

VIRGÍLIO JOSÉ TAVIRA ERTHAL

FERTIRRIGAÇÃO DE CAPIM-TIFTON 85 E AVEIA PRETA COM
ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE BOVINOCULTURA: EFEITOS NO
SOLO E NAS PLANTAS

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Agrícola, para obtenção do
Título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

E73f
2008

Erthal, Virgílio José Távira, 1966-
Fertirrigação de capim-Tifton 85 e a aveia preta com
águas residuárias de bovinocultura: efeitos no solo e nas
plantas / Virgílio José Távira Erthal. – Viçosa, MG, 2008.
x, 84f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Paulo Afonso Ferreira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Irrigação com águas residuais. 2. Plantas Forrageiras -
Fisiologia. 3. Plantas Forrageiras - Nutrição. 4. Fertilidade
do solo. 5. Física do solo. I. Universidade Federal de Viçosa.

CDD 22.ed. 631.587

VIRGÍLIO JOSÉ TAVIRA ERTHAL

FERTIRRIGAÇÃO DE CAPIM-TIFTON 85 E AVEIA PRETA COM
ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE BOVINOCULTURA: EFEITOS NO
SOLO E NAS PLANTAS

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Agrícola, para obtenção do
Título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de outubro de 2008



Odilon Gomes Pereira
(Conselheiro)



Júlio César Lima Neves



Karina Guimarães Ribeiro



Paulo Roberto Cecon



Paulo Afonso Ferreira
(Orientador)

A minha esposa, Vera Lúcia,
aos meus filhos Juliana, Isabela
e Gustavo e, a minha mãe,
Eunice.

DEDICO.

A memória do meu pai,
Francisco de Assis Erthal.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, o Grande Arquiteto do Universo, pelo dom da vida.

Ao Professor Paulo Afonso Ferreira, pela valiosa orientação, amizade e confiança depositadas.

Aos meus sogros, Paulo Ferreira Dias e Avelina de Assis Ferreira, pelo apoio.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso.

À Escola Agrotécnica Federal de Ceres pelo apoio e oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do programa PIQDTEC, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Antônio Teixeira de Matos e Odilon Gomes Pereira, pelas valiosas sugestões e esclarecimentos.

Aos funcionários da Área Experimental de Irrigação e Drenagem, Carlos Henrique (*in memorian*) e “Seu” Taíde.

À equipe do Laboratório da Unidade de Crescimento de Plantas (UCP) da UFV, em especial ao estudante de doutorado, Cláudio Meira, pelo apoio durante as análises fisiológicas.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais, pelo convívio e amizade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

VIRGÍLIO JOSÉ TAVIRA ERTHAL, filho de Francisco de Assis Erthal e Eunice Torres Erthal, nasceu em Bom Jardim, RJ, em 28 de fevereiro de 1966.

Em julho de 1988 graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, MG (UFV) e, em 1989 ingressou como extensionista na ACARESC-EMATER-SC, atuando no programa PROVÁRZEAS, até 1991.

Em março de 1991, ingressou no Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola pela UFV, concentrando seus estudos na área de Irrigação e Drenagem, defendendo tese em junho de 1993.

Em janeiro de 1995, foi concursado na Escola Agrotécnica Federal de Ceres, GO, atuando como professor na área de Irrigação e Drenagem e Recursos Hídricos, onde permanece até a presente data.

Em março de 2005, ingressou no programa de Doutorado em Engenharia Agrícola pela UFV, concentrando seus estudos na área de Recursos Hídricos e Ambientais.

ÍNDICE

	Páginas
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1. APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA E SEUS EFEITOS SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO CULTIVADO COM CAPIM-TIFTON 85 E AVEIA PRETA	6
1.1 INTRODUÇÃO	6
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
1.3.1 Aporte de nutrientes ao solo.....	17
1.3.2 Efeitos das taxas de aplicação e do tempo por faixa de profundidade	17
Potencial hidrogeniônico (pH)	20
Carbono orgânico total	21
Fósforo disponível	22
Potássio trocável	24
Cálcio e magnésio	26
Zinco e cobre.....	28
Capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V)	30
Salinidade e sodicidade	33
1.4- CONCLUSÕES	39
1.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E DE RENDIMENTO DO CAPIM-TIFTON 85 E DA AVEIA PRETA FERTIRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA	45
2.1 INTRODUÇÃO	45

2.2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
2.3.1 Taxas fotossintética, transpiratória e condutância estomática	54
2.3.2 Índice SPAD.....	56
2.3.3 Rendimento acumulado de matéria seca na parte aérea.....	58
2.3.4 Altura das plantas	60
2.3.5 Relação lâmina foliar/colmo.....	62
2.3.6 Composição químico-bromatológica das forrageiras	63
2.3.6.1 Conteúdo de proteína bruta	63
2.3.6.2 Composição mineral das gramíneas forrageiras.....	66
Fósforo	67
Potássio	68
Cálcio	69
Magnésio.....	70
Sódio	71
Cobre e Zinco.....	72
2.3.7 Remoção de nutrientes pelas forrageiras.....	74
2.4- CONCLUSÕES	77
2.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

RESUMO

ERTHAL, Virgílio José Távira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2008. **Fertirrigação de capim-Tifton 85 e aveia preta com águas residuárias de bovinocultura: efeitos no solo e nas plantas.** Orientador: Paulo Afonso Ferreira. Co-orientadores: Antônio Teixeira de Matos e Odilon Gomes Pereira.

Neste estudo, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação da água residuária de bovinocultura (ARB) sobre as propriedades físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico e, sobre as características fisiológicas, nutricionais e de produtividade do capim-Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). O experimento foi realizado em 20 lisímetros de drenagem sob ambiente protegido, no campus da Universidade Federal de Viçosa, MG. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos constituíram-se de quatro taxas de aplicação da ARB, equivalentes a 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹ de K por ciclo de cultivo e um tratamento com água limpa e adubação mineral. As características do solo avaliadas foram: condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado (CE_{es}); argila dispersa em água (ADA); índice de saturação por sódio (ISNa); pH; CTC; saturação por bases; carbono orgânico total (COT); e os teores de P, K, Ca, Mg, Na, Cu e Zn. Na planta, foram avaliadas as taxas fotossintética e transpiratória, condutância estomática, teor de clorofila na folha, rendimento forrageiro, altura da planta, relação lâmina/colmo, conteúdo de proteína bruta (PB) e minerais na matéria seca (P, K, Ca, Mg, Na, Zn e Cu) e a extração de minerais. Os cortes foram efetuados, em média, a cada 50 dias, para o Tifton 85, totalizando três cortes e, aos 82 dias, o corte único da aveia preta e Tifton. As taxas de aplicação crescentes da ARB proporcionaram, nas camadas superficiais do solo, ligeiros aumentos do pH, CTC, saturação por bases e das concentrações de P, K, Ca e Mg. As taxas aplicadas não causaram problema de salinização do solo, embora o percentual de ADA tenha aumentado na camada de 0-10 cm e, tenha ocorrido aumentos da concentração de sódio trocável e do ISNa com o tempo e a profundidade, indicando que a aplicação permanente de ARB pode provocar redução de permeabilidade do solo. Em relação às plantas, a utilização da ARB não causou estresse devido ao efeito osmótico ou por toxicidade dos íons analisados, propiciou absorção de nutrientes e rendimento forrageiro em níveis próximos aos recomendados, podendo substituir, parcialmente, a adubação mineral no cultivo do capim-Tifton 85 e da aveia preta. Assim, o uso da ARB para fertirrigação dessas forrageiras, apresenta-se como alternativa promissora, além de contribuir para

melhoria dos processos de gestão dos resíduos gerados pela bovinocultura leiteira e redução de custos dessa atividade.

ABSTRACT

ERTHAL, Virgílio José Távira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2008. **Fertirrigation with cattle wastewater in Tifton 85 grass and black oat: effects on soil and plants.** Adviser: Paulo Afonso Ferreira. Co-Advisers: Antônio Teixeira de Matos and Odilon Gomes Pereira.

This study was conducted to evaluate the effects from the application of cattle wastewater (ARB) upon both physical and chemical properties of an Eutrophic Red Argisol and on the physiologic, nutritional and yield characteristics of the 85-Tifton grass (*Cynodon spp.*) and the black oat plant (*Avena strigosa* Schreb). The experiment was carried out in 20 drainage lysimeters under greenhouse conditions, pertaining to the Universidade Federal de Viçosa, MG. The entirely randomized experimental design was used with 5 treatments and 4 replications. The treatments was performed with four ARB application rates (25; 50; 75 and 100 kg ha⁻¹ K) for each cropping cycle, besides a treatment with clear water and mineral fertilization. The following soil characteristics were analyzed: electric conductivity of the extract of the soil saturated paste (CEes); water-dispersed clay (ADA); sodium saturation index (ISNa); pH; cation exchange capacity (CEC); saturation by bases; total organic carbon (COT); and contents of P, K, Ca, Mg and Na. In plants, were evaluated: photosynthetic rate; transpiration rate; stomatic conductance; leaf chlorophyll content; forage productivity; plant height; leaf/stem ratio; crude protein content (PB); content of nutrients in the dry matter (P, K, Ca, Mg, Na, Zn and Cu) and nutrient removal. The cuts were performed every 50 days on average, for the 85-Tifton Grass, totalizing 3 cuts, and 82 days, the one cut for black oat. The increasing ARB application rates provided increments in the pH, CEC, bases saturation as well as in the concentrations of P, K, Ca and Mg in the soil surface layers. They did not cause salinization in the soil profile, although the percent clay dispersed in water and the concentration of the exchangeable sodium and ISNA increased, therefore indicating that the steady-state ARB application may provide risks for reduction in the permeability of the soil. According to the plant results, the use of ARB caused no stress due to the osmotic effect neither direct toxicity by the chemical elements under analysis, besides providing nutrient absorption and forage yield at levels close to the recommended ones. Therefore, this ARB can partially substitute the mineral fertilization in cropping the Tifton 85 grass and black oat. Then, the cattle wastewater use in the fertirrigation of these forages is a promising alternative,

besides contributing to the improvement of the management processes of the residues from dairy cattle and the reduction of this activity costs.

INTRODUÇÃO GERAL

O uso de águas residuárias para fertirrigação não constitui uma novidade e vem sendo mundialmente aceito há décadas. De acordo com Kretschmer et al. (2002), citando Angelakis et al. (1999) e Asano e Levin (1996), há indicadores de que águas residuárias já eram utilizadas na agricultura na Grécia antiga e na civilização de Minan (3.000 AC a 1.000 DC). A aplicação de águas residuárias no solo como meio de disposição dessas águas, no hemisfério ocidental, teve notável avanço nas décadas de 50 e 60, quando o interesse pela qualidade dos efluentes tratados mereceu grande atenção por parte dos órgãos responsáveis pela preservação ambiental.

A disposição no solo tornou-se alternativa efetiva em relação à prática de descarregar os efluentes diretamente em corpos de água superficial (Asano, 1998). A utilização de águas residuárias tratadas ou parcialmente tratadas na fertirrigação de culturas agrícolas e florestais, ao invés de descarregá-las em cursos de água, tem-se tornado alternativa promissora, além da rápida e recente expansão (Balks et al., 1998; Bond, 1998). Dentre as razões para esta expansão, destacam-se: (i) em regiões áridas e semi-áridas, as águas residuárias têm sido fonte suplementar de água para a sustentabilidade da agricultura irrigada (Al-Jaloud et al., 1995); (ii) as águas residuárias não somente ajudam a economizar águas superficiais, como também sua disposição no solo implica em reciclagem, onde poluentes tornam-se nutrientes para as plantas (Vazquez-Montiel et al., 1996); e (iii) a irrigação é relativamente flexível quanto ao requerimento de qualidade da água. Algumas culturas podem ser irrigadas com água de qualidade inferior sem maiores riscos e alguns problemas de qualidade podem ser superados com práticas agronômicas sustentáveis de manejo (Bouwer & Idelovitch, 1987).

Neste contexto, água residuária é aquela que possui impurezas procedentes de atividades antrópicas, podendo ser urbanas, agroindustriais e industriais, sendo que, entre as agroindustriais, incluem-se aquelas provenientes de criatórios de animais (Matos, 2004).

Quando os animais são criados em regime extensivo, seus dejetos distribuem-se de forma dispersa no solo e não causam maiores problemas de poluição. Contudo, quando os animais ficam confinados, mesmo durante curto período de tempo, os dejetos concentram-se e necessitam de tratamento e disposição adequada para que a contaminação e poluição sejam minimizadas. Assim, o sistema de produção animal

deve ser adequadamente planejado, de modo que a quantidade de água residuária produzida possa ser estimada e utilizada como suprimento, tanto de energia quanto de fertilizante (Moraes, 2000).

No caso particular de águas residuárias da bovinocultura, deve-se procurar formas de tratamento e disposição final que minimizem os impactos ao meio ambiente e maximizem a recuperação do seu conteúdo fertilizante, propiciando o aumento da produtividade agrícola e zootécnica, ao longo do ano.

A composição das águas residuárias de bovinocultura apresenta consideráveis variações qualitativas e quantitativas. Essas variações dependem de fatores relacionados às instalações, à idade dos animais, ao manejo, à alimentação e ao clima. Segundo Campos (1998), entre as variações relacionadas às instalações estão suas configurações e formas de limpeza. Quanto à qualidade dessas águas, Van Horn et al. (1994) consideram importante o tamanho e o estado de saúde dos animais, a quantidade de matéria seca (MS) ingerida, o tipo e a digestibilidade do alimento. No caso da bovinocultura de leite, o manejo tem influência quanto a: tipo de confinamento, intensivo ou extensivo; o número de ordenhas, forma e a frequência de alimentação. Finalmente, o clima que, juntamente com o tipo de instalação, influenciam o conforto térmico dos animais e, conseqüentemente, a quantidade de água ingerida e o volume de urina produzido (Moraes, 2000). O conhecimento sobre os teores de nutrientes e outros componentes das águas residuárias é, fundamentalmente, importante para que se possa propor a forma mais adequada de disposição das mesmas no solo, incluindo as taxas de aplicação.

Por outro lado, a cultura que será fertirrigada com a água residuária deve também apresentar certas características desejáveis, como crescimento rápido, grande massa radicular, além de alta capacidade de absorção de nutrientes. As plantas forrageiras, pelo fato de cobrirem grandes áreas no país, apresentam potencialidade para este fim. A aplicação de efluentes em áreas cultivadas com plantas forrageiras se justifica pelo fato destas plantas apresentarem longo período de crescimento, elevado acúmulo de nutrientes e pela sua capacidade de cobertura do solo. Segundo Matos (2008), o cultivo de uma espécie persistente, perene e produtiva, durante todo o ano, e que sirva como fonte de alimento para os animais criados na propriedade, é desejável. Capineiras dotadas de sistema radicular abundante e profundo são especialmente úteis do ponto de vista ambiental, pois são capazes de retirar grande quantidade de macro e micronutrientes do solo, diminuindo a lixiviação para as águas subterrâneas e o carreamento via escoamento superficial.

Por apresentar a maioria dessas características, o capim-Tifton 85 (*Cynodon spp.*) foi utilizado neste trabalho. Queiroz et al. (2004) ao avaliarem diversas gramíneas forrageiras, com vistas ao tratamento de águas residuárias de suinocultura em rampas de escoamento superficial, concluíram que o capim-Tifton 85 mostrou-se o mais adequado para o cultivo nessas condições. O maior desempenho do capim-Tifton 85 foi atribuído a sua alta produtividade e capacidade de absorção de nutrientes, rápida recuperação após o corte, boa cobertura do solo e baixa infestação por plantas invasoras.

Tendo em vista que a produção de água residuária de bovinocultura é contínua ao longo do ano e que o capim-Tifton 85 é uma forrageira perene com fisiologia do tipo C4 e crescimento de verão, optou-se por sobressemeiar uma espécie forrageira de inverno, com fisiologia tipo C3, de conhecido valor nutritivo, objetivando a produção de forragem, de boa qualidade também no período de inverno. A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) foi escolhida por apresentar características desejáveis, além de já ter sido utilizada como receptora em estudos de disposição de águas residuárias de suinocultura (Matos et al., 2003).

Matos (2008) afirma que a lâmina de água residuária a ser aplicada como fertirrigação não deve ser calculada em função da reposição das necessidades hídricas da planta, e sim com base nos constituintes que estiverem em maior concentração. Além disso, a lâmina calculada deve estar de acordo com a capacidade de retenção de água no solo, absorção pela cultura e com o risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas. A água residuária, quando aplicada somente com base na necessidade hídrica da cultura, pode provocar acúmulo de certos sais no solo em tal magnitude que, inexoravelmente, pode comprometer não somente a produtividade da cultura, mas também, a qualidade do solo e das águas subterrâneas. Em geral, os teores de nitrogênio, elementos fitotóxicos, metais pesados e salinidade têm sido utilizados como referenciais na determinação da lâmina a ser aplicada na fertirrigação.

Neste sentido, reveste-se de importância avaliar as taxas de aplicação mais adequadas da água residuária em questão, em relação aos solutos presentes em maiores concentrações, e determinar seus efeitos do ponto de vista agrônomo, em relação ao solo e à planta, aplicando a mistura na forma de fertirrigação. Numa visão mais ampla, busca-se, com esse trabalho propor uma destinação para um resíduo gerado na atividade de pecuária leiteira, dentro do próprio sistema de produção, ou seja, usar a água residuária gerada pelos animais como fonte de nutrientes e água

para produzir o alimento que esses próprios animais irão consumir. Essa utilização, mesmo que seja parcial, além de trazer benefício ambiental pela diminuição dos riscos de poluição e redução do uso de água potável para irrigação das plantas, também pode gerar economia no uso de fertilizantes mineral sendo, assim, uma vantagem econômica e ambiental.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar os efeitos nos atributos do solo e nas características fisiológicas, nutricionais e de produtividade do capim-Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) fertirrigados com água residuária de bovinocultura, em condições de lisímetros de drenagem e ambiente protegido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-JALOUD, A.A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, A.J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, p.1677-1692, 1995.
- ANGELAKIS, A.N.; MARECOS DO MONTE; M.H.F., BONToux, L.; ASANO, T. The Status of wastewater reuse practices in the Mediterranean basin: need for guidelines.- **Wat. Res**, 33, No.10 pp. 2201-2217, Elsevier Science. 1999.
- ASANO, T. & LEVINE, A. D.: Wastewater Reclamation, Recycling And Reuse: Past, Present, And Future, **Water Science and Technology**, Vol. 33 No. 10-11, pp.1-14, 1996.
- ASANO, T.: Wastewater Reclamation And Reuse, **Water Quality Management Library**, Volume 10, Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania, 1998.
- BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.821-830, 1998.
- BOND, W.J. Effluent irrigation - an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998.
- BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.113, p. 516-535, 1987.
- CAMPOS, A.T. Manejo de dejetos de bovino. **In: III Encontro Nacional de técnicos, pesquisadores e educadores de construções rurais**. XXVII CONBEA. Lavras: UFLA, p.233-79, 1998.
- KRETSCHMER, N., RIBBE, L. & GAESE H. Wastewater Reuse For Agriculture IN: Technology Ressource Management & Development - **Scientific Contributions for Sustainable Development**, Vol. 2, 2002, p.37-64.
- MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G.; SOARES, A.A. & LO MONACO, P.A. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.154-158, 2003.

MATOS, A.T., **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI-DEA/UFV, 2004. 144 p. (Caderno Didático 38).

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: Flávio Meira Borém. (Org.). **Pós-Colheita do Café**. 1 ed. Lavras-MG: Editora UFLA, 2008, p. 159-201.

MORAES, L.M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de dejetos oriundos de atividades zootécnicas**. Campinas, SP: [s.n.], 2000. (Dissertação de Mestrado).

QUEIROZ, F.M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias da suinocultura**. Viçosa: UFV, 2000. 91 p. (Dissertação de Mestrado).

VAN HORN, H.H., WILKIE, A. C., POWERS, W.J., NORDSTEDT, R.A. Components of dairy manure management systems. **Journal Dairy Science**, v.77(7), p.2008-30, 1994.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N.J.; MARA, D.D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Water Science and Technology**, v.33, p.355-362, 1996.

CAPÍTULO 1. APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA E SEUS EFEITOS SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO CULTIVADO COM CAPIM-TIFTON 85 E AVEIA PRETA

1.1 INTRODUÇÃO

A disposição final de resíduos orgânicos e águas residuárias no solo vem sendo considerada prática de manejo com vistas à proteção ambiental. O solo apresenta grande capacidade de decompor ou inativar materiais potencialmente prejudiciais ao ambiente, por meio de reações químicas e da multiplicidade de processos microbiológicos. Os íons e compostos podem ser inativados por reações de adsorção, complexação e precipitação; já os microrganismos presentes no solo podem decompor os mais diversos materiais orgânicos, desdobrando-os em compostos menos tóxicos ou atóxicos (Costa et al., 2004).

Matos (2008) cita uma série de vantagens para disposição de águas residuárias no solo, destacando-se: o benefício agrícola gerado pela melhoria nas condições químicas, físicas e biológicas do solo; os baixos custos fixos e operacionais das unidades de tratamento; o baixo consumo de energia, além de evitar o lançamento de efluentes em corpos d'água.

De acordo com Léon et al. (1999), mesmo quando as vantagens justificam amplamente o uso dessas águas, existem várias restrições ou riscos potenciais que devem ser considerados, dentre os quais se destacam: a contaminação microbiológica dos produtos, a bioacumulação de elementos tóxicos, a salinização e impermeabilização do solo e o desequilíbrio de nutrientes no solo.

Os efeitos da aplicação de águas residuárias nas propriedades físicas e químicas do solo só são pronunciados após longo período de aplicação, dependendo de sua composição física e química, das condições climáticas e do tipo de solo. Ayers e Westcot (1999) alertam que a limitação principal do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química (totais de sais dissolvidos, presença de íons tóxicos e concentração relativa de sódio) e a tolerância das culturas a este tipo de efluente. Segundo Pizarro (1990), os sais solúveis contidos nas águas de irrigação podem, em certas condições climáticas, salinizar o solo e modificar a composição iônica no complexo sortivo, alterando as características físicas e químicas do solo,

como regime de umidade, aeração, nutriente e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetativo e a produtividade.

De acordo com Matos (2004), as águas residuárias agroindustriais e domésticas são, geralmente, ricas em macro e micronutrientes, destacando-se o zinco, cobre, manganês e ferro. Grande parte desses nutrientes é disponibilizada apenas com a mineralização do material orgânico, exceto o potássio e o sódio, por não estarem associados ao material orgânico e, portanto, não dependem da mineralização para serem disponibilizados no meio.

As principais alterações apresentadas pelos solos irrigados com águas residuárias resumem-se aos efeitos de: (i) carbono total (C-Total), nitrogênio total (N-total), atividade microbiana e N-mineral; (ii) cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis; e (iii) salinidade, sodicidade e dispersão de argilas. Outras características do solo como pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e índice de saturação por bases não têm sido, normalmente, alteradas ou as alterações são de pequena magnitude, sem implicações agronômicas e ambientais.

As concentrações de C-total, N-total e atividade microbiana relatadas na literatura, devido à aplicação de águas residuárias no solo, têm apresentado comportamentos distintos (Fonseca et al., 2007b). As concentrações ora aumentam, devido ao aporte de N e C oriundos dos efluentes, ora diminuem com o aumento da atividade microbiana, que incrementa a decomposição da matéria orgânica do solo. Porém, têm sido comum referências ao aumento nos teores de carbono orgânico total (COT) e N-total mediante a disposição de águas residuárias no solo por longos períodos.

O fósforo contido nas águas residuárias é lentamente disponibilizado com a degradação do material orgânico, tornando-o menos sujeito às reações de adsorção e fixação pelos óxidos de ferro e alumínio presentes no solo (Scherer e Baldiserà, 1994). Esse é um aspecto altamente positivo da aplicação de águas residuárias agroindustriais e domésticas no solo pois, na maioria dos solos de regiões de clima tropical, o fósforo aplicado na forma mineral solúvel no solo pode ser rápida e fortemente fixado pelos referidos óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos presentes, não permanecendo disponível para as plantas.

O potássio não está, geralmente, associado ao material orgânico, como acontece com o nitrogênio, fósforo e enxofre, sendo, por isso, prontamente liberado para o solo quando se aplica uma água residuária rica neste nutriente. Águas

residuárias de bovinocultura e aquelas geradas no beneficiamento dos frutos do cafeeiro e mandioca apresentam elevadas concentrações de potássio.

Ao analisar os efeitos dos sais no solo, deve-se estabelecer a distinção entre altas concentrações de Na^+ , caracterizando a sodicidade, e as altas concentrações de sais totais, referidas como salinidade. Ambos os conceitos estão muitas vezes inter-relacionados e concentrações elevadas dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ e Cl^- contribuem substancialmente para a salinidade.

A alta concentração de sódio no solo, seja por processos naturais de formação ou pela aplicação de água com altas concentrações desse íon, pode prejudicar diretamente as plantas e degradar a estrutura do solo, reduzindo a porosidade e a permeabilidade à água pelo efeito da dispersão das partículas do solo, em consequência do aumento da relação de adsorção de sódio (RAS) na solução do solo.

Um dos fatores que influenciam a dispersão dos colóides do solo é a espessura da dupla camada difusa. A espessura aumenta quando concentrações elevadas de íons monovalentes, como Na^+ e K^+ predominam na solução do solo. A energia de adsorção desses íons torna-se alta, podendo substituir os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} no complexo de troca. Como o Na^+ e o K^+ são cátions que possuem alto grau de hidratação, há aumento da espessura da dupla camada difusa, causando aumento da distância entre as partículas; desse modo, as forças atrativas de curto alcance (Forças de Van der Waals-London) não se manifestam, as repulsivas prevalecem e o sistema dispersa.

Outro fator que pode alterar a espessura da dupla camada difusa é a concentração da solução ambiente. Segundo Ayers e Westcot (1999), a água com salinidade muito baixa ($\text{CE} < 0,5 \text{ dS.m}^{-1}$) é considerada corrosiva, pois tende a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua concentração na solução ambiente e, conseqüentemente, a sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo. Em resumo, o aumento de sais em solução diminui esse gradiente de concentração, eliminando parcialmente a tendência da difusão. Então, quanto maior é a salinidade da solução do solo, menor tende a ser a espessura da dupla camada difusa e, menores as forças de repulsão.

Os metais pesados podem estar presentes em concentrações relativamente elevadas em algumas águas residuárias domésticas, notadamente nas geradas em áreas urbanas mais industrializadas, e agroindustriais, como por exemplo, nas águas residuárias de suinocultura, bovinocultura e curtumes. A disposição indiscriminada dessas águas residuárias constitui fonte potencial de metais pesados no solo,

provocando a sua contaminação e a possibilidade de acúmulo na cadeia alimentar (Matos, 2004). Nesses efluentes, os metais pesados podem estar associados: (i) na fração líquida, formando complexos organometálicos que penetram no solo junto à água aplicada e, (ii) na fração constituída pelos sólidos suspensos, que se acumulam, principalmente, na camada superficial do solo (Feigin et al., 1991).

Os elementos Cu e Zn, embora essenciais às plantas, podem ameaçar a saúde humana e o meio ambiente como um todo, pois quando livres em solução (biodisponíveis) podem migrar para a água subterrânea ou serem absorvidos pelos vegetais cultivados. Porém, em condições normais, os solos apresentam alta capacidade de retenção desses metais porque: (i) apresentam baixa solubilidade e alta adsorção específica, resultando em baixas concentrações em solução; (ii) complexação com a matéria orgânica do solo, reduzindo a solubilidade desses íons, tornando-os menos biodisponíveis (McBride, 1989; Stevenson, 1986).

Assim, a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando feita sem critérios agronômicos e ambientais, pode causar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e direta toxicidade às plantas. Por outro lado, se bem planejada, essa aplicação pode trazer benefícios, tais como fonte de nutrientes e de água para as plantas e redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor. Neste sentido, é relevante investigar as taxas de aplicação mais adequadas da água residuária em questão, com base nos solutos presentes em maiores concentrações, e determinar seus efeitos do ponto de vista agronômico e ambiental. Assim, no presente trabalho, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de água residuária de bovinocultura sobre as características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com gramíneas forrageiras (capim-Tifton 85 e aveia preta), utilizando-se quatro taxas de aplicação, em condições de lisímetros de drenagem e ambiente protegido.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em 20 lisímetros de drenagem de 1,0 m de largura, 1,40 m de comprimento e 0,80 m de profundidade, construídos dentro de uma casa de vegetação, no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, com coordenadas geográficas de 20° 45' de latitude Sul, 42° 45' de longitude Oeste e altitude de 651 m. A área total ocupada pelos lisímetros abrangia 124,6 m² (7,0 m de largura por 17,80 m de comprimento) sendo que cada lisímetro era provido de drenagem de fundo de caixa ligada a um dispositivo para a coleta do efluente. A espessura do perfil do solo, dentro da caixa era de 0,70 m. Uma vista parcial da estação lisimétrica está apresentada na Figura 1.1.



Figura 1.1- Vista parcial da estação lisimétrica.

O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado no perfil natural de um Argissolo Vermelho Escuro Eutrófico (EMBRAPA, 2006), existente na base da Serra de São Geraldo, no município de São Geraldo, MG, distante 21 km de Viçosa. Antes do plantio, devido a desuniformidade na concentração de sais no solo dos lisímetros, por terem sido irrigados com água salina em experimento anterior, foi feita uma intensa lixiviação com água proveniente da estação de tratamento da UFV nos perfis do solo até atingir, aproximadamente, 1,00 dS m⁻¹ no efluente.

O monitoramento diário dos elementos climáticos: temperaturas máxima, mínima e média; umidade relativa do ar; velocidade do vento; e radiação solar foi realizado utilizando-se uma estação meteorológica automática marca Davis, modelo Vantage Pro, instalada dentro da casa de vegetação (Figura 1.2).

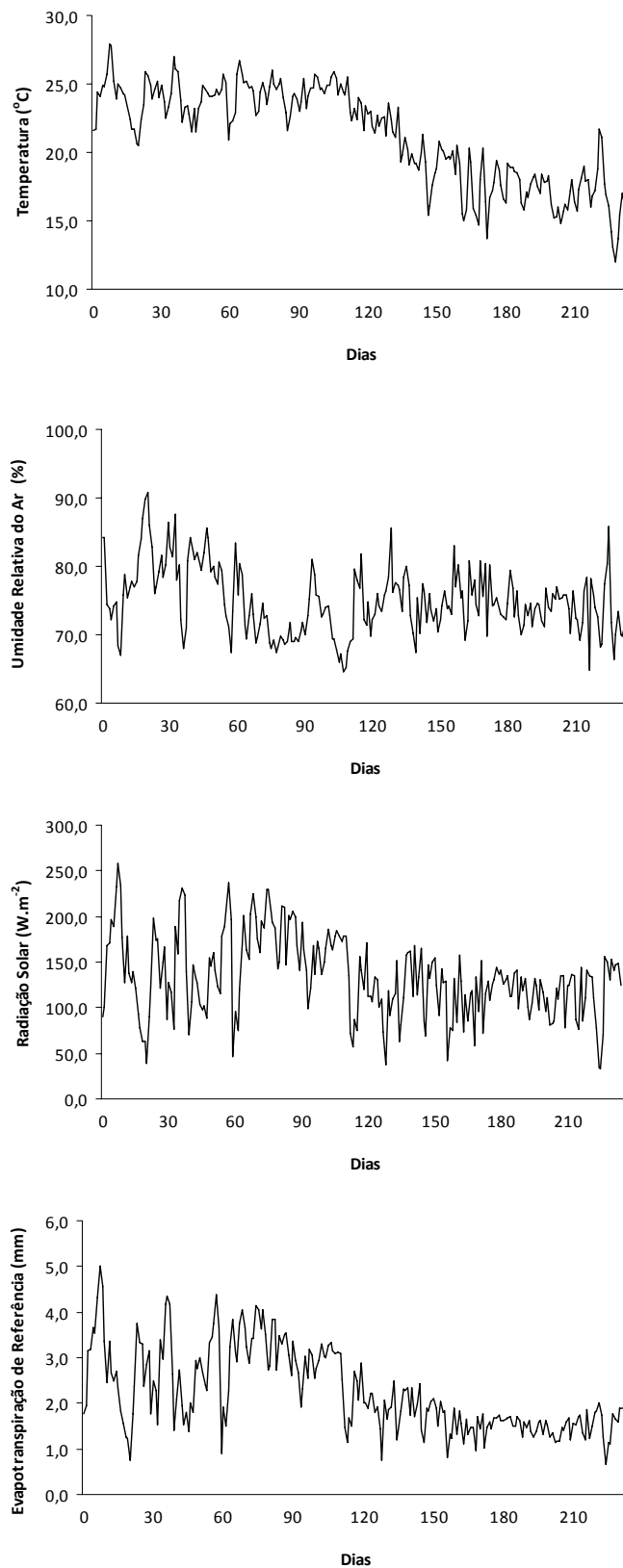


Figura 1.2 – Valores médios diários de temperatura, umidade relativa, radiação solar e evapotranspiração de referência durante o período experimental, no interior da casa de vegetação.

A caracterização química e físico-química do solo nos lisímetros (Quadro 1.1) foi realizada nos Laboratórios de Fertilidade e de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV, segundo metodologias descritas em EMBRAPA (1997).

Quadro 1.1 – Características químicas e físico-químicas do solo

Característica	Valor	Característica	Valor
Areia grossa (%)	18,4	Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,82
Areia fina (%)	9,8	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,76
Silte (%)	17,0	Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00
Argila (%)	54,8	H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,31
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,20	Soma de Bases (cmol _c dm ⁻³)	3,75
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	2,63	CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,75
Porosidade total (dm ³ dm ⁻³)	0,54	CTC total (cmol _c dm ⁻³)	6,06
pH em água	5,80	Saturação por alumínio (%)	0,00
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	19,0	Saturação por bases (%)	61,9
P (mg dm ⁻³)	3,3	ISNa (%)	2,17
K ⁺ (mg dm ⁻³)	38,7	P – rem (mg L ⁻¹)	26,3

ISNa – Índice de saturação de sódio; P-rem – Fósforo remanescente.

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, no delineamento inteiramente casualizado composto por cinco tratamentos (parcelas) com quatro repetições, e quatro tempos de amostragem (subparcela) perfazendo um total de 20 unidades experimentais. Os cinco tratamentos constituíram-se de quatro taxas de aplicação da água residuária, com base na concentração de potássio, além de um tratamento controle com água limpa e adubação mineral.

Considerando a recomendação de adubação potássica para manutenção de pastagens em função do nível tecnológico e da disponibilidade de potássio no solo (CFSEMG, 1999), adotou-se como referência a dose de 50 kg ha⁻¹, por ciclo de cultivo. Dessa forma, os tratamentos foram constituídos das seguintes relações de mistura entre água limpa (AL) e água residuária da bovinocultura (ARB):

- 1- Testemunha - água limpa (AL) + adubação mineral;
- 2- Mistura AL + ARB na metade da dose recomendada de K (25 kg ha⁻¹);
- 3- Mistura AL + ARB na dose recomendada de K (50 kg ha⁻¹);
- 4- Mistura AL + ARB na proporção de uma dose e meia de K (75 kg ha⁻¹);
- 5- Mistura AL + ARB no dobro da dose de K (100 kg ha⁻¹).

Montou-se uma estrutura para preparo e distribuição das misturas de águas referentes aos cinco tratamentos, constituída por cinco reservatórios com capacidade para 250 L cada, e com saídas controladas por registros e conectadas a uma tubulação ligada à motobomba, para o bombeamento da mistura até os lisímetros (Figura 1.3). Em cada reservatório foi preparada a mistura correspondente a cada um

dos tratamentos. A aplicação das águas foi feita manual e uniformemente sobre a superfície do solo utilizando-se uma mangueira equipada com hidrômetro, sendo a frequência semanal. A partir dos volumes aplicados, calculava-se o aporte dos nutrientes para cada tratamento e em cada ciclo da cultura, aplicando-se sempre a mesma lâmina, variando a proporção entre ARB e água potável, de modo a ser aplicada a quantidade de K estabelecida para cada tratamento..

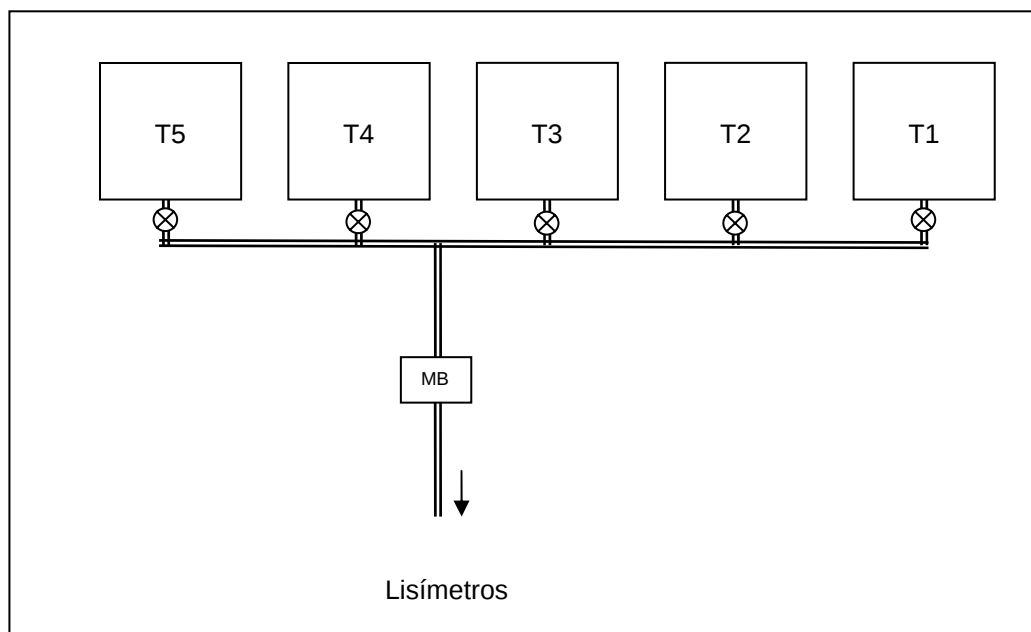


Figura 1.3 - Esquema do sistema de preparo e distribuição dos tratamentos.

A água residuária utilizada foi coletada no estábulo do Setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia da UFV, transportada e armazenada em um tanque com capacidade para 3000 L, montado sobre uma carreta que era estacionada ao lado da estação lisimétrica. Para fins de caracterização do efluente, foram coletadas amostras no início de cada ciclo de cultivo das forrageiras, sendo analisadas as seguintes características: Sólidos totais; DQO; C-total; N-total; P-total; Ca; Mg; K; Na; Zn; Cu; pH; condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS). As análises foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos do Departamento de Solos da UFV, conforme metodologias recomendadas pela APHA (1995). Os resultados das análises estão apresentados no Quadro 1.2.

A instalação do experimento ocorreu na primeira quinzena do mês de outubro de 2006, ocasião em que foi efetuado o plantio de mudas de capim-Tifton 85, obtidas no Setor de Agrostologia do Departamento de Zootecnia da UFV. Foi aplicada adubação fosfatada em todas as parcelas, na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples. O plantio das mudas foi feito em sulcos de 0,15 m de

profundidade, espaçadas de 0,30 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. Setenta dias após o plantio foi realizado um corte de uniformização em todas as parcelas, quando iniciou-se a aplicação das diferentes misturas de águas, conforme os tratamentos.

Quadro 1.2- Características da água residuária de bovinocultura (ARB)

CICLO	Sólidos	DQO	C-Total	N-Total	P	K	Ca+Mg
	Totais						
.....mg L ⁻¹							
I	13045,0	50487,0	2845,6	1163,0	289,3	507,9	279,5
II	6728,0	6768,0	1113,5	591,0	114,0	390,0	191,6
III	5110,0	5076,4	742,3	522,6	65,1	280,0	109,1
IV	5085,0	3826,0	685,1	512,3	58,8	270,0	42,5
Média	7492,0	16539,4	1346,6	697,2	131,8	362,0	155,7
CV (%)	50,5	137,0	75,5	44,8	81,8	30,8	65,9

CICLO	Na	Zn	Cu	pH	CEa	RAS
	mg L ⁻¹				dS m ⁻¹	(mmol _c L ⁻¹) ^{0.5}
I	146,0	4,20	2,88	7,12	4,0	2,11
II	72,0	4,47	2,30	8,39	4,0	0,45
III	78,0	1,85	0,06	7,89	4,6	0,65
IV	67,4	1,23	0,05	7,95	4,5	0,90
Média	90,8	2,94	1,32	7,84	4,3	1,03
CV (%)	40,7	55,7	112,3	6,7	7,9	72,3

CEa- condutividade elétrica da água; CV coeficiente de variação.

No total, foram três ciclos de produção do capim-Tifton 85 no período de 15/12/2006 a 14/05/2007 e, um ciclo do capim em consórcio com aveia preta, de 15/05 a 06/08/2007.

No início do experimento e após cada corte, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de N e K nos tratamentos controle, na forma de cloreto de potássio e sulfato de amônio. A sobressemeadura da aveia preta nas entrelinhas, numa densidade correspondente a 70 kg ha⁻¹ de sementes, foi realizada após o terceiro corte do capim-Tifton 85. Informações sobre as datas de corte e durações dos ciclos estão apresentadas no Quadro 1.3.

Quadro 1.3 – Datas de corte e número de dias de crescimento das gramíneas

Data do corte	Idade (dias)	Corte	Gramínea
05/02/2007	53	1	Tifton 85
27/03/2007	50	2	Tifton 85
16/05/2007	50	3	Tifton 85
06/08/2007	82	4	Tifton 85 + Aveia preta

O estudo das alterações das características físicas e químicas do solo decorrentes da aplicação da ARB foi feito em cinco períodos, considerando uma condição inicial (Ci) e após cada um dos quatro ciclos de produção das forrageiras cultivadas. Para tanto, foram retiradas amostras de solo, com o auxílio de um mini-trado, em cada parcela nas faixas de profundidades 0-10, 10-25, 25-40, 40-55 e 55-70 cm. Com as amostras simples de cada parcela de um mesmo tratamento foram feitas amostras compostas por tratamento e profundidade. Após identificadas, as amostras foram encaminhadas aos Laboratórios de Física do Solo e de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFV, para a realização das análises, conforme metodologias descritas em EMBRAPA (1997). Foram analisadas as seguintes características: condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado (CE_{es}); argila dispersa em água (ADA); índice de saturação por sódio (ISNa); pH; CTC; saturação por bases; carbono orgânico total (COT); e os teores disponível e trocáveis de P, K, Ca, Mg, Na, Cu e Zn.

Com a finalidade de evitar o procedimento de obtenção do extrato da pasta do solo saturado para as medições da condutividade elétrica, além do tamanho reduzido das amostras de solo, optou-se pela equação de calibração entre os valores de condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado com a condutividade elétrica da solução sobrenadante 1:5 (Oliveira, 2006), conforme a equação 1.1.

$$CE_{es} = 7,2812.CE_{1:5} + 0,0405 \quad (1.1)$$

em que,

CE_{es} = condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado;

$CE_{1:5}$ = condutividade elétrica da solução sobrenadante 1:5.

A solução sobrenadante foi obtida, colocando-se, em um béquer 10 g de solo seco ao ar e 50 mL de água destilada, agitando-se em seguida. A mistura foi deixada em repouso por um período de 24 horas e a leitura da condutividade elétrica foi feita com o auxílio de um condutivímetro (Slavich e Petterson, 1993).

A análise estatística dos dados foi feita por meio de regressão das características avaliadas em função das taxas de aplicação e dos tempos de amostragem, para cada faixa de profundidade, utilizando-se a metodologia de superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” sem limitar os valores de α , no fenômeno em estudo e no coeficiente de determinação (R^2) calculado pela equação 1.2, para dados sem repetição.

$$R^2 = \frac{SQRg}{SQTot} \quad (1.2)$$

em que,

$SQRg$ = soma de quadrados da regressão;

$SQTot$ = soma de quadrados total.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Aporte de nutrientes ao solo

Com base nas concentrações de nutrientes presentes na ARB no início de cada ciclo (Quadro 1.2) e nos volumes aplicados por ciclo, estimou-se o aporte de nutrientes aos lisímetros pela água residuária (Quadro 1.4). Nessa estimativa consideraram-se apenas os teores totais de cada nutriente, não levando em consideração a forma como os nutrientes se encontravam no efluente.

Há de se ressaltar que todos os resultados encontrados para as diferentes variáveis estudadas foram analisados em relação às doses de K na ARB, tomando como referência as taxas de aplicação utilizadas nos tratamentos.

Quadro 1.4- Aporte de nutrientes via água residuária de bovinocultura (ARB) durante o experimento

Ciclo	Tratam	N	P	K	Ca+Mg	Na	Zn	Cu
		Kg ha ⁻¹						
I	25	58,1	14,5	25,4	14,0	7,3	0,21	0,14
	50	116,3	28,9	50,8	28,0	14,6	0,42	0,29
	75	174,4	43,4	76,2	42,0	21,9	0,63	0,43
	100	232,6	57,9	101,6	56,0	29,2	0,84	0,58
II	25	38,0	7,3	25,1	12,3	4,6	0,29	0,15
	50	76,0	14,7	50,1	24,6	9,3	0,57	0,30
	75	114,0	22,0	75,2	37,0	13,9	0,86	0,44
	100	152,0	29,3	100,3	49,3	18,5	1,15	0,59
III	25	46,7	5,8	25,0	9,7	7,0	0,17	0,05
	50	93,3	11,6	50,0	19,5	13,9	0,33	0,11
	75	140,0	17,4	75,0	29,2	20,9	0,50	0,16
	100	186,6	23,3	100,0	39,0	27,9	0,66	0,21
IV	25	47,6	5,5	25,1	3,9	6,3	0,11	0,04
	50	95,1	10,9	50,1	7,9	12,5	0,23	0,08
	75	142,7	16,4	75,2	11,8	18,8	0,34	0,12
	100	190,3	21,8	100,3	15,8	25,0	0,46	0,16
Total	25	190,4	33,1	100,5	40,0	25,1	0,88	0,38
	50	380,7	66,1	201,1	80,0	50,3	1,61	0,78
	75	571,1	99,2	301,6	120,0	75,4	2,33	1,15
	100	761,5	132,3	402,2	160,0	100,6	3,08	1,54

1.3.2 Efeitos das taxas de aplicação e do tempo por faixa de profundidade

No Quadro 1.5 estão apresentados os modelos ajustados para as características do solo, em função da taxa de aplicação da ARB e do tempo, para cada faixa de profundidade. Com base na significância dos coeficientes de regressão apresentados, verifica-se que o efeito do fator tratamento (taxas de aplicação) foi, em geral, menor do que o fator tempo sobre o comportamento das características avaliadas.

Quadro 1.5 - Modelos ajustados às características do solo em função das taxas de aplicação da ARB (x) e do tempo (z) em cada faixa de profundidade, pela metodologia de superfície de resposta

Prof (cm)	Equação ajustada	R ²
pH		
0-10	$\hat{y} = 5,642 + 0,00906^{9\%} x - 0,000051^{16,5\%} x^2 - 0,00112^{33\%} z + 0,0000151^{4,8\%} z^2$	0,845
10-25	$\hat{y} = 5,413 + 0,00194^{0,35\%} x + 0,00689^{0,01\%} z - 0,0000215^{0,02\%} z^2$	0,767
25-40	$\hat{y} = 6,385 - 0,00427^{7\%} x - 0,00359^{0,6\%} z + 0,000036^{3,3\%} xz$	0,492
40-55	$\hat{y} = 6,541 + 0,00094^{15,8\%} x - 0,00633^{0,4\%} z + 0,000017^{1,3\%} z^2$	0,630
55-70	$\hat{y} = 6,666 + 0,00574^{12,9\%} x - 0,000036^{18,2\%} x^2 - 0,00858^{0,04\%} z + 0,0000276^{0,06\%} z^2$	0,688
COT (dag kg ⁻¹)		
0-10	$\hat{y} = 0,8128 - 0,00133^{36,4\%} x + 0,00003^{16,4\%} x^2 + 0,0018^{12,0\%} z - 0,000006^{12,4\%} z^2$	0,596
P (mg dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 1,194 + 0,01669^{12,7\%} x + 0,03438^{0,01\%} z - 0,0002219^{1,6\%} xz$	0,862
10-25	$\hat{y} = 7,308 - 0,0945^{3,4\%} x + 0,00062^{6,0\%} x^2 - 0,00391^{14,0\%} z$	0,408
25-40	$\hat{y} = 0,438 - 0,0106^{23,3\%} x + 0,07342^{1,8\%} z - 0,000264^{1,3\%} z^2$	0,382
40-55	$\hat{y} = 1,900 - 0,1044^{8,2\%} x + 0,00072^{10,9\%} x^2 + 0,06466^{1,8\%} z - 0,000222^{1,7\%} z^2$	0,450
55-70	$\hat{y} = -0,03637 - 0,0023^{39,4\%} x + 0,04449^{1,6\%} z - 0,00016^{1,2\%} z^2$	0,379
K (mg dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 16,91 + 0,4440^{24,0\%} x - 0,0053^{13,2\%} x^2 + 0,2053^{3,6\%} z + 0,00401^{1,1\%} xz$	0,925
10-25	$\hat{y} = -28,58 + 0,9845^{1,8\%} x - 0,00750^{2,1\%} x^2 + 0,6035^{0,2\%} z - 0,002038^{0,2\%} z^2$	0,646
25-40	$\hat{y} = -8,53 - 0,0300^{37,4\%} x + 0,63322^{0,4\%} z - 0,002089^{0,5\%} z^2$	0,452
40-55	$\hat{y} = -16,99 - 0,1020^{20,6\%} x + 0,7508^{0,8\%} z - 0,002487^{0,8\%} z^2$	0,421
55-70	$\hat{y} = -9,09 - 0,024^{34,5\%} x + 0,4113^{0,4\%} z - 0,001332^{0,5\%} z^2$	0,460
ISK (%)		
0-10	$\hat{y} = 0,545 + 0,0878^{6,4\%} x - 0,00056^{10,7\%} x^2 + 0,0438^{0,06\%} z - 0,00013^{0,6\%} z^2$	0,672
10-25	$\hat{y} = 0,444 + 0,0752^{4,3\%} x - 0,000575^{4,8\%} x^2 + 0,027^{0,3\%} z - 0,000013^{0,1\%} z^2$	0,581
Ca (cmol _c dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 2,717 - 0,00191^{38,4\%} x - 0,000026^{30,6\%} x^2 - 0,01762^{0,01\%} z + 0,000099^{0,001\%} z^2$	0,986
10-25	$\hat{y} = 2,732 + 0,0211^{4,6\%} x - 0,000201^{2,4\%} x^2 - 0,02785^{0,01\%} z + 0,000138^{0,01\%} z^2$	0,967
25-40	$\hat{y} = 2,415 + 0,01997^{3,3\%} x - 0,000175^{2,2\%} x^2 - 0,02138^{0,01\%} z + 0,000107^{0,01\%} z^2$	0,959
40-55	$\hat{y} = 2,292 + 0,00451^{21,6\%} x - 0,000049^{14,2\%} x^2 - 0,01628^{0,01\%} z + 0,000083^{0,01\%} z^2$	0,979
55-70	$\hat{y} = 2,010 + 0,00363^{21,5\%} x - 0,000038^{15,0\%} x^2 - 0,01329^{0,01\%} z + 0,00007^{0,01\%} z^2$	0,983
Mg (cmol _c dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 0,7103 - 0,0024^{25,8\%} x + 0,000023^{21,6\%} x^2 - 0,005548^{0,1\%} z + 0,000032^{0,01\%} z^2$	0,959
10-25	$\hat{y} = 0,4816 - 0,00731^{0,3\%} x + 0,000067^{0,1\%} x^2 - 0,00047^{29,0\%} z + 0,0000075^{1,0\%} z^2$	0,933
25-40	$\hat{y} = 0,8475 - 0,0147^{0,2\%} x + 0,000132^{0,1\%} x^2 - 0,00375^{1,6\%} z + 0,0000195^{0,1\%} z^2$	0,887
40-55	$\hat{y} = 0,9405 - 0,01015^{0,4\%} x + 0,00009^{0,2\%} x^2 - 0,00513^{0,01\%} z + 0,000026^{0,01\%} z^2$	0,937
55-70	$\hat{y} = 0,8826 - 0,00214^{18,8\%} x + 0,00002^{14,8\%} x^2 - 0,006657^{0,01\%} z + 0,000031^{0,01\%} z^2$	0,966
Zn (mg dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 1,842 - 0,0161^{7,4\%} x + 0,000125^{7,6\%} x^2 + 0,00164^{2,7\%} z$	0,369
10-25	$\hat{y} = 2,509 - 0,01938^{5,1\%} x + 0,00014^{6,5\%} x^2 - 0,00722^{5,8\%} z + 0,000028^{3,7\%} z^2$	0,450

Quadro 1.5, Cont.

Prof (cm)	Equação ajustada	R ²
Cu (mg dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 18,78 - 0,2876^{13,7\%} x + 0,00263^{10,4\%} x^2 - 0,05756^{0,4\%} z$	0,508
10-25	$\hat{y} = 29,01 - 0,4119^{16,0\%} x + 0,003686^{13,1\%} x^2 - 0,09256^{0,4\%} z$	0,499
CTC (cmol _c dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 3,549 - 0,00338^{2\%} x - 0,0229^{0,001\%} z + 0,0001366^{0,001\%} z^2$	0,987
10-25	$\hat{y} = 3,202 + 0,01697^{8,7\%} x - 0,000154^{6,1\%} x^2 - 0,0271^{0,001\%} z + 0,000143^{0,001\%} z^2$	0,973
25-40	$\hat{y} = 3,280 + 0,00817^{17\%} x - 0,000061^{18,3\%} x^2 - 0,02317^{0,001\%} z + 0,000119^{0,001\%} z^2$	0,978
40-55	$\hat{y} = 3,258 + 0,00193^{22\%} x - 0,01915^{0,001\%} z + 0,000103^{0,001\%} z^2 - 0,0000172^{15\%} xz$	0,984
55-70	$\hat{y} = 3,073 + 0,00909^{8\%} x - 0,000078^{6,5\%} x^2 - 0,01976^{0,001\%} z + 0,000101^{0,001\%} z^2$	0,983
V (%)		
0-10	$\hat{y} = 56,51 + 0,103^{31,3\%} x - 0,00085^{30,5\%} x^2 + 0,0604^{0,09\%} z$	0,572
10-25	$\hat{y} = 36,81 + 0,4011^{4,5\%} x - 0,00269^{7,1\%} x^2 + 0,2286^{1,0\%} z - 0,000688^{1,7\%} z^2$	0,564
25-40	$\hat{y} = 68,38 - 0,20265^{6,0\%} x + 0,00143^{8,0\%} x^2 - 0,1089^{2,0\%} z + 0,00056^{0,2\%} z^2$	0,832
40-55	$\hat{y} = 60,15 + 0,07260^{0,75\%} x - 0,10494^{4,4\%} z + 0,000512^{1,0\%} z^2$	0,732
55-70	$\hat{y} = 63,72 + 0,00480^{44,0\%} x - 0,1409^{3,2\%} z + 0,000652^{0,8\%} z^2$	0,651
CEes (dS m ⁻¹)		
0-10	$\hat{y} = 0,0541 + 0,00016^{44,2\%} x + 0,00778^{0,34\%} z - 0,0000199^{1,4\%} z^2$	0,673
10-25	$\hat{y} = 0,241 + 0,00053^{23,1\%} x + 0,00507^{0,3\%} z - 0,0000139^{1,0\%} z^2$	0,620
25-40	$\hat{y} = 0,271 - 0,00036^{33,0\%} x + 0,00614^{0,2\%} z - 0,0000193^{0,3\%} z^2$	0,522
40-55	$\hat{y} = 0,289 - 0,00073^{22,1\%} x + 0,00563^{0,85\%} z - 0,0000188^{0,9\%} z^2$	0,410
55-70	$\hat{y} = 0,129 + 0,00543^{4,0\%} x - 0,000049^{2,5\%} x^2 + 0,00449^{0,1\%} z - 0,0000146^{0,1\%} z^2$	0,682
Na (mg dm ⁻³)		
0-10	$\hat{y} = 14,795 + 0,1705^{14,7\%} x - 0,0003^{40,5\%} x^2 - 0,0613^{16,5\%} z + 0,00058^{0,8\%} z^2$	0,918
10-25	$\hat{y} = 30,26 - 0,126^{25,8\%} x - 0,0001^{47,2\%} x^2 - 0,191^{1,4\%} z + 0,00066^{0,8\%} z^2 + 0,0018^{0,2\%} xz$	0,918
40-55	$\hat{y} = 45,32 + 1,265^{0,4\%} x - 0,00949^{0,5\%} x^2 - 0,10604^{0,2\%} z$	0,664
55-70	$\hat{y} = 38,64 + 1,650^{0,3\%} x - 0,01287^{0,3\%} x^2 - 0,0104^{38,8\%} z$	0,493
ISNa (%)		
0-10	$\hat{y} = 1,993 + 0,0206^{0,01\%} x + 0,01571^{3,9\%} z - 0,0000657^{1,7\%} z^2$	0,778
10-25	$\hat{y} = 3,251 - 0,0130^{14,2\%} x + 0,00918^{23,4\%} z - 0,0000754^{3,6\%} z^2 + 0,000206^{1,0\%} xz$	0,646
25-40	$\hat{y} = 2,993 + 0,0213^{3,6\%} x + 0,04387^{4,5\%} z - 0,000204^{1,3\%} z^2$	0,653
40-55	$\hat{y} = 7,132 + 0,1933^{0,4\%} x - 0,00147^{0,5\%} x^2 + 0,0169^{24,4\%} z - 0,000195^{1,6\%} z^2$	0,899
55-70	$\hat{y} = 8,550 + 0,2070^{0,3\%} x - 0,001597^{0,4\%} x^2 + 0,0233^{17,9\%} z - 0,0002^{1,6\%} z^2$	0,873
ADA (%)		
0-10	$\hat{y} = 45,077 - 0,0298^{9,3\%} x - 0,01522^{6,9\%} z + 0,000291^{2,9\%} z^2$	0,337
25-40	$\hat{y} = 26,056 + 0,051^{22,3\%} x + 0,2523^{5,2\%} z - 0,00136^{0,8\%} z^2$	0,755

COT-carbono orgânico total; ISK-índice de saturação por potássio; V-índice de saturação por bases; CEes-condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado; ISNA-índice de saturação por sódio; ADA-argila dispersa em água.

Em face desses resultados, optou-se pela representação gráfica a partir das equações ajustadas em função do tempo, fixando-se as doses de K na ARB, por faixa de profundidade. Optou-se também por incluir o tratamento testemunha como referência para o padrão de variação das características. As faixas de profundidade

que apresentaram modelos com coeficientes de determinação baixos ($R^2 < 0,30$) não estão apresentadas no Quadro 1.5 e, também, não foi feita a representação gráfica.

Potencial hidrogeniônico (pH)

A aplicação de ARB proporcionou aumento nos valores de pH do solo ao longo do período experimental, em relação ao tratamento testemunha, de forma mais pronunciada na camada 0-10 cm e, ligeiro aumento na camada 10-25 cm, conforme pode ser observado na Figura 1.4. Já nas camadas de 25-40, 40-55 e 55-70 cm ocorreu ligeira redução nos valores de pH, relativamente à testemunha.

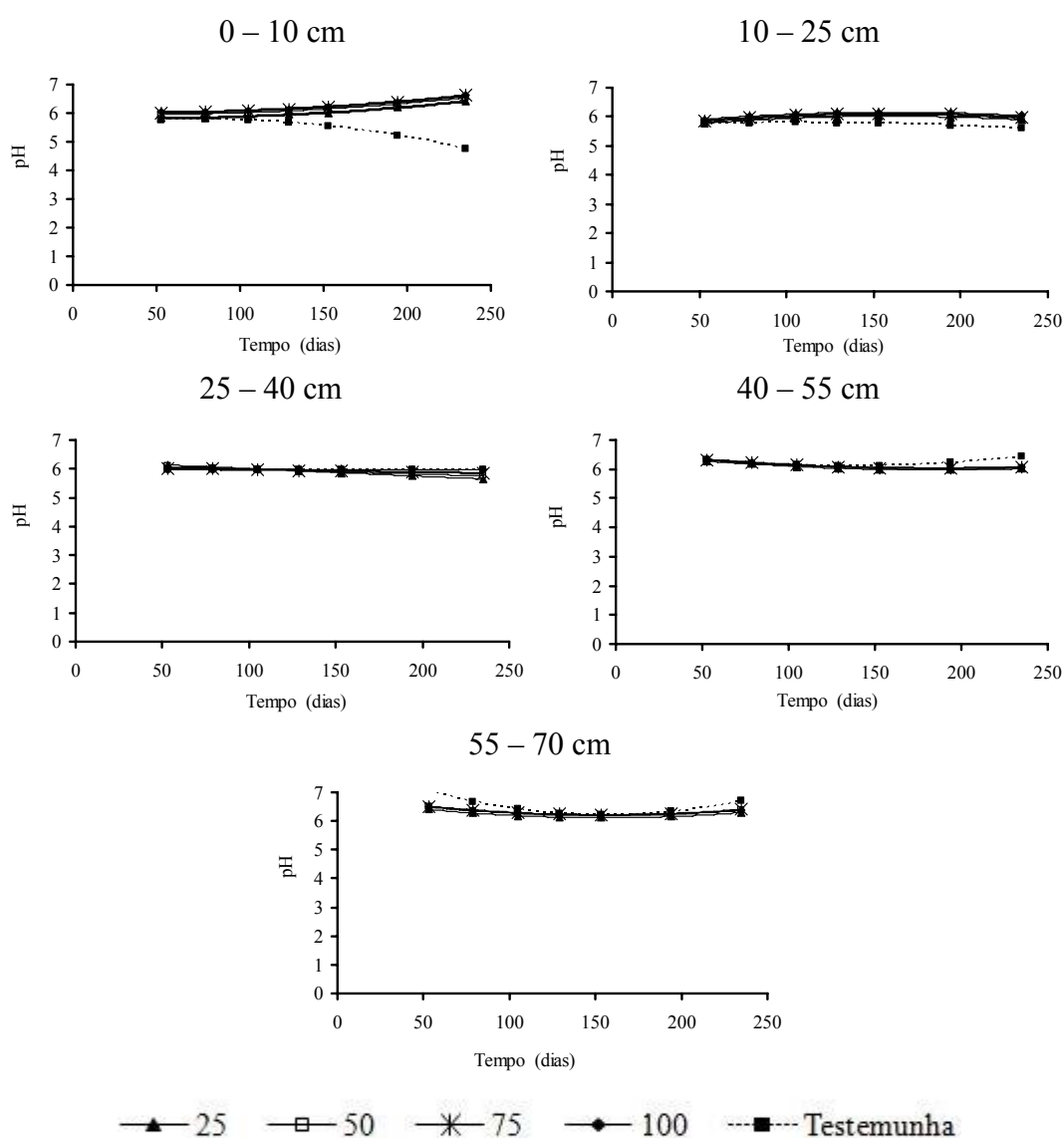


Figura 1.4- pH do solo estimado em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

A adição de matéria orgânica tem apresentado efeitos muitas vezes contraditórios sobre o pH do solo. De acordo com Bouwer (2000), em solos que receberam águas residuárias, pode haver diminuição no valor de pH, devido à

degradação dos resíduos biodegradáveis que propicia a produção de CO_2 e ácidos orgânicos. Queiroz et al. (2004) observaram redução do pH nas parcelas de solo que receberam água residuária de suinocultura, semelhantemente ao que ocorreu nas camadas 40-55 e 55-70 cm deste trabalho, usando-se ARB.

Por outro lado, têm sido observados incrementos no valor do pH de solos fertirrigados com águas residuárias em sistemas de pastagens (Quin & Woods, 1978) e florestas (Cromer et al., 1984). No presente trabalho, acredita-se que o aumento do pH do solo observado nas camadas de 0-10 e 10-25 cm podem ser atribuídos a: (i) pH básico do efluente (Stewart et al., 1990); (ii) incremento da desnitrificação (Friedel et al., 2000), consumindo um mol de H^+ pra cada mol de NO_3^- desnitrificado (Bolan et al., 1991);(iii) adição de cátions trocáveis e ânions pelo efluente (Falkiner & Smith, 1997); e (iv) adição de resíduos orgânicos ao solo seguido pela descarboxilação e desaminação, processos consumidores de prótons (Yan et al., 1996).

De acordo com a CFSEMG (1999), os valores de pH encontrados podem ser classificados agronomicamente como de bom a alto, pois situam-se na faixa de 5,5 a 6,5 para os solos das parcelas que receberam ARB nas diferentes taxas de aplicação.

Carbono orgânico total

O solo apresentou, após o período de aplicação da ARB, concentrações de carbono orgânico total caracterizadas como baixas, de acordo com a CFSEMG (1999), indicando baixos teores de matéria orgânica do solo (MOS). Observa-se, também, que não ocorreu acúmulo de matéria orgânica na camada superficial (Figura 1.5).

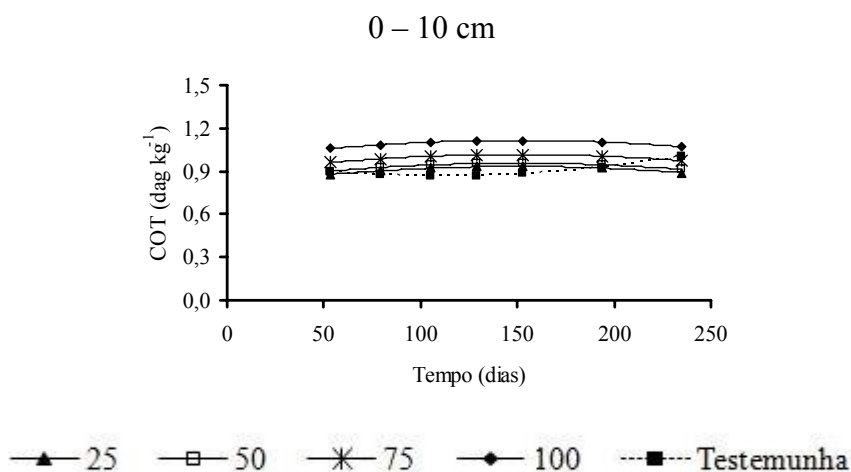


Figura 1.5 - Concentração de carbono orgânico total no solo (COT) estimada em função do tempo, para cada tratamento, na faixa de 0-10 cm de profundidade.

Decréscimos na concentração de COT foram relatados em diversos outros estudos sendo atribuídos aos seguintes fatores: (i) predominância de N na forma mineral (Bower & Chaney, 1974; Feigin et al., 1991; (ii) manutenção de condições ideais para a mineralização da matéria orgânica como umidade (Myers et al., 1982); temperatura (Artiola & Pepper, 1992); aeração (Stanford & Smith, 1972); baixa relação C:N da água residuária (Fonseca et al., 2007b); e (iii) incremento da atividade microbiana, estimulando a decomposição da MOS (Barton et al., 2005; Fonseca, 2005) associado com o efeito “priming”. De acordo com Stevenson (1986), o efeito “priming” consiste num estímulo, normalmente positivo, que ocasiona incremento na taxa de decomposição da MOS, devido ao crescimento extenso e vigoroso da população microbiana quando material rico em energia é adicionado no sistema e, subseqüentemente, microrganismos produzem enzimas que atacam a MOS. A magnitude de diminuição da concentração de MOS depende, principalmente, do tamanho e da atividade da microflora.

Por outro lado, aumentos nos teores de COT no solo devido à aplicação de águas residuárias têm sido observados principalmente em estudos de longa duração, como relatados por Quin & Woods (1978), Friedel et al. (2000) e Ramirez-Ruentes et al. (2002).

Fósforo disponível

No que se refere à concentração de P disponível no solo, pode-se observar, conforme apresentado na Figura 1.6, que apenas na camada superficial (0-10 cm), houve tendência de aumento linear da concentração de P disponível com o tempo, para todos os tratamentos. Esse comportamento é devido à baixa mobilidade do P no perfil do solo. Observa-se, também, que o tratamento com aplicação de ARB na menor dose de K (25 kg ha^{-1}) foi, em geral, o que causou a maior concentração de P disponível, em todas as profundidades. Este fato pode ser atribuído, em parte, ao menor aporte de matéria orgânica propiciado por este tratamento, o que reduziu a possibilidade de quelação/complexação do P-disponível. De acordo com a CFSEMG (1999), os valores médios de P disponível encontrados em todas as faixas de profundidade são considerados baixos, o que indica que a utilização da ARB como fonte de P deve ser parcial, necessitando de complementação na forma mineral.

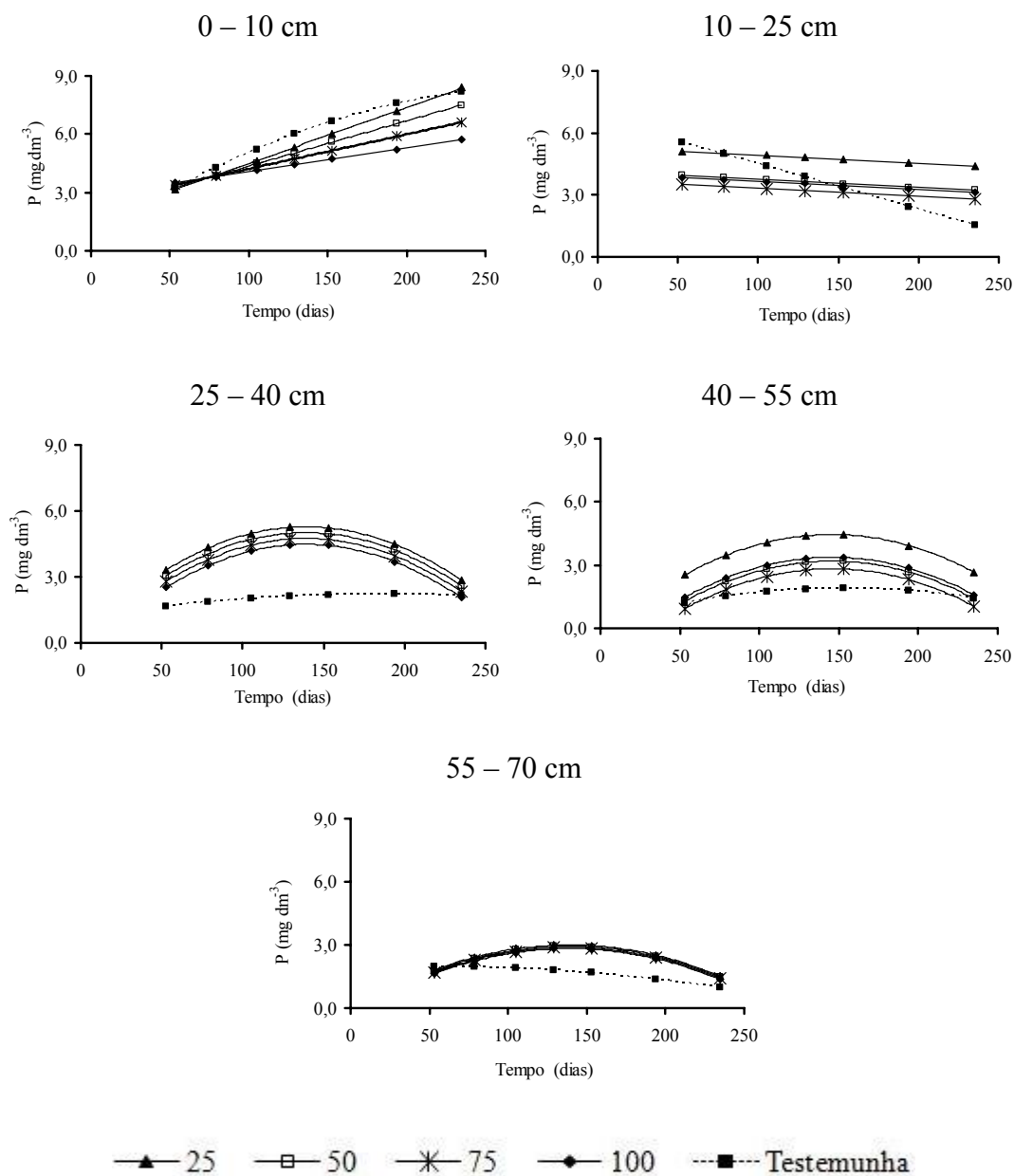


Figura 1.6 - Concentração de fósforo disponível no solo (P) estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

Pode-se verificar, também, que as curvas inerentes aos tratamentos com ARB, a partir dos 25 cm de profundidade, passam por um ponto de máxima concentração de P em torno dos 150 dias, podendo ser devido ao fato de ser, ainda baixa, a absorção de P pelas plantas, relativamente à quantidade aportada pela ARB. Fonseca et al. (2007a) afirmam que o aporte de P para o solo em razão da aplicação com águas residuárias não é grande. Nos casos de incremento da concentração de P disponível após a aplicação do efluente, as alterações são observadas nas camadas superficiais (Hortenstine, 1976; Quin & Woods, 1978; Queiroz et al., 2004; Medeiros et al., 2005) e subsuperficiais (Latterell et al., 1982; Al-Nakshabandi et al., 1997;

Mohammad & Mazahreh, 2003) e são mais pronunciadas em experimentos com mais de cinco anos de duração (Zekri & Koo, 1994; Wang et al., 2003).

Após a colheita e retirada do material vegetal, o P pode ser removido do sistema solo-planta minimizando os efeitos indesejáveis da alta concentração de P na solução do solo (Hook, 1981; Fonseca, 2005). Além disso, a capacidade de adsorção específica do solo em relação ao fósforo pode contribuir para prevenir a lixiviação deste elemento da zona das raízes para camadas mais profundas, representando um fator de manutenção da sustentabilidade do sistema após a aplicação da água residuária (Falkiner & Polglase, 1997). Todavia, poucos estudos têm focado os mecanismos de mobilidade e retenção de P em áreas irrigadas com águas residuárias. Assim, são necessárias mais pesquisas de longa duração para compreender os processos que controlam a dinâmica do P oriundo da aplicação de efluentes no solo, especialmente em solos com cargas variáveis, que representam as condições predominantes nos agrossistemas brasileiros (Fonseca et al., 2005a; Bond, 1998).

Potássio Trocável

A concentração de K trocável aumentou consideravelmente nos primeiros 10 cm de profundidade do solo, com todas as taxas de aplicação de ARB, ao longo do período experimental (Figura 1.7), atingindo valores considerados bons, de acordo com a CFSEMG (1999), até essa profundidade. Nas demais profundidades, os valores foram inferiores, porém as parcelas que receberam ARB apresentaram teores de K maiores que a testemunha.

Matos et al. (2005), ao avaliarem os efeitos da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro (ARC) nas características químicas do solo de rampas de tratamento cultivadas com diferentes espécies forrageiras, também observaram que as maiores concentrações de potássio ocorreram na camada de 0 a 10 cm de profundidade. O autor argumentou que, apesar do potássio ser considerado um cátion móvel no solo, o pequeno período de aplicação de ARC, coincidente com o período de poucas chuvas, mostrou-se insuficiente para proporcionar maior lixiviação deste cátion no perfil do solo. Raciocínio análogo pode ser utilizado no presente trabalho, visto que o experimento foi conduzido em ambiente protegido e as lâminas de irrigação aplicadas proporcionaram baixa lixiviação de cátions no solo. Adicionalmente, a ascensão capilar decorrente da evaporação superficial poderia ser outra razão.

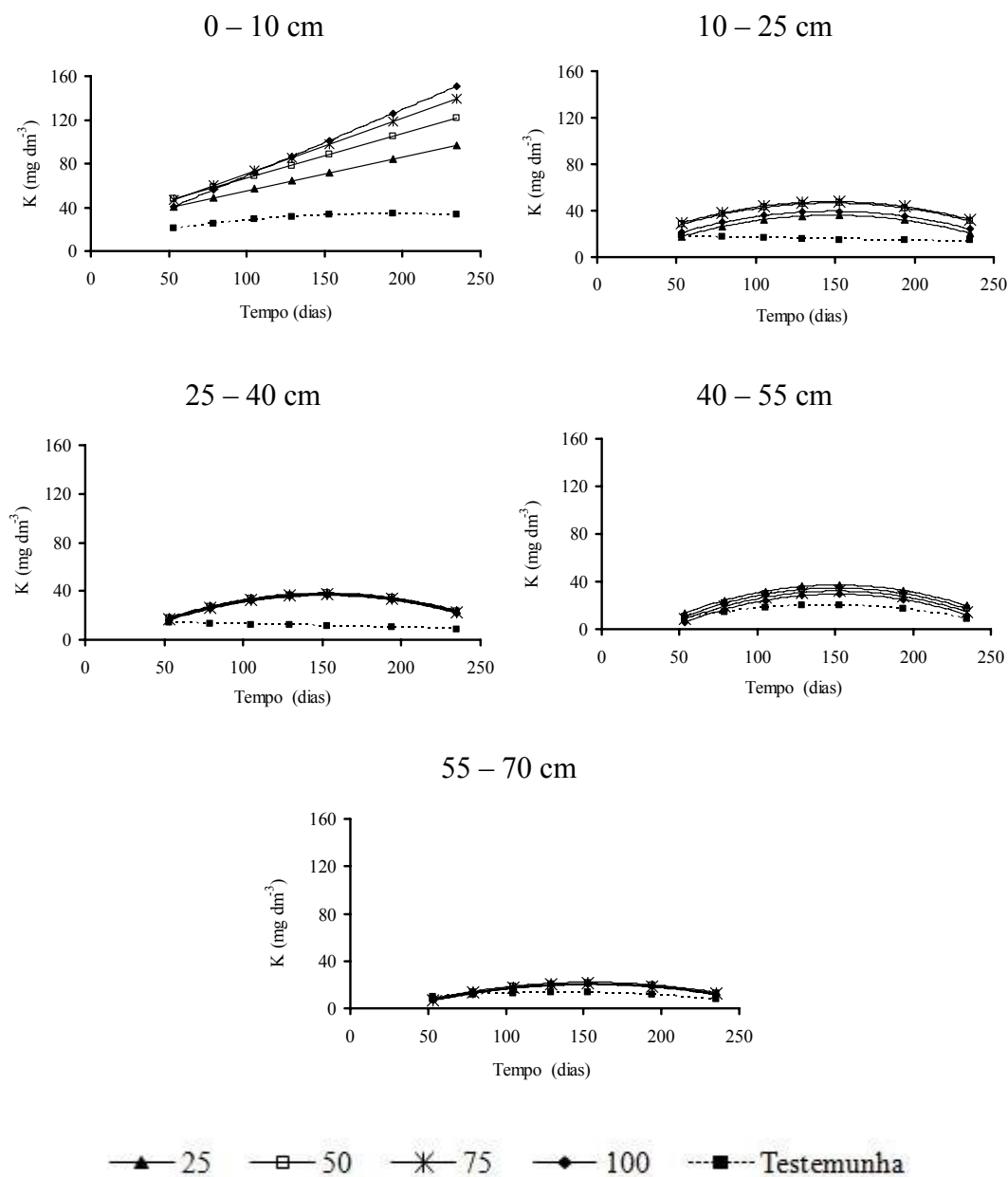


Figura 1.7 - Concentração de potássio trocável no solo (K) estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

Esse fato pode ser constatado observando-se o índice de saturação por potássio (ISK) propiciado pela aplicação da ARB na camada de 0-10 cm que apresentou valores superiores quando comparado à camada de 10-25 cm de profundidade (Figura 1.8). É importante ressaltar que o aumento na concentração de K trocável na camada superficial do solo e, o ISK, são fortes indicativos de que o teor deste cátion no solo deve ser monitorado e, usado como referência na definição de doses de ARB a serem aplicadas.

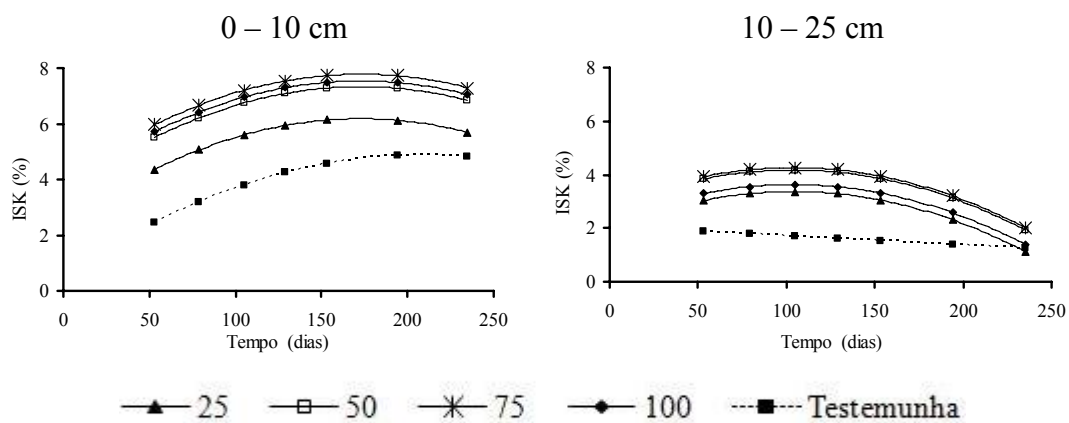


Figura 1.8 – Índice de saturação por potássio trocável (ISK) estimado em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

A redução na concentração de potássio com a profundidade e ao longo do tempo é, em parte, conseqüente da grande quantidade desse nutriente que é requerida pelas gramíneas, comprovando assim, que o sistema solo-planta pode ser considerado um meio adequado para a disposição de águas residuárias, ricas nesse elemento.

Os resultados de pesquisas envolvendo o K^+ em águas residuárias são, às vezes, contraditórios. John & McConchie (1994) não encontraram alteração no seu teor no solo ao aplicar efluente secundário de esgoto doméstico na fertirrigação de bananeiras, embora, deva-se ressaltar que, o esgoto doméstico é fonte insuficiente de K e a bananeira é muito exigente neste nutriente. Por outro lado, incrementos na concentração de K^+ foram observados em solos sob exploração florestal (Cromer et al., 1984; Falkiner & Smith, 1997), em solos cultivados com berinjela (Al-Nakshabandi et al., 1997), com gramíneas (Queiroz et al., 2004) e com cafeeiro (Medeiros et al., 2005), quando da aplicação de outras águas residuárias. Já Karlen et al. (1976) e Stewart et al. (1990) verificaram que a aplicação de efluente de esgoto tratado (EET) causaram decréscimos na concentração de K^+ devido ao incremento da concentração de Na^+ no solo, favorecendo a dessorção e lixiviação de K no solo.

Cálcio e Magnésio

Os tratamentos que receberam ARB apresentaram concentrações elevadas e crescentes de cálcio e magnésio trocáveis, notadamente até 40 cm de profundidade (Figura 1.9 e 1.10). De acordo com a CFSEMG (1999), esses valores caracterizam um solo de boa fertilidade em relação a cálcio e magnésio.

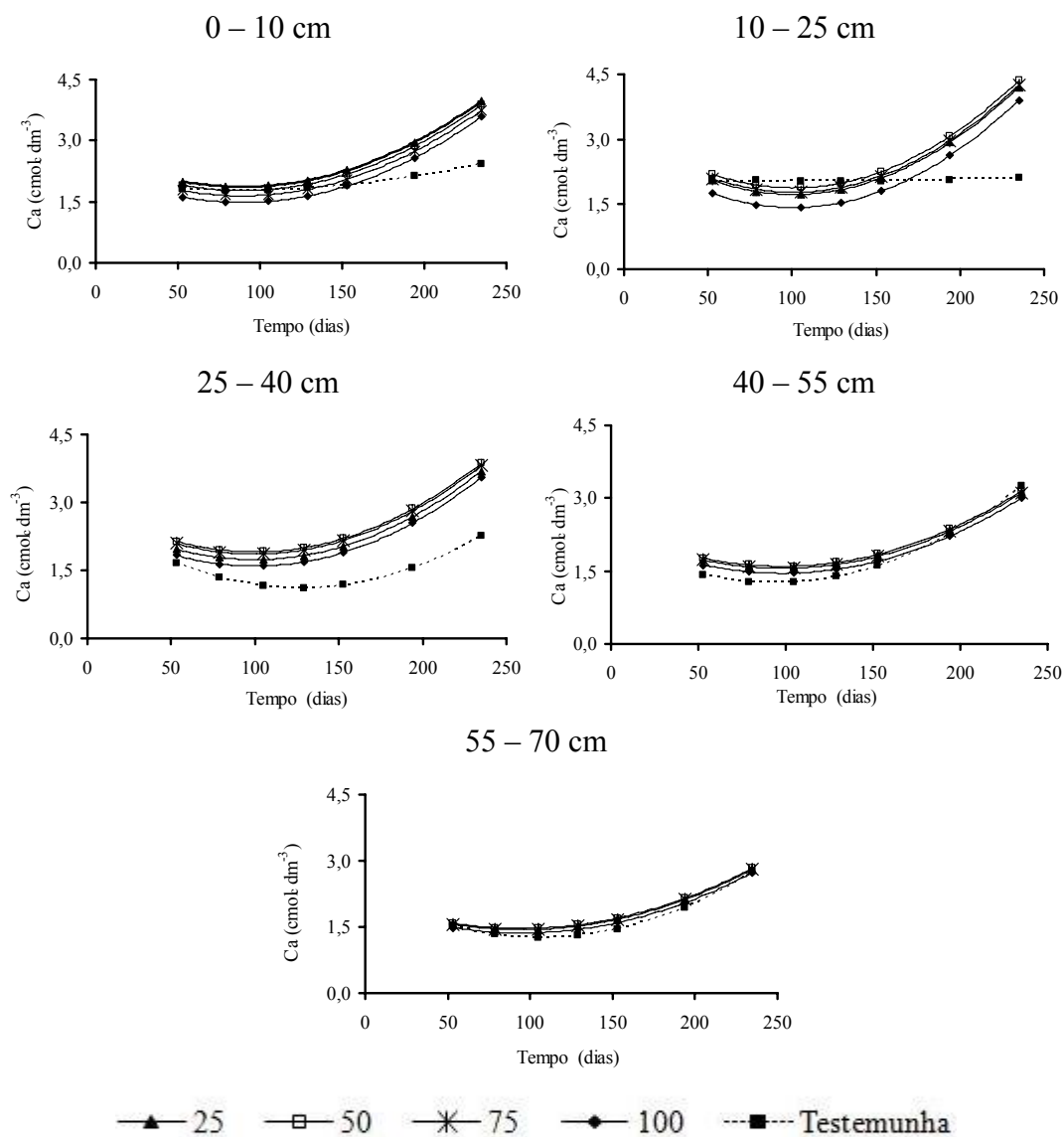


Figura 1.9 - Concentração de cálcio trocável no solo (Ca^{2+}) estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

Observa-se que os tratamentos com ARB proporcionaram teores de Ca^{2+} e Mg^{+2} superiores na camada de 0-10 cm, quando comparados com a testemunha, porém, não se observa tendência de lixiviação desses cátions no perfil do solo, visto que a suas concentrações não aumentaram com a profundidade. O acúmulo de cálcio e magnésio verificado ao longo do tempo, em todas as profundidades, pode ser devido à liberação destes íons com a mineralização da matéria orgânica retida nessa faixa do solo e, à alta concentração de potássio, conhecido competidor de cálcio e magnésio na absorção pelas plantas (Malavolta, 1986), causando baixa absorção desses nutrientes e, conseqüente acúmulo no solo. Lo Mônaco et al. (2007), ao avaliar os efeitos da fertirrigação do cafeeiro com diferentes doses de água residuária da lavagem e descascamento de seus frutos (ARC), observou o mesmo comportamento, visto que aquela água é muito rica em potássio.

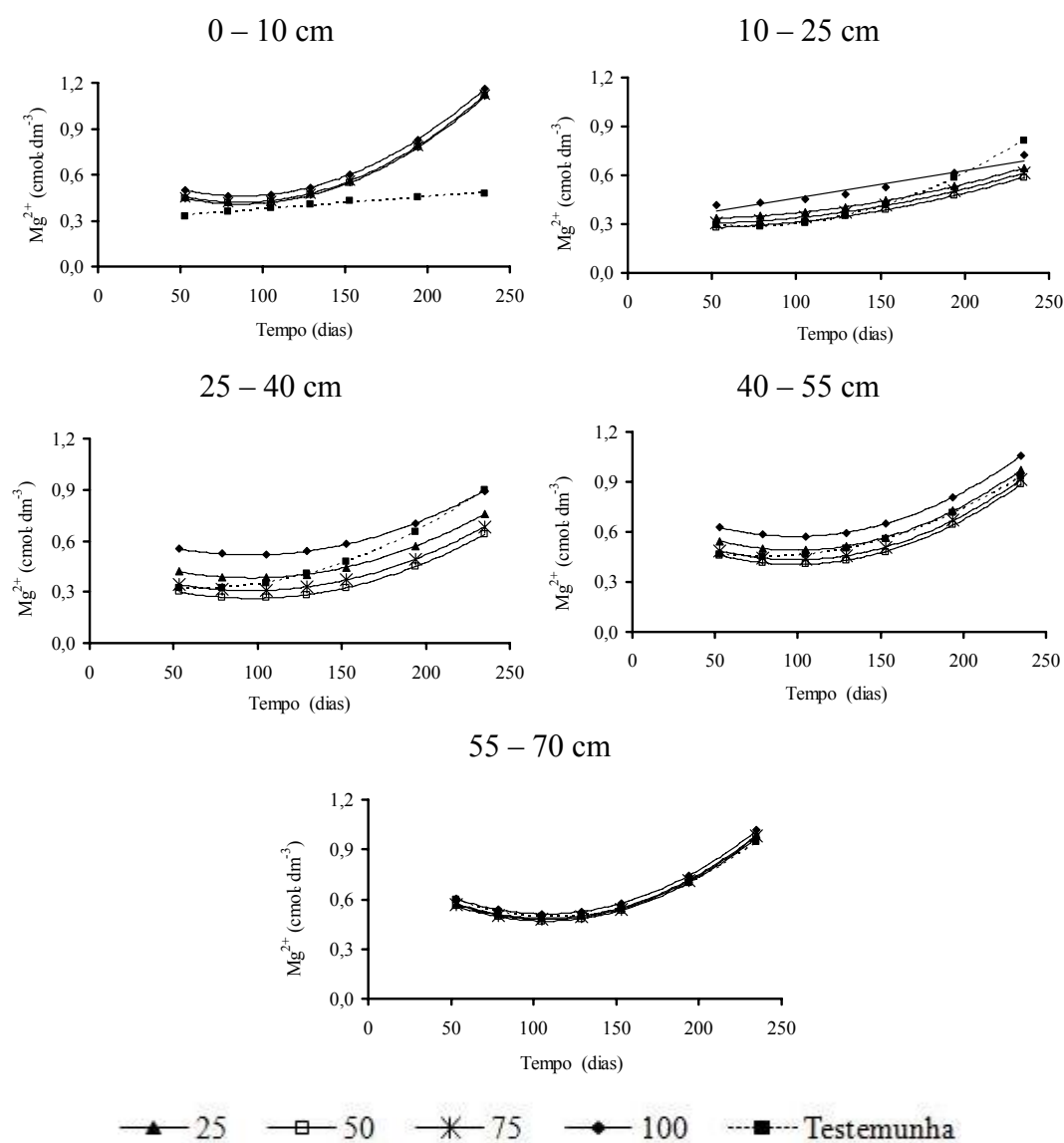


Figura 1.10 - Concentração de magnésio trocável no solo (Mg^{2+}) estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

Após longos períodos de aplicação de água residuária, têm sido observado incrementos nos teores de Ca trocável no solo, notadamente em pastagens (Quin & Woods, 1978), em solos sob exploração florestal (Cromer et al., 1984; Falkiner & Smith, 1997; Speir et al., 1999) e cultivados com cafeeiro (Medeiros et al., 2005). As concentrações de Mg trocável têm apresentado aumentos (Falkiner & Smith, 1997; Medeiros et al., 2005), decréscimos (Wang et al., 2003; Queiroz et al., 2004; Matos et al. 2005) ou alterações insignificantes (Johns & McConchie, 1994; Fonseca et al., 2005b) após a fertirrigação de culturas agrícolas com diferentes águas residuárias.

Zinco e cobre

De acordo com os gráficos apresentados na Figura 1.11 A, verifica-se que houve aumento na concentração de zinco disponível, ao final do período de aplicação da ARB, em todos os tratamentos, nas profundidades avaliadas. Os valores encontrados ao longo do período experimental podem ser caracterizados como “bom”, de acordo com a classificação proposta pela CFSEMG (1999). Já em relação ao cobre disponível (Figura 1.11 B), verifica-se severa diminuição de sua concentração com o tempo, em ambas as profundidades, possivelmente em razão da absorção desse nutriente pelas forrageiras cultivadas ou devido à complexação pela MOS, visto que a tendência de lixiviação desse elemento é pequena devido à sua baixa mobilidade .

Os resultados do presente estudo estão coerentes com os relatados por Queiroz et al. (2004), que observou que a concentração de Zn trocável no solo foi significativamente aumentada em relação à condição inicial ao aplicar água residuária de suinocultura em rampas de escoamento superficial. No entanto, o cobre teve sua concentração diminuída, indicando que este mineral pode ter sido extraído pela cultura, tal como foi verificado por Matos et al. (1997), ou tornou-se menos disponível em razão da complexação pela matéria orgânica. Fonseca et al. (2005b), aplicando 1200 a 1500 mm anuais de efluente secundário de esgoto tratado (ESET) em pasto de capim-Tifton 85, verificaram que não ocorreram alterações na dinâmica dos metais pesados no sistema solo-planta-solução, em curto prazo. Segundo os autores, as possíveis alterações nas concentrações de metais pesados neste sistema, não necessariamente terão aspectos negativos do ponto de vista agrônômico-ambiental, em médio e longo prazo.

Contrariamente, Lo Mônaco (2005) verificou decréscimo na concentração de zinco após aplicação de água residuária da lavagem e descascamento de frutos do cafeeiro (ARC) no solo e, atribuiu a queda à complexação do zinco pela matéria orgânica e à absorção pela cultura. No entanto, verificou tendência de aumento da concentração de cobre em todos os tratamentos que receberam ARC, principalmente nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, atribuindo esse aumento à mineralização da matéria orgânica do solo, que disponibilizou o cobre que nela estava quelado/complexado ou, advindo da água residuária.

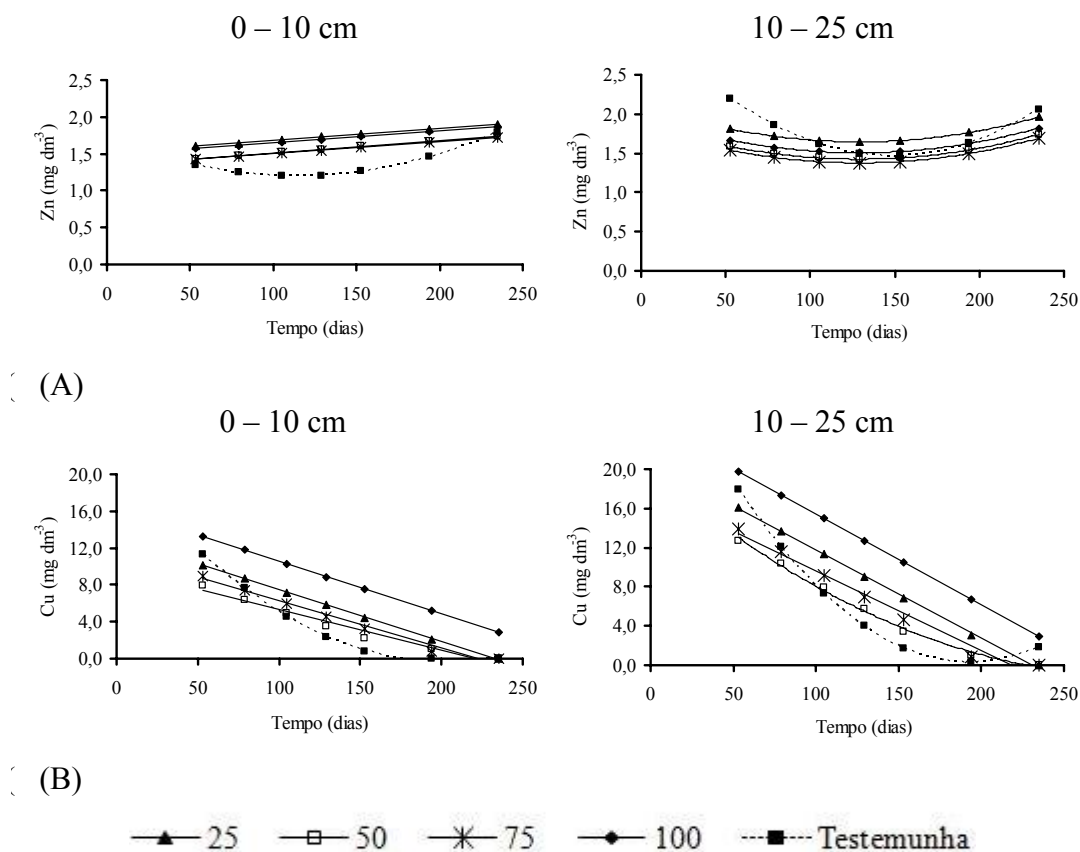


Figura 1.11 - Concentrações de zinco (A) e cobre (B) disponíveis no solo estimadas em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

Capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V)

Conforme apresentado nas Figuras 1.12 e 1.13, as parcelas que receberam ARB proporcionaram maiores valores de CTC e V, notadamente na camada superficial e, no geral, houve tendência de aumento nos valores desses atributos com o tempo.

Queiroz et al. (2004), utilizando água residuária de suinocultura, obtiveram aumento na soma de bases e na CTC do solo, entretanto, verificaram redução na saturação por bases, possivelmente em razão do aumento da concentração de Al^{3+} no solo. Aumentos na CTC e saturação por bases também foram observados com o uso de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon (Garcia, 2003) e com efluente de esgoto tratado (Fonseca et al., 2005b).

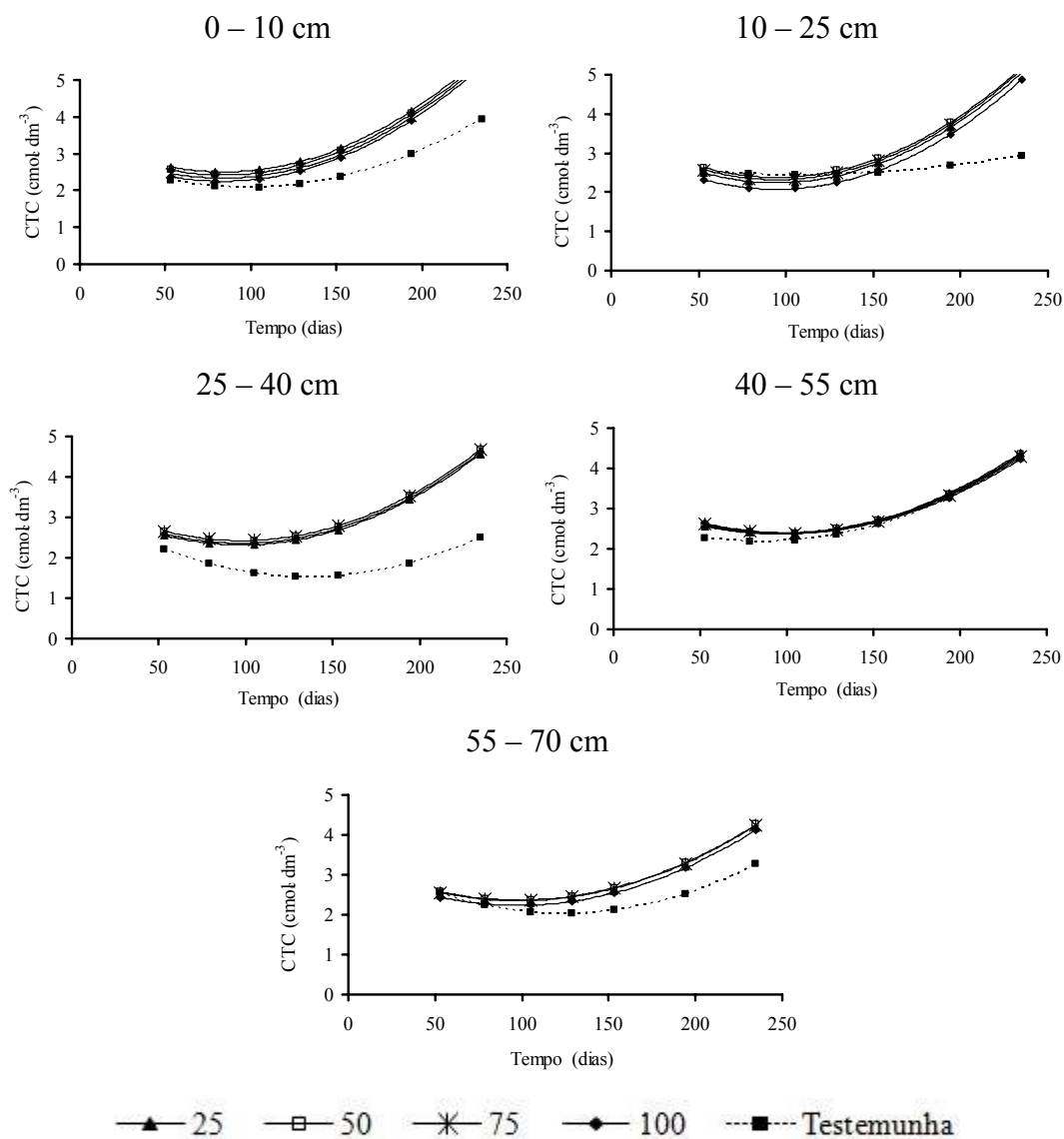


Figura 1.12 - CTC do solo estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

O aumento na CTC e na saturação por bases causado pela aplicação de águas residuárias pode ser justificado pela sua concentração de íons e a alta CTC dos colóides orgânicos presentes nos efluentes, embora esses componentes orgânicos sejam de fácil mineralização e possam desaparecer em questão de dias ou semanas. No presente trabalho nota-se um considerável aumento da CTC na faixa de profundidade 0 a 40 cm, com ganho aproximado de 100%, isto é, de aproximadamente $2,5 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ aos 53 dias, para $5,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ aos 235 dias.

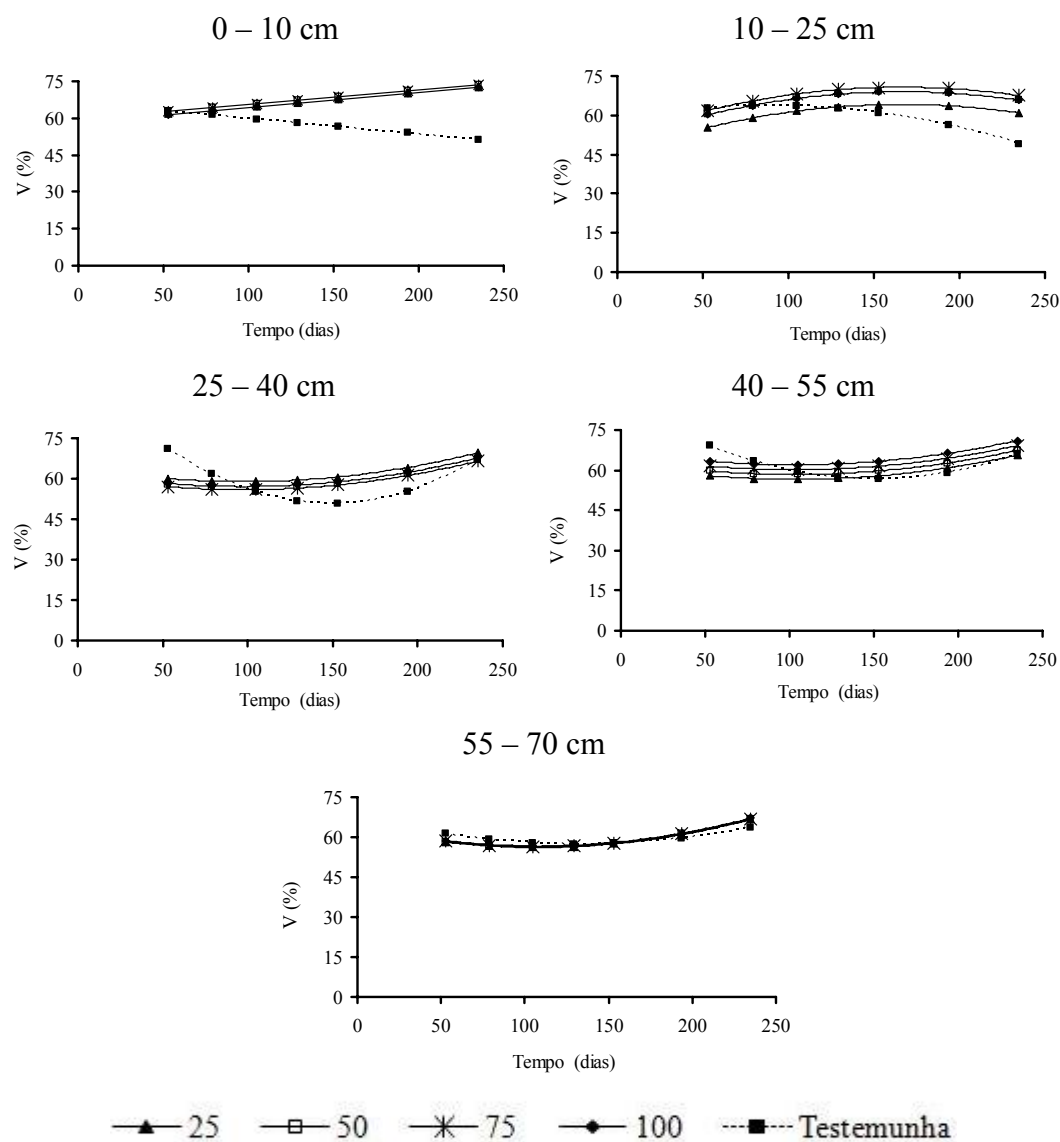


Figura 1.13 - Saturação de bases do solo (V%) estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade.

Observa-se, também, tendência de aumento na CTC com a aplicação de água limpa (testemunha), a partir da metade do período experimental. Esse comportamento pode ser devido à adição de bases proporcionada pela adubação mineral realizada nesse tratamento.

Conforme apresentado na Figura 1.13, observa-se tendência de redução no valor de V na camada 0 a 25 cm. Esse comportamento pode ser explicado pela lixiviação de bases nesta camada para as mais profundas, como evidenciado na faixa 25-40 que mostrou recuperação dos valores de V a partir de aproximadamente 150 dias.

De acordo com a CFSEMG (1999), os valores de CTC e V encontrados neste trabalho podem ser caracterizados como médio e bom, respectivamente. Esses resultados indicam um enriquecimento do solo com o uso da ARB, porém, deve-se ressaltar que o solo utilizado no experimento já apresentava inicialmente características químicas favoráveis ao cultivo. É importante salientar, também, que não foi detectada a presença de alumínio trocável (Al^{3+}) em todas as análises realizadas, mesmo antes da aplicação da ARB.

Salinidade e sodicidade

As características relacionadas à salinidade e sodicidade avaliadas foram: condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado (CEes); concentração de Na^+ ; índice de saturação por sódio (ISNa) e argila dispersa em água (ADA). A tendência de comportamento das referidas variáveis ao longo do tempo encontra-se graficamente representado nas Figuras 1.14 a 1.17.

Verifica-se que os valores de CEes (Figura 1.14) aumentaram até em torno dos 150 dias, porém foram sempre menores que $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, valor considerado adequado para manter um rendimento potencial de 100%, para a maioria das forrageiras, de acordo com Ayers e Westcot (1999). Observa-se também que os valores da CEes dos tratamentos que receberam ARB foram, em geral, inferiores ou próximos aos verificados na testemunha até a faixa de 40 a 55 cm. Esse comportamento demonstra um acúmulo de sais no solo até esse período e, posterior redução por lixiviação ou consumo pelas plantas.

É importante salientar que em medições de condutividade elétrica, o eletrodo só reconhece, da concentração total de uma solução a parte ionizada ou dissociada. Portanto, a concentração iônica total da solução do solo na faixa de profundidade 0-10 cm, quando fertirrigado com ARB, pode ser até maior, porém, em razão da complexação com a matéria orgânica e da possível formação de pares iônicos, os valores lidos de CEes foram menores.

Verifica-se, também, que os valores de CEes na camada superficial (0-10 cm) são maiores na testemunha, podendo ser devido à adubação química aplicada neste tratamento e, a aplicação de água limpa, que não favoreceu a formação de complexos orgânicos e pares iônicos.

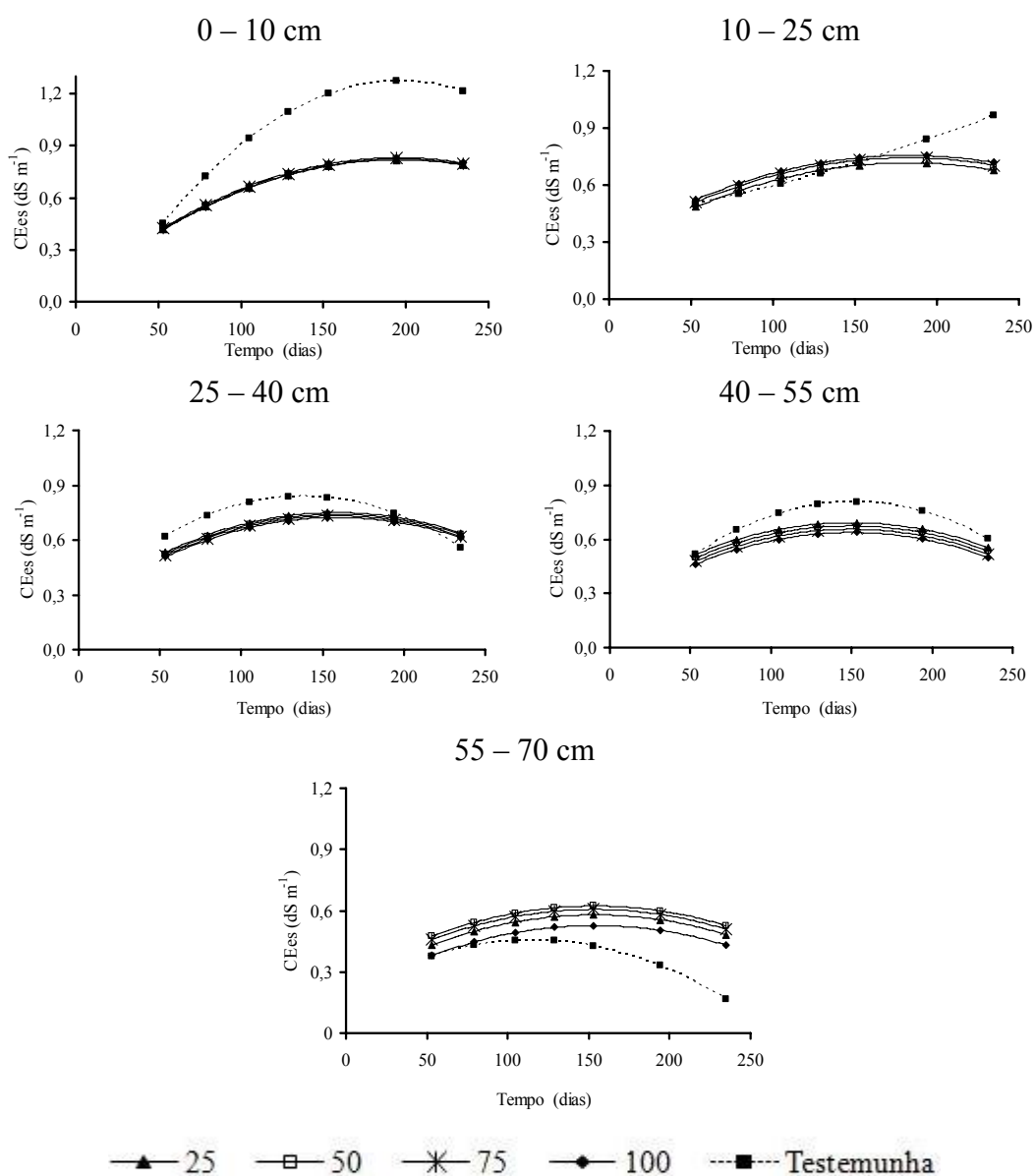


Figura 1.14 - Condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação (CEes), estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade do solo.

A tendência de redução da CEes, observada em todas as faixas de profundidade, a partir dos 150 dias, pode estar coincidindo com o período de maior absorção de nutrientes pela aveia, que foi plantada aos 153 dias.

Aumentos da CE do solo, após a aplicação de águas residuárias domésticas, têm sido relatados em áreas cultivadas com culturas anuais (Latterell et al., 1982; Johns & McConchie, 1994; Al-Nakshabandi et al., 1997), em pastagens (Hortenstine, 1976; Feigin et al., 1991; Bond, 1998) e, em sistemas florestais (Smith et al., 1996; Falkiner & Smith, 1997; Speir et al., 1999). Todavia, os maiores incrementos na

salinidade, da mesma forma que ocorreu neste estudo, têm sido verificada na camada mais superficial do solo (Cromer et al., 1984; Latterell et al., 1982; Al-Nakshabandi et al., 1997; Speir et al., 1999), em razão da evaporação superficial que leva ao acúmulo de sais na mesma (Al-Nakshabandi et al., 1997).

Nas Figuras 1.15 e 1.16 estão apresentadas as variações da concentração de sódio trocável (Na^+) e da saturação por sódio (ISNa), com o tempo, por tratamento e profundidade. Observa-se que ambas as características apresentam aumento com a profundidade, denotando acúmulo de sódio nas camadas mais profundas do solo.

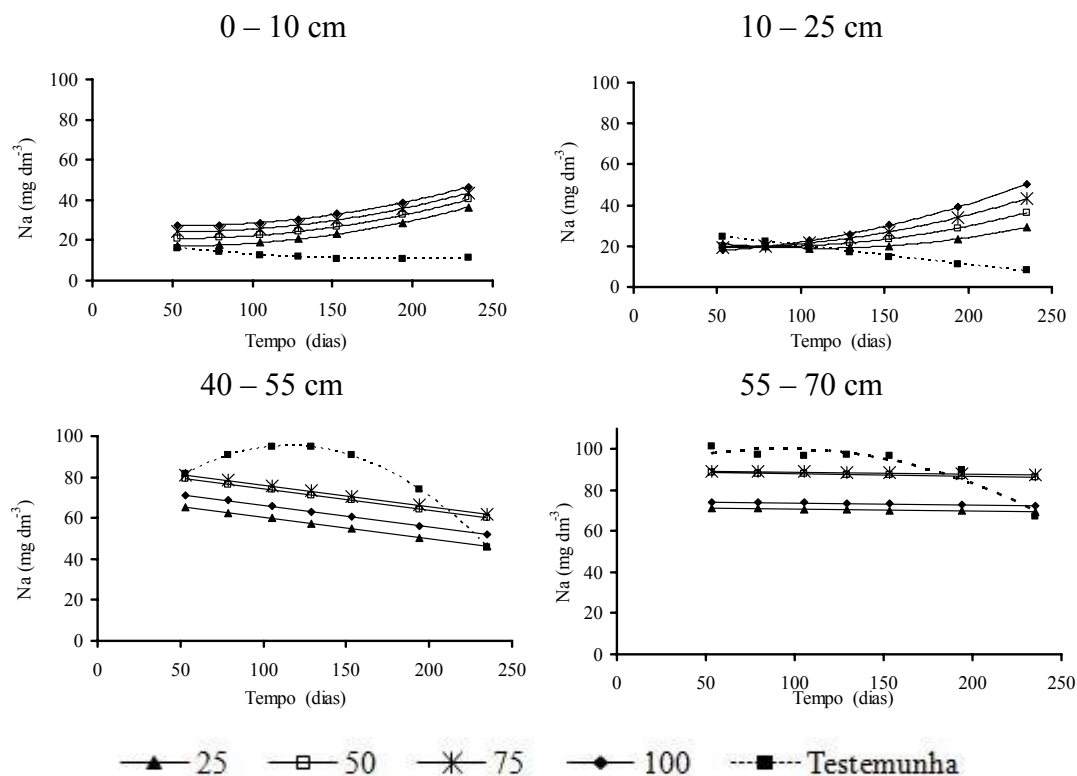


Figura 1.15 - Concentração de sódio trocável (Na^+), estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade do solo.

Na avaliação conjunta da CEes e do ISNa, nota-se que a aplicação da ARB não causou problemas de salinidade, já que o sódio adsorvido encontra-se abaixo dos limites prejudiciais, até a profundidade de 40 cm. Segundo Pizarro (1990), até essa profundidade, o solo pode ser caracterizado como normal, em virtude de apresentar $\text{CE} < 2 \text{ dS m}^{-1}$ e $\text{ISNa (PST)} < 7\%$. A tendência de acúmulo de Na^+ nas camadas mais profundas merece, entretanto, atenção especial, pois indica risco de problemas de sodicidade no futuro, devendo-se prever práticas que propiciem a remoção desse excesso de sódio do perfil, evitando o seu acúmulo ou ascensão capilar quando cessarem as aplicações em períodos não chuvosos.

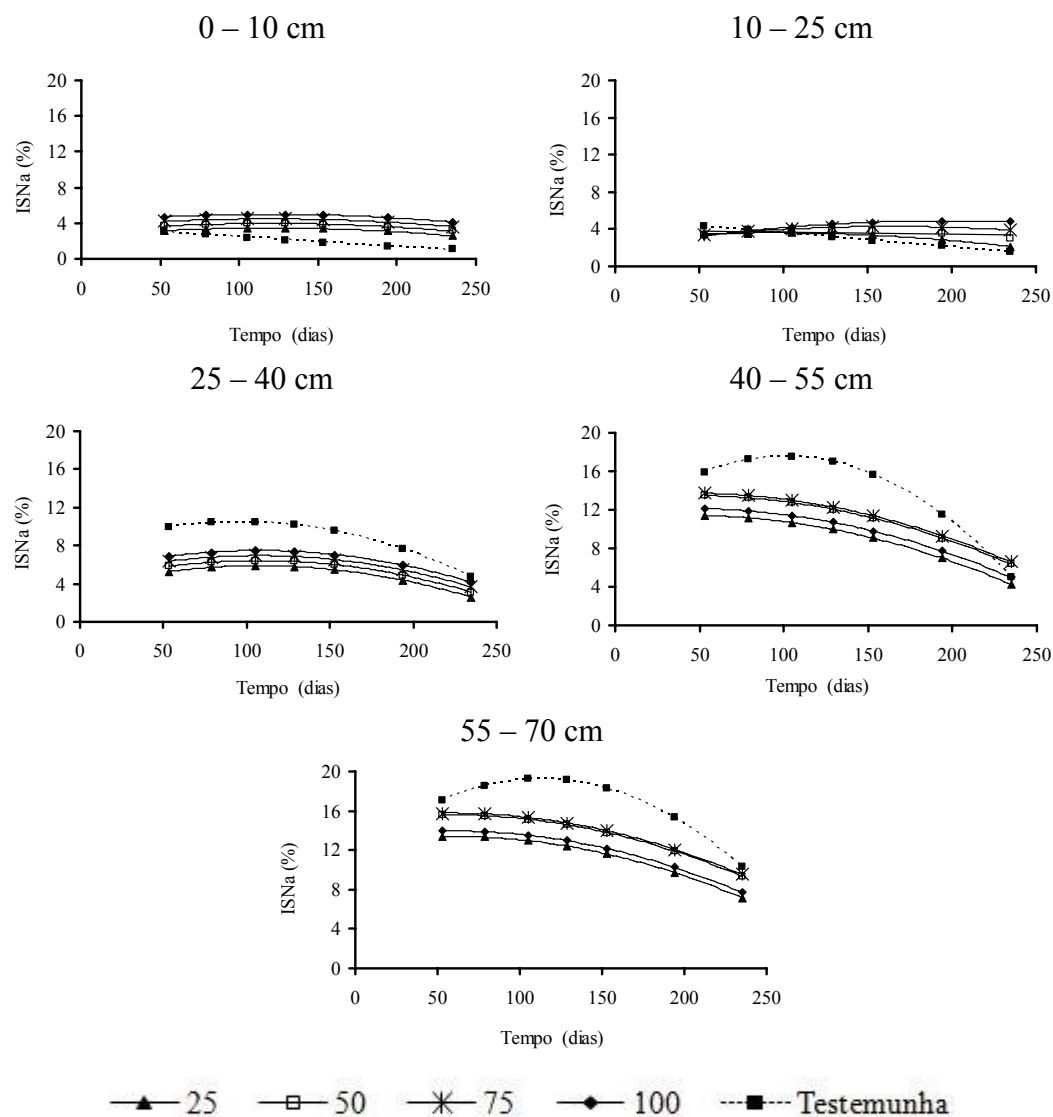


Figura 1.16 - Índice de saturação por sódio (ISNa), estimada em função do tempo, para cada tratamento e faixa de profundidade do solo.

As concentrações de Na^+ e o índice de saturação por sódio (ISNa) geralmente são elevadas após a aplicação de águas residuárias, principalmente nas camadas superficiais (Cromer et al., 1984). Esses acréscimos têm sido observados em solos cultivados, tanto com culturas florestais (Feigin et al., 1991; Pescod, 1992; Bond, 1998) e, também, em estudos de curta (Fonseca et al., 2005b) e longa duração (Quin & Woods, 1978; Balks et al., 1998).

Altas concentrações de Na^+ na solução do solo, em comparação com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , podem causar deterioração da estrutura do solo, pela dispersão dos colóides e, subsequente entupimento dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade a água e aos gases. Nesse contexto, os acréscimos na concentração de Na^+ e ISNa têm sido apontado como causa (Bond, 1998) ou não motivo (Balks et al., 1998) de alterações na condutividade hidráulica do solo, dependendo da

concentração total de sais na solução do solo. A magnitude dos impactos adversos do sódio sobre as propriedades do solo são dependentes das quantidades e frequências das precipitações ou aplicações, de forma a promover a lixiviação deste cátion (Mancino & Pepper, 1992; Speir et al., 1999).

A variação da proporção de argila dispersa em água (ADA) de um solo ao longo do tempo indica o grau de dispersão/floculação das partículas desse solo. De acordo com os gráficos apresentados na Figura 1.17, observa-se que os valores de ADA na camada superficial (0-10 cm), são maiores que nas outras faixas de profundidade e, há tendência de seu aumento com o tempo. Esse fato pode ser devido principalmente ao efeito acumulativo de sódio e potássio nesta camada, favorecendo a dispersão, e também ao impacto das gotas de água sobre a superfície causando desagregação das partículas do solo.

Verifica-se também que, nas profundidades avaliadas, a porcentagem de ADA foi superior nos tratamentos com ARB em relação à testemunha e, onde reduz-se com o tempo. Tal comportamento pode ser devido à adubação química realizada nesse tratamento e, à maior concentração de íons bivalentes na água limpa em comparação com a ARB, onde estes podem estar formando complexos com substâncias orgânicas, o que não ocorre com os monovalentes. Essa hipótese pode ser confirmada ao observar que a CEes na camada 0-10 cm foi maior na testemunha em relação aos tratamentos com ARB (Figura 1.14), indicando que a aplicação de água limpa mais adubação química propiciou maior proporção de íons livres.

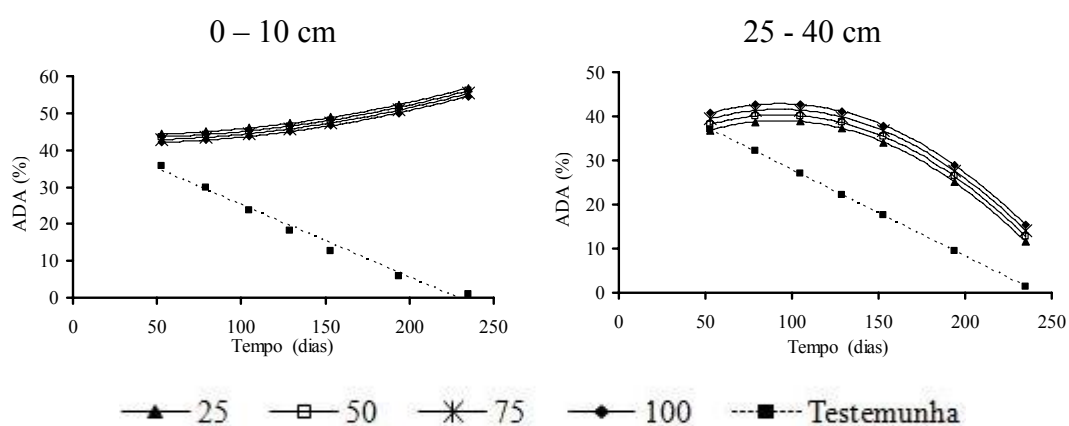


Figura 1.17 - Porcentagem estimada de ADA em função do tempo, para cada tratamento e nas faixas de profundidade de 0-10 e 25-40 cm.

Almeida Neto (2007), avaliando a dispersão de argilas em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas, concluiu que a aplicação de águas salinas e sódicas, mesmo quando a RAS foi alta e a CE foi baixa, trouxe impactos positivos na permeabilidade de todos os solos

Medeiros et al. (2005), observaram redução da porcentagem de ADA utilizando água residuária de origem doméstica para fertirrigação do cafeeiro cultivado em um cambissolo. Já Montes et al. (2004), trabalhando com aplicação de água residuária de origem doméstica em um argissolo, verificaram que a dispersão das argilas aumentou com o tempo até 80 cm de profundidade e que, esse aumento foi mais pronunciado na camada de 0 a 10 cm.

Esses resultados indicam que a utilização da ARB, apenas na faixa de profundidade 0-10 cm, apresentou tendência à dispersão das argilas, sugerindo que sua aplicação no solo não deve ser feita de forma contínua ao longo do ano. Recomenda-se planejar aplicações de água limpa, visando promover a lavagem do excesso de sódio e potássio das camadas superficiais e, retirada por sistemas de drenagem, minimizando, assim, os riscos de redução de taxa de infiltração.

1.4- CONCLUSÕES

As crescentes taxas de aplicação da água residuária de bovinocultura, utilizadas sob forma de fertirrigação e, calculadas com base na concentração de potássio, tiveram as seguintes consequências nas características físicas e químicas do solo:

- Proporcionaram ligeiro aumento no pH, CTC e saturação por bases nas camadas mais superficiais do solo.
- Não causaram problemas de salinidade e de sodicidade no solo, apesar dos aumentos da concentração de sódio trocável e da saturação por sódio com o passar do tempo e com a profundidade.
- Apresentaram tendência de aumentar o percentual de argila dispersa em água, indicando que a aplicação de ARB no solo não deve ser feita de forma permanente a fim de prevenir riscos de redução da taxa de infiltração da água no solo.
- Não foram suficientes para elevar a concentração de fósforo disponível no solo em níveis satisfatórios para as o capim-Tifton 85 e a aveia preta.
- Aumentaram as concentrações de cálcio, magnésio e potássio trocáveis nas camadas superficiais do solo, indicando que o teor de K^+ ou, o índice de saturação por potássio (ISK) no solo, devem ser monitorados e, usados como referência na definição de doses de ARB a serem aplicadas.
- Não causaram acúmulo de matéria orgânica no solo.
- Proporcionaram aumento da concentração disponível de zinco e redução na de cobre, na camada superficial do solo.

1.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-JALOUD, A.A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, A.J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, p.1677-1692, 1995.
- AL-NAKSHABANDI, G.A.; SAQQAR, M.M.; SHATANAWI, M.R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, v.34, p.81- 94, 1997.
- ALMEIDA NETO, O. B. **Dispersão de argila e condutividade hidráulica em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas**. 2007. 83 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- ARTIOLA, J.F.; PEPPER, I.L. Longterm influence of liquid sewage sludge on the organic carbon and nitrogen content of a furrowirrigated desert soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.14, p.30-36, 1992.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 153p, 1999.
- BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.821-830, 1998.
- BARTON, L.; SCHIPPER, L.A.; BARKLE, G.F.; McLEOD, M.; SPEIR, T.W.; TAYLOR, M.D.; McGILL, A.C.; VAN SCHAIK, 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.
- BOLAN, N.S; HEDLEY, M.J.; WHITE, R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. **Plant and Soil**, v.134, p.53-63, 1991
- BOND, W.J. Effluent irrigation - an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998.
- BOUWER, H. (2000), Groundwater problems caused by irrigation with sewage effluent. **J. Environ. Health**, **63**, 17-20.s
- BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v.26, p.133-176, 1974.
- BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.113, p. 516-535, 1987.
- CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa, MG. 1999. 359 p.
- COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. **Fundamentos de Química do Solo**. 2a. Ed./ Egon José Meurer, Editor. Porto Alegre: Gênese, 2004.
- CROMER, R.N.; TOMPKINS, D.; BARR, N.J.; HOPMANS, P. Irrigation of Monterey pines with wastewater: effect on soil chemistry and groundwater composition. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.539-542, 1984.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 1).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FALKINER, R.A.; POLGLASE, P.J. Transport of phosphorus through soil in an effluent-irrigated tree plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.385-397, 1997.

FALKINER, R.A.; SMITH, C.J. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.131-147, 1997.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FONSECA, A.F. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem**. Piracicaba, 2005. 174p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.

FONSECA, A.F., MELFI, A.J., MONTES, C.R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1965-1981, 2005a.

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. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1983-2003, 2005b.

FONSECA, A. F. ; HERPIN, U ; Paula, A.M. ; VICTORIA, R.L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n.2, p.194-209, 2007a.

FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; MONTEIRO, F.A.; MONTES, C.R.; ALMEIDA, V.V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v.87, p.328-336, 2007b.

FRIEDEL, J.K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of longterm waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.414-421, 2000.

GARCIA, G.O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despulpagem dos frutos do cafeeiro Conilon**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

HOOK, J.E. Movement of phosphorus and nitrogen in soil following application of municipal wastewater. In: NELSON, D.W.; ELRICK, D.E.; TANJI, K.K. (Ed.) **Chemical mobility and reactivity in soil systems**. Madison: Soil Science Society of America, 1981. p.241-255.

- HORTENSTINE, C.C. Chemical changes in the soil solution from a Spodosol irrigated with secondary-treated sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.335-338, 1976
- JOHNS, G.G.; McCONCHIE, D.M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.1619-1638, 1994.
- KARLEN, D.L.; VITOSH, M.L.; KUNZE, R.J. Irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.269-273, 1976.
- LATTERELL, J.J.; DOWDY, R.H.; CLAPP, C.E.; LARSON, W.E.; LINDEN, D.R. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p.124-128, 1982.
- LEON S.,G.; MOSCOSO CAVALINI, J.; tradução de GHEIY, H.R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande, UFPB, 1999. 110 p
- LO MÔNACO, P.A.V.;MATOS, A.T.; MARTINEZ, H.E.T.; FERREIRA, P.A.; RAMOS, M.M. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro após fertirrigação com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Engenharia na Agricultura**, v.15, n.4, p.392-394, 2007.
- LO MÔNACO, P.A.V. **Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. 2005. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. **Agronomy Journal**, v.84, p.650-654, 1992.
- MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N.; VIDIGAL, S.M.; GARCIA, N.P.C. RIBEIRO, M.F. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista CERES**, v.44, n.254, p.399-410, 1997.
- MATOS, A.T., **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI-DEA/UFV, 2004. 144 p. (Caderno Didático 38).
- MATOS, A.T., PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G.; BARROS, F.M. Alterações nos atributos químicos do solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.406-412, 2005.
- MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: Flávio Meira Borém. (Org.). **Pós-Colheita do Café**. 1 ed. Lavras-MG: Editora UFLA, 2008, p. 159-201.
- McBRIDE, M.B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Advances in Soil Science**, v.10, p.1-57, 1989.
- MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T.; SOUZA, J.A.A. Utilização de água residuária 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, 2005.

MOHAMMAD, M.J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, 1281-1294, 2003.

MONTES, C.R.; FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; SANTOS, A.P.R.; GLOAGUEN, T.; FORTI, M.C.; PIVELLI, R. Agricultural use of stabilization pond effluent: a case study in the city of Lins (SP, Brazil). In: **XII International Meeting of International Humic Substances Society**, 2004, São Pedro - SP. XII International Meeting of IHSS. São Carlos-SP : EMBRAPA, 2004. v.1. p. 732-734

MYERS, R.J.K.; CAMPBELL, C.A.; WEIER, K.L. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.62, p.111-124, 1982.

OLIVEIRA, F.G. **Produção relativa do feijoeiro irrigado com água salina**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 61p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia, EMBRAPA/CNPISA, 1993. 188p. (EMBRAPA/CNPISA, Documentos, 27).

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2.ed., 1990. 471p.

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 cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.34, n. 05, p.1487-1492, 2004.

QUIN, B.F.; WOODS, P.H. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. I. Nutrient status of soil and pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.21, p.419-426, 1978.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**, v.85, 179-187, 2002.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T. Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizantes. In: **Dia de campo sobre manejo e utilização de dejetos de suínos**, 1994, Concórdia, SC. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1994, p.47, (EMBRAPA-CNPISA, Documentos, 32)

SLAVICH, P.G.; PETERSON, G.H. Estimating a electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil:water suspensions and texture. **Australian Journal of Soil Research**. v.31, n.1, p.73

SMITH, C.J.; HOPMANS, P.; COOK, F.J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.94, p.317-323, 1996

SPEIR, T.W.; VAN SCHAIK, A.P.; KETTLES, H.A.; VICENT, K.W.; CAMPBELL, D.J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p.1105-1114, 1999.

- STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, p.465-472, 1972.
- STEVENSON, F.J. **Cycles of soil:** carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley, 1986. 380p.
- STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.63, p.155-177, 1990.
- TAYLOR, G.L.; NEAL, L.A. Land treatment of waste as an industrial sitting advantage. Proceedings of the 37th Industrial Waste Conference. **Proceedings...**, 1982, Purdue Univ., 233-238; 1982.
- WANG, Z.; CHANG, A.C.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of longterm reclaimed wastewater-irrigated cropland. **Geoderma**, v.114, p.261-278, 2003.
- YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxilation of organic anions. **Soil Biology & Biochemistry**, v.28, p.617-624, 1996.
- ZEKRI, M.; KOO, R.C.J. Treated municipal wastewater for citrus irrigation. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.693-708, 1994.

CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E DE RENDIMENTO DO CAPIM-TIFTON 85 E DA AVEIA PRETA FERTIRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA

2.1 INTRODUÇÃO

A disposição de águas residuárias agroindustriais e domésticas no solo vem se consolidando em países de clima e solos tropicais, como é o caso do Brasil. É uma técnica que se baseia na capacidade depuradora do sistema solo-planta, que utiliza mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção dos poluentes contidos nas águas residuárias.

A vegetação desempenha papel importante no sistema, pois utiliza os elementos disponibilizados no solo pelas águas residuárias, absorvendo os macro e micronutrientes necessários ao seu desenvolvimento e evitando, assim, o seu acúmulo e a conseqüente salinização e, ou, contaminação das águas subterrâneas. Além disso, as plantas favorecem o desenvolvimento de películas biologicamente ativas que propiciam a degradação do material orgânico, exercendo, portanto, a função de depuradores do meio (Queiroz et al., 2004).

Dentre as diferentes técnicas de disposição de águas residuárias no solo, destaca-se a fertirrigação, indicada preferencialmente para solos argilosos ou de textura média. Solos arenosos não são recomendados, em razão da facilidade de percolação dos poluentes e dos riscos de contaminação das águas subterrâneas.

O referencial para definição das taxas de aplicação não deve ser lâminas calculadas em função da evapotranspiração da cultura, e sim, da capacidade do sistema solo-planta em absorver o resíduo aplicado sem comprometer a qualidade do solo, da planta e das águas subterrâneas. Em geral, os teores de nitrogênio, elementos fitotóxicos, metais pesados e salinidade têm sido utilizados como referenciais na determinação da lâmina a ser aplicada na fertirrigação, devendo-se tomar por base aquele cuja quantidade será satisfeita com a menor dose (Matos, 2004).

Estudos realizados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias, desde que estas sejam adequadamente manejadas. A maioria dos estudos está relacionada com a utilização de águas residuárias de origem doméstica e efluente de Estação de Tratamento de Esgoto (EETE) e seus efeitos sobre o rendimento de massa

seca e, ou, proteína bruta em espécies forrageiras (Quin & Woods, 1978; Darwish et al., 1999; Adekalu & Okunade, 2002; Grattan et al., 2004; Mohammad & Ayadi, 2004).

No Brasil, em alguns trabalhos, utilizaram-se aplicações de águas residuárias em sistemas solo-planta cultivados com gramíneas forrageiras. Fonseca et al. (2007) avaliaram os efeitos da aplicação de EETE em áreas cultivadas com capim-Tifton 85 no Estado de São Paulo e verificaram que a água residuária pode substituir eficientemente a água limpa na irrigação em sistema de produção de feno, proporcionando benefícios econômicos e aumento de qualidade do capim. Na mesma região, Santos (2004) verificou que EETE havia sido eficiente em atender às necessidades hídricas do referido capim, não resultando em prejuízo de acúmulo de massa seca, em relação ao tratamento irrigado com água limpa. Coraucci Filho (1991) usou esgoto doméstico em rampas de tratamento cultivadas com *Brachiaria humidicola* e observou que a produção de proteína bruta foi, em média, 10% maior nas rampas de tratamento comparativamente à produção nas plantas que receberam calagem e adubação convencionais. A concentração de N, P, K, Ca e Mg nas folhas de plantas cultivadas em rampas que receberam esgoto doméstico foram pouco superiores às obtidas nas rampas que receberam água limpa.

Queiroz et al. (2004) avaliaram o comportamento de quatro gramíneas forrageiras (Quicuí da Amazônia, Braquiária, Tifton 85 e Coastcross) em rampas de tratamento com água residuária de suinocultura. Os conteúdos de proteína bruta, em todos os capins, foram superiores quando receberam água residuária de suinocultura em relação à água da rede de abastecimento. Os autores afirmam, ainda, que esses resultados podem ser, também, usados para avaliação da capacidade das gramíneas forrageiras em extrair nitrogênio do solo. Considerando-se que, para minimizar riscos de contaminação de águas subterrâneas por nitrato, é indispensável que as culturas usadas em sistemas de tratamento por disposição no solo sejam fortes extratoras de N, o capim-Tifton 85 foi o mais adequado a este fim.

Matos et al. (2003) estudaram a aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARC) em rampas cultivadas com três forrageiras de outono-inverno (azevém, aveia preta e milheto). Os autores verificaram que as forrageiras que receberam ARC apresentaram rendimento de matéria seca e de proteína bruta muito próximos aos obtidos com a aplicação de água limpa mais adubação convencional, concluindo que a aplicação da ARC no solo torna-se opção interessante, sob o ponto de vista econômico e ambiental.

Por outro lado, existem efeitos negativos da utilização de águas residuárias, principalmente os causados pela alta concentração de sais existentes nessas águas. O aumento da concentração de sais no solo, causado pela aplicação de águas residuárias, é um fator de estresse para as plantas, pois os solutos dissolvidos na solução do solo, próximos a zona das raízes, reduzem o componente osmótico do potencial total da água no solo. Isto faz com que as plantas necessitem de ajustamento osmótico a fim de manter o fluxo de água no sentido solo – folha. O efeito da redução do componente osmótico é similar ao de um déficit hídrico conseqüente da depleção de água no solo para a maioria das plantas (Taiz e Zeiger, 2004).

Além da necessidade de desenvolver o ajuste osmótico, as plantas podem ficar sujeitas à toxicidade por íons específicos, quando concentrações prejudiciais desses íons no solo – particularmente Na^+ , Cl^- ou SO_4^{2-} – resultam em elevados teores nas células. O efeito tóxico é considerado quando a presença do íon na solução causa danos diretos à planta. A injúria está freqüentemente associada ao acúmulo do íon tóxico nos tecidos da planta (Neves, 1999).

A deficiência de clorofila pode ser reconhecida pela coloração pálida ou mesmo esbranquiçada da folha (clorose). Segundo Larcher (2000), a degradação da clorofila pode ocasionar considerável redução na taxa fotossintética, além de menores: superfícies de transpiração e de absorção de radiação; absorção de nutrientes via solução do solo; trocas de CO_2 com o meio ambiente e, conseqüentemente, menor produtividade.

Na escolha de plantas forrageiras para fins de aplicação de águas residuárias por disposição no solo, devem-se preferir as que sejam perenes, com boa persistência, alta capacidade de extração de nutrientes, alta produção de matéria seca, permitam cortes freqüentes e sucessivos ao longo da maior parte do ano, boa cobertura do solo e que tenham boa aceitabilidade pelos animais. Outros fatores desejáveis são a adaptação às condições de clima e de solo locais, baixa susceptibilidade a pragas e doenças e, tolerância à salinidade e toxicidade a íons específicos.

Nesse contexto e, tendo em vista que a produção de água residuária de bovinocultura é contínua ao longo do ano, optou-se por trabalhar com o capim-Tifton 85 (*Cynodon spp*), no período de primavera-verão e, com a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), em sobresemeadura nas entrelinhas do Tifton, no período de outono-inverno.

As gramíneas do gênero *Cynodon*, também conhecidas como “gramas bermuda”, pertencem ao grupo C₄, apresentando por isso, elevado potencial de utilização da radiação solar. A faixa ótima de temperatura para esta gramínea situa-se entre 30 e 35°C, enquanto que o requerimento hídrico é da ordem de 1.000 a 1.200 mm ano⁻¹, em sistemas intensivos de produção. As gramíneas desse gênero são adaptadas a vários tipos de solos, desde que não haja problemas de compactação excessiva ou baixa capacidade de retenção de água (Pedreira et al., 1998).

O capim-Tifton 85 teve sua origem na *Coastal Plain Experiment Station* (USDA- University of Geórgia), localizada em Tifton, sul do estado da Geórgia, sendo o melhor híbrido F₁ selecionado por Burton et al. (1993), obtido do cruzamento entre uma introdução sul-africana e a Tifton 68. De acordo com Oliveira (1999), esses autores descrevem-no como um híbrido pentaplóide estéril, de porte mais alto, com colmos maiores e folhas mais largas e de cor mais escura que outros híbridos de gramas bermudas, como o Coastal, o Tifton 44 e o Tifton 78. Resultados experimentais confirmam que essa gramínea pode ser utilizada tanto sob pastejo, para a produção de animais para corte (Hill et al., 1993), quanto na forma de feno, para a produção de leite e carne (Hill et al., 1996, 1997, 1998; West et al., 1998), substituindo com eficiência alguns itens mais caros da ração, devido à boa digestibilidade da matéria seca. Além disso, é uma forrageira que responde a doses elevadas de N (Alvim et al., 1999), apresenta estreita relação com a tensão hídrica (Marcelino et al., 2003); se destaca pela elevada taxa de absorção de água e nutrientes (Fageria et al., 1997) e tolerância à salinidade (Grattan et al., 2004) e à sodicidade (Grieve et al., 2004).

A utilização de outros gêneros de forrageiras, como a aveia preta, em sistemas de disposição de águas residuárias no solo, no período de outono-inverno, é vantajosa por apresentar crescimento satisfatório, além de produzir grandes quantidades de massa verde de elevada aceitabilidade e valor nutritivo.

Originária da Ásia e Europa, a aveia é uma cerealífera do gênero *Avena*, cujo porte pode atingir, em média, um metro de altura. Possui folhas estreitas e longas, de coloração verde-escuro, colmos bastante suculentos e vasto sistema radicular fasciculado. No Brasil, as principais espécies cultivadas são: aveia branca (*Avena sativa* L.); aveia amarela (*Avena byzantina* C. Koch) e a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (Floss, 1998).

A espécie mais recomendada como forrageira é a aveia preta, em vista da sua precocidade, abundante perfilhamento, colmos finos, macios e flexíveis, resistência

às doenças e relativa tolerância a solos ácidos (Evangelista e Lima, 2000). Esta espécie adapta-se bem às regiões de clima temperado e subtropical, sendo cultivada em altitudes de até 1.300 m acima do nível do mar. Caracteriza-se pela rusticidade e adequação aos mais variados tipos de solo, embora se desenvolvam melhor naqueles ricos em matéria orgânica, permeáveis, férteis e bem drenados (Andrade, 1992; Fonseca, 1997).

As variedades de aveia preta apresentam crescimento inicial rápido, com elevadas produções no primeiro corte e reduzindo, sensivelmente, nos cortes subseqüentes. O primeiro corte deve ocorrer 40 a 60 dias após a germinação, quando a planta atingir 0,50 m de altura e, deve ser feito de 0,05 a 0,10 m acima da superfície do solo. O segundo corte deve ser feito 30 a 50 dias após o primeiro.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar os efeitos nas características fisiológicas, nutricionais e de produtividade do capim-Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), fertirrigados com água residuária de bovinocultura, em quatro taxas de aplicação, em condições de lisímetros de drenagem, sob casa de vegetação.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As características da área experimental, solo utilizado, água residuária, tratamentos, delineamento experimental e a condução do experimento, estão descritas no Capítulo 1.

O monitoramento diário dos elementos climáticos: temperaturas máxima, mínima e média; umidade relativa do ar; velocidade do vento; e radiação solar foi realizado utilizando-se uma estação meteorológica automática marca Davis, modelo Vantage Pro, instalada dentro da casa de vegetação (Figura 2.1).

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada a partir dos dados meteorológicos, utilizando-se o software IRRIPLUS. A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada em cada ciclo por meio do balanço de água no solo, segundo a equação 2.1:

$$ET_c = I - \Delta U - D \quad (2.1)$$

em que,

I = irrigação aplicada, mm;

ΔU = variação do conteúdo de água no solo, mm; e

D = percolação profunda, mm.

No início e ao final de cada ciclo, foram retiradas amostras do perfil do solo, na camada de 0 a 40 cm de profundidade, para avaliação do conteúdo de água, pelo método padrão de estufa, a fim de obter a variação do mesmo no período. A água de drenagem foi coletada e medida semanalmente, tendo seu total calculado para cada ciclo. A lâmina de irrigação aplicada foi a calculada pelo IRRIPLUS e a frequência de irrigação foi semanal.

As variáveis fisiológicas, nutricionais e de rendimento avaliadas foram: taxa fotossintética, taxa transpiratória, condutância estomática, teor de clorofila na folha, rendimento forrageiro, altura da planta, relação lâmina/colmo, teor de proteína bruta (PB) e de minerais na matéria seca (P, K, Ca, Mg, Na, Zn e Cu) e a extração de minerais. Os cortes do capim-Tifton 85 foram efetuados, em média, a cada 50 dias, totalizando três cortes e, o corte único da aveia preta, aos 82 dias. Informações sobre as datas de corte e durações dos ciclos estão apresentadas no Quadro 2.1.

Na semana anterior ao corte, os teores de clorofila na folha foram medidos utilizando-se um clorofilômetro (SPAD 502 – Minolta). As leituras efetuadas com o medidor de clorofila foram feitas na terceira folha, completamente desenvolvida, em trinta plantas por parcela, entre as nove e dez horas da manhã.

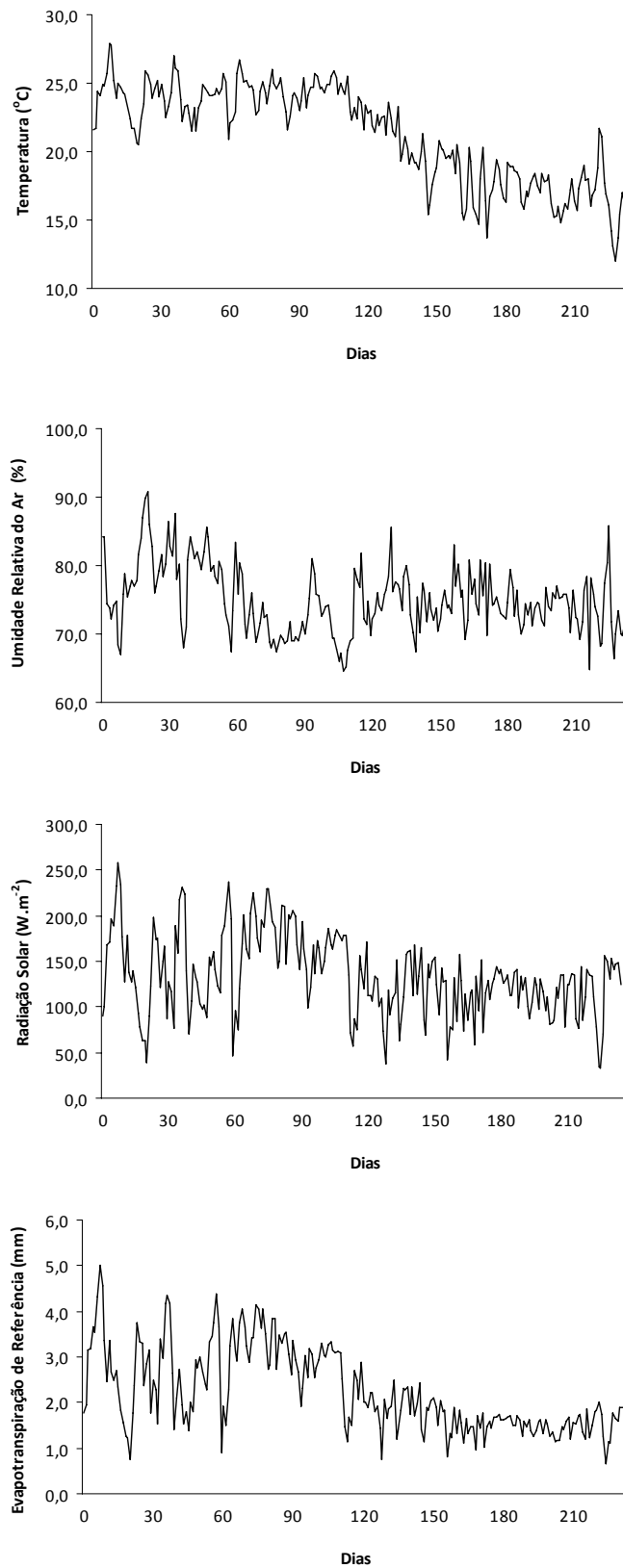


Figura 2.1 – Valores médios diários de temperatura, umidade relativa, radiação solar e evapotranspiração de referência durante o período experimental, no interior da casa de vegetação.

Quadro 2.1 – Datas de corte e número de dias de crescimento das gramíneas

Data do corte	Idade (dias)	Corte	Gramínea
05/02/2007	53	1	Tifton 85
27/03/2007	50	2	Tifton 85
16/05/2007	50	3	Tifton 85
06/08/2007	82	4	Tifton 85 + Aveia preta

As medições da taxa fotossintética, condutância estomática e taxa transpiratória foram realizadas na terceira folha de uma planta representativa, de cada unidade experimental, no dia anterior ao corte, utilizando-se um analisador portátil de CO₂ a infra-vermelho (IRGA), modelo LCA-4, sob intensidade luminosa artificial de 1000 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Antes do corte, realizaram-se as medições de altura das plantas, compreendida entre o nível do solo e a altura do horizonte visual das folhas, num total de dez medições em cada unidade experimental.

O material usado para estimativa do rendimento forrageiro foi colhido em área útil de 0,6 m² (0,6 x 1,0m), após a eliminação de 0,2 m nas laterais dos lisímetros. O corte do capim- Tifton 85 foi efetuado a 0,05 m de altura da superfície do solo, e da aveia preta a 0,075 m, com auxílio de um cutelo. O material coletado em cada unidade experimental foi pesado, determinando-se a produção de massa verde na área útil. Do material pesado, foi retirada uma amostra representativa e levada ao laboratório, quando foram separadas as frações de lâminas foliares, colmo e, material morto, quando presente, para estimar a relação lâmina/colmo, conforme metodologia descrita por Oliveira (1999).

Outra amostra foi separada, pesada e submetida a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65° C, por 72 horas. Após a pré-secagem, o material foi moído em moinho tipo Willey utilizando-se a peneira de 30 mesh de malha, acondicionado em recipientes plásticos com tampas e, a seguir, encaminhados ao Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia para as análises de N, P, K, Na, Ca, Mg, Zn e Cu, segundo técnicas descritas por Silva e Queiroz (2002). Para quantificação definitiva do teor de matéria seca, o material foi secado em estufa a 105° C. A extração de minerais foi obtida pelo produto da concentração do elemento e a produtividade de matéria seca, para cada corte. O total de minerais extraído foi calculado por meio da soma das quantidades extraídas em cada corte.

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. A análise de variância para as características: altura, relação lâmina/colmo, composição químico-bromatológica e extração de minerais referentes ao capim-Tifton 85 foi feita considerando o esquema de parcelas subdivididas, com os tratamentos na parcela e, os cortes, na subparcela. Os modelos de regressão foram escolhidos, com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando α de até 10 %, no fenômeno em estudo e no coeficiente de determinação (R^2) calculado para médias de tratamento, conforme a equação 2.2:

$$R^2 = \frac{SQRg}{SQTrat} \quad (2.2)$$

em que,

$SQRg$ = soma de quadrados da regressão;

$SQTrat$ = soma de quadrados de tratamento.

Para comparar a média da testemunha com a dos demais tratamentos, utilizou-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram executadas por meio do software SAEG versão 9.1 de 2006.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Taxas fotossintética, transpiratória e condutância estomática

As variáveis fisiológicas não apresentaram respostas significativas em função dos tratamentos para o capim-Tifton 85, considerando-se a média dos três ciclos de produção, enquanto para a aveia preta, as três variáveis responderam significativamente aos tratamentos (Quadro 2.2), apresentando médias de tratamento, estatisticamente, iguais ou superiores à testemunha (Quadro 2.3).

Quadro 2.2 – Resumo da análise de variância para taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E) e condutância estomática (gs), teor de clorofila na folha (SPAD) e rendimento de matéria seca (RMS) de plantas de capim-Tifton 85 e aveia preta.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		A	E	gs	SPAD	RMS
Tifton 85						
Tratamentos	4	8,10 ^{ns}	0,123 ^{ns}	0,000158 ^{ns}	3,153 ^{**}	16.153.930 ^{**}
Resíduo	15	2,69	0,143	0,000095	0,233	1.376.474
CV (%)		13,42	19,01	20,14	1,98	13,82
Aveia preta						
Tratamentos	4	13,95 ^{**}	0,563 [*]	0,00340 ^{**}	100,29 ^{**}	3.184.768 ^{**}
Resíduo	15	1,17	0,145	0,00054	1,46	288.481
CV (%)		12,18	10,90	15,92	3,74	29,93

** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

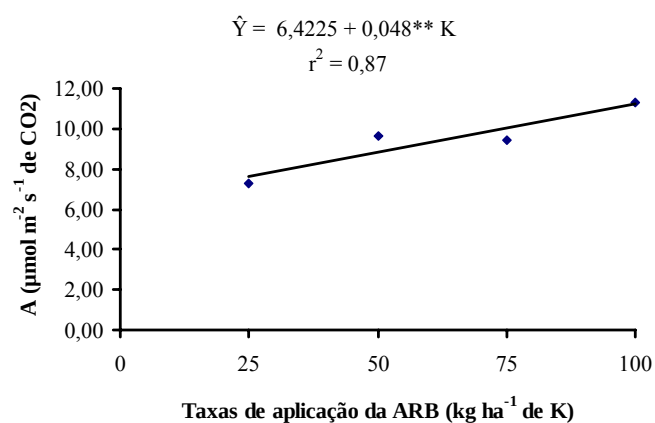
ns - não significativo a 5%.

A análise de regressão dos dados da aveia preta revelou que a taxa fotossintética aumentou linearmente em resposta às taxas de aplicação crescentes da ARB, enquanto a condutância estomática variou conforme o modelo quadrático, mostrando tendência de redução de seus valores para taxas de aplicação acima de 60 kg ha⁻¹ de K na ARB, que representa o ponto de máximo da curva (Figura 2.2). Esses resultados indicam fechamento estomático em razão do possível efeito osmótico causado pelas taxas de aplicação superiores a 60 kg ha⁻¹ de K na ARB. Porém, as taxas fotossintéticas apresentaram incremento, não caracterizando estresse. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), o efeito da redução da condutância estomática pode ser eliminado pelo suprimento alto de CO₂, que manteria a taxa fotossintética em níveis adequados, o que é coerente com o comportamento observado no presente estudo, haja vista que o experimento foi realizado em condições de casa de vegetação.

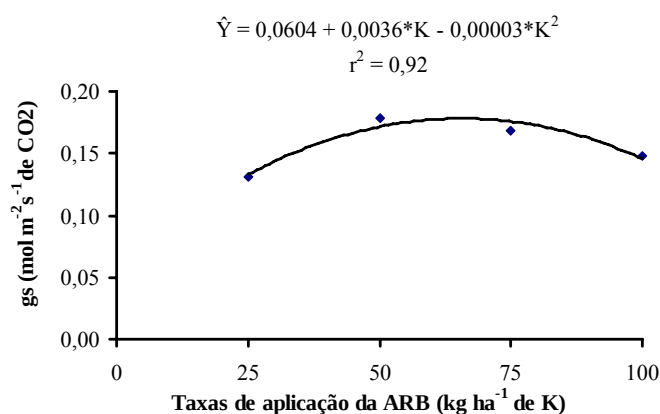
Quadro 2.3 – Valores médios de taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E) e condutância estomática (gs) de plantas de capim-Tifton 85 e aveia preta em função das taxas de aplicação da ARB

Forrageira	Tratamentos				
	Testemunha	25	50	75	100
A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2)					
Tifton 85	9,482	12,401	13,686	12,633	12,524
Aveia preta	6,766	7,278	9,624 *	9,456 *	11,335 *
E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de H_2O)					
Tifton 85	1,913	1,879	2,299	1,915	1,924
Aveia preta	2,901	3,433	3,916 *	3,611 *	3,620 *
Gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2)					
Tifton 85	0,047	0,051	0,058	0,043	0,043
Aveia preta	0,107	0,130	0,179 *	0,169 *	0,148 *

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.



(A)



(B)

Figura 2.2 – Taxa fotossintética (A) e condutância estomática (B) da aveia preta em função das taxas de aplicação da ARB.

** e * são significativos a 1 e 5 %, respectivamente, pelo teste t.

Os modelos de regressão para as taxas transpiratórias da aveia e do Tifton 85 e para taxa fotossintética e condutância estomática do Tifton 85 não apresentaram significância.

Esses resultados indicam que as plantas não sofreram estresse devido ao efeito osmótico ou por toxicidade de íons presentes na ARB, dentro do intervalo das taxas de aplicação utilizadas. Parida e Bandhu (2005) relataram que, em altas concentrações salinas, a eficiência fotossintética de diversas culturas é afetada de forma significativa. No entanto, caso os efeitos osmóticos e de íons-específicos decorrentes da absorção de sais presentes na ARB excedessem, na solução do solo, o nível de tolerância das plantas, a fotossíntese seria limitada, não somente devido ao fechamento estomático, mas, também, devido ao efeito do sal nos cloroplastos (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

2.3.2 Índice SPAD

A análise de variância revelou efeito significativo ($P < 0,05$) para as leituras de clorofila realizadas por meio do Chlorophyll Meter SPAD-502 nas lâminas de folhas do capim-Tifton 85 e da aveia preta, em função das taxas de aplicação da ARB (Quadro 2.2).

Conforme observado pelo teste de médias (Quadro 2.4), em ambas as forrageiras, a taxa de aplicação da ARB correspondente à maior dose de K apresentou valores máximos de leitura SPAD, indicando que esse tratamento propiciou maior teor de clorofila na folha, em função de um maior aporte de nutrientes ao solo, principalmente o nitrogênio.

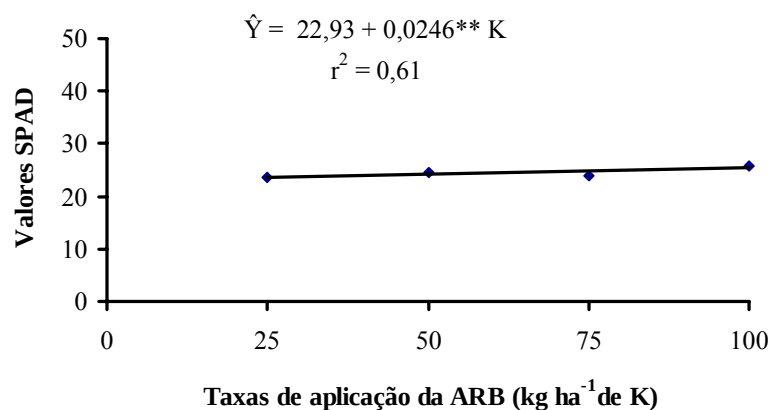
Esses resultados estão coerentes com aqueles relatados por Bullock e Anderson (1998), ao afirmarem que, à medida que a disponibilidade de nitrogênio no solo aumenta, mais clorofila é produzida nas folhas das plantas, que respondem com o aumento da intensidade da coloração verde, detectada pelo clorofilômetro. Por outro lado, sugere-se que o desbotamento dos pigmentos foliares esteja diretamente relacionado à degradação do conteúdo de clorofila, em consequência do efeito da salinidade (Lutts et al. 1996; Herralde et al. 1998; Chen et al. 1999). Rosa-Ibarra e Maiti, (1995) observaram que elevadas concentrações de NaCl podem aumentar a degradação de clorofilas via atividade clorofilase, ou diminuir a sua síntese, em virtude da competição por nitrogênio com outros compostos, como prolina.

Quadro 2.4 – Valores médios do índice SPAD de plantas de capim-Tifton 85 e aveia preta em função das doses de K na ARB

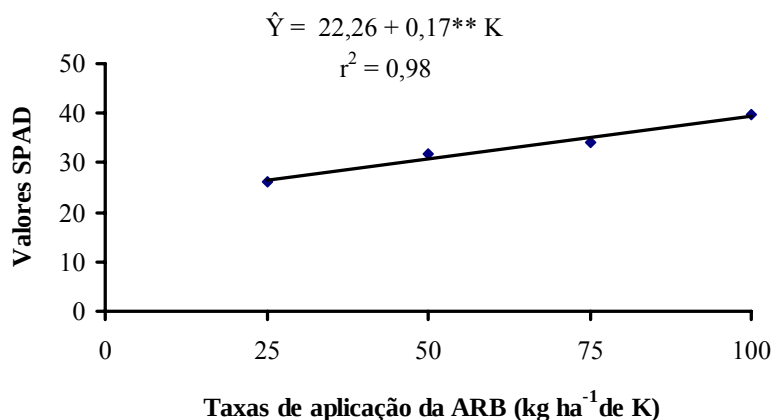
Forrageiras	Tratamentos				
	Testemunha	25	50	75	100
Tifton 85	24,1	23,6	24,6	23,9	25,8 *
Aveia preta	29,9	26,2 *	31,7	34,2 *	39,6 *

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

A variação no valor das unidades SPAD foi melhor representada pelo modelo linear, em ambas as forrageiras, conforme pode-se observar na Figura 2.3. Esses resultados diferem daqueles apresentados por Premazzi et al. (2003), que avaliou o efeito de doses de N sobre o valor SPAD em capim-Tifton 85, encontrando modelos de resposta quadráticos.



(A)



(B)

Figura 2.3 – Valores SPAD para o capim-Tifton 85 (A) e aveia preta (B) em função da concentração de potássio na ARB.

** - significativo a 1 %, pelo teste t.

Com base nesses resultados, pode-se inferir que os valores SPAD obtidos no presente trabalho, para ambas as forrageiras, demonstram que as taxas de aplicação

utilizadas não foram suficientes para causar problemas osmóticos ou de direta toxicidade.

2.3.3 Rendimento acumulado de matéria seca na parte aérea

A análise de variância do rendimento de matéria seca indica que houve efeito significativo dos tratamentos ($P < 0,01$) em ambas as forrageiras. (Quadro 2.2). Observa-se no Quadro 2.5 que, para o capim-Tifton 85, o tratamento correspondente à maior taxa de aplicação da ARB, proporcionou rendimento semelhante ao da testemunha e superiores aos dos demais. Por outro lado, para a aveia preta, apenas os tratamentos 25 e 50 diferiram da testemunha. Entretanto, quando se considera o rendimento total (Tifton 85 + aveia), apenas o tratamento 100 foi igual ao da testemunha. Esse fato demonstra que a maior taxa de aplicação da ARB, do ponto de vista da produção de matéria seca, substituiu a adubação mineral com eficiência.

Quadro 2.5 – Valores médios de rendimento acumulado de matéria seca por planta e total (kg ha^{-1}) para as forrageiras utilizadas, em função das taxas de aplicação da ARB

Forrageira	Tratamentos				
	Testemunha	25	50	75	100
Tifton 85 ¹	11.163	6.385 *	7.112 *	7.811 *	9.980
Aveia preta ²	2.385	650 *	1.177 *	1.902	2.860
Total	13.548	7.035 *	8.289 *	9.713 *	12.840

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

¹ somatório de 4 cortes

² corte único

A análise de regressão indica que, para as taxas de aplicação utilizadas, ambas as forrageiras apresentaram resposta linear positiva para esta variável (Figura 2.4). Esses resultados confirmam, mais uma vez, que as plantas não sofreram estresse devido à composição da ARB.

Os valores dos coeficientes angulares das retas ajustadas demonstram que o capim-Tifton 85 apresentou maior eficiência de resposta, produzindo 49,937 kg de matéria seca para cada 1 kg de K fornecido pela ARB, comparativamente à aveia preta que produziu 29,411 kg de MS por kg de K. É importante observar que, considerando-se a soma de rendimentos das duas gramíneas, a resposta passa a ser de 75,34 kg de matéria seca por kg de K, confirmando a hipótese de que a consorciação das duas gramíneas no período de outono-inverno é interessante e melhora a eficiência de resposta do sistema.

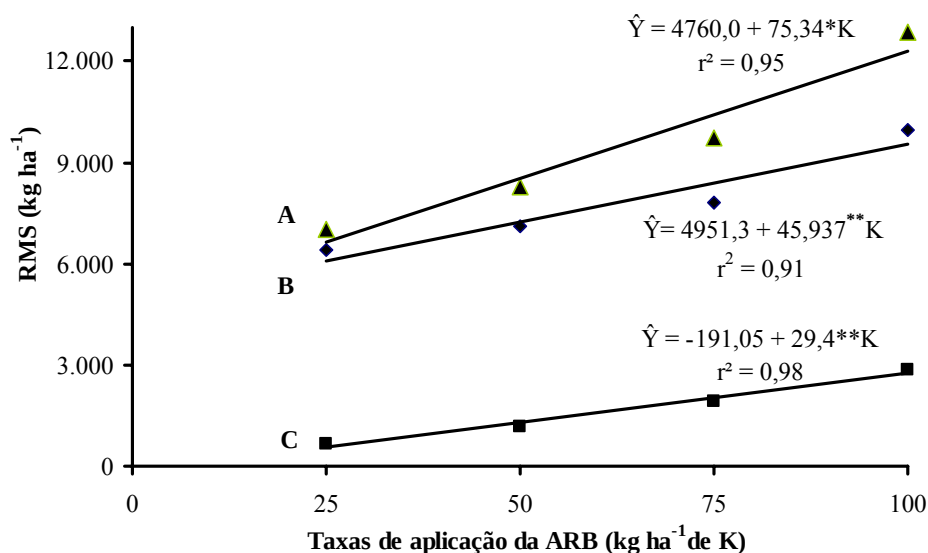


Figura 2.4 – Rendimento de matéria seca da parte aérea do capim-Tifton 85 em 4 cortes (B), aveia preta em corte único (C) e total (A), em função das taxas de aplicação de ARB.

** e * são coeficientes significativos a 1 e 5 %, respectivamente, pelo teste t.

Resultados positivos sobre o rendimento de matéria seca, em razão da aplicação de águas residuárias no sistema solo-planta, têm sido, também, freqüentes na literatura internacional, incluindo aumento no rendimento em pastos de alfafa (*Medicago sativa* L.) (Bole & Bell, 1978; Day et al., 1982; Darwish et al., 1999; Grattan et al., 2004), azevém-perene (*Lolium perenne* L.) (Quin & Woods, 1978), capim-bermuda (*Cynodon dactylon*) (Hayes et al., 1990; Grattan et al., 2004), capim-de-Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) (Feigin et al., 1978; Vaisman et al., 1981), capim-quicuío (*Pennisetum clandestinum* Chiov) (Grattan et al., 2004), capim-elefante cv. Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) (Jeyaraman, 1988) e no milho (*Zea mays* L.) (Overman & Nguy, 1975; Overman, 1981; Adekalu & Okunade, 2002; Mohammad & Ayadi, 2004).

Queiroz et al. (2001) encontraram rendimento de 17.770,7 kg ha⁻¹ de matéria seca para o Tifton 85, trabalhando com água residuária de suinocultura. Oliveira et al. (2000a) avaliaram o crescimento deste capim em diferentes idades de rebrota e encontraram valores de produção de matéria seca variando de 3,13 a 12,32 t ha⁻¹, dos 14 aos 70 dias de rebrota, respectivamente. É provável que as diferenças entre os valores absolutos citados e os obtidos no presente estudo sejam devidas às condições

ambientais e de manejo dos trabalhos, como água utilizada, clima, número e intervalo entre cortes.

Martim (1997), avaliando doses de nitrogênio e potássio para a produção dos capins Tifton 85 e Coastcross 1, encontrou, também, modelos de resposta linear positiva para produção de matéria seca em função dos níveis de N e K. Porém, o efeito do potássio só foi significativo no segundo e terceiro cortes.

Os valores de rendimento forrageiro encontrados para a aveia preta, no presente trabalho, estão inferiores aos citados na literatura (Prado et al., 2006; Matos et al., 2005; Matos et al., 2003; Darós, 1997; Hernani et al., 1995; Ferreira et al., 1991; Pitol, 1988). Esses menores rendimentos, provavelmente, se devem ao fato de a aveia preta ser cultivada em consórcio com o capim-Tifton 85 e também, ao tipo de água utilizada, número de cortes e condições climáticas, conforme apresentado na Figura 2.1.

2.3.4 Altura das plantas

A altura das plantas avaliada para os cortes 1, 2 e 3, do capim-Tifton 85, foi influenciada pelas taxas de aplicação da ARB, cortes ($P < 0,01$) e interação entre taxas e cortes ($P < 0,05$) (Quadro 2.6). Para o corte único da aveia preta, a análise de variância também indicou efeito significativo ($P < 0,01$) das taxas de aplicação da água residuária.

Quadro 2.6 – Resumo da análise de variância para as variáveis altura e relação lâmina/colmo das forrageiras avaliadas

Forrageira	Variável	Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Tifton 85	Altura	Tratamento	4	374,62**
		erro A	15	13,35
		Corte	2	9222,45**
		Tratamento x Corte	8	19,65*
		Resíduo	30	8,36
	Relação Lâmina/colmo	Tratamento	4	0,314*
		Erro A	15	0,090
		Corte	2	5,674**
		Tratamento x Corte	8	0,076 ^{ns}
		Resíduo	30	0,083
Aveia preta	Altura	Tratamento	4	880,1**
		Resíduo	15	15,1

** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo

Com base nos valores apresentados no Quadro 2.7 e na Figura 2.6, pode-se observar que houve redução na altura do capim-Tifton 85 com a sucessão dos cortes.

Isto se deve, principalmente, às diferentes condições climáticas em cada ciclo (Figura 2.1), onde a luminosidade e a temperatura decrescentes influenciaram negativamente o desenvolvimento da forrageira. De acordo com Oliveira et al. (2000b), esses fatores influenciam o filocrono (número de dias entre o aparecimento de duas folhas sucessivas em gramíneas) que, por sua vez, afetam o desenvolvimento da planta.

Quadro 2.7 – Valores médios de altura (cm) das plantas forrageiras, em função das taxas de aplicação da ARB e dos cortes

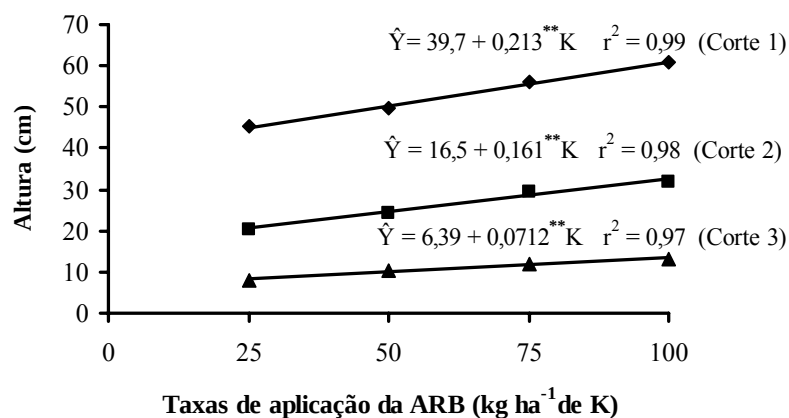
Corte	Tratamentos				
	Testemunha	25	50	75	100
Tifton 85					
1	61,5 a	45,4 a *	49,6 a *	56,1 a	61,0 a
2	36,7 b	20,3 b *	24,4 b *	29,6 b *	32,0 b
3	17,2 c	7,9 c *	10,3 c *	12,1 c	13,2 c
Aveia preta					
Único	48,9	22,1 *	34,8 *	46,9	61,0 *

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

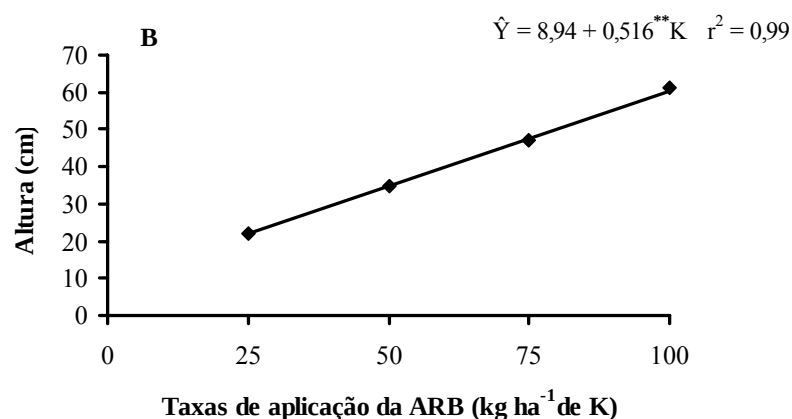
Médias seguidas por mesma letra minúscula, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No primeiro corte, os valores de altura medidos para o capim-Tifton 85, aqui encontrados, estão próximos aos obtidos por Oliveira et al. (2000a) e por Abrahão (2006), porém, nos dois últimos cortes, os valores são inferiores, principalmente devido às épocas diferentes de cultivo, com distintas condições de radiação solar, temperatura e comprimento de dias. A altura das plantas de aveia preta apresentou valores menores que os relatados (Prado et al., 2006; Darós, 1997; Ferreira et al., 1991), possivelmente devido aos mesmos fatores citados anteriormente, haja vista que a semeadura da aveia ocorreu mais tarde do que o recomendado para a região de Viçosa-MG, além da competição devido ao cultivo consorciado.

Os gráficos apresentados na Figura 2.6 demonstram que houve efeito linear positivo das taxas de aplicação da ARB sobre a altura de ambas as plantas. Esses resultados também confirmam a hipótese de que as taxas de aplicação utilizadas não foram suficientes para causar estresse nas plantas, sugerindo que estudos com maiores taxas de aplicação devam ser efetuados, de modo a atingir um valor máximo a partir do qual as respostas das plantas passem a ser decrescentes.



(A)



(B)

Figura 2.6 – Altura das plantas de capim-Tifton 85, cortes 1, 2 e 3 (A) e, aveia preta (B) em função das taxas de aplicação da ARB.

** são coeficientes significativos a 1 %, pelo teste t.

2.3.5 Relação lâmina foliar/colmo

A análise de variância da relação lâmina/colmo para os três cortes do capim-Tifton 85 demonstra efeito significativo dos cortes ($P < 0,01$) e das taxas de aplicação da ARB ($P < 0,05$), porém, a interação entre doses e cortes não foi significativa (Quadro 2.6). Esta variável não foi avaliada para a aveia preta.

Com base nos valores apresentados nos Quadros 2.8 e 2.9, pode-se observar que a principal variação observada foi o aumento na relação lâmina/colmo do primeiro para o terceiro corte. Esse fato pode ser explicado pelas diferentes condições climáticas durante os três ciclos de corte (Figura 2.1), causando menor crescimento das plantas (redução das alturas) em função do menor alongamento e diâmetro dos colmos, o que gerou aumento proporcional de folhas. De acordo com Chacon et al. (1978), sob o aspecto do valor nutritivo, a maior relação lâmina/colmo é de grande importância, haja vista que as folhas normalmente possuem melhor valor

nutricional, além da preferência dos animais em consumirem mais folhas que colmos. Para Oliveira et al. (2000a), valores para a relação lâmina/colmo inferiores a 1,0 podem comprometer a qualidade da forragem.

Quadro 2.8 – Valores médios da relação lâmina/colmo em plantas de capim-Tifton 85, em cada corte

Cortes		
1	2	3
1,15 a	1,61 b	2,22 c

Médias seguidas por mesma letra, não diferem entre si estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Quadro 2.9 – Valores médios da relação lâmina/colmo em plantas de capim-Tifton 85, em função das taxas de aplicação da ARB

Tratamentos				
Testemunha	25	50	75	100
1,40	1,73*	1,63	1,69*	1,84*

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

Em média, os valores encontrados para a relação lâmina/colmo estão superiores aos citados por Gomide et al. (1997); Martim (1997); Oliveira et al. (2000a) e Alves et al. (2001). A maioria desses trabalhos relata aumentos na relação lâmina/colmo em resposta ao incremento na dose do adubo nitrogenado. Estudo realizado por Martim (1997), avaliando doses de N e K em capim-Tifton 85 e Coastcross 1, revelou que as doses de N atuaram no sentido de aumentar a proporção de folhas e, as de K, a proporção de colmos. Os modelos de regressão para a relação lâmina/colmo do capim-Tifton 85 em função das taxas de aplicação da ARB não apresentaram significância estatística.

2.3.6 Composição químico-bromatológica das forrageiras

2.3.6.1 Conteúdo de proteína bruta

O conteúdo de proteína bruta (CPB) na matéria seca do capim-Tifton 85 foi influenciado pela interação entre tratamentos e cortes e, da aveia preta, pelos tratamentos ($P < 0,01$) (Quadro 2.10).

Com base no resultado dos testes de médias apresentados no Quadro 2.11, verifica-se que os conteúdos de proteína bruta obtidos com a maior taxa de aplicação da ARB foram sempre superiores à testemunha, para todos os cortes, em ambas as

forrageiras. Com exceção do primeiro corte do capim-Tifton 85, esses valores são superiores a 7,0 dag kg⁻¹, considerado como o limite mínimo necessário pelos microrganismos do rúmen para bovinos adultos (National Resource Council- NRC, 1984).

Quadro 2.10 – Resumo da análise de variância para composição químico-bromatológica das forrageiras avaliadas

Forrageira	Fonte de Variação	GL	CPB	P	K	Ca
			Quadrados Médios			
Tifton 85	Tratamento	4	23,37**	0,024**	0,34**	0,057**
	erro A	15	0,13	0,00019	0,008	0,0035
	Corte	2	162,61**	0,041**	1,99**	0,14**
	Tratamento x Corte	8	2,75**	0,0051**	0,04**	0,0047**
	Resíduo	30	0,22	0,00032	0,007	0,00097
Aveia preta	Tratamento	4	13,93**	0,019**	1,28**	0,0125**
	Resíduo	15	0,26	0,00054	0,036	0,0004

Forrageira	Fonte de Variação	GL	Mg	Na	Cu	Zn
			Quadrados Médios			
Tifton 85	Tratamento	4	0,001**	0,0005**	5,28**	69,88**
	erro A	15	0,0003	0,00002	0,87	17,59
	Corte	2	0,058**	0,0045**	458,76**	8796,9**
	Tratamento x Corte	8	0,001**	0,0006**	3,81**	44,88**
	Resíduo	30	0,00005	0,000026	0,71	6,43
Aveia Preta	Tratamento	4	0,002**	0,016**	0,566**	2,74**
	Resíduo	15	0,00014	0,00013	0,102	0,34

** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo

Os valores de CPB do capim-Tifton 85, referentes à máxima concentração da ARB, foram inferiores aos obtidos por Queiroz et al. (2001), que encontrou valores de 19,28 e 19,19 dag kg⁻¹, no primeiro e segundo cortes, respectivamente, aplicando água residuária de suinocultura. Porém, estão próximos aos obtidos por Rocha et al.(2003); Menegatti et al. (2002) e Ribeiro et al. (2000) que relatam valores variando de 5,0 a 15,0 dag kg⁻¹.

Verificam-se incrementos nos conteúdos de PB, com a sucessão dos cortes, o que pode ser atribuído ao efeito de concentração do nitrogênio nas menores quantidades de matéria seca acumuladas, indicando que o nutriente foi absorvido, mas não eficientemente metabolizado, em razão dos fatores limitantes ao crescimento das plantas.

Quadro 2.11 – Valores médios do conteúdo de proteína bruta (dag kg⁻¹) das plantas forrageiras utilizadas no experimento, em função das taxas de aplicação da ARB

Corte	Tratamentos				
	Testemunha	25	50	75	100
Tifton 85					
1	4,59 d	6,37 b *	6,71 c *	7,07 b *	6,89 d *
2	6,78 c	7,04 b	8,15 b *	7,35 b	8,35 c *
3	9,47 b	10,46 a *	10,84 a *	13,17 a *	13,80 b *
4	10,45 a	10,74 a	11,61 a *	12,54 a *	14,75 a *
Aveia preta					
Único	6,36	9,20 *	9,67 *	10,68 *	11,12 *

- Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

- Médias seguidas por mesma letra minúscula, na coluna, não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação à aveia preta, os valores obtidos de CPB, em média, estão inferiores aos citados na literatura (Ferolla et al., 2008; Prado et al., 2006; Nakagawa & Rosolem, 2005; Primavesi et al., 1999) e aos verificados por Matos et al. (2003), que foi de 14,53 dag kg⁻¹, usando água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro em rampas de tratamento. Essa diferença pode ser devida à distinta composição das águas utilizadas e pelo efeito de competição entre o capim-Tifton 85 e a aveia preta, no quarto ciclo de corte.

Considerando-se a média dos quatro cortes para o capim-Tifton 85 e o corte único da aveia preta, a análise de regressão revela efeito linear positivo das taxas de aplicação da ARB sobre os conteúdos de proteína bruta (Figura 2.7). Esse comportamento está coerente com o aporte de nutrientes propiciado pela ARB, principalmente N, e concorda com os resultados relatados para o capim-Tifton 85 (Fonseca et al., 2007; Rocha et al., 2003; Menegatti et al., 2002) e, aveia preta (Lupatini et al., 1998). Esse fato indica que a utilização da ARB em fertirrigação de pastagens de Tiftons 85 e aveia preta, dentro das taxas de aplicação avaliadas, podem contribuir para a melhoria do valor nutritivo destas forrageiras.

Verifica-se, também, que a taxa de resposta do capim-Tifton 85 foi superior (0,0304 dag kg⁻¹ de PB por kg de K) a da aveia preta, com 0,0271 dag kg⁻¹ de PB para cada kg de K fornecido pela ARB.

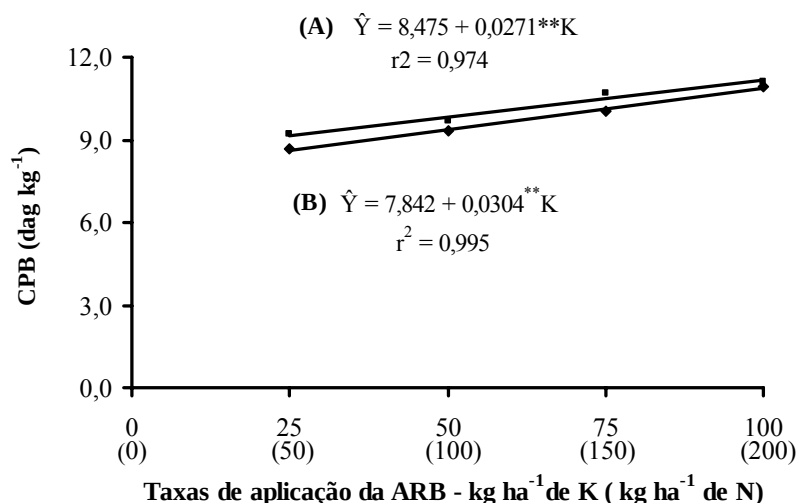


Figura 2.7 – Conteúdo de proteína bruta na matéria seca (CPB) em plantas de aveia preta (A) e capim-Tifton 85 (B) em função das taxas de aplicação da ARB (Os valores entre parênteses correspondem às doses aproximadas de N fornecidas pela ARB).

** são coeficientes significativos a 1 %, pelo teste t.

2.3.6.2 Composição mineral das gramíneas forrageiras

A concentração de minerais no capim-Tifton 85 foi influenciada pela interação entre tratamentos e cortes ($P < 0,01$) e, na aveia preta, pelos tratamentos ($P < 0,01$) (Quadro 2.10). Os resultados dos testes de médias destas variáveis para ambas as forrageiras estão apresentados nos Quadros 2.12 e 2.13 e, demonstram diferenças significativas para todos os nutrientes avaliados, entre a testemunha e a maioria dos tratamentos.

Quadro 2.12 – Valores médios da concentração de minerais na matéria seca da aveia preta, em função das taxas de aplicação da ARB

Mineral	Tratamentos				
	Testemunha	25	50	75	100
P	0,20	0,32 *	0,34 *	0,38 *	0,35 *
K	0,76	1,62 *	1,78 *	2,03 *	2,22 *
Ca dag kg ⁻¹	0,35	0,48 *	0,44 *	0,47 *	0,48 *
Mg	0,02	0,07 *	0,06 *	0,07 *	0,07 *
Na	0,23	0,16 *	0,19 *	0,22	0,33 *
Cu	1,73	2,68 *	2,03	2,34 *	1,90
Zn mg kg ⁻¹	0,44	2,43 *	2,27 *	2,12 *	2,30 *

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

Quadro 2.13 – Valores médios da concentração de minerais na matéria seca do capim-Tifton 85, em função das taxas de aplicação da ARB

Mineral	Corte	Tratamentos				
		Testemunha	25	50	75	100
P (dag kg ⁻¹)	1	0,13 b	0,17 c *	0,18 c *	0,19 cb *	0,18 c *
	2	0,13 b	0,21 b *	0,18 c *	0,18 b *	0,22 b *
	3	0,15 ab	0,23 b *	0,27 b *	0,28 a *	0,31 a *
	4	0,19 a	0,34 a *	0,33 a *	0,22 b *	0,25 b *
K (dag kg ⁻¹)	1	1,62 a	1,64 a	1,84 a *	1,76 b	1,88 b *
	2	1,73 a	1,62 a	1,71 a	1,80 b	1,87 b
	3	1,77 a	1,55 a *	1,84 a	2,00 a *	2,07 a *
	4	0,96 b	1,05 b	1,10 b	1,12 c *	1,55 c *
Ca (dag kg ⁻¹)	1	0,20 b	0,33 b *	0,32 b *	0,29 b *	0,32 b *
	2	0,38 a	0,52 a *	0,55 a *	0,42 a	0,44 a
	3	0,40 a	0,56 a *	0,50 a *	0,46 a	0,45 a
	4	0,38 a	0,57 a *	0,45 a *	0,45 a *	0,38 a
Mg (dag kg ⁻¹)	1	0,14 b	0,13 b	0,13 b	0,13 b	0,15 b
	2	0,18 a	0,13 b *	0,12 b *	0,13 b *	0,14 b *
	3	0,18 a	0,15 a *	0,16 a *	0,17 a	0,19 a
	4	0,03 c	0,07 c *	0,05 c *	0,04 c	0,05 c *
Na (dag kg ⁻¹)	1	0,03 b	0,03 b	0,03 b	0,03 a	0,03 a
	2	0,03 b	0,03 b	0,03 b	0,03 a	0,03 a
	3	0,02 b	0,03 b *	0,03 b *	0,04 a *	0,04 a *
	4	0,06 a	0,10 a *	0,06 a	0,04 a *	0,05 a *
Cu (mg kg ⁻¹)	1	9,09 a	10,06 a	8,63 b	8,10 c	8,81 c
	2	9,92 a	11,35 a	12,03 a *	10,49 b	11,69 b *
	3	9,27 a	10,54 a	11,41 a *	12,77 a *	13,29 a *
	4	0,77 b	1,91 b	0,95 c	0,87 d	1,39 d
Zn (mg kg ⁻¹)	1	39,66 ab	44,48 b	41,82 ab	34,66 c	33,25 c *
	2	35,83 b	39,96 b	40,88 b	41,30 b *	43,27 b *
	3	41,26 a	53,23 a *	46,19 a	48,80 a *	50,09 a *
	4	0,43 c	2,64 c	0,92 c	0,53 d	1,17 d

Médias com asterisco, na linha, diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett.

Médias seguidas por mesma letra minúscula, na coluna, não diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, para cada mineral.

Fósforo

Observa-se que, em todos os tratamentos que receberam ARB, a concentração de P, em ambas as forrageiras, foi superior aos obtidos na testemunha. Para o capim-Tifton 85, houve tendência de aumento do teor de P nas plantas na evolução dos cortes, o que pode ser explicado pelo efeito cumulativo no solo, causado pelo aporte deste nutriente ao longo do período experimental.

Os teores médios de P do capim-Tifton 85 encontram-se, no presente trabalho, próximos aos relatados por Adeli et al. (2006), McLaughlin et al. (2004) e Ribeiro et al. (2000), porém, menores que aqueles apresentados nos trabalhos de

McCullough et al. (2006), Abrahão (2006), Queiroz (2000) e Oliveira et al. (2000a). Já para a aveia preta, esses teores estão superiores aos encontrados por McDonald & Wilson (1980), Primavesi et al. (1999), Santi et al. (2003), Matos et al. (2005) e Prado et al. (2006).

Os modelos de regressão para teor de fósforo como função das taxas de aplicação da ARB, para o capim-Tifton 85 e a aveia preta, não apresentaram significância estatística, indicando que, em ambas as forrageiras, os teores de P na matéria seca não variaram à medida que aumentaram-se as taxas de aplicação da ARB, comportamento já observado para a aveia (Krzywy & Woloszyk, 1984) e grama bermuda (Adeli et al., 2006).

Potássio

O resultado do teste de médias indica redução significativa no teor de K nas plantas do capim-Tifton 85, no quarto corte, em todos os tratamentos (Quadro 2.13). Esse comportamento demonstra que o efeito da competição entre as duas forrageiras foi maior que o efeito cumulativo no solo, causado pelo aporte desse nutriente ao longo do período experimental. Observando-se a Figura 1.7 (Capítulo 1), nota-se que, a partir da sobressemeadura da aveia preta, em torno dos 153 dias, a concentração de K no solo decresceu nas camadas inferiores a 10 cm, justificando a redução no quarto corte. Por outro lado, os teores de K nas plantas de aveia preta que receberam ARB (Quadro 2.12) apresentaram valores superiores aos do Tifton 85, indicando ser a aveia mais competitiva na absorção de K.

Para o capim-Tifton 85, os teores obtidos são inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2000a); Queiroz et al. (2001); McLaughlin et al. (2004) e Adeli et al. (2006). Porém, são superiores aos relatados nos trabalhos de Ribeiro et al. (2000) e McCullough et al. (2006) e, semelhantes aos obtidos por Abrahão (2006). Já para a aveia preta, esses teores estão inferiores aos relatados por Matos et al. (2005) e, dentro da mesma faixa encontrada por Santi et al. (2003) e Prado et al. (2006), embora, no presente trabalho, a aveia tenha sido cultivada em sistema de consórcio.

A análise de regressão demonstra efeito linear positivo ($P < 0,01$) das taxas de aplicação da ARB sobre os teores de K, em ambas as forrageiras, conforme pode ser observado na Figura 2.8. A aveia preta, porém, apresentou resposta mais intensa para esta variável, confirmando ser mais competitiva na absorção de K, quando comparada ao capim-Tifton 85.

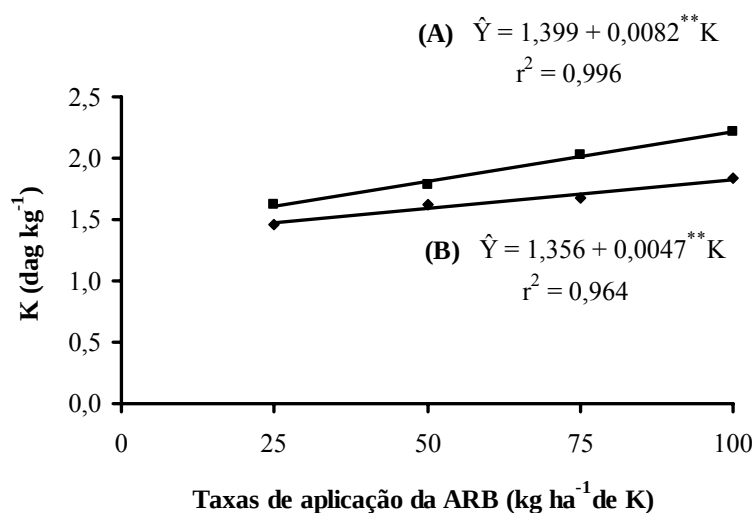


Figura 2.8 – Teor médio de potássio (K) em plantas de aveia preta (A) e capim-Tifton 85 (B) em função das taxas de aplicação da ARB.

** são coeficientes significativos a 1 %, pelo teste t.

Cálcio

Os tratamentos que receberam ARB apresentaram teores de Ca superiores aos da testemunha, em ambas forrageiras (Quadro 2.12 e 2.13). Observa-se também tendência de aumento nos teores de Ca no capim-Tifton 85, do primeiro para o quarto corte, em todos os tratamentos, sugerindo o efeito cumulativo deste nutriente no solo, com a aplicação da ARB, conforme pode ser comprovado pelas concentrações de Ca no solo (Figura 1.9). Por outro lado, não se observa efeito de competição pelo cálcio, no quarto corte, entre as duas forrageiras.

No geral, os teores obtidos para o capim-Tifton 85 estão semelhantes aos relatados em diversos trabalhos (Adeli et al., 2006; Queiroz et al., 2001; Oliveira et al., 2000a; Ribeiro et al., 2000 e; Martin, 1997) porém, superiores aos encontrados por McCullough et al. (2006). Já para a aveia preta, esses teores são inferiores aos obtidos por Matos et al. (2005) e, assemelham-se aos encontrados por Prado et al. (2006), Santi et al. (2003) e McDonald & Wilson (1980).

A análise de regressão demonstra efeito linear negativo das taxas de aplicação da ARB sobre os teores de Ca para o capim-Tifton 85, conforme pode ser observado na Figura 2.9. Resultados semelhantes, mostrando decréscimo no teor de Ca em plantas de grama-bermuda, decorrente da aplicação de matéria orgânica, N e K, têm sido relatados (Adeli et al., 2006; Rocha, 1999 e Martim; 1997) e, podem estar relacionados com as crescentes doses de K propiciadas pelo efluente que, por efeito de competição, causaram decréscimo na absorção de Ca pelo capim-Tifton 85

(Soder & Stout, 2003). A relação entre as taxas de aplicação da ARB e os teores de Ca na planta, para a aveia preta, não se ajustaram aos modelos testados ($\hat{Y}=0,469$).

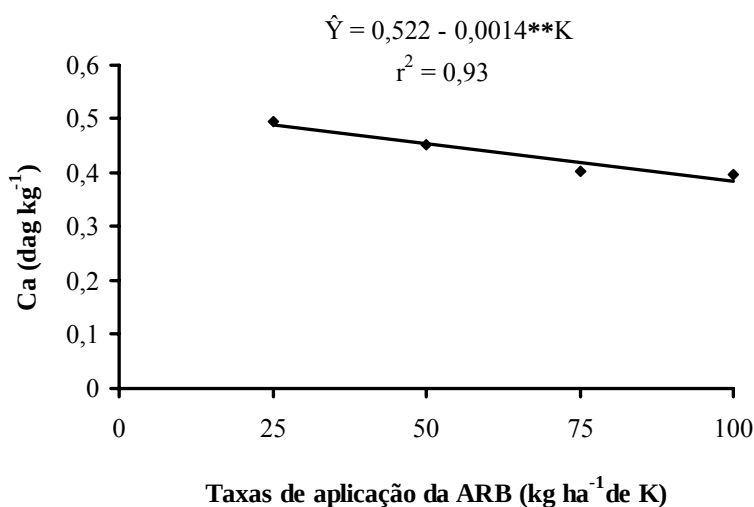


Figura 2.9 – Teor médio de cálcio (Ca) em plantas de capim-Tifton 85 em função das taxas de aplicação da ARB.

** são coeficientes significativos a 1 %, pelo teste t.

Magnésio

Observa-se, no Quadro 2.13, para o capim-Tifton 85, que apenas no quarto corte os tratamentos com ARB apresentaram teores de Mg superiores aos obtidos na testemunha e, nesse corte, ocorreu acentuada redução desse elemento em relação aos cortes anteriores. Para a aveia preta, os teores de Mg de todos os tratamentos foram superiores aos da testemunha, porém, apresentando valores relativamente baixos (Quadro 2.12). A redução dos teores de Mg no quarto corte pode ser explicada competição entre as duas gramíneas, no quarto ciclo.

Com exceção do quarto corte, os teores de Mg obtidos, no presente trabalho, para o capim-Tifton 85, estão próximos aos encontrados por McLaughlin et al. (2004) e Queiroz et al. (2001) e, inferiores aos relatados por Adeli et al. (2006); McCullough et al. (2006); Oliveira et al. (2000a); Rocha (1999) e Martin (1997). Já para a aveia preta, os teores de Mg encontrados no presente estudo estão superiores aos obtidos por Santi et al. (2003) e inferiores aos citados nos trabalhos de McDonald e Wilson (1980), Matos et al. (2005) e Prado et al. (2006).

Os modelos de regressão para os teores de magnésio, como função das taxas de aplicação da ARB, para o capim-Tifton 85 e a aveia preta, não apresentaram significância estatística, indicando que, em ambas as forrageiras, os teores de Mg na

matéria seca não variaram à medida que aumentaram-se as taxas de aplicação da ARB. Assim como para o cálcio, decréscimos nos teores de Mg para gramíneas do gênero *Cynodon* já foram observados (Adeli et al., 2006; Martin, 1997) e esse comportamento é justificado pela alta relação K:Mg no solo, pois, o excesso de K pode causar menor absorção de Ca e Mg pela planta (Malavolta, 1981).

Sódio

O resultado do teste de médias indica, no caso do capim-Tifton 85, que apenas no terceiro corte os tratamentos com ARB apresentaram teores de Na superiores aos obtidos na testemunha (Quadro 2.13). No quarto corte observa-se aumento significativo desse nutriente em relação aos cortes anteriores, provavelmente devido ao efeito cumulativo das aplicações (Figura 1.15 - Capítulo 1). Para a aveia preta, somente o tratamento correspondente a maior taxa de aplicação proporcionou concentração superior à obtida na testemunha, porém, em todos eles, os teores de Na estão, numericamente, bem superiores aos obtidos no Tifton 85, demonstrando que esta forrageira apresentou maior absorção de sódio. Ayers e Westcot (1999) classificam a aveia como uma forrageira moderadamente sensível à salinidade e, semitolerante ao sódio trocável, ao passo que as gramíneas do gênero *Cynodon* são consideradas tolerantes.

Segundo Epstein (1972), o sódio pode ser considerado um micronutriente e, o nível adequado deste elemento no tecido das plantas seria em torno de 10 mg.kg⁻¹ de matéria seca. Korndörfer (2006) relata que a concentração de sódio nas plantas pode variar de 0,0013 a 3,51 dag kg⁻¹, sendo considerado um elemento benéfico para muitas espécies, principalmente plantas com metabolismo C₄ e MAC (metabolismo ácido das crassuláceas). De acordo com Mengel e Kirkby (1987), o sódio está envolvido na regeneração do fosfoenolpiruvato em plantas C₄ e MAC, podendo substituir o potássio em algumas funções.

Os teores de sódio encontrados no presente trabalho, para o capim-Tifton 85, estão próximos aos obtidos por Abrahão (2006) e Queiroz et al. (2001) e, para a aveia preta, são inferiores aos relatados por McDonald e Wilson (1980), que obtiveram teores variando de 0,30 a 0,48 dag kg⁻¹, em diferentes datas de corte, porém, superiores aos 0,048 dag kg⁻¹ obtidos por Matos et al. (2005).

Observa-se efeito quadrático das taxas de aplicação da ARB sobre os teores de sódio em ambas as forrageiras (Figura 2.10), estimando-se valores mínimos de 0,159 e 0,035 dag kg⁻¹, nas taxas de aplicação de 36,7 e 80,0 kg ha⁻¹ de K na ARB,

para a aveia preta e o capim-Tifton 85, respectivamente. Esses resultados confirmam a tolerância do capim-Tifton 85 aos efeitos do sódio trocável, provavelmente por desenvolver estratégias fisiológicas para reduzir a absorção desse íon.

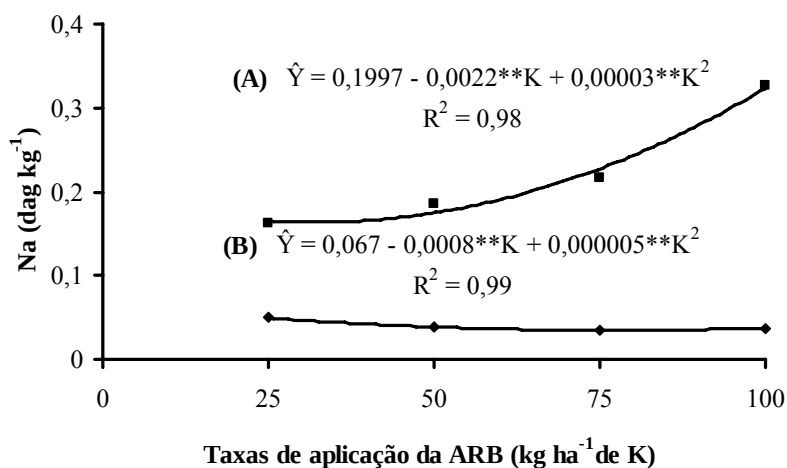


Figura 2.10 – Teores médios de sódio (Na) em plantas de aveia preta (A) e capim-Tifton 85 (B) em função das taxas de aplicação da ARB.

** são coeficientes significativos a 1 %, pelo teste t.

Cobre e Zinco

O resultado do teste de médias indica, para o capim-Tifton 85, que apenas no segundo e terceiro cortes os tratamentos apresentaram teores de cobre e zinco superiores aos da testemunha (Quadro 2.13). Observa-se forte redução nos teores desses elementos no quarto corte, que pode ser devido à diminuição da concentração dos mesmos na ARB, observada a partir do terceiro ciclo (Quadro 1.2 – Capítulo 1) e, também, devido à competição com a aveia preta, no quarto ciclo. Com exceção do quarto corte, os teores de cobre e zinco obtidos para o capim-Tifton 85 estão próximos aos relatados por Queiroz et al. (2001) e superiores aos observados por McLaughlin et al. (2004), ambos utilizando água residuária de suinocultura, porém, estão inferiores aos valores relatados por McCullough et al. (2006) que encontrou variações de 14 a 29 mg kg⁻¹ para o cobre e, de 46 a 59 mg kg⁻¹ para zinco. Dechen e Nachtigall (2006) consideram que as concentrações médias de Cu e Zn nas plantas variam de 5-20 e 20-50 mg kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente.

Para a aveia preta, a concentração de Cu no tecido vegetal do tratamento correspondente a maior taxa de aplicação não foi superior a da testemunha. No caso do zinco, todos os tratamentos apresentaram teores superiores aos da testemunha. Em geral, os teores obtidos estão inferiores aos relatados por McDonald e Wilson (1980) e Primavesi et al. (1999).

Observou-se efeito linear negativo das taxas de aplicação da ARB sobre os teores de cobre na aveia preta (Figura 2.11), enquanto que no caso do capim-Tifton 85, os modelos testados não apresentaram significância estatística. Por outro lado, os teores de zinco no capim-Tifton 85 ajustaram-se a um modelo quadrático (Figura 2.12), estimando-se valor mínimo de 31,3 dag kg⁻¹ para a dose de 78,84 kg ha⁻¹ de K na ARB. Já para a aveia preta, não foi observado efeito das taxas de aplicação da ARB sobre o teor de zinco no tecido vegetal.

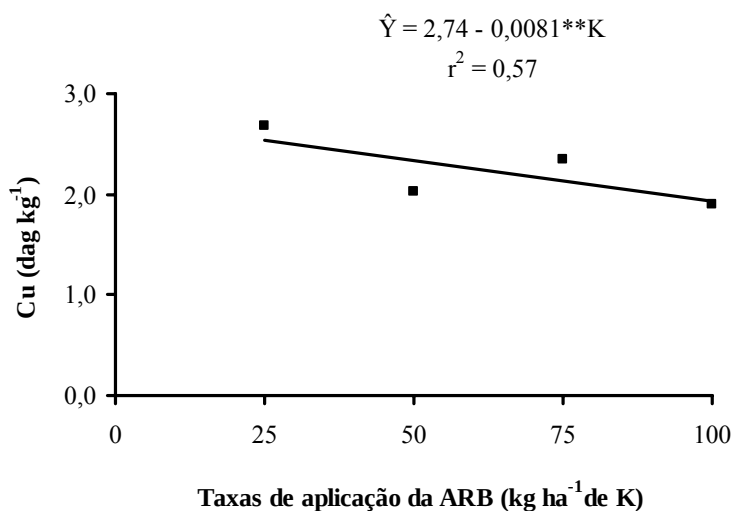


Figura 2.11 – Teor médio de cobre (Cu) em plantas de aveia preta em função das taxas de aplicação da ARB.

** são coeficientes significativos a 1%, pelo teste t.

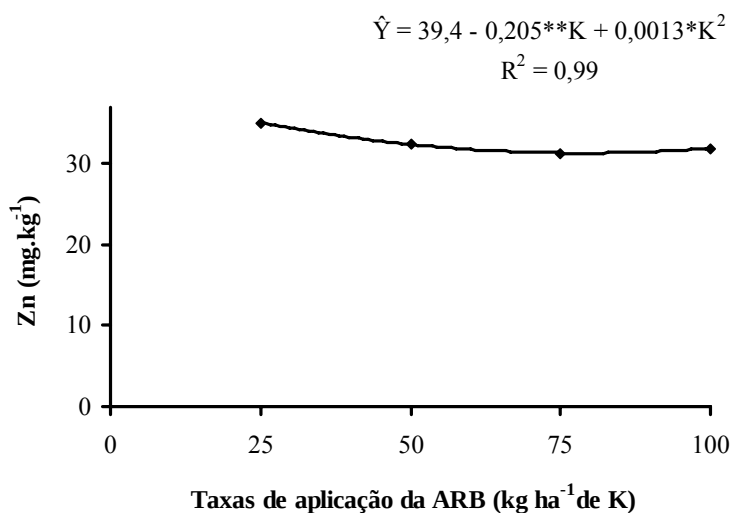


Figura 2.12 – Teor médio de zinco (Zn) em plantas de capim-Tifton 85 em função das taxas de aplicação da ARB.

* e ** são coeficientes significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

2.3.7 Remoção de nutrientes pelas forrageiras

A remoção de nutrientes pelas forrageiras foi influenciada ($P < 0,01$) pelos tratamentos, com exceção da extração de cálcio pelo capim-Tifton 85, que não foi significativa (Quadro 2.14). Em ambas as forrageiras, a quantidade absorvida de cada nutriente, no tratamento correspondente à maior taxa de aplicação da ARB, foi sempre igual ou superior à da testemunha, como revela o teste de médias (Quadro 2.15).

Quadro 2.14 – Resumo da análise de variância da remoção acumulada de nutrientes pelas forrageiras

Forrageira	Fonte de Variação	GL	N	P	K	Ca
			Quadrados Médios			
Tifton 85	Tratamento	4	3521,5**	55,9**	5551,6**	81,5 ^{ns}
	Resíduo	15	268,7	6,1	420,5	40,2
Aveia preta	Tratamento	4	976,0**	37,3**	1752,1**	65,2**
	Resíduo	15	70,0	3,1	95,6	5,7

Forrageira	Fonte de Variação	GL	Mg	Na	Cu	Zn
			Quadrados Médios			
Tifton 85	Tratamento	4	56,5**	1,96**	965,1**	12238,9**
	Resíduo	15	4,2	0,23	160,0	2554,7
Aveia preta	Tratamento	4	1,84**	41,9**	9,25**	20,2**
	Resíduo	15	0,12	2,3	1,10	1,4

** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

ns - não significativo

Quadro 2.15 – Valores médios da remoção total de nutrientes pelas forrageiras, em função das taxas de aplicação da ARB

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn
	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹		
Capim-Tifton 85 (4 cortes)								
Testemunha	120,6	15,4	186,2	34,9	17,5	3,5	101,9	414,5
25	75,8 *	12,7	103,4 *	27,8	8,7 *	2,1 *	67,5 *	284,4 *
50	91,9 *	14,6	125,1 *	30,7	9,0 *	2,3 *	71,7 *	290,8 *
75	110,7	16,2	141,0 *	30,0	10,6 *	2,5 *	75,6 *	302,4 *
100	153,8 *	22,6 *	187,1	39,1	14,2	3,6	96,6	356,8
Aveia preta (1 corte)								
Testemunha	24,3	4,8	18,1	8,3	0,5	5,4	4,1	1,1
25	9,5 *	2,1	10,3	3,2 *	0,4	1,0 *	1,7 *	1,4
50	18,2	4,0	21,0	5,2	0,8	2,2 *	2,4	2,7
75	32,5	7,2	38,5 *	9,0	1,3 *	4,1	4,4	4,0 *
100	50,5 *	10,0 *	62,7 *	13,7 *	2,0 *	9,4 *	5,4	6,6 *

Médias com asterisco, na coluna, diferem estatisticamente, em nível de 5% de probabilidade da testemunha, pelo teste de Dunnett, para cada forrageira.

Em termos quantitativos, a ordem decrescente de absorção dos macronutrientes analisados, com base no tratamento correspondente à maior taxa de aplicação da ARB, foi: $K > N > Ca > P > Mg$. Esta sequência ocorreu em ambas forrageiras e segue a concentração de nutrientes obtidos na parte aérea das mesmas. Para o capim-Tifton 85, Queiroz et al. (2004) e McLaughlin et al. (2004) encontraram a mesma ordem de extração, embora os valores absolutos obtidos nesses trabalhos tenham sido superiores, provavelmente em razão do maior número de cortes. Por outro lado, Adeli et al. (2006) e McCullough et al. (2006) observaram maior remoção de N em relação a de K. Para a aveia preta, a ordem de remoção foi a mesma encontrada por Santi et al. (2003) e Borkert et al. (2003).

Observa-se, também, que a absorção de sódio pela aveia preta, em apenas um corte, foi superior à do capim-Tifton 85, em quatro cortes, confirmando a maior tolerância desta ao sódio e, justificando seu uso em associação com outras gramíneas no período de outono-inverno, como “sumidouro” de Na^+ .

Em relação à remoção de cobre e zinco pelo capim-Tifton 85, os valores encontrados estão bastante superiores aos observados por McLaughlin et al. (2004) e, para a aveia preta, muito inferiores aos relatados por Borkert et al. (2003). A extração de todos os nutrientes analisados aumentou linearmente em função das taxas de aplicação da ARB, para ambas as forrageiras, conforme pode ser observado pelas equações de regressão ajustadas (Quadro 2.16). Esse comportamento ratifica a capacidade extratora das forrageiras avaliadas e o potencial de uso das mesmas em sistemas de disposição de águas residuárias, fato já observado por McLaughlin et al. (2004) e Queiroz et al. (2004), ambos trabalhando com gramíneas do gênero *Cynodon*, utilizando águas residuárias de suinocultura e, por Borkert et al. (2003) e Matos et al. (2005), que avaliaram a capacidade de acumulação de macro e micronutrientes na aveia preta como componente de sistemas de rotação de culturas em plantio direto e, em rampas de tratamento de águas residuárias.

Quadro 2.16 – Equações ajustadas da remoção total de nutrientes pelas plantas de capim-Tifton 85 e aveia preta, em função das doses de K na ARB

Elemento	Equações ajustadas	r ²
Capim-Tifton 85 (4 cortes)		
N	$\hat{Y} = 44,905 + 1,010^{**}K$	0,939
P	$\hat{Y} = 8,727 + 0,125^{**}K$	0,884
K	$\hat{Y} = 72,416 + 1,068^{**}K$	0,943
Ca	$\hat{Y} = 23,584 + 0,133^{*}K$	0,749
Mg	$\hat{Y} = 6,107 + 0,073^{**}K$	0,852
Na	$\hat{Y} = 1,425 + 0,019^{**}K$	0,841
Cu	$\hat{Y} = 55,042 + 0,365^{**}K$	0,828
Zn	$\hat{Y} = 251,363 + 0,915^{*}K$	0,802
Aveia preta (corte único)		
N	$\hat{Y} = - 6,697 + 0,550^{**}K$	0,977
P	$\hat{Y} = - 0,897 + 0,107^{**}K$	0,989
K	$\hat{Y} = - 10,533 + 0,698^{**}K$	0,971
Ca	$\hat{Y} = - 1,111 + 0,142^{**}K$	0,972
Mg	$\hat{Y} = - 0,205 + 0,021^{**}K$	0,970
Na	$\hat{Y} = - 2,548 + 0,107^{**}K$	0,889
Cu	$\hat{Y} = 0,184 + 0,053^{**}K$	0,965
Zn	$\hat{Y} = - 0,533 + 0,067^{**}K$	0,965

* e ** são coeficientes significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

2.4- CONCLUSÕES

As crescentes taxas de aplicação da água residuária de bovinocultura utilizadas sob forma de fertirrigação, calculadas com base na concentração de potássio, tiveram as seguintes consequências, para o capim-Tifton 85 e a aveia preta:

- Não reduziram a taxa fotossintética, a taxa transpiratória e a condutância estomática.
- Aumentaram os valores de leitura SPAD, indicando maior teor de clorofila na folha das plantas.
- Aumentaram a altura das plantas e o rendimento forrageiro.
- Não influenciaram a relação lâmina/colmo do capim-Tifton 85.
- Aumentaram o conteúdo de proteína bruta e os teores de K, Mg e Na no Tifton 85 e, de P e K na aveia preta.
- Reduziram os teores de Ca e Zn no Tifton 85 e de Na e Cu na aveia preta.
- Não influenciaram os teores de P e Cu na Tifton 85 e de Ca, Mg e Zn na aveia preta.
- Aumentaram a extração de N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu e Zn em ambas as forrageiras.

Os resultados permitem inferir que, em geral, a utilização da água residuária de bovinocultura não causou estresse devido ao efeito osmótico ou por toxicidade pelos elementos químicos analisados, propiciou absorção de nutrientes e rendimento forrageiro em níveis próximos aos recomendados e pode substituir, parcialmente, a adubação mineral para manutenção das forrageiras.

Dessa forma, o uso de águas residuárias de bovinocultura para a fertirrigação destas forrageiras, apresenta-se promissora como alternativa de gestão dos resíduos gerados e redução de custos em sistemas intensivos de exploração leiteira.

2.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, S.S. **Tratamento de água residuária de laticínios em sistemas alagados construídos cultivados com forrageira**. Viçosa: UFV, 2006. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

ADEKALU, K.O.; OKUNADE, D.A. Effects of pond water and sewage effluent treatments on yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.). **Tropical Agriculture**, v.79, p.120-124, 2002.

ADELI, A.; ROWE, D.E.; REAF, J.J. Effects of soil type on bermudagrass response to broiler litter application. **Agron. Journal**, v. 98, p.148–155, 2006.

ALVES, M. J. ; PEREIRA, O. G. ; CECOM, P. R. ; ROVETTA, R. ; RIBEIRO, K. G. ; MARTINS, F. H. . Rendimento forrageiro e valor nutritivo do capim-tifton 85, sob diferentes doses de nitrogênio, colhido ao atingir 30, 40 e 50cm de altura. In: XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba : Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. cd.

ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; VERNEQUE, R.S.; BOTREL, M.A. Resposta do Tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2345-2352, 1999.

ANDRADE, N.O. **Aveia como forrageira de inverno**. 1. ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1992. 7p. (Boletim Técnico, 214).

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 153p, 1999.

BOLE, J.B.; BELL, R.G. Land application of municipal sewage waste water: yield and chemical composition of forage crops. **Journal of Environmental Quality**, v.7, p.222-226, 1978.

BORKERT, C.M; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R.; OLIVEIRA JUNIOR; A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p. 143-153, 2003.

BULLOCK, D.G. & ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of the Plant Nutrition**, v.21, n.4, p.741-755, 1998.

BURTON, G.W., GATES, R.N., HILL, G.M. Registration of “tifton 85” bermudagrass. **Crop Science**, v.33, n.3, p.644-645, 1993.

CHACON, E.; STOBBS, T.H.; DALE, M.B. Influence of sward characteristics on grazing behavior and growth of Hereford steers grazing tropical grass pasture. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.29, n.1, p.89-102, 1978.

CHEN, K.; HU, G.; KEUTGEN, N.; JANSSENS, M. J.J.; LENZ, F. Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.) II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange. **Scientia Horticulturae**, v. 81, p.43-56, 1999.

CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de esgotos domésticos no solo pelo método do escoamento superficial**. São Paulo, USP. 1991. 400 p. (Tese de Doutorado).

DARÓS, R. **Efeito de teores de água no solo, em diferentes estádios de desenvolvimento da planta, sobre o desempenho da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb).** Dourados, 1997. 48p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

DARWISH, M.R.; EL-AWAR, F.A.; SHARARA, M.; HAMDAR, B. economic environmental approach for optimum wastewater utilization in irrigation: a case study in Lebanon. **Applied Engineering in Agriculture**, v.15, p.41-48, 1999.

DAY, A.D.; SWINGLE, R.S.; TUCKER, T.C.; CLUFF, C.B. Alfalfa hay grown with municipal waste water and pump water. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p.23-24, 1982.

DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: **Nutrição Mineral de Plantas**. FERNANDES, M.S. (Ed.) Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2006. p. 328-354.

EPSTEIN, E. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**. Wiley, New York. 1972

EVANGELISTA, A.R. & LIMA, J.A. **Silagens: do cultivo ao silo**. Lavras, MG:UFLA, 2000. 200 p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 624p.

FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS, T.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent-irrigated soils. **Soil Science**, v.125, p.248-254, 1978.

FEROLLA, F.S.; VÁSQUEZ, H.M.; DA SILVA, J.F.C.; VIANA, A.P.; DOMINGUES, F.N.; LISTA, F.N. Composição bromatológica e fracionamento de carboidratos e proteínas de aveia preta e tritcale sob corte e pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.197-204, 2008.

FERREIRA, E.J.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SOARES, A.A. Evapotranspiração (Etc) e coeficiente de cultura (kc) da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) irrigada. **Revista Ceres**, v.38, n.215, p.25-35, 1991.

FLOSS, E.L. Manejo forrageiro de aveia (*Avena* sp.) e azevém (*Lolium* sp.). In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 9, Piracicaba, 1998. **Anais...** Piracicaba, SP: FEALQ, 1998. p.231-268.

FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; MONTEIRO, F.A.; MONTES, C.R.; ALMEIDA, V.V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v.87, p.328-336, 2007

FONSECA, M.G.C. **Plantio direto de forrageira: sistema de produção**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 101 p.

GOMIDE, C. C. C. ; RODRIGUES, L. R. A. ; RODRIGUES, T.J.D.; REIS, R.A.; BANZATTO, D. A. . Physiological and chemical characteristics of five cultivars of *Cynodon*. In: XVIII INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 1997, Winnipeg. **Proceedings of the...** Canada, 1997.

GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M.; POSS, J.A.; ROBINSON, P.H.; SUAREZ, D.L.; BENES, S.E. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. I. Biomass production. **Agricultural Water Management**, v.70, p.109-120, 2004.

- GRIEVE, C.M.; POSS, J.A.; GRATTAN, S.R.; SUAREZ, D.L.; BENES, S.E.; ROBINSON, P.H. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. II. Plant-ion relations. **Agricultural Water Management**, v.70, p.121-135, 2004.
- HAYES, A.R.; MANCINO, C.F.; FORDEN, W.Y.; KOPEC, D.M.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent. II. Turf quality. **Agronomy Journal**, v.82, p.943-946, 1990.
- HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C.; SALTON, J.C. Adubos verdes de outono-inverno no Mato Grosso do Sul. EMBRAPA-CPAO: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO OESTE. **Documentos**, 4, Dourados, 1995. 93p.
- HERRALDE, F.; BIEL, C.; SAVE, R.; MORALES, M. A.; TORRECILLAS, A.; ALARCÓN, J. J.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. **Plant Science**, v.139, p. 9–17, 1998.
- HILL, G.M., GATES, R.N., BURTON, G.W. 1993. Forage quality and grazing steer performance from tifton 85 and tifton 78 bermudagrass pastures. **J. Anim. Sci.**, v.71, n.12, p.3219-3225, 1993.
- HILL, G.M., GATES, R.N., WEST, J.W. et al. Tifton 85 bermudagrass utilization in beef, dairy, and hay production. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1996, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA – CNPGL, 1996. p. 139-150.
- HILL, G.M., GATES, R.N., WEST, J.W. et al. Bermudagrass cultivar maturity effects on hay digestibility in steers. **J. Anim. Sci.**, v.75, Suppl.1, p.201, 1997.
- HILL, G.M., GATES, R.N., WEST, J.W. et al. Pesquisa com capim bermuda cv. Tifton 85 em ensaios de pastejo e de digestibilidade de feno com bovinos. In: SIMPÓSIO DO MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COAST-CROSS E ESTRELA, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1998. p.7-22.
- JEYARAMAN, S. Influence of N levels of crude protein yield of hybrid napier under sewage effluent irrigation. **Indian Journal of Agronomy**, v.33, p.326-327, 1988.
- KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: **Nutrição Mineral de Plantas**. FERNANDES, M.S. (Ed.) Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2006. p. 355-374.
- KRZYWY, E. & WOLOSZYK, C. Effect of increasing rates of nitrogen fertilizer on yield and chemical composition of oats. **Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie**, v.35, p.151-158, 1984.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 531p. 2000.
- LUPATINI, G.C.; RESTLE J.; CERETTA, M.; MOOJEN, E.L.; BARTZ, H.R. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 11, p.1939-1943, 1998.
- LUTTS, S.; KINET, J. M.; BOUHARMONT, J. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Annals of Botany**, n. 78, p.389-398, 1996.

- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.
- MARCELINO, K.R.A.; VILELA, L.; LEITE, G.G.; GUERRA, A.F.; DIOGO, J.M.S. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.268-275, 2003.
- MARTIM, R.A. **Doses de nitrogênio e potássio para produção, composição e digestibilidade dos capins Coastcross 1 e Tifton 85 em um latossolo vermelho-amarelo**. Piracicaba, 1997. 109p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G.; SOARES, A.A. & BARROS, F.M. Extração de nutrientes por forrageiras cultivadas com água residuária do beneficiamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Ceres**, v.53, n.303, p.675-688, 2005.
- MATOS, A.T., **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI-DEA/UFV, 2004. 144 p. (Caderno Didático 38).
- MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA, O.G.; SOARES, A.A. & LO MONACO, P.A. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.154-158, 2003.
- McCULLOUGH, P.E.; LIU, H.; McCARTY, L.B.; WHITWELL, T.; TOLER, J.E. Bermudagrass putting green growth, color, and nutrient partitioning influenced by nitrogen and trinexapac-ethyl. **Crop Science**, v.46, p.1515–1525, 2006.
- McDONALD, R.C.; WILSON, K.R. Dry matter yields, digestibilities, mineral levels, and cattle growth rates on greenfeed oats at different stages of development. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, v.8, p.105-109, 1980.
- McLAUGHLIN, M.R.; FARBROTHER, T.E.; ROWE, D.E. Nutrient uptake by warm-season perennial grasses in a swine effluent spray field. **Agronomy Journal**, v.96, p.484–493, 2004.
- MENEGATTI, D.P.; ROCHA, G.P.; FURTINI NETO, A.E.; MUNIZ, J.A. Nitrogênio na produção de matéria seca, teor e rendimento de proteína bruta de três gramíneas do gênero cynodon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.3, p.633-642, 2002.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. International Potash Institute, Worblaunden-Bern, Switezland. 1987.
- MOHAMMAD, M.J.& AYADI, M. Forage yield and nutrient uptake as influenced by secondary treated wastewater. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, p.351-364, 2004.
- NAKAGAWA, J. & ROSOLEM, C.A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, v.64, n.3, p.441-445, 2005.
- NEVES, L. L. M. N. **Crescimento, trocas gasosas, potencial osmótico e composição mineral da bananeira prata, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio, em solução nutritiva**. Viçosa: UFV, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 6ed., Washington: National Academy Press, 1989. 157 p.

- OLIVEIRA, M.A. **Morfogênese, análise de crescimento e valor nutritivo do capim tifton 85 (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 94p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; GARCIA, R.; OBEID, J.A.; CECON, P.R.; MORAES, S.A.; SILVEIRA, P.R. Rendimento e valor nutritivo do capim tifton 85 (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1949-1960, 2000a. (Suplemento 1)
- OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; HUAMAN, C.A.M.; GARCIA, R.; GOMIDE, J.A.; CECON, P.R.; SILVEIRA, P.R. Características morfológicas e estruturais do Capim-Bermuda “Tifton 85” (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1939-1948, 2000b. (Suplemento 1)
- OVERMAN, A.R. Irrigation of corn with municipal effluent. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.24, p.74-80, 1981.
- OVERMAN, A.R.; NGUY, A. Growth response and nutrient uptake by forage crops under effluent irrigation. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.81-93, 1975.
- PARIDA, A.K.; BANDHU DAS, A. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. New York, v.60, n.3, p.324-349, 2005.
- PEDREIRA, C.G.S., NUSSIO, L.G., SILVA, S.C. Condições edafo-climáticas para produção de *Cynodon spp.* In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15; 1998, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: ESALQ, p.85-113, 1998.
- PINTO, A.B. **Avaliação de gramíneas forrageiras com uso de águas residuárias da lavagem de frutos do cafeeiro em rampas de tratamento.** Viçosa, MG: UFV, Impr.Univ., 2001. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- PITOL, C. A cultura da aveia no Mato Grosso do Sul. COTRIJUI-CTC. **Boletim Técnico**, 2, Maracaju, 1988. 33p.
- PRADO, R.M.; ROMUALDO, L.M.; VALE, D.W. Resposta da aveia preta à aplicação de fósforo sob duas doses de nitrogênio em condições de casa de vegetação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, n.4, p.527-533, 2006.
- PREMAZZI, L.; MONTEIRO, F.A.; CORRENTE, J.E. Tillering of tifton 85 bermudagrass in response to nitrogen rates and time of application after cutting. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 565-571, 2003
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; GODOY, R. Nutrient uptake and nutritional efficiency of oat cultivars in relation to nitrogen and cutting intensities. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 613-620, 1999 .
- QUEIROZ, F.M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Viçosa: UFV, 2000. 91 p. (Dissertação de Mestrado).

QUEIROZ, F. M. ; MATOS, A. T. de ; PEREIRA, O. G. ; OLIVEIRA, R. A. The dry matter yield of forage-grass species in overland flow treatment using swine wastewater. In: Antônio Alves Soares; Helvécio Mattana Saturnino. (Org.). **Environment and the water: Competitive use and conservation strategies for water and natural resources**. 1 ed. Fortaleza, CE: Brazilian Association on Irrigation and Drainage/International Commission on Irrigation & Drainage, 2001, v. 1, p. 166-172.

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, v. 12, n. abril/junho, p. 77-90, 2004.

QUIN, B.F.; WOODS, P.H. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. I. Nutrient status of soil and pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.21, p.419-426, 1978.

RIBEIRO, K. G. ; PEREIRA, O. G. ; GARCIA, R. ; VALADARES FILHO, S. C. ; CECON, P. R. . Composição e extração mineral do capim-tifton 85, em três idades de rebrota, sob cinco doses de nitrogênio. In: **XXXVII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2000, Viçosa. Anais da XXXVII Reunião Anual da SBZ. Viçosa : Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. p. 55-55.

ROCHA, G.P. **Efeito de níveis de adubação nitrogenada pós-corte sobre o rendimento e o valor nutritivo de gramíneas do gênero *Cynodon***. Lavras-MG:UFLA, 1999. 76p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras.

ROCHA, G.P., EVANGELISTA, A.R., LIMA, J.A. Nitrogênio na produção de matéria seca, teor e rendimento de proteína bruta de gramíneas tropicais. **Pasturas Tropicais**, v. 22, n.1, 2003.

ROSA-IBARRA, M. de la & MAITI, R.K. Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. **Plant Physiology**, v.146, p.515-519, 1995.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SANTI, A.; AMADO, T.J.C.; ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I- Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1075-1083, 2003.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85**. Piracicaba, 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SILVA, D.J & QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 235 p.

SODER, K.J. & STOUT, W.L.. Effect of soil type and fertilization level on mineral concentration of pasture: Potential relationships to ruminant performance and health. **Journal of Animal Science**, v.81, p.1603–1610, 2003

TAIZ, L., ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre: Artmed. 719p.

VAISMAN, I.; SHALHEVET, J.; KIPNIS, T.; FEIGIN, A. Reducing ground-water pollution from municipal waste-water irrigation of Rhodes grass grown on sand dunes. **Journal of Environmental Quality**, v.10, p.434-439, 1981.

WEST, J.W., MANDEBVU, P., HILL, G.M. et al. 1998. Intake, milk yield, and digestion by dairy cows fed diets with increasing fiber content from bermudagrass hay or silage. **Journal of Dairy Science.**, 81:1599-1607.