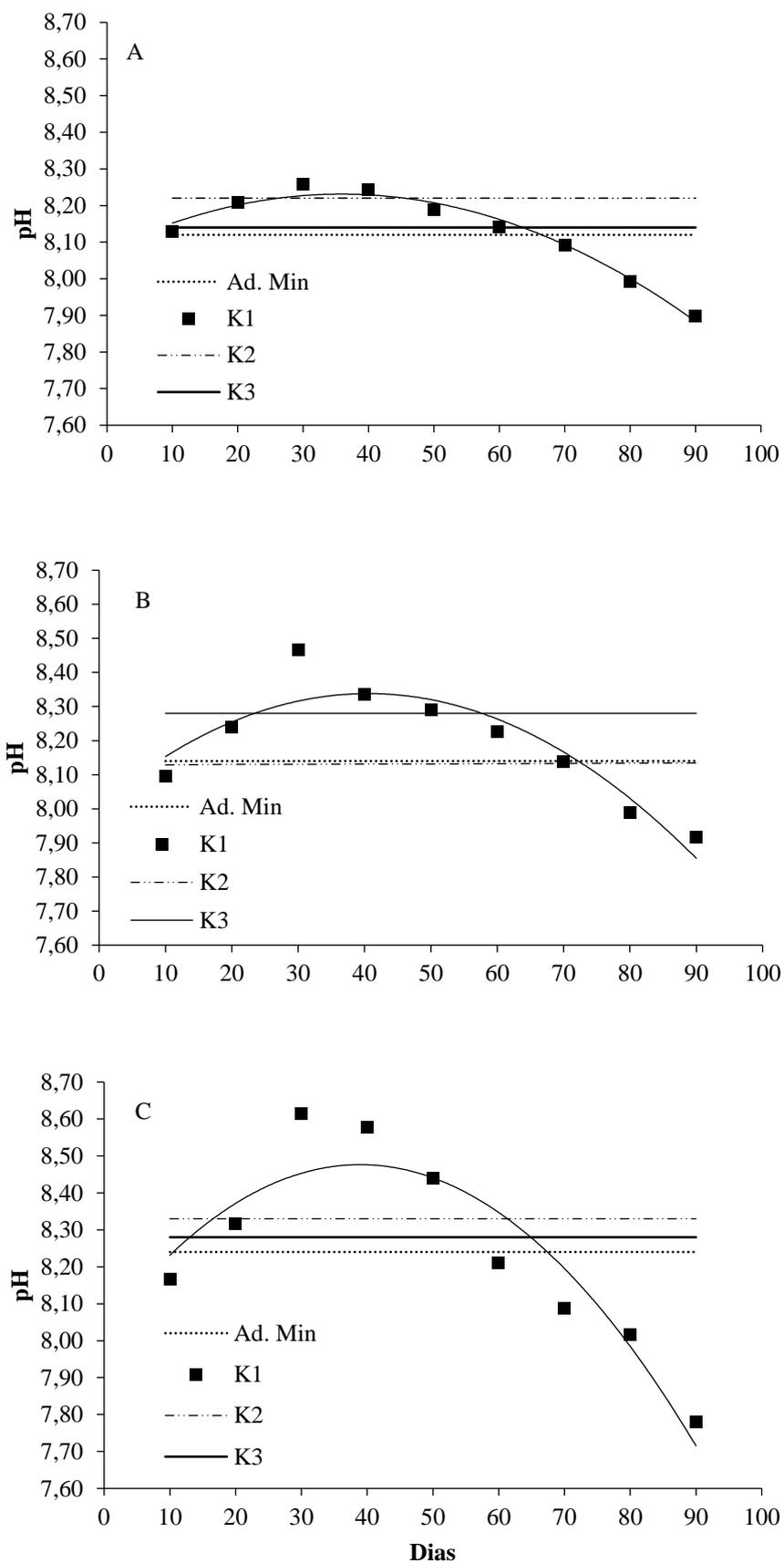
### **4.1 Atributos da solução do Solo**

#### **4.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Na figura 5 estão representadas as curvas quadráticas do modelo da regressão para os efeitos significativos do comportamento do pH na solução do solo, para o parcelamento de ARS em uma vez ( $ARS_{K1}$ ), em três texturas de solo. Os demais parcelamentos de ARS e adubação mineral não tiveram efeito significativo em nenhuma das três texturas.

O valor da concentração de pH no solo de textura argilosa (figura 5A) foi crescente e atingiu valor máximo de 8,23 aos 36 dias do início do parcelamento. No solo de textura média (5B), houve acréscimo no valor de pH até os 40 dias, onde a leitura foi de 8,33. Já no solo de textura arenosa (5C), a maior leitura de pH foi de 8,40 e deu-se aos 40 dias de início do parcelamento.

De acordo com as equações ajustadas para os valores de pH (Tabela 3), foi possível calcular o valor do pH da solução do solo ao final do período experimental, e obteve-se as leituras de 7,88 para o parcelamento  $ARS_{K1}$  no solo de textura argilosa, 7,85 para o parcelamento  $ARS_{K2}$  no solo de textura média e 7,64 para o mesmo parcelamento no solo de textura argilosa.



**Figura 5.** Valores médios do pH na solução, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação em três texturas de solo.

**Tabela 3.** Equações ajustadas e valores médios do pH da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo

Textura Argilosa (A)	
$\hat{Y} = 8,12$	
$\hat{Y} = 8,0780 + 0,00850 D - 0,0001185 D^2$	$R^2 = 0,971$
$\hat{Y} = 8,22$	
$\hat{Y} = 8,14$	
Textura Média (B)	
$\hat{Y} = 8,14$	
$\hat{Y} = 8,0129 + 0,01602 D - 0,0001976 D^2$	$R^2 = 0,852$
$\hat{Y} = 8,13$	
$\hat{Y} = 8,28$	
Textura Arenosa (C)	
$\hat{Y} = 8,24$	
$\hat{Y} = 8,0000 + 0,02510 D - 0,0003222 D^2$	$R^2 = 0,903$
$\hat{Y} = 8,33$	
$\hat{Y} = 8,28$	

O aumento dos valores de pH (alcalinização) na solução é explicado devido ao grande aporte de potássio depositado via ARS, que segundo Silva (2012) é responsável pelo aumento da quantidade de  $K^+$  trocável na solução e no solo, proporcionando assim a variação do pH da solução durante as aplicações. O aumento da concentração de potássio na solução promove a formação de íons  $H^+$  e KOH pela quebra da molécula de água, o KOH dissocia-se formando íons  $K^+$  e  $OH^-$ , assim os íons  $H^+$  ficam adsorvidos nos complexos de troca e as hidroxilas ficam na solução do solo oscilando o pH.

A tendência do decréscimo nos valores do pH (acidificação) da solução, se dá em resposta ao cessar-se a aplicação da ARS, e influe-se pelo fato de que o  $H^+$  com o passar do tempo, é consumido na degradação de resíduos orgânicos, que foram adicionados pela ARS, em que há produção de ácidos orgânicos e  $CO_2$ , tornando assim a solução do solo mais ácida novamente, como aponta Fonseca et al. (2003) ao observar que em solos tratados com resíduos biodegradáveis (como águas residuárias), mediante a degradação destes materiais pelos microrganismos, houve diminuição no valor do pH do solo devido

a produção de CO<sub>2</sub> e ácidos orgânicos.

#### 4.1.2 Condutividade Elétrica (CE)

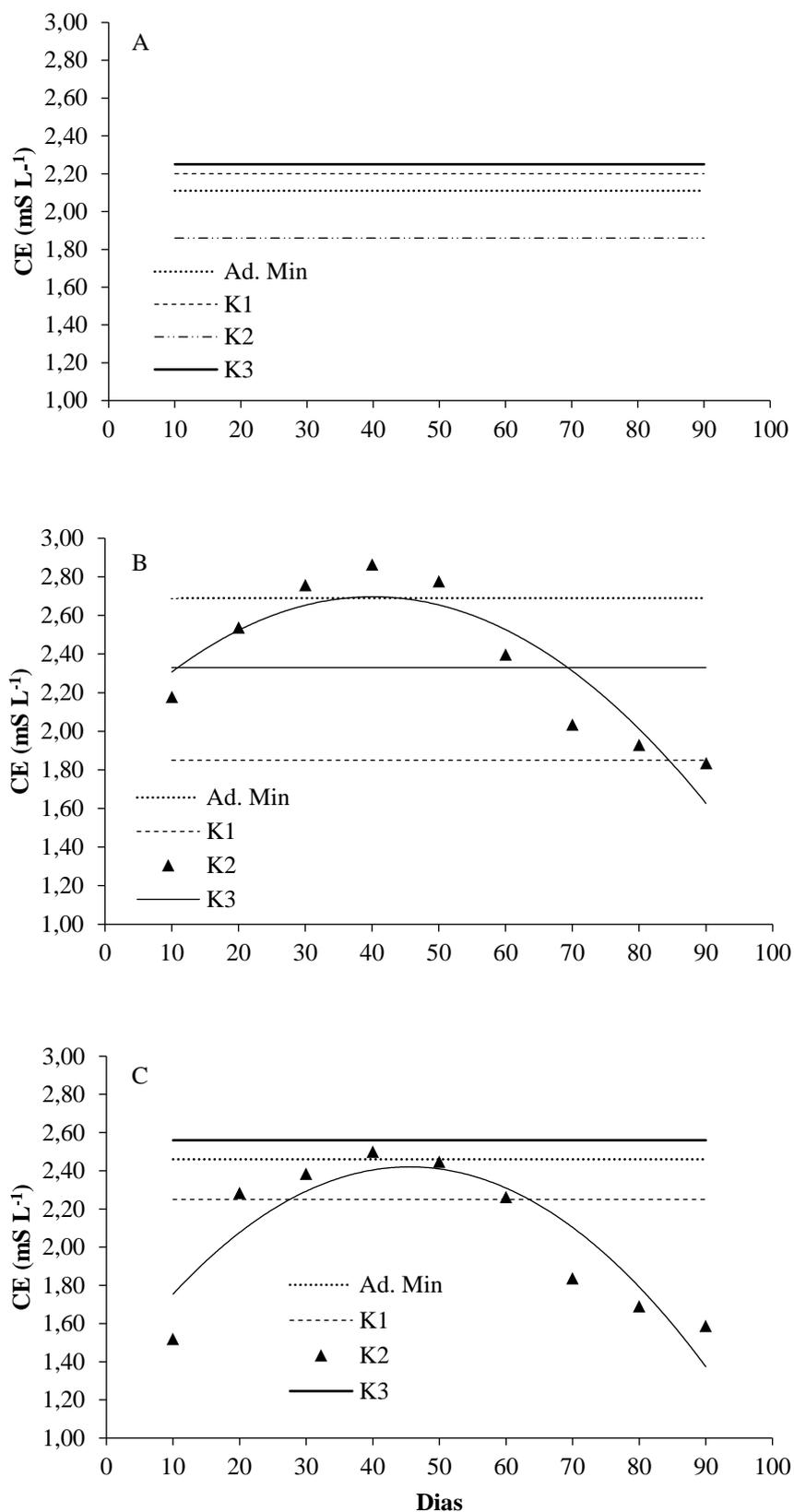
Observa-se na figura 6 o comportamento da condutividade elétrica da solução do solo em função dos parcelamentos de ARS e adubação mineral, nos solos de textura argilosa, média e arenosa (6A, 6B e 6C respectivamente), ao longo de 90 dias de experimentação, com ajuste ao modelo quadrático da regressão para os efeitos significativos.

De acordo com a figura 6A, não houve efeito significativo para a condutividade elétrica em nenhum dos parcelamentos de ARS, assim como para adubação mineral no solo de textura argilosa.

No solo de textura média (Figura 6B), os parcelamentos de ARS em uma e três vezes (ARS<sub>K1</sub> e ARS<sub>K3</sub>) não foram significativos, assim como o parcelamento com adubação mineral. No entanto, houve efeito significativo para o parcelamento de ARS em duas vezes (ARS<sub>K2</sub>), com aumento nos valores da condutividade elétrica durante as aplicações de ARS, com acúmulo máximo aos 40 dias do início da aplicação (2,7 mS<sup>-1</sup>).

Em relação ao solo de textura arenosa (Figura 6C), houve aumento da condutividade elétrica ao longo das aplicações da ARS para o parcelamento de ARS em duas vezes (ARS<sub>K2</sub>). O valor máximo de CE foi encontrado no dia 45 do início da aplicação do parcelamento, com leitura de 2,42mS<sup>-1</sup>. Os demais parcelamentos de ARS, assim como o de adubação mineral, não apresentaram efeito significativo.

De acordo com as equações ajustadas dos valores médios de condutividade elétrica (Tabela 4), o solo de textura média apresentou maior valor de leitura de condutividade (1,62 mS-1) para o parcelamento de ARS em duas vezes, que o solo de textura arenosa (1,37 mS-1) ao final dos 90 dias de experimentação. Reaciona-se tal fato ao comportamento dos íon nas diferentes texturas de solo. Solos arenosos por possuírem maior porosidade e maior área de superfície coloidal, apresenta menor adsorção e maior lixiviação dos íons, que são perdidos ao longo do perfil do solo.



**Figura 6.** Valores médios da CE na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação em três texturas de solo.

**Tabela 4.** Equações ajustadas e valores médios da CE da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo

Textura Argilosa (A)	
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	2,11
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	2,20
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	1,86
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	2,25
Textura Média (B)	
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	2,19
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	1,85
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	$2,0051 + 0,03448 D - 0,0004299 D^2$ $R^2 = 0,823$
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	2,33
Textura Arenosa (C)	
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	2,16
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	2,25
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	$1,3251 + 0,04813 D - 0,0005287 D^2$ $R^2 = 0,808$
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	2,56

Como a condutividade elétrica em uma solução é proporcional a concentração iônica presente no meio, pode-se relacionar o aumento momentâneo da condutividade elétrica, neste trabalho, com a quantidade de potássio contida nela, transferida a solução pela aplicação da ARS, e o seu decréscimo, pela alta mobilidade deste, adsorção às cargas do solo e extração pela planta.

Em estudo, Silva et al. (2012) destacou a importância de monitorar a concentração de sais, pois a medida que a sua concentração aumenta na solução do solo o potencial osmótico reduz, requerendo assim uma energia maior da planta para absorver a água do solo, comprometendo o seu desenvolvimento, além de promover o desequilíbrio nutricional da solução-solo.

#### 4.1.3 Sódio (Na)

Observa-se na figura 7 o comportamento da concentração de sódio em função dos parcelamentos no solo de textura argilosa (7A), no solo de textura média (7B) e no solo de textura arenosa (7C) ao longo dos 90 dias de experimentação, com efeito significativo

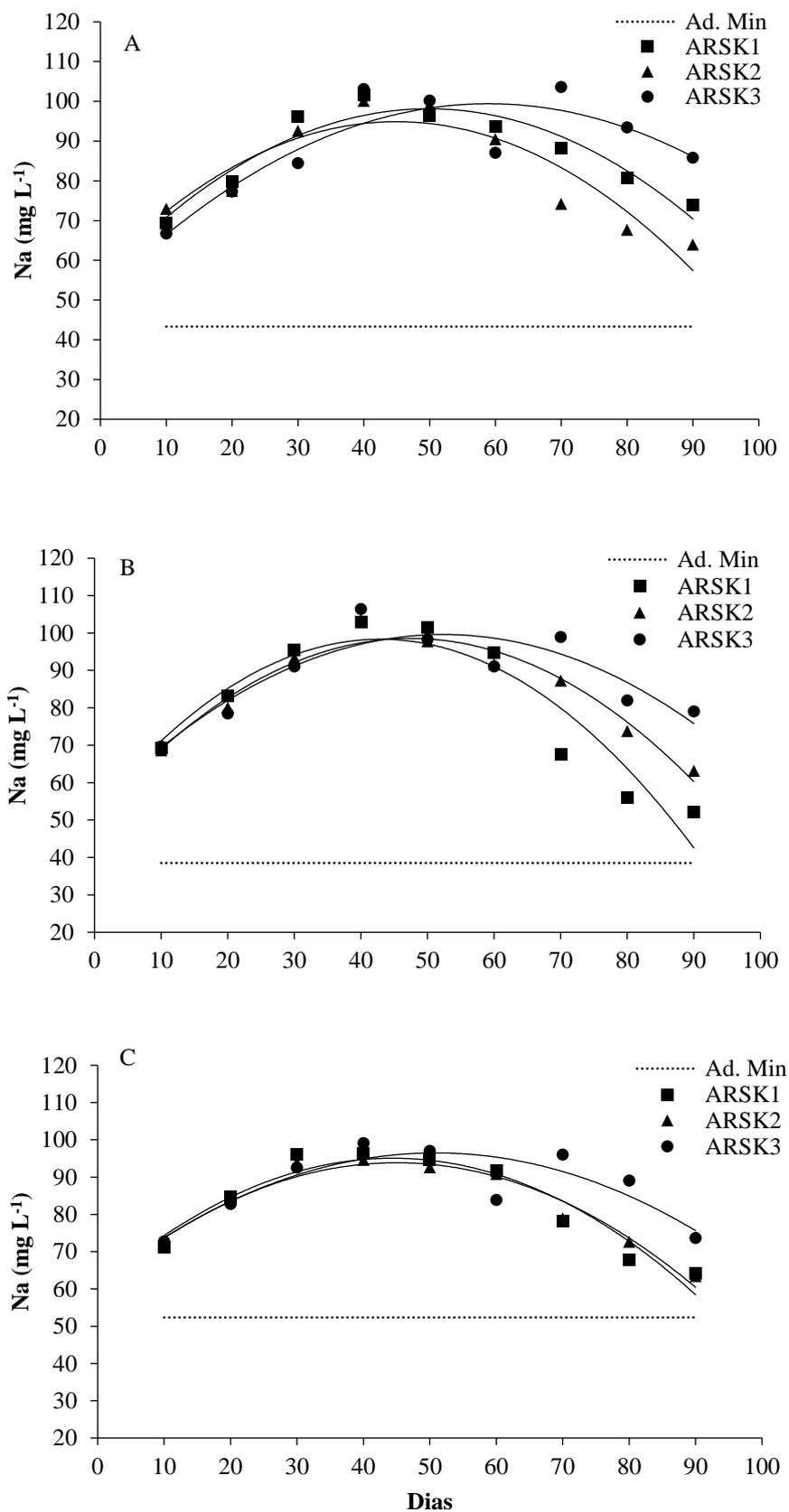
apenas para os parcelamentos com ARS, nas três classes texturais, ajustando-se ao modelo quadrático da regressão.

Verifica-se de um modo geral, que o comportamento da concentração de  $\text{Na}^+$  foi similar entre os diferentes parcelamentos nas três texturas de solo (Figuras 7A, 7B e 7C), apresentando concentrações crescente ao longo das aplicações dos parcelamentos, visto a sua concentração expressiva na ARS, pois esta foi efetuada de acordo com a necessidade de irrigação ao longo do tempo.

No solo de textura argilosa (Figura 7A), o acréscimo do íon à solução deu-se de forma gradual ao longo da aplicação da ARS, e sua concentração máxima se deu aos 50 dias no parcelamento  $\text{ARS}_{\text{K1}}$ , 45 dias no parcelamento  $\text{ARS}_{\text{K2}}$ , e aos 59 dias no parcelamento  $\text{ARS}_{\text{K3}}$ , com concentrações de 98,60; 94,88 e 98,71  $\text{mg L}^{-1}$  respectivamente.

No solo de textura média (Figura 7B), a concentração máxima do íon deu-se nos dias 43 (98,34  $\text{mg L}^{-1}$ ), 48 (97,55  $\text{mg L}^{-1}$ ) e 52 (99,61  $\text{mg L}^{-1}$ ) após o início dos parcelamentos de ARS, para os parcelamentos  $\text{ARS}_{\text{K1}}$ ,  $\text{ARS}_{\text{K2}}$  e  $\text{ARS}_{\text{K3}}$  respectivamente.

Já no solo de textura arenosa (Figura 7C), a concentração máxima de sódio no solo deu-se nos dias 44, 48 e 60 respectivamente, com acúmulo de 95,08  $\text{mg L}^{-1}$  para o parcelamento  $\text{ARS}_{\text{K1}}$ , 98,81  $\text{mg L}^{-1}$  para o parcelamento  $\text{ARS}_{\text{K2}}$  e 96,51  $\text{mg L}^{-1}$  para o parcelamento  $\text{ARS}_{\text{K3}}$ .



**Figura 7.** Valores médios do comportamento do Sódio (Na) na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo.

**Tabela 5.** Equações ajustadas e valores médios da concentração de Na da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo

Textura Argilosa (A)		
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	43,32	
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	$55,3988 + 1,7141 D - 0,01700 D^2$	$R^2 = 0,907$
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	$57,5625 + 1,6596 D - 0,01845 D^2$	$R^2 = 0,848$
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	$51,5887 + 1,6235 D - 0,01378 D^2$	$R^2 = 0,779$
Textura Média (B)		
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	38,52	
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	$52,0595 + 2,1571 D - 0,02513 D^2$	$R^2 = 0,872$
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	$50,0119 + 2,0042 D - 0,02112 D^2$	$R^2 = 0,823$
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	$53,4196 + 1,7630 D - 0,01682 D^2$	$R^2 = 0,812$
Textura Arenosa (C)		
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	52,36	
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	$60,4452 + 1,5608 D - 0,01758 D^2$	$R^2 = 0,904$
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	$51,0100 + 2,0040 D - 0,02100 D^2$	$R^2 = 0,951$
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	$61,2655 + 1,3853 D - 0,01361 D^2$	$R^2 = 0,754$

Corroborando com os resultados obtidos neste estudo, Santos (2015) relatou que a aplicação de água residuária aumentou os níveis de sódio da solução do solo, sendo este acúmulo explicado devido sua alta concentração no efluente, e baixa absorção pela cultura.

No entanto, com o passar do tempo, a sua concentração decresceu na solução do solo em todos os parcelamentos e texturas, sendo explicada pela dinâmica de cargas dos íons da solução-solo, tendo sido, provavelmente adsorvidos pelas cargas negativas do solo.

Este é um fator importante a ser monitorado no manejo da aplicação de águas residuárias, pois em geral, as concentrações de  $Na^+$  são elevadas após sua aplicação, principalmente nas camadas superficiais. Esse alto teor de sódio presente na água residuária, resulta no acúmulo no perfil do solo (SANTOS,2015).

O acúmulo de  $Na^+$  nos solos pode acontecer se este for o cátion predominante na solução do solo. Um grande aumento nos teores de sódio em solos agrícolas, se não monitorados, podem vir a alterar certas características físicas decorrentes de dispersão das

argilas por exemplo, sendo uma das causas para a redução da porosidade do solo, condutividade hidráulica, taxa de infiltração e da destruição da estrutura do solo, afetando diretamente o desenvolvimento das plantas (HOMEM et al, 2014).

Outro fator a ser destacado é, embora não apresentar diferença significativa, os valores das médias do acúmulo de sódio na adubação mineral em ambas texturas (Figura 7A, 7B e 7C), também foi alto, inferindo-se que a água de irrigação teve responsabilidade neste aumento. Essa concentração de sódio na água de irrigação está apresentada na tabela 2.

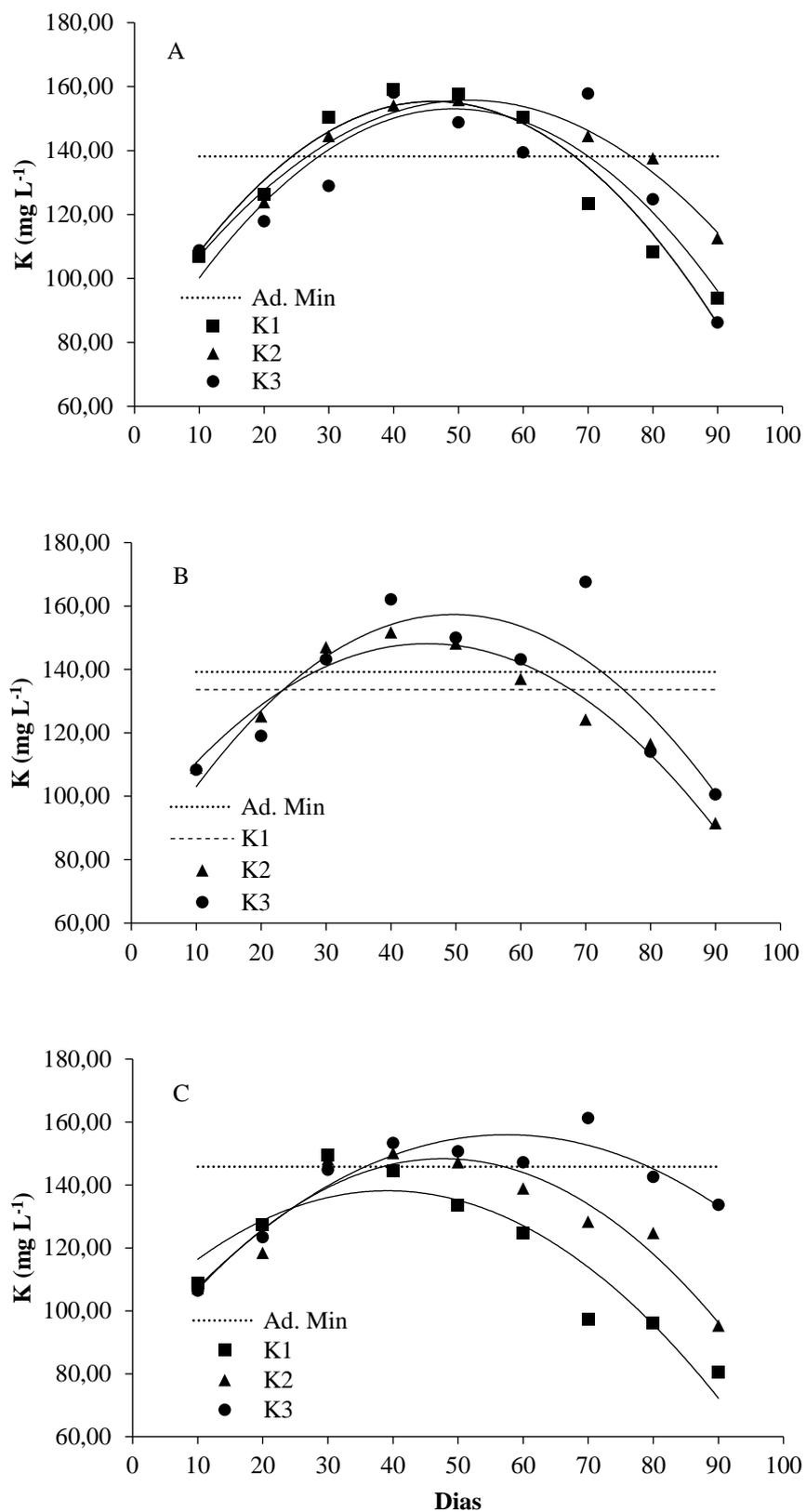
De acordo com as equações ajustadas da concentração de sódio na solução do solo, observa-se que o parcelamento dividido em três vezes ( $ARS_{K3}$ ), para as três texturas de solo, apresentaram maiores valores médios de acúmulo de  $Na^+$  na solução ao término do experimento, comparado aos demais parcelamentos, inferindo-se que o parcelamento de ARS contribui com a permanência do íon na solução (86,08; 75,84 e 75,70  $mg L^{-1}$ ) (Tabela 5).

#### **4.1.4 Potássio (K)**

Na figura 8 estão representadas curvas de concentração de  $K^+$  da solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral.

Conforme figura 8A e 8C, os três parcelamentos de ARS apresentaram efeitos significativos ( $ARS_{K1}$ ,  $ARS_{K2}$  e  $ARS_{K3}$  respectivamente), tendo suas curvas ajustadas ao modelo quadrático da regressão. No solo de textura média (Figura 8B), os parcelamentos de ARS em duas e três vezes ( $ARS_{K2}$  e  $ARS_{K3}$ ) foram significativos ajustando-se também ao modelo quadrático de regressão.

Não obteve-se significância para adubação mineral, em nenhuma das classes texturais (Figura 8A, 8B e 8C).



**Figura 8.** Valores médios do comportamento do Potássio (K) na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo.

**Tabela 6.** Equações ajustadas e valores médios da concentração de K da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo

Textura Argilosa (A)			
$\hat{Y}_{Ad. Min=}$	108,18		
$\hat{Y}_{ARS_{K1}=}$	$78,4780 + 3,3341 D - 0,03614 D^2$	$R^2 = 0,934$	
$\hat{Y}_{ARS_{K2}=}$	$80,6548 + 2,9075 D - 0,02814 D^2$	$R^2 = 0,973$	
$\hat{Y}_{ARS_{K3}=}$	$69,8411 + 3,3786 D - 0,03430 D^2$	$R^2 = 0,801$	
Textura Média (B)			
$\hat{Y}_{Ad. Min=}$	109,21		
$\hat{Y}_{ARS_{K1}=}$	133,63		
$\hat{Y}_{ARS_{K2}=}$	$86,6060 + 2,6985 D - 0,02959 D^2$	$R^2 = 0,953$	
$\hat{Y}_{ARS_{K3}=}$	$72,1881 + 3,4318 D - 0,03458 D^2$	$R^2 = 0,774$	
Textura Arenosa (C)			
$\hat{Y}_{Ad. Min=}$	105,79		
$\hat{Y}_{ARS_{K1}=}$	$98,9357 + 2,0013 D - 0,02553 D^2$	$R^2 = 0,855$	
$\hat{Y}_{ARS_{K2}=}$	$81,8982 + 2,7838 D - 0,02916 D^2$	$R^2 = 0,917$	
$\hat{Y}_{ARS_{K3}=}$	$84,9673 + 2,4696 D - 0,02148 D^2$	$R^2 = 0,908$	

O aumento da concentração de potássio na solução do solo é creditado a elevada concentração deste nutriente na ARS. Conforme apresentado na tabela 2, as ARS utilizada no estudo apresentava considerável concentração desse nutriente, provocando o aumento de sua concentração na solução do solo em decorrência da aplicação da ARS.

Houve um incremento nos valores de potássio ao longo das aplicações devido o incremento deste íon à solução do solo em decorrência da aplicação dos parcelamentos. Ao término das aplicações houve decréscimo nos valores da concentração de  $K^+$  na solução, creditado à alta solubilidade do elemento na solução do solo.

De acordo com as equações ajustadas dos valores médios da concentração de  $K^+$  na solução do solo (Tabela 6), no solo de textura argilosa (Figura 8A) a concentração máxima de  $K^+$  deu-se aos 46 dias para o parcelamento  $ARS_{K1}$ , 51 dias para o parcelamento  $ARS_{K2}$  e aos 50 dias no parcelamento  $ARS_{K3}$ , com concentrações de 155,37; 155,75 e 153,04  $mg L^{-1}$  respectivamente.

No solo de textura média (Figura 8B), a concentração máxima do íon deu-se aos

45 dias (148,12 mg L<sup>-1</sup>) e 50 dias (153,03 mg L<sup>-1</sup>) após o início dos parcelamentos de ARS, para os parcelamentos ARS<sub>K2</sub> e ARS<sub>K3</sub> respectivamente.

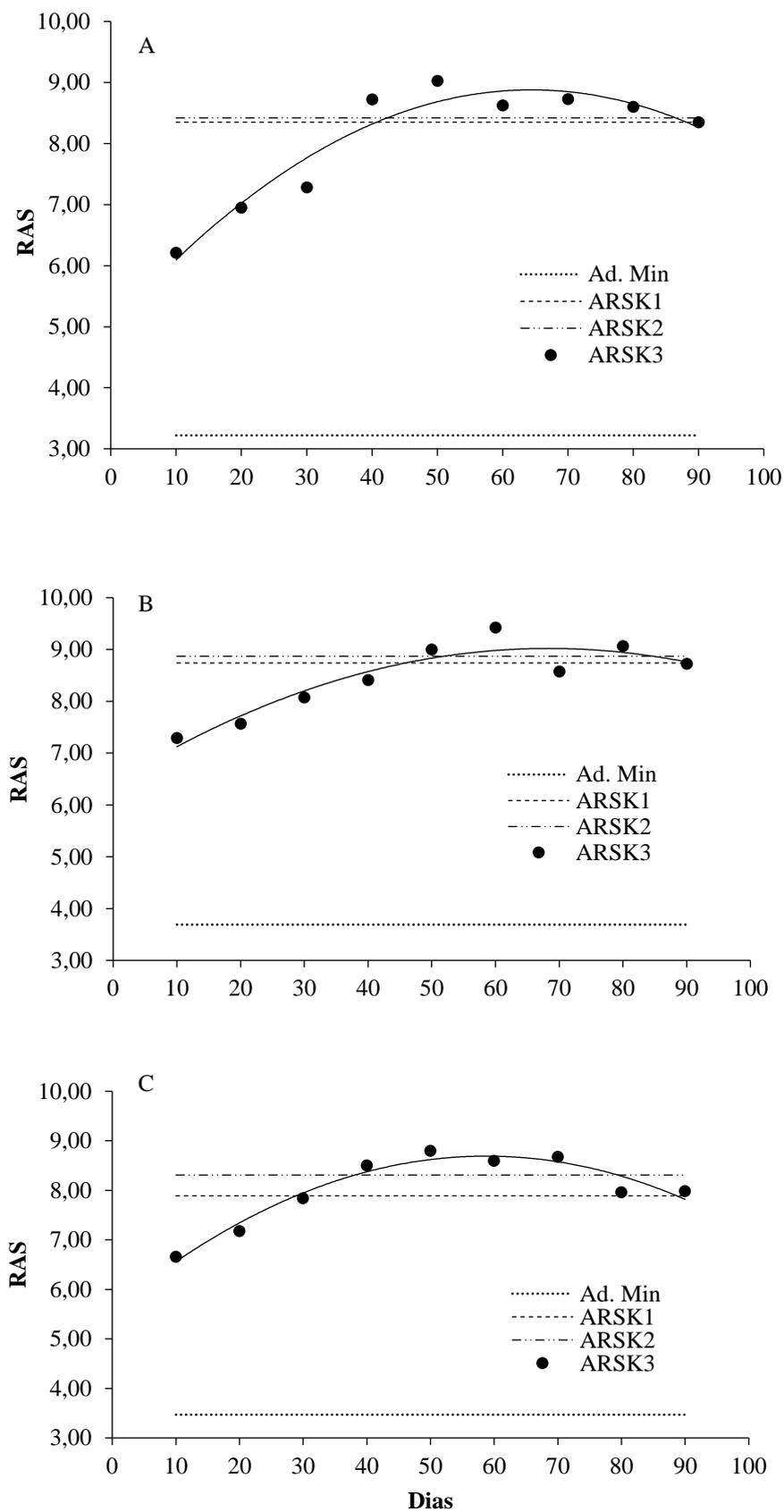
Já no solo de textura arenosa (Figura 8C), a maior concentração de potássio na solução do solo deu-se nos dias 40, 48 e 57 respectivamente, com acúmulo de 138,15 mg L<sup>-1</sup> para o parcelamento ARS<sub>K1</sub>, 148,33 mg L<sup>-1</sup> para o parcelamento ARS<sub>K2</sub> e 155,95 mg L<sup>-1</sup> para o parcelamento ARS<sub>K3</sub>.

Corroborando com este estudo, alguns autores observaram incremento nos valores do potássio à solução-solo em decorrência da aplicação de águas residuárias no geral, devido a sua alta concentração nestas (QUEIROZ et al, 2004; MEDEIROS et al, 2005), e creditaram o seu decréscimo pela lixiviação, ou então por sua extração pela cultura, mostrando que a taxa de utilização deste nutriente pela planta, estava sendo maior que a reposição através da aplicação da ARS (HOMEM, et al., 2012).

A preocupação crescente em relação à aplicação de ARS em solos, sem critérios, é o acúmulo de íons em solução-solo, principalmente quando se tem alta solubilidade e mobilidade, como o potássio e sódio, em que a movimentação na forma de sais e lixiviação através do solo, gera acúmulo no perfil e até mesmo contaminação do lençol freático. Quando não houver adequada lixiviação, como ocorre em solo de baixa permeabilidade e capacidade de drenagem, pode haver problemas de salinização do solo (VAN RAIJ IN: LO MONACO, 2005).

#### **4.1.5 Razão de adsorção de Sódio (RAS)**

Observa-se na figura 9A, 9B e 9C que apenas o parcelamento da ARS em três vezes apresentou efeito significativo, nas três texturas de solo. As curvas de acúmulo da RAS ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão. O parcelamento com aduabação mineral não apresentou efeito significativo em nenhuma das texturas de solo, e embora para os demais parcelamentos tenha havido interação significativa, não houve ajuste às curvas para os modelos de regressão quadrática e nem linear simples.



**Figura 9.** Valores médios do comportamento da RAS na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo.

**Tabela 7.** Equações ajustadas e valores médios da concentração da RAS da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo

Textura Argilosa (A)			
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	3,22		
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	8,35		
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	8,42		
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	$5,3104 + 0,09752 D - 0,0006374 D^2$	$R^2 = 0,874$	
Textura Média (B)			
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	3,69		
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	7,89		
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	8,87		
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	$5,5994 + 0,1051 D - 0,0008948 D^2$	$R^2 = 0,941$	
Textura Arenosa (C)			
$\hat{Y}_{Ad. Min} =$	3,47		
$\hat{Y}_{ARS_{K1}} =$	8,74		
$\hat{Y}_{ARS_{K2}} =$	8,31		
$\hat{Y}_{ARS_{K3}} =$	$6,4172 + 0,07619 D - 0,0005575 D^2$	$R^2 = 0,860$	

Houve o aumento da RAS ao longo do período experimental, e um leve decréscimo ao final, o que infere que de modo em que se aplica a ARS, há o acúmulo de sódio na solução, com isso o aumento da RAS (Figura 9A, 9B e 9C), e a aplicação da ARS em maior parcelamento promove a disposição constante de ARS ao solo, de forma a manter os níveis de RAS também sempre constantes nas três texturas de solo. Contudo, deve-se atentar para o risco de salinização e sodificação, e também de alterações na capacidade de infiltração da água no solo, relacionada ao aumento da razão de adsorção de sódio.

A sodicidade determinada pela RAS diz respeito ao efeito do sódio contido na água de irrigação, que elevará a porcentagem de sódio trocável, podendo afetar sua capacidade de infiltração. A RAS avalia a concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio. Quanto maior a concentração destes em relação ao sódio, menor será o valor

da RAS, e conseqüentemente, menor serão os riscos ao solo em decorrência da aplicação da ARS.

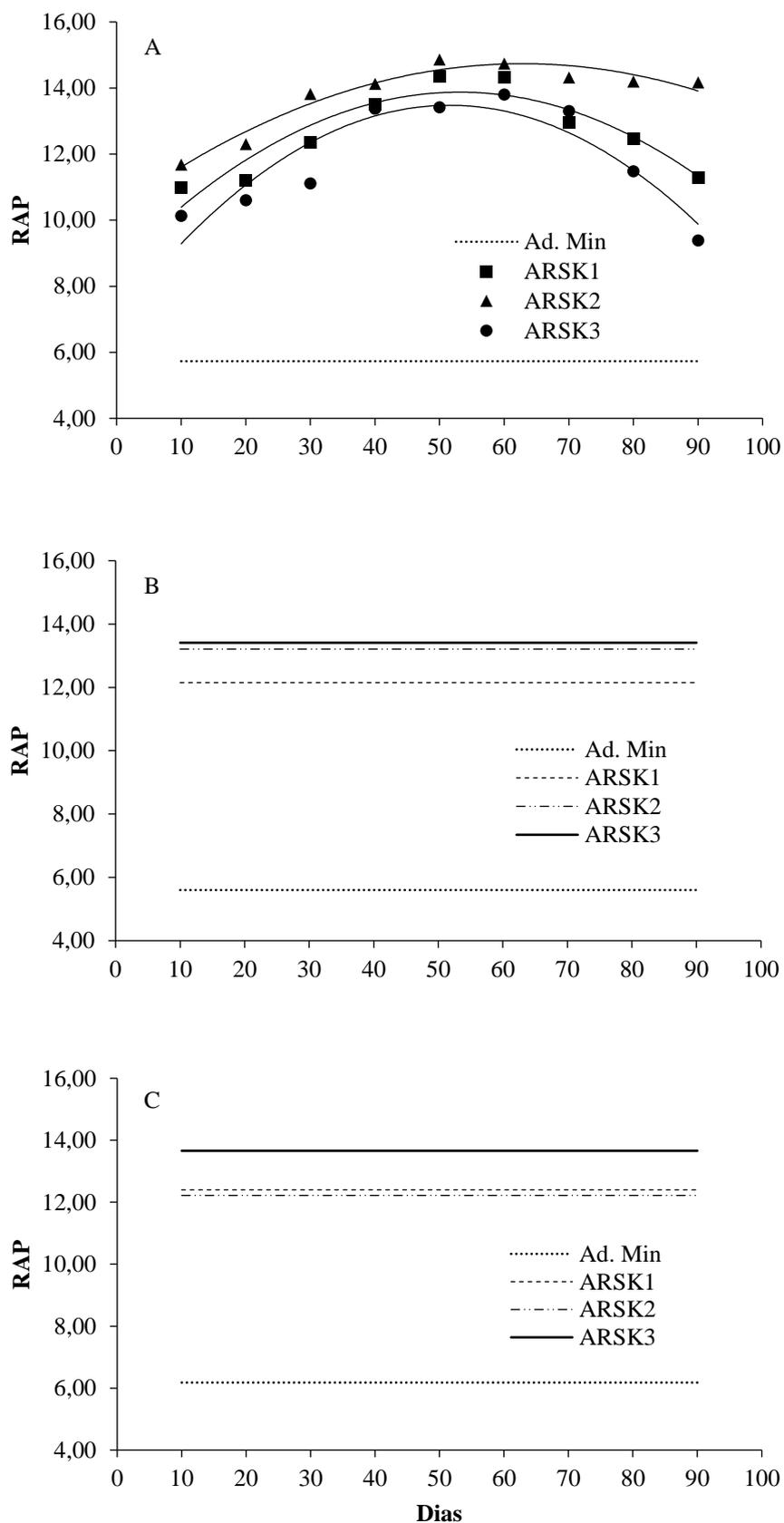
De acordo com a classificação das águas de irrigação e efluentes quanto a condutividade elétrica e RAS, descrita por Cordeiro (2001), que apresenta o risco de salinidade e sodicidade dos solos respectivamente, a ARS do presente estudo se enquadra em C3S1, com condutividade elétrica em torno de 3 dS m, e RAS entre 6 e 12 com condutividade elétrica maior que 1,9 dS m. Estes resultados salientam quanto ao risco de salinização dos solos visto a alta condutividade elétrica da ARS, com isso, deve haver o cuidado de não utilizar a água em solos demasiadamente argilosos ou de baixa permeabilidade.

Alerta-se ao risco do uso da ARS no solo de textura argilosa, pois o sódio dessa classe de água representa um perigo de dispersão com possível redução em sua porosidade. Por outro lado, essas águas podem ser utilizadas em solos arenosos ou orgânicos que possuem boa permeabilidade (CORDEIRO 2011).

#### **4.1.6 Razão de Adsorção de Potássio (RAP)**

De acordo com a figura 10A, ambos os parcelamentos da ARS nesta classe textural, tiveram efeito significativo, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, em contra partida, a adubação mineral não apresentou significância.

No solo de textura média e arenosa (Figura 10B e 10C respectivamente), não obteve-se efeito significativo para a variável estudada em nenhum dos parcelamentos.



**Figura 10.** Valores médios do comportamento da RAP na solução do solo, em decorrência da aplicação dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral, ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo.

**Tabela 8.** Equações ajustadas e valores médios da concentração da RAP da solução do solo, em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral ao longo de 90 dias de experimentação, em três texturas de solo

Textura Argilosa (A)		
$\hat{Y}_{Ad. Min=}$	5,73	
$\hat{Y}_{ARS_{K1}=}$	$8,7004 + 0,1935 D - 0,0006374 D^2$	$R^2 = 0,827$
$\hat{Y}_{ARS_{K2}=}$	$9,9828 + 0,1576 D - 0,001822 D^2$	$R^2 = 0,935$
$\hat{Y}_{ARS_{K3}=}$	$7,0247 + 0,2504 D - 0,002430 D^2$	$R^2 = 0,843$
Textura Média (B)		
$\hat{Y}_{Ad. Min=}$	5,60	
$\hat{Y}_{ARS_{K1}=}$	12,15	
$\hat{Y}_{ARS_{K2}=}$	13,21	
$\hat{Y}_{ARS_{K3}=}$	13,41	
Textura Arenosa (C)		
$\hat{Y}_{Ad. Min=}$	6,18	
$\hat{Y}_{ARS_{K1}=}$	12,40	
$\hat{Y}_{ARS_{K2}=}$	12,22	
$\hat{Y}_{ARS_{K3}=}$	13,66	

Nota-se na figura 10A, que as aplicações de ARS promoveram momentaneamente a elevação dos valores da RAP da solução do solo, e posteriormente diminuíram, esse comportamento foi observado para os três parcelamentos. Assim como para o potássio, observa-se que a elevação dos valores estão relacionados com a composição e aplicação da ARS, ou seja, altas concentrações de potássio na ARS, aumentou a RAP gradativamente ao longo das aplicações, com decréscimo em seu valor após o término delas.

Os altos valores de potássio e RAP, sujere alerta para os riscos ao solo, pois os íons de potássio quando elevados na solução, podem substituir outros íons, como o cálcio por exemplo, no complexo de troca.

A utilização da RAP, juntamente com a RAS, permite avalia a relação dos íons monovalentes com o risco de salinização, que causam degradação física dos solos. Ou seja, com base nos resultados obtidos (Figura 10A), o cenário é bastante favorável para potencialização da salinização do solo, com risco de dispersão do mesmo pelo aumento da RAS e da RAP no solo de textura argilosa, visto a maior capacidade de retenção de água e íons, gerando assim miores problemas na dispersão de solos. Já em solos de textura

mais arenosa, os problemas não são tão pronunciáveis, pois solos mais arenosos possuem maior macroporosidade que lhe conferem melhor drenagem e permeabilidade.

Como observado por Lo Monaco (2005), e Garcia, (2003), em trabalhos com água residuária de despolpa de café, a grande quantidade de potássio aplicada por meio da ARC proporcionou a substituição de íons de cálcio do complexo de troca do solo, podendo afetar a estrutura do mesmo, acarretando problemas de infiltração da água, além de lixiviação dos demais nutrientes pelo perfil, sendo que em campo, esse acúmulo de potássio pode gerar dispersão de argilas e até mesmo dano salino às plantas.

#### **4.2 Área foliar, massa de plantas e altura de plantas**

De acordo com a análise de variância, houve interação entre os fatores textura do solo e parcelamento.

Como aponta a tabela 9, o teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade apresentou diferença significativa entre os parcelamentos para as variáveis área foliar, massa seca de plantas e altura de plantas, nas texturas de solo argiosa e média. No solo de textura arenosa, não obteve-se diferença significativa entre os parcelamentos.

**Tabela 9.** Área foliar, massa seca (parte aérea e raiz) e altura de plantas de café conilon em decorrência dos parcelamentos de ARS e Adubação Mineral em três texturas de solo, ao longo de 90 dias de experimentação

		Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Massa Seca Aérea (g)	Massa Seca Raiz (g)	Altura (cm)
	Ad. Min	2578,92 a	29,67 a	13,60 a	37,40 a
Textura Argilosa	ARS <sub>K1</sub>	2694,47 a	30,38 a	12,24 a	34,82 a
	ARS <sub>K2</sub>	2336,77 a	27,37 a	11,20 a	37,87 a
	ARS <sub>K3</sub>	1391,05 b	15,68 b	9,94 b	26,45 b
	Ad. Min	1803,23 b	22,22 b	8,35 b	41,55 b
Textura Média	ARS <sub>K1</sub>	2100,53 b	24,26 b	8,06 b	41,65 b
	ARS <sub>K2</sub>	1956,38 b	21,68 b	7,66 b	40,80 b
	ARS <sub>K3</sub>	2541,62 a	28,98 a	11,70 a	45,32 a
	Ad. Min	732,52 a	10,73 a	4,29 a	34,15 a
Textura Arenosa	ARS <sub>K1</sub>	874,61 a	11,71 a	4,46 a	33,90 a
	ARS <sub>K2</sub>	950,05 a	11,77 a	4,14 a	33,92 a
	ARS <sub>K3</sub>	1127,06 a	13,84 a	4,98 a	36,98 a
	Média	1782,3	20,863	8,3885	38,82
	CV	15,164	14,917	20,954	6,4166

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Kcott-Knott ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ).

No solo de textura argilosa, os parcelamentos de ARS em uma e duas vezes não diferiram estatisticamente da adubação mineral, proporcionando resultados semelhantes ao de utilização usual da adubação química em todas as variáveis estudadas, como aponta a tabela 9. Já o parcelamento de ARS em três vezes foi estatisticamente inferior aos demais parcelamentos, inferindo-se que maiores quantidades de parcelamento de ARS nesta textura de solo, não se mostra tão eficiente no desenvolvimento inicial do cafeeiro nestas condições, que pode ser explicado pela oferta de nutrientes via ARS e a dinâmica de cargas destes no solo.

Sabe-se que solos de textura argilosa apresentam maiores níveis de trocas catiônicas e retenção de nutrientes, visto possuírem maior capacidade de retenção de água e maior impermeabilidade que lhes conferem menores índices de lixiviação. No entanto,

fornecer os nutrientes via ARS em menor quantidade e de forma mais espaçada, fez com que os íons se ligassem às cargas do solo e ficassem retidos a ela, tornando-se pouco disponíveis na solução, gerando assim, resultados inferiores, em todas variáveis, aos demais parcelamentos.

No solo de textura média, os valores médios do parcelamento de ARS em três vezes foi superior aos demais parcelamentos de ARS e adubação mineral, apresentando comportamento inverso ao encontrado no solo de textura argilosa. Os demais parcelamentos de ARS (em uma e duas vezes) e adubação mineral não diferiram entre si nesta textura de solo (Tabela 9). Em conta partida ao resultado obtido para a textura argilosa, o parcelamento de ARS em maior quantidade de tempo (três vezes) na textura de solo média, apresentou maiores índices de desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon.

Tal fato explica-se por solos de textura média apresentarem certo equilíbrio entre os teores de argila e areia, apresentando assim boa drenagem, além de serem de fácil manejo, isso pôde garantir as plantas um bom aproveitamento dos nutrientes depositados junto ao parcelamento da ARS, que foi feito de forma espaçada, conferindo maior índice de absorção e incremento às variáveis estudadas.

De acordo com a tabela 9, já no solo de textura arenosa, o comportamento de todas as variáveis em resposta aos parcelamentos de ARS e adubação mineral, não apresentaram diferença significativa entre si. Demonstrando que para essa textura qualquer que seja o parcelamento de ARS, apresentam resultados satisfatório, tanto quanto, a utilização da adubação mineral.

Solos arenosos apesar de bem aerados, apresentam menor número de microporos que lhe confere menor capacidade de retenção de água e conseqüentemente de nutrientes, a velocidade de infiltração de água no perfil é maior, promovendo maior lixiviação dos nutrientes, e menor nutrição às plantas. Seria esta uma explicação para a indiferença estatística entre os tratamentos, assim como, os menores valores obtidos para todas as variáveis estudadas nesta textura de solo, também em comparação as demais texturas utilizadas neste estudo.

De um modo geral, os valores obtidos para todas as variáveis estudadas em todas as três texturas de solo, foram satisfatórios. Podemos inferir, que a ARS promoveu um bom fornecimento de potássio, por exemplo, visto ser este elemento presente em maior quantidade na ARS utilizada, no que diz respeito à área foliar, já que segundo Malavolta (2006), é um nutriente que atua no processo de abertura e fechamento dos estômatos,

afetando a turgescência e a expansão foliar.

É sabido também que plantas que apresentem área foliar elevada no desenvolvimento inicial indicam produtividades elevadas no final do ciclo (VIEIRA JUNIOR et al. 2006), e para isso existe uma relação direta entre raiz e parte aérea, no que tange o uso eficiente de nutrientes, que segundo Soares (2013), os valores de massa seca de plantas estão relacionadas a eficiência de absorção de nutrientes como o potássio. Amaral et al. (2011) e Soares (2013) verificaram em seus estudos relação entre o conteúdo de potássio no meio de cultivo com o aumento da média de massa seca de parte aérea e raiz, o que nos permite correlacionar com o presente estudo, que a oferta de potássio à solução do solo (onde ele está prontamente disponível à absorção pela planta) via ARS, contribuiu para os incrementos nos valores de massa seca das plantas, seja qual for o tipo de parcelamento, ressaltando as particularidades dos resultados obtidos e discutidos acima.

Corroborando com os resultados obtidos por Souza et al. (2016), os resultados deste estudo indicam que a ARS disponibiliza nutrientes para o desenvolvimento da planta, destacando-se a viabilidade de aplicação da ARS nos solos de textura argilosa, média e arenosa, salvo as particularidades apresentadas e discutidas anteriormente, pois além de fornecer nutrientes, fornece água que é fator limitante para a maioria das culturas.

## 5. CONCLUSÕES

Apenas o parcelamento de ARS em três vezes apresentou efeito significativo para a variável pH na solução do solo, nas três texturas de solo estudadas.

Para a variável condutividade elétrica, apenas o parcelamento de ARS em duas vezes teve efeito significativo, ainda assim, apenas nos solos de textura média e arenosa;

Todos os parcelamento de ARS tiveram efeitos significativos em ambas texturas de solo para a variável sódio.

O parcelamento de ARS dividido em três vezes nas três texturas de solo, apresentaram maiores valores médios de acúmulo de  $\text{Na}^+$  na solução ao término do experimento, inferindo-se que esse parcelamento contribui com a permanência do íon na solução.

Para o íon potássio, houve efeito significativo de todos os parcelamentos de ARS nos solos de textura argilosa e arenosa, para a textura média, apenas os parcelamentos de ARS em duas e três vezes apresentaram efeito significativo.

A RAS e RAP apontaram potenciais riscos ao solo de textura argilosa.

Para o solo de textura argilosa, o parcelamento da ARS em três vezes não foi viável para o desenvolvimento inicial da cultura do cafeeiro conilon.

Para o solo de textuta média o parcelamento da ARS em três vezes foi eficiente para o incremento das variáveis estudadas, apresentando viabilidade na aplicação da ARS no desenvolvimento inicial das plantas de café conilon.

Para o solo de textura arenosa, a aplicação dos parcelamento de ARS apresenta os mesmos efeitos da adubação mineral.

## 6. REFERÊNCIAS

- AMARAL, J.F.T DO, MARTINEZ, H.E.P., LAVIOLA, B.G., FERNANDES FILHO, E.I., CRUZ, C. D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, vol. 41, N. 4, p.621-629. 2011.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. In: LIMA J. A. de; SILVA, A. L. P. da. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010. 21p.
- BATISTA, R. O.; MARTINEZ, A.; PAIVA, M. N. de; BATISTA, H. O.; CECON, P. R. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, vol. 24, N. 1, p. 127-135, 2014.
- BOURDEAU, P.F. Photosynthetic and respiratory rates in leaves of male and female quaking aspens. In: SOARES, Y. J. B. Análise biométrica da eficiência nutricional de potássio em café arábica. Campos dos Goytacazes – RJ: UENF, 2013, Tese (Doutorado em produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – RJ, 2013. 130p.
- BRADY, N. C. Natureza e Propriedades dos Solos. In: BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado da chapada do município de Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia** 3(6), pag. 46-56, Jun/2002.
- BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado da chapada do município de Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia** 3(6), pag. 46-56, Jun/2002.
- CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. In: SILVA, S. F. da. Uso da vinhaça na cultura do milho: efeitos no solo, nos teores nutricionais do tecido foliar e na produção durante três safras. Alegre – ES: UFES, 2017, Tese (Doutorado em produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo – ES, 2017. 92p.

CLARK, R.B., DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. In: AMARAL, J.F.T DO, MARTINEZ, H.E.P., LAVIOLA, B.G., FERNANDES FILHO, E.I., CRUZ, C. D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41 (4):621-629. 2011.

CROMER, R. N.; TOMPKINS, D.; BARR, N. J.; HOPMANS, P. Irrigation of monterey pines with wastewater: Effect on soil chemistry and groundwater composition. In: HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B. De; CONDÉ, 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. **Rev. Científica**, Jaboticabal, v.42, n.3, p.299–309, 2014.

DAL BOSCO, T.C. Poluição difusa decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007. 128 p.

DANTAS, D. C.; SILVA, E. F. F.; MELO FILHO, C. M.; MELO, R. F. de; DANTAS, M. S. M.; ALBUQUERQUE, G. F. de. Utilização de extratores de cápsulas porosas para monitoramento da solução do solo, irrigado com efluentes domésticos. In: II INOVAGRI International Meeting, Fortaleza – CE, 2014.

DIAS, N. da S.; DUARTE, S. N., GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F. de; SOARES, T.M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.496-504, 2005.

DIESEL, R.; MIRANDA, R.C.; PERDOMO, C.C.; **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos Boletim Informativo de Pesquisa** - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS, Articulação da Embrapa Suínos e Aves com a Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural – EMATER/RS, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília/DF, 2006.

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**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p.467-477, 2010.

FEIGIN, A., RAVINA, I., SHALHEVET, J., Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. In: Lo MONACO, P. A. *Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos*. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2005. 111p.

FEIGIN, A., RAVINA, I., SHALHEVET, J., Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. In: RAMOS, J. M., *Revisão de literatura: o uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações*. Botucatu – SP, 2006.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 224p.

FERREIRA, P. A., RUIZ, H. A. **Transporte de solutos no solo**. Viçosa – MG: UFV, 2007.

FERREIRA, P.A. *Manejo de água planta em solos salinos*. Apostila Acadêmica (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001, 110p.

FONSECA, S. P. P.; FREIRE, A. O.; RESENDE, J. M.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; LOURES, A. P. S. Tratamento de efluentes domésticos conciliados a fertirrigação de culturas. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3, Viçosa, 2003. Anais... Viçosa, MG: UFV, p.312-338, 2003.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. **Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron and heavy metals availability.** In: HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B. De; CONDÉ, 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. *Rev. Científica, Jaboticabal*, v.42, n.3, p.299–309, 2014.

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuárias da suinocultura na produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n 1, p.120-125, 2005.

FULLER, W. H. Water soil and crop management, principles for the control of salts. In: LIMA JÚNIOR, J. Al. de; SILVA, A. L. P. da. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010. 21p.

GARCIA, G. O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons do solo decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro Conilon.** Viçosa – MG: UFV, 2003, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2003. 101p.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. de; RUIZ, H. A.; MARTINS FILHO, S. Alterações químicas em três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon. *Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG*, v.16, n.4, 416-427 Out./Dez., 2008.

GOMES, J. M. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos detubete e de dosagens de N-P-K. 2001. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001. 126 p.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDÉ, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M.; TAVARES, V. B.; BITTENCOURT, F. Produção de Brachiaria decumbens cv. Basilisk fertirrigada com água residuária de suínos. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA, INOVAÇÃO & TECNOLOGIA – IF Sudeste MG - Campus Rio Pomba, 5., 2012, Rio Pomba. Anais... Rio Pomba: IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba, 2012. CD-ROM.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B. De; CONDÉ, 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. **Rev. Científica**, Jaboticabal, v.42, n.3, p.299–309, 2014.

IRVINE, S.A.; REID, D.J. Field prediction of sodicity in dryland agriculture in Central Queensland, Australia. In: RAMOS, J. M., Revisão de literatura: o uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. Botucatu – SP, 2006.

KENIMER, A.; JNAD, I.; LESIKAR, B.; SABBAGH, G. Subsurface Drip Dispersal of Residential Effluent: II. Soil Hydraulic Characteristics. In: SILVA, S. F. da. Uso da vinhaça na cultura do milho: efeitos no solo, nos teores nutricionais do tecido foliar e na produção durante três safras. Alegre – ES: UFES, 2017, Tese (Doutorado em produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo – ES, 2017. 92p.

KÖPPEN, W. **Climatologia. Fundo de Cultura Econômica**. México, 1948. 478p.

Lo MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; SILVA, N. C. L.; LIMA, C. R. C.; MOREIRA, R. M. G. Estimativa da concentração de potássio a partir da condutividade elétrica em águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, RS, 2004. CD-ROM.

LIMA JÚNIOR, J. Al. de; SILVA, A. L. P. da. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010. 21p.

Lo MONACO, P. A. Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. Viçosa – MG: UFV, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2005. 111p.

Lo MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. A.; MOTA, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 348-364, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006. 638p.

MANCINO, C. F.; PEPPER, I. L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. In: HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B. De; CONDÉ, 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. **Rev. Científica**, Jaboticabal, v.42, n.3, p.299–309, 2014.

McBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. In: SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, C. S.; ANDRADE, I. P. S.; SILVA, G. T. de. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com águas residuárias de bovinocultura de leite. **Revista Irriga**, Botucatu, p. 250 - 263, 2012.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de águas residuárias de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.603-612, Viçosa/MG, 2005.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.109-115, 2008.

MENEGHETTI, A. M.; NÓBREGA, L. H. P.; SAMPAIO, S. C.; FERQUES R. G. Mineral composition and growth of babycorn under swine wastewater combined with chemical fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1198–1205, 2012.

NEVES, Y.P., MARTINEZ, H.E.P., SOUZA, R.B., AMARAL, J.F.T. **Eficiência de produção de raízes e eficiência de uso na parte aérea de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn por quatro cultivares de cafeeiro arábica.** CD-ROM dos Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 4, Londrina, PR. Brasília, D.F.: Embrapa – Café, 2005. 5p.

OLIVEIRA, Eduardo Luiz de (Org.). **Manual de Utilização de Águas Residuárias em Irrigação.** 1ª Botucatu: Fepaf, 2012. 192p.

OLIVEIRA, R. C. de.; COELHO, E. F.; ARAÍJO, R. T. M.; TEIXEIRA, J. C.; BARROS, D. L.; SILVA, A. C. P. da.; AMORIM, M. S. Condutividade elétrica de um solo manejado com diferentes lâminas de irrigação e diferentes doses de potássio. Fertibio, Maceió – AL, 2012. 3p.

PELLISSARI, R. A. Z. et al. Lodo Têxtil e água residuária da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. (W, Hill ex Maiden). **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 288-300, 2009.

PINTO, A.B. Avaliação de gramíneas forrageiras com uso de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. Viçosa – MG: UFV, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001. 108p.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª Aproximação.** Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A.; LEMOS, A. F. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.12, n.2, p.77-90, 2004.

RAMOS, J. M., Revisão de literatura: o uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. Botucatu – SP, 2006.

REZENDE, A.V.; VALERIANO, A. R.; VILELA, H. H.; CESARINO, R. S.; SALVADOR, F. M.; SILVEIRA, C. H. Milho fertirrigado com dejetos líquidos de suínos para ensilagem. **Revista Agrarian**, v.2, n.5, p.7-20, jul./set. 2009.

RAIJ, B. V. et al. Alumínio trocável e Saturação em bases como critério para recomendação de calagem. In: RAMOS, J. M., Revisão de literatura: o uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. Botucatu – SP, 2006.

RICHARDS, L.A. (Ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook.** In: RAMOS, J. M., Revisão de literatura: o uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. Botucatu – SP, 2006.

SANTOS, G. O. **Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em *Brachiaria*.** Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciências do Solo). Unesp, Jaboticabal, 2015.

SEGANFREDO, M. A.. A aplicação do princípio do balanço de nutrientes, no planejamento do uso de dejetos animais para a adubação orgânica. Comunicado técnico 291. EMBRAPA – CNPSA, 2001. 5p.

SEGANFREDO, M. A.. Dejetos animais: a dupla face benefício e prejuízo. Suinocultura Industrial, São Paulo, v. 26, n. 183, p. 14-16, dez. 2004.

SERAFIM, R. S.; GALBIATTI, J. A. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura na *Brachiaria brizantha* cv marandu. **Revista Colombiana de Ciência Animal**, v.4, n.1, 185-203, 2012.

SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, C. S.; ANDRADE, I. P. S.; SILVA, G. T. de. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. **Revista Irriga**, Botucatu, p. 250 - 263, 2012.

SILVA, S. F. da. Uso da vinhaça na cultura do milho: efeitos no solo, nos teores nutricionais do tecido foliar e na produção durante três safras. Alegre – ES: UFES, 2017, Tese (Doutorado em produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo – ES, 2017. 92p.

SOARES, Y. J. B. Análise biométrica da eficiência nutricional de potássio em café arábica. Campos dos Goytacazes – RJ: UENF, 2013, Tese (Doutorado em produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – RJ, 2013. 130p.

SOUZA, E. S.; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBÉ, F. V. Crescimento de milho em latossolo com aplicação de água residuária de suinocultura. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.23; 2016.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; NETO, D. D.; CICERO, S. M.; CASTRO, L. A.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. Estimativa da área foliar em milho através de análise de imagens. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.58-66, 2006.

VAN GENUCHTEN, M.T. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.

VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. In: Lo MONACO, P. A. Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. Viçosa – MG: UFV, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2005. 111p.