

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS E POTÁSSICOS PARA
FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA BANANEIRA**

VÍTOR AMÂNCIO CERQUEIRA

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
AGOSTO DE 2018**

**CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS E POTÁSSICOS PARA
FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA BANANEIRA**

VÍTOR AMÂNCIO CERQUEIRA

Trabalho de Conclusão do Curso Mestrado em Engenharia
Agrícola, como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical

**CRUZ DAS ALMAS – BA
AGOSTO DE 2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

C416c	<p>Cerqueira, Vítor Amâncio. Concentração da solução de fertilizantes nitrogenados e potássicos para fertirrigação na cultura da bananeira / Vítor Amâncio Cerqueira._ Cruz das Almas, BA, 2018. 71f.; il.</p> <p>Orientador: Eugênio Ferreira Coelho.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Banana – Cultivo. 2.Banana – Fertirrigação. 3.Adubos e fertilizantes – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.772</p>
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas
(Bibliotecário - CRB5 / 1615). Os dados para catalogação foram enviados pelo
usuário via formulário eletrônico.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E
BIOLÓGICAS

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DO CURSO DE MESTRADO

VÍTOR AMÂNCIO CERQUEIRA

Dissertação aprovada em 31/08/2018

Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical
(Orientador)

Prof. Dr. Willian Fernandes de Almeida
PNRD/UFRB

Dr. Cristiano Tagliaferre
UESB

CRUZ DAS ALMAS – BA
AGOSTO DE 2018

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Jacitonia

Amâncio Cequeira

Ao meu pai,

Agnelo Mario Viana

Cerqueira

À minha noiva, Janna

Aos meus amigos e familiares

Dedico, com muito amor e carinho.

SUMÁRIO

PÁGINA

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO ----- 1

Capítulo 1

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO
NA SOLUÇÃO DO SOLO SOB FERTIRRIGAÇÃO COM FONTES
NITROGENADAS E POTÁSSICAS EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NA
CULTURA DA BANANEIRA ----- 9

Capítulo 2

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO
NO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO COM BANANEIRA SOB
FERTIRRIGAÇÃO ----- 39

Concentração da solução de fertilizantes nitrogenados e potássicos para fertirrigação na cultura da bananeira

Autor: Vítor Amâncio Cerqueira

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho

RESUMO: A fertirrigação é caracterizada pela aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Esse sistema possui maior eficiência de aplicação de fertilizantes comparadas aos aplicados na forma sólida. Porém, o inadequado manejo da mesma, principalmente levando-se em conta a concentração da solução injetora pode afetar negativamente a eficiência da fertirrigação. Há uma faixa de concentração da solução injetora que não afeta significativamente a condutividade elétrica da solução do solo. O desconhecimento dessas concentrações pode levar o produtor a aplicar soluções concentradas ao solo afetando diretamente a eficiência de fertirrigação e contribuindo para a redução da produtividade da bananeira. Objetivou-se com este estudo determinar a faixa de concentração da solução de injeção adequada para fertilizantes nitrogenados e potássicos no cultivo da bananeira. O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas BA, em blocos casualizados num esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$, sendo 20 tratamentos e 3 repetições em parcelas subdivididas, com os sistemas de irrigação na parcela (microaspersão e gotejamento), a fonte fertilizante na sub parcela (Cloreto de Potássio + Ureia e Nitrato de Potássio + Ureia) e a concentração na sub sub-parcela. Foram utilizados ureia e nitrato de potássio como fonte de N e como fonte de K_2O , cloreto de potássio e nitrato de potássio. Na sub sub-parcela, cinco concentrações de solução fertirrigante: $2,0 \text{ g.L}^{-1}$; $10,0 \text{ g.L}^{-1}$; $18,0 \text{ g.L}^{-1}$; $26,0 \text{ g.L}^{-1}$ e $34,0 \text{ g.L}^{-1}$. O período de avaliação foi o período seco, com avaliações nas épocas de outubro/17, dezembro/17 e março/18. As variáveis analisadas foram: condutividade elétrica e concentração de nitrato e potássio da solução do solo e do extrato de saturação. As médias foram analisadas pelo teste F para dados qualitativos e análise de regressão para dados quantitativos ao nível de 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR. As fertirrigações realizadas com ureia + KCl elevou a condutividade elétrica da solução do solo em relação à aplicação de ureia + KNO_3 independente da condição de solo no final do período seco. As sucessivas fertirrigações causaram acúmulo de NO_3^- na solução do solo para as fontes de N e K e concentrações das soluções fertirrigantes avaliadas. A aplicação do cloreto de potássio e

nitrate de potassium não elevaram a concentração de K na solução do solo. Houve aumento na CE_{es} ao longo do tempo nas profundidades de 0,30 m e 0,60 m. A aplicação da solução de injeção via sistema por gotejamento proporcionou maiores concentrações de NO_3^- do extrato de saturação da solução do solo. As sucessivas fertirrigações causaram acúmulo e lixiviação do NO_3^- ao longo do perfil do solo, podendo levar a camadas mais profundas, indisponibilizando a absorção do NO_3^- pelo sistema radicular da bananeira.

Palavras-chave: fertirrigação, condutividade elétrica, nitrato, potássio, solução de nutrientes.

Solution concentration of nitrogen and potassium fertilizers for fertirrigation in banana crop

Author: Vítor Amâncio Cerqueira

Adviser: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho

ABSTRACT: Fertigation is characterized by the application of fertilizers through irrigation water. This system indicates higher fertilizer application efficiency compared when applied in solid form. However, improper handling of it, especially taking into account the concentration of the injection solution may adversely affect the efficiency of fertigation. There is a range of concentration of the injection solution that does not significantly affect the electrical conductivity of the soil solution. The lack of these concentrations can cause the producer to apply concentrated solutions to the soil directly affecting irrigation efficiency and contributing to the reduction of banana productivity. The objective of this study was to determine the concentration range of suitable injection solution for nitrogenous fertilizers and potassic in banana cultivation. The experiment will be conducted at Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas BA, in randomized blocks in a factorial scheme 2x2x5, with 20 treatments and 3 repetitions in subdivided plots, with the irrigation system in the plot (micro sprinkler and drip), the fertilizer source in the sub-plot (Potassium Chloride + Urea and Potassium Nitrate + Urea) and the concentration in the sub subplot. In sub subplot, five irrigation water concentrations: 2,0 g.L⁻¹; 10,0 g.L⁻¹; 18,0 g.L⁻¹, 26,0 g.L⁻¹ and 34,0 g.L⁻¹. The evaluation period was the dry period, with evaluations in the periods of October / 17, December / 17 and March / 18. The variables analyzed were: electrical conductivity and nitrate and potassium concentration of the soil solution and the saturation extract. The means were analyzed by the F test for qualitative data and regression analysis for quantitative data at the 5% probability level by the SISVAR statistical program. Fertigations performed with urea + KCl increased the electrical conductivity of the soil solution in relation to the application of urea + KNO₃ independent of the soil condition at the end of the dry period. The successive fertigations caused accumulation of NO₃⁻ in the soil solution for the N and K sources and concentrations of the evaluated fertirrigant solutions. The application of potassium chloride and potassium nitrate did not increase the concentration of K in the soil solution. There was an increase in CEs over time at depths of 0.30 m and 0.60 m. The

application of the injection solution via dripping system provided higher concentrations of NO_3^- from the soil solution saturation extract. The successive fertigations caused accumulation and leaching of NO_3^- along the soil profile, which could lead to deeper layers, making the NO_3^- absorption unavailable through the banana root system.

Key words: fertigation, electrical conductivity, nitrate, potassium, nutriente solution.

INTRODUÇÃO

A fertirrigação, aplicação de fertilizantes via água de irrigação (FRIZZONE et al., 1985), é uma técnica que serve como meio de aplicação de fertilizantes, principalmente nitrogenados e potássicos, ao solo. O uso da fertirrigação vem tomando cada vez mais espaço nos projetos de irrigação no Brasil, quer públicos, quer privados. Não existem dados precisos do total de áreas fertirrigadas no país, entretanto, aproximadamente 7,0 milhões de hectares (ANA, 2017) são irrigados, dos quais, pelo menos 65% representa o método da aspersão e da irrigação localizada, da qual a fertirrigação pode estar sendo usada em uma área cada vez mais representativa.

De acordo com Stewart et al. (1998), o uso da técnica da fertirrigação traz inúmeras vantagens, dentre elas: a aplicação do fertilizante de forma parcelada durante todo o ciclo da cultura, disponibilizando os nutrientes para as plantas; aplicação do fertilizante diretamente na zona radicular; as perdas de nutrientes por percolação são praticamente eliminadas; e a ureia pode ser utilizada sem que haja perdas de NH_3 para a atmosfera. Em trabalho realizado por Cruciani et al. (1998), a aplicação de adubação nitrogenada pela fertirrigação na cultura do feijoeiro aumentou a quantidade de N absorvido pela planta comparado ao método convencional por conta de haver uma maior quantidade de N prontamente disponível. Porém, por ser uma tecnologia ainda recente no Brasil, necessita de esclarecimentos e subsídios, principalmente quanto ao manejo e interações fertilizante-solo-planta.

Para obter sucesso no emprego da fertirrigação, é necessário seguir alguns procedimentos, sendo o principal deles a uniformidade de distribuição dos produtos químicos na área irrigada, que deverá ser similar à uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação (FEITOSA FILHO, 1990; ANTUNES et al., 2000). Tal procedimento, entretanto, depende do dimensionamento do sistema de irrigação, que normalmente obedece a recomendações que permitem variações de vazão (entre os emissores) e de pressão (nas linhas laterais e entre as linhas laterais) compatíveis com a elevada uniformidade de distribuição de água, principalmente em sistemas utilizando o método de irrigação localizada. Neste método, a variação de vazão máxima permitida dos emissores deve ser 5%, ou seja, um coeficiente de uniformidade mínimo dos emissores do sistema que seja igual a 95% (KELLER & KARMELI, 1975). O uso de gotejadores

autocompensantes serve como exemplo para ajuda a elevar a uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento. Para microaspersão é recomendado o uso de emissores com vazão mínima de 45 L h^{-1} posicionado para quatro plantas, a fim de aumentar a área molhada (BORGES et al., 2011).

No método de irrigação localizada os fertilizantes são aplicados diretamente no volume molhado do solo, onde há maior concentração e maior atividade das raízes, tornando seu uso mais eficiente. Quando comparada ao método convencional, Teixeira et al. (2011) comprovaram que a aplicação de fertilizantes nitrogenados e potássicos via água de irrigação aumentou em 36% sua eficiência. Já Stewart et al. (1998) afirmaram que a fertirrigação aumenta significativamente a eficiência do uso de fertilizantes, podendo reduzir a aplicação em 20 a 30% da recomendação aplicada convencionalmente. O conceito de eficiência de fertirrigação pode ser associado ao de eficiência nutricional, definida como a produção relativa de um genótipo em solo deficiente em comparação com sua produção no nível ótimo de nutrientes (GRAHAM, 1984); ou como o aumento de produtividade por unidade de nutriente aplicado (COOKE & WHITE, 1987) ou ainda pela relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente.

A fertirrigação permite a aplicação dos fertilizantes na quantidade certa e no momento certo, não apresentando recomendações fixas, sendo este dependente do tipo de solo, estágio de crescimento/desenvolvimento da cultura, marcha de absorção de nutrientes, método de irrigação e fonte do nutriente a ser aplicado da necessidade da cultura. Isso implica em um salto de eficiência de aplicação de fertilizantes em comparação ao modo convencional, onde a maior parte do fertilizante é aplicada no plantio (NATALE & RODRIGUES, 2006).

O manejo da fertirrigação preconiza que os fertilizantes devem ser aplicados em quantidades adequadas, conforme a necessidade da planta, aumentando sua eficiência de aplicação, de forma sustentável ao ambiente solo, isto é, de forma a não causar impactos negativos ao solo. O uso excessivo de fertilizantes na fertirrigação pode causar elevação nos teores salinos do solo (DIAS et al., 2006), acarretando em transformações físico-químicas que causem desequilíbrios químicos, lixiviação de nutrientes e contaminação ambiental. De acordo com Barros et al. (2005), solos que eram anteriormente produtivos sofreram processos de salinização por conta do inadequado manejo da irrigação.

A bananeira necessita de elevadas quantidades de nutrientes, principalmente potássio (K) e nitrogênio (N), tanto para seu estágio de crescimento quanto para a

produção (BORGES et al., 2002). A fertirrigação com fertilizantes nitrogenados utiliza diferentes fontes, tais como a amidica, amoniacal e nítrica. A fonte amoniacal caracteriza-se pela liberação do íon amônio (NH_4^+) no solo, do qual parte é adsorvido pelas micelas e parte fica na solução do solo, podendo ser absorvido pelas raízes ou sofrer processo de nitrificação, se transformando em íons nitrato (NO_3^-), que na solução do solo poderão ser absorvidos ou lixiviados. A fonte amidica (ureia), segue o mesmo processo após a hidrólise da mesma e a formação de carbonato de amônio (URQUIAGA & MALAVOLTA, 2002).

As fontes nítricas possuem o nitrato que penetram no solo nessa forma. Todas as fontes nitrogenadas resultam em nitrato em suas dinâmicas no solo. A lixiviação de nitrato é considerada a principal perda do N disponível às plantas (ERREBHI et al., 1998), sendo influenciada diretamente pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de NO_3^- na solução (COOKE & WHITE, 1987). O nitrato lixiviado direciona-se para os lençóis freáticos que fluem para os cursos de água. Assim, a lixiviação de nitrato nas áreas irrigadas pode causar elevação de seus níveis nos lençóis freáticos, cuja água pode ser usada para consumo e irrigação.

O nitrato é prejudicial à saúde humana em concentrações acima de 10mg/L na água, segundo estabelecido pelo Ministério da Saúde, Portaria 1.469/2000 (BRASIL, 2000). Nos rios, concentrações de 50-300 mg/L são tóxicas aos peixes e plantas. Kaiser (2006) observou que a água da fonte localizada após uma lavoura de fumo fertirrigada com fertilizante nitrogenado apresentou teores de nitrato acima do valor crítico estabelecido pela Legislação brasileira, para abastecimento humano. Fertirrigações de fontes nitrogenadas executadas com baixa eficiência indicam não somente perdas de nitrogênio, como efeitos negativos ao ambiente, como é o caso da lixiviação de nitratos. O nitrato é considerado a principal forma de nitrogênio associada à contaminação das águas superficiais e subsuperficiais pelas atividades agrícolas (JADOSKI et al., 2010).

O uso da fertirrigação, em condições de máxima eficiência, necessita, portanto, da definição de critérios de uso no que diz respeito: (I) às doses adequadas de fertilizantes a serem aplicadas; (II) a marcha de absorção dos nutrientes; (III) a frequência de aplicação desses fertilizantes; (IV) a concentração da solução de injeção e da água de irrigação após a mistura com a solução de injeção; e (V) a avaliação dos efeitos das aplicações das fertirrigações no ambiente solo. De todos os pontos que permitem formular critérios para uso da fertirrigação com máxima eficiência, o menos estudado têm sido a concentração

da solução de injeção. A marcha de absorção da bananeira é conhecida (SOTO BALLESTERO, 1992) e utilizada em fertirrigação (BORGES et al., 2009). Entretanto, a quantidade de fertilizante a ser aplicada por fertirrigação requer o conhecimento da concentração da solução de injeção e o inadequado manejo da fertirrigação, principalmente levando-se em consideração a concentração na saída do emissor, pode afetar negativamente sua eficiência.

Os procedimentos de cálculo das quantidades de nutrientes a serem aplicadas conforme a fase fenológica ou conforme a demanda da cultura, já estão definidos na literatura (COELHO et al., 2002) e requerem a marcha de absorção da mesma, a quantidade total do nutriente requerido e a frequência de aplicação. Entretanto, a aplicação desses cálculos em campo confronta com o fato de que, nos sistemas de produção agrícola, muitas variáveis tais como o solo, o material genético e o clima estão envolvidas e influenciam o desenvolvimento das plantas e a disponibilidade dos nutrientes no solo. Por isso, a quantificação da necessidade de nutrientes pode, algumas vezes, não atender à demanda da planta ou ainda ser excessiva, vindo a causar efeitos negativos na produtividade. Em função disso, e por ser a fertirrigação uma técnica que permite alterações rápidas e precisas na quantidade de nutrientes aplicados, torna-se importante um monitoramento dos atributos químicos do solo (condutividade elétrica, pH, macronutrientes envolvidos na fertirrigação) para que possa promover ainda durante o ciclo da cultura os ajustes necessários a adequada fertilização das culturas (VILLAS BOAS et al., 2003).

O monitoramento dos íons do solo é essencial para conseguir elevadas eficiências da fertirrigação, pois permite avaliar a dinâmica dos íons e verificar possíveis existências de lixiviação, o que pode ser feito com extratores de solução do solo (condutividade elétrica da solução do solo – CE_w) e a partir de amostras dos extratos de saturação do solo (condutividade elétrica do extrato de saturação – CE_{es}). A eficiência da fertirrigação pode ser apresentada de diferentes formas. Ela consiste, em linhas gerais, na razão entre a produção da cultura e a quantidade de fertilizante aplicado durante o ciclo da mesma. A produção da cultura pode ser vista do lado comercial, isto é, considerando unicamente os frutos da planta que são vendidos (eficiência agrônômica), como pode-se considerar toda a matéria seca da planta, numa conotação mais fisiológica (eficiência nutricional).

A alta frequência de irrigação no método de irrigação localizada mantém o volume molhado reduzido com maior concentração dos nutrientes adicionados, resultando numa

movimentação e transformações químicas mais intensas comparado ao que ocorre em solos irrigados com outros métodos de irrigação. Dessa forma, uma mesma quantidade de fertilizantes aplicada por microaspersão ou por gotejamento resultará em diferentes concentrações desses fertilizantes no solo e, conseqüentemente, diferentes condutividades elétricas da solução de solo amostradas.

O desconhecimento das concentrações da solução de injeção pode levar o produtor a aplicar soluções concentradas ao solo, elevando-os a potenciais osmóticos acima dos níveis agricultáveis. Medeiros (2001) constatou elevação da salinidade de um solo de nível não salino para moderadamente salino, onde a irrigação com água de salinidade baixa (inferior a $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) elevou significativamente o caráter salino do solo. A salinização do solo influencia na redução da disponibilidade de água para as plantas (DIAS et al., 2005) e leva ao desbalanço dos nutrientes (VIANA et al., 2001), pois o excesso de sais causa uma perturbação na absorção dos nutrientes pela planta, afetando seus processos metabólicos. Assim, o monitoramento da concentração deve ser rigoroso e feito sistematicamente. A elevação da concentração da solução, dependendo dos tempos de irrigação subsequentes, também pode contribuir para a lixiviação, reduzindo a eficiência da fertirrigação.

Existe uma faixa de concentração da solução injetora que não afeta significativamente a condutividade elétrica da solução do solo, faixa essa acima da qual ocorre favorecimento da elevação do potencial osmótico na zona radicular, prejudicando os processos metabólicos das plantas. Carvalho et al. (2009), Andrade Neto et al. (2009) e Coelho et al (2014) avaliaram a concentração de aplicação da solução de fertilizantes, porém numa faixa estreita e com fertilizantes de um único índice salino.

Fertilizantes com maior teor salino, apesar de adequados para fertirrigação, podem favorecer a elevação do potencial osmótico na zona radicular, causando dificuldades de absorção da solução do solo pelas raízes e afetando negativamente os atributos físico-químicos do solo, elevando os níveis de salinidade do mesmo. Esses efeitos negativos afetam diretamente a eficiência de fertirrigação, uma vez que podem contribuir para a redução da produtividade da bananeira.

Objetivou-se avaliar a condutividade elétrica, bem como as concentrações de nitrato e potássio da solução do solo e do extrato saturado para fertilizantes nitrogenados e potássicos aplicados via fertirrigação em diferentes concentrações da solução de injeção em solo cultivado com bananeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. 2017.
- ANDRADE NETO, T.M. **Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes Concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da terra**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) -Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
- ANTUNES, R. C. B.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R.; RENA, A. B.; BONOMO, R. Área de observação e pesquisa em cafeicultura irrigada na região das vertentes de Minas Gerais – resultados de 1998/2000. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ/MINASPLAN, 2000. p. 823-826.
- BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V., V. H.; RUIZ, H. A. 2005. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.9, p.320-326.
- BORGES, A.L.; COSTA, E.L. da. Banana. In: BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; TRINDADE, A.V (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p.77-84.
- BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação – banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F. Org. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.97-105, 2009.
- BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.317-338, 2011.
- CARVALHO, G. C.; COELHO, E. F.; COSTA, F. S.; BARBOSA, R. P. ; Santana Junior, E. B. ; AZEVEDO, N. F. pH do solo no primeiro ciclo da bananeira da terra fertirrigada com diferentes concentrações de uréia e nitrato de potássio na água de irrigação. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza -CE. **Anais...** Fortaleza.
- COOKE, G.W. Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, p.1357-1369, 1987.

COELHO, E. F. Calculo e preparo da solução de fertilizantes. In: BORGES, Ana Lucia; COELHO, E. F. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, 2002, v. 1, p. 54-67.

COELHO, E. F.; COSTA, F. S.; SILVA, A. C. P.; CARVALHO, G. C. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p. 263-269, 2014.

CRUCIANI, D.E.; MAIA, P.C.S.; PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A. Fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por sistema de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p. 63-67, 1998.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; YOSHINAGA, R. T.; TELES FILHO, J. F. Produção de alface sob diferentes níveis de salinidade do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, p. 20-29, 2005.

ERREBHI, M. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F. de.; TELES FILHO, J. F. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. II: Efeitos sobre o rendimento do meloeiro. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.3 p.376-383, 2006.

FEITOSA FILHO, J.C. **Uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão, com uso dos injetores tipo Venturi e tanque de derivação**. Viçosa, UFV, 1990. 77p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.

FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PAES, L.A.D.; NASCIMENTO, V.M. do. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira, UNESP, 1985. 52p. (Boletim técnico 2).

GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B.; LAUCHI, A., ed. **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p.57-102.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C. do; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.1, p.193-200, 2010.

KAISER, D. R.; **Nitrato na solução do solo e na água de fonte para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria.

KELLER, J.; KARMELI D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

- MEDEIROS, J. F. Salinização em áreas fertirrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI et al. (Coordenadores). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Livraria e editora agropecuária Ltda. 2001. v. 2, p. 201 -240.
- MS (Ministério da Saúde), 2000. **Portaria N.º. 1469**. 17 Setembro 2001 <<http://www.funasa.gov.br/amb/pdfs/portaria-1469.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- NATALE, W.; RODRIGUES, M.G.V. Fertirrigação em Bananeira. In: BOARETTO, A.E.; VILLAS BOAS, R.L.; SOUZA, W.F.; PARRA,L.R.V. (Ed.). **Fertirrigação: teoria e prática**. Piracicaba, 2006. v.1, p.396-439. CD-ROM.
- SOTO BALLESTERO, M. **Cultivo y comercialización del banano**. 2. ed. Tibás: LIL, 1992. 649 p.
- SOUSA, V. F. de; SILVA, F. C. da; COELHO, E. F.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, S. da S. Crescimento e produtividade do meloeiro sob diferentes doses de nitrogênio e de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento. In> CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucon. **Resúmenes...** Pucon: [s.n.], 1999b. 1 CD-ROM.
- STEWART, L. et al. **Tropical banana information kit**. Nambour: Queensland Department of Primary Industries, 1998. (Serie Agrilink)
- TEIXEIRA, L. A. J.; QUAGGIO, J. A.; MELLIS, E. V. Ganhos de eficiência fertilizante em bananeira sob irrigação e fertigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.272-278, 2011.
- URQUIAGA, S.; MALAVOLTA, E. Ureia: um adubo orgânico de potencial para a agricultura orgânica. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, v.19, n.2, p.333-339, maio/ago, 2002, Brasília.
- VIANA, S. B. A.; RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Produção de alface em condições de salinidade a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.60-66, 2001.
- VILLAS BOAS, R.; OLIVEIRA, M.V; MOTA, P.R. de A.; BETINI, M.O. Fertirrigação no brasil, técnica inovadora nos cultivos irrigados. In: **I CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO**, 2003, João Pessoa-PB.

CAPÍTULO 1

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO SOB FERTIRRIGAÇÃO COM FONTES NITROGENADAS E POTÁSSICAS EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NA CULTURA DA BANANEIRA

**CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DE
NITRATO E POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO SOB
FERTIRRIGAÇÃO COM FONTES NITROGENADAS E**

POTÁSSICAS EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NA CULTURA DA BANANEIRA

Autor: Vítor Amâncio Cerqueira

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

RESUMO: O desconhecimento do manejo da fertirrigação e seu uso de forma empírica podem causar sérios danos ao solo como, por exemplo, a sua salinização, além da lixiviação de nutrientes para o cultivo da bananeira. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito das diferentes concentrações de soluções fertirrigantes sobre a solução do solo cultivado com bananeira da prata cv. FHIA 18. O experimento foi realizado entre os períodos de outubro de 2017 e março de 2018). O delineamento experimental foi de blocos casualizados num esquema fatorial de 2 x 2 x 5, dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento), duas fontes fertilizantes (cloreto de potássio e nitrato de potássio) combinadas com ureia e cinco concentrações na saída do emissor (2,0 g.L⁻¹; 10,0 g.L⁻¹; 18,0 g.L⁻¹; 26,0 g.L⁻¹ e; 34,0 g.L⁻¹), totalizando 20 tratamentos com três repetições, em um esquema de parcelas subdivididas, com o sistema de irrigação na parcela, a fonte na sub parcela e a concentração na sub sub-parcela. As soluções do solo foram extraídas a partir de extratores de cápsulas porosas para a avaliação da condutividade elétrica (CE_w), nitrato (NO₃⁻) e potássio (K) da solução do solo. A fertirrigação realizada com ureia + KCl elevou a condutividade elétrica da solução do solo em relação à aplicação de ureia + KNO₃ antes e depois da fertirrigação no final do período seco. As sucessivas fertirrigações causaram acúmulo de NO₃⁻ na solução do solo para as fontes de N e K e concentrações das soluções fertirrigantes avaliadas. A aplicação do cloreto de potássio e nitrato de potássio não elevaram a concentração de K na solução do solo.

Palavras-chave: Fertirrigação, solução do solo, solução de injeção.

ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND NITRATE AND POTASSIUM CONCENTRATIONS IN SOLUTION OF SOIL UNDER FERTIGATION WITH NITROGEN AND POTASSIUM SOURCES IN DIFFERENT CONCENTRATIONS IN BANANEAN CULTURE

Author: Vítor Amâncio Cerqueira

Adviser: Eugênio Ferreira Coelho

ABSTRACT: The lack of knowledge of fertirrigation management and their use in an empirical way can cause serious damages to the soil as, for example, your salinization, besides the leaching of nutrients for banana cultivation. The objective of this study was to evaluate the effect of the different concentrations of the fertirrigantes solutions on the solution of the soil cultivated with banana tree of the silver cv. FHIA 18. The experiment was conducted between the periods of October 2017 and March 2018). The experiment design was in randomized block in a 2x2x5 factorial scheme, two irrigation systems (micro sprinkler and drip irrigation), two fertilizer sources (potassium chloride and potassium nitrate) combined with urea and five concentrations at the emitter output (2.0 g L^{-1} , 10.0 g L^{-1} , 18.0 g L^{-1} , 26.0 g L^{-1} and 34.0 g L^{-1}), totaling 20 treatments with three replicates, in a subdivided plots scheme, with the irrigation system in the plot, the source in the sub plot and the concentration in the sub-plot. The soil solutions were extracted from porous capsule extractors for the evaluation of the electrical conductivity (CEw), nitrate (NO_3^-) and potassium (K) of the soil solution. The fertirrigation with urea + KCl increased the electrical conductivity of the soil solution in relation to the application of urea + KNO_3 before and after fertigation at the end of the dry period. The successive fertigations caused accumulation of NO_3^- in the soil solution for the N and K sources and concentrations of the evaluated fertirrigant solutions. The application of potassium chloride and potassium nitrate did not increase the concentration of K in the soil solution.

Key words: fertigation, soil solutin, injection solution.

INTRODUÇÃO

A bananeira é uma das plantas mais cultivadas do mundo, se destacando entre as plantas tropicais. O cultivo da bananeira é realizado entre 30° de latitude Norte e Sul, onde as temperaturas variam entre 10 e 40 °C, ambiente favorável para a bananeira, em que a temperatura ótima para o seu cultivo é de 28 °C (MELO et al., 2010). O seu centro de origem é o sul e o sudeste da Ásia, sendo atualmente cultivada em todos os estados do Brasil. Dentre os estados brasileiros, a Bahia figura entre os maiores produtores.

Por ser uma planta exigente em água e nutrientes, o cultivo irrigado da bananeira se torna uma alternativa para elevar sua produção, principalmente em regiões de semiárido (ULISSES et al., 2002). Aliado ao cultivo irrigado e dada a necessidade de nutrientes para o cultivo da bananeira, a adubação convencional vem sendo substituída pela aplicação dos fertilizantes via água de irrigação (SANTOS et al., 2009). O uso de fertilizantes, compreendendo a marcha de absorção da bananeira, eleva a eficiência de sua aplicação quando aplicado via água de irrigação. Portanto, o uso desta técnica requer conhecimentos quanto à marcha de absorção da cultura e concentração da solução de injeção, dentre outros fatores.

Os nutrientes mais utilizados na fertirrigação são o Nitrogênio (N) e Potássio (K). O N é essencial para as funções fisiológicas das plantas e sua aplicação via fertirrigação influencia diretamente no rendimento da bananeira (PINTO et al, 2005). O fertilizante mais utilizado para a aplicação do N via água de irrigação é a ureia, que se destaca por sua alta mobilidade, baixo índice salino (75) e menor custo. O potássio (K) é um nutriente bastante utilizado na fertirrigação e é o elemento mais importante da cultura da bananeira (LAHAV & TURNER, 1983). Apesar de apresentar um índice salino elevado (índice salino 115), o cloreto de potássio (KCl) é bastante utilizado como fonte de K por ter custo baixo e alta solubilidade. Como alternativa, o Nitrato de Potássio (KNO₃) vem sendo utilizado como alternativa ao KCl devido seu baixo índice salino (índice salino 74) e alta solubilidade (BORGES & SILVA, 2011). Entretanto, o alto custo desse fertilizante tem criado resistência quanto ao seu uso.

A fertirrigação propicia a aplicação do fertilizante diretamente na zona radicular e de forma parcelada, disponibilizando nutrientes para a planta durante todo o ciclo. Porém, o manejo inadequado dessa técnica pode causar elevação dos íons na solução do

solo, bem como a lixiviação dos nutrientes fertirrigados. À medida em que os sais se acumulam no solo, a absorção de água e nutrientes pela planta é dificultada devido ao baixo potencial total da solução do solo e à competitividade iônica entre os nutrientes e sais (BLANCO et al., 2007).

O teor salino de um solo pode ser quantificado pela condutividade elétrica por ser um método prático e rápido (BEN-GAL et al., 2009) e o acompanhamento deste para o manejo da fertirrigação se torna imprescindível. Dentre os métodos empregados para estimar a condutividade elétrica do solo, as leituras da concentração iônica da solução do solo (CEw) em meio não saturado com o auxílio de extratores de solução de cápsula porosa (OLIVEIRA et al., 2011) é um método mais prático (MOTA et al., 2006) e é essencial para o monitoramento.

Apesar de ser uma técnica conhecida, a fertirrigação ainda requer estudos dos seus impactos no solo em relação à concentração a ser aplicada. Um dos métodos para o monitoramento da fertirrigação que vêm ganhando força no Brasil é o método da extração da solução do solo via extratores de cápsulas porosas, pois pode-se avaliar as concentrações dos elementos disponíveis às plantas, bem como os teores salinos do solo causados pelas sucessivas fertirrigações, não sendo uma coleta destrutiva, possibilitando o monitoramento no mesmo local por longos períodos (SOUZA et al., 2013). O manejo inadequado da fertirrigação pode levar a ocorrência de salinização dos solos (SILVA, 2014). O objetivo deste estudo foi avaliar a condutividade elétrica e as concentrações de nitrato e potássio da solução do solo sob fertirrigação com fertilizantes nitrogenados e potássicos em diferentes concentrações da solução de injeção no cultivo da bananeira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, unidade de Cruz das Almas – BA ($12^{\circ}48'S; 39^{\circ}06'W$; 225,87m). Localizado no Recôncavo baiano, o clima da região é classificado como úmido a sub-úmido com pluviosidade média anual de 1138,0 mm, variando entre 900 e 1300,0 mm ano⁻¹ (GUIMARÃES & LOPES, 2015). A cultura utilizada foi a bananeira subgrupo prata CV. FHIA 18, cultivada no espaçamento 2,0 m x 2,5 m. O solo foi caracterizado quimicamente no início do experimento.

O delineamento experimental ocorreu em blocos casualizados num esquema fatorial de 2x2x5, com dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento), duas fontes fertilizantes potássicas (cloreto de potássio e nitrato de potássio) combinadas com ureia e cinco concentrações da solução fertirrigante na saída do emissor (2,0 g.L⁻¹; 10,0 g.L⁻¹; 18,0 g.L⁻¹; 26,0 g.L⁻¹ e; 34,0 g.L⁻¹), totalizando 20 tratamentos com três repetições, em parcelas sub subdivididas, com o sistema de irrigação na parcela, a fonte na sub parcela e a concentração na sub sub-parcela.

Os sistemas de irrigação utilizados no experimento foram por gotejamento (Figura 1A), com três emissores de 9,5 L h⁻¹ por planta, e por microaspersão (Figura 1B), composto por um emissor do tipo autocompensante para cada 4 plantas, com vazão de 56 L h⁻¹.



Figura 1. Sistema de irrigação por gotejamento (A) e microaspersão (B) adotados no experimento.

Os 20 tratamentos foram diferenciados por meio de linhas de PVC de derivação (FIGURA 2), com registros que permitiram o controle das fertirrigações que foram realizadas por meio de um injetor de solução do tipo Venturi com vazão de 50 L h^{-1} .



Figura 2. Linhas de PVC de derivação para realização da fertirrigação.

A parcela experimental foi composta por 50 plantas na parcela e 25 plantas em cada sub-parcela, sendo 5 plantas úteis por sub sub-parcela, para o sistema por gotejamento. No sistema de irrigação por microaspersão, a parcela foi composta por 100 plantas, com 50 plantas na sub parcela e 10 plantas na sub sub-parcela (6 plantas úteis), totalizando 450 plantas em todo o experimento. Os valores das concentrações de solução fertirrigante na água de irrigação foram definidos a partir de resultados de trabalhos executados em solo distrocoeso de tabuleiros costeiros (CARVALHO et al., 2009; Coelho et al., 2014).

A necessidade hídrica da cultura foi determinada pela evapotranspiração da cultura (ETc), em milímetros, obtido pela equação de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e do coeficiente da cultura (Kc) (COELHO et al., 2004), com dados fornecidos de uma estação agrometeorológica automática.

Para a adubação, foram utilizados ureia e nitrato de potássio como fonte de nitrogênio (N) e, como fonte potássica (K), cloreto de potássio e nitrato de potássio. Com base na análise química do solo, utilizou-se $300 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em dois ciclos da cultura para o N e, para o K, $500 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em dois ciclos da cultura, de acordo a recomendação de Borges & Costa (2009). Convertendo estes valores para o experimento,

utilizou-se 67,5 kg de N e 112,5 kg de K. Seguindo a marcha de absorção de nutrientes da bananeira, foi aplicado 60% do total do N recomendado no estágio vegetativo e 40% no estágio de produção. Em relação ao K, aplicou-se 40% da quantidade recomendada no estágio vegetativo e 60% no estágio de produção. Os fertilizantes foram aplicados de forma parcelada de acordo à frequência de fertirrigação (a cada 7 dias), via água de irrigação, com o auxílio de um injetor do tipo Venturi (Figura 3), cuja a vazão é de 50 L h⁻¹.



Figura 3. Injetor do tipo Venturi utilizada para a fertirrigação.

A aplicação de fósforo (P₂O₅) se deu na época do plantio seguindo, também, recomendação de Borges & Costa (2009), aplicando-se 80 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 50 g de FTE BR12 por cova (fonte de micronutrientes).

Para a equação do volume de água para o preparo do fertilizante foi utilizado a equação de razão entre a vazão do dispositivo de injeção (L.h⁻¹) e a vazão do sistema de irrigação (L.h⁻¹). Sendo assim, a razão é encontrada de acordo a equação (1):

$$r = \frac{Q_b}{Q_s} \quad (1)$$

Em que,

Q_b = Vazão do dispositivo de injeção da solução fertilizante no sistema de irrigação (L h⁻¹); e

Q_s = Vazão da linha de irrigação (L h⁻¹).

O volume de água para o preparo da solução fertilizante (V) foi encontrado de acordo a equação (2):

$$V = \frac{r \times M}{(r + Qi) \times Cf} \quad (2)$$

Em que,

M = Massa do fertilizante (fonte do nutriente) (g);

Q_i = Volume de água que passa pela linha de irrigação (1L) para cada volume de água aplicado pelo dispositivo de injeção ($Q_i = 1,0L$); e

C_f = Concentração do fertilizante na saída do emissor ($g L^{-1}$).

Para estimativa da umidade no momento da irrigação foram fabricadas sondas (Figura 4A) de TDR (COELHO et al., 2005) e, posteriormente, instaladas na profundidade de 0,30 m a 0,30 m da planta na linha do plantio (Figura 4B), entre um emissor e outro no gotejamento e entre a planta e o emissor no caso da microaspersão (ANDRADE NETO, 2009) para leituras de umidade do solo antes das irrigações.



Figura 4. Sondas fabricadas (A) e instaladas (B) a 0,30 m de profundidade e 0,30 m da planta.

Amostras de solução do solo foram coletadas durante todo o período seco, no início (outubro/17), meio (dezembro/17) e final (março/18) do período seco, antes e depois da fertirrigação, com o auxílio de extratores de solução (Figura 5) que foram instalados radialmente, no caso da microaspersão e para gotejamento entre a planta e um gotejador, a 0,30 m da planta, na profundidade de 0,30 m em ambos os sistemas. As sucções nos extratores de solução do solo foram realizadas no final da tarde com o auxílio de uma seringa com agulha. As coletas eram realizadas em torno de 24 h após a sucção (SOUSA et al., 2011), por meio de seringas que foram descontaminadas com água deionizada a cada solução coletada.



Figura 5. Extrator de solução do solo instalado a 0,30m de profundidade e 0,30m da planta.

As amostras das soluções do solo coletadas pelos extratores de solução foram encaminhadas para o laboratório de irrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura. As leituras da condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) e do nitrato (NO_3^-) foram realizadas através de um condutivímetro de bancada (Figura 6) e por um equipamento de avaliação rápida (Horiba Cardy), respectivamente. A leitura do K foi realizada no laboratório de química do solo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, campus Vitória da Conquista obtida através de um fotômetro de chama (OKUMURA et al., 2004).



Figura 6. Condutivímetro de bancada para leitura da condutividade elétrica da solução do solo.

Os dados obtidos da CE_w , NO_3^- e K nas análises laboratoriais foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de probabilidade. O teste F foi aplicado aos dados qualitativos e análise de regressão para dados quantitativos, utilizando o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condutividade elétrica da solução do solo (CE_w)

As análises de variância da condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) são apresentadas nas tabelas 1 (antes da fertirrigação) e 2 (depois da fertirrigação) no início (outubro/17), meio (dezembro/17) e final (março/18) do período seco. No momento antes da fertirrigação, houve efeito da interação sistema de irrigação x concentração ($P < 0,05$) na CE_w no início do período seco. Este comportamento não foi identificado nas outras épocas do período seco (meio e final). No final do período seco, a interação fonte de nutrientes x concentração causaram efeito na CE_w ao nível de 5% de probabilidade.

Para as análises de variância depois da fertirrigação (Tabela 2), foi observado efeito das concentrações na CE_w em todo o período seco avaliado. A interação sistema de irrigação x concentração causou efeito na CE_w ($P < 0,05$), com exceção do início do período seco (outubro/17). Para o final do período seco, a fonte fertirrigação e a interação fonte x concentração apresentaram efeito na CE_w ($P < 0,05$).

TABELA 1. Quadrado médio do resíduo da condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) antes da fertirrigação.

Condutividade elétrica da solução do solo (CE_w)							
FV	Início		Meio		Final		
	GL	QMR	GL	QMR	GL	QMR	
BLOCO	2	0,0029 ^{ns}	2	0,047 ^{ns}	2	0,0445 ^{ns}	
SISTEMA	1	0,0156 ^{ns}	1	0,334 ^{ns}	1	0,4328 ^{ns}	
RESÍDUO 1	2	0,0272 ^{ns}	2	0,023 ^{ns}	2	0,0663 ^{ns}	
FONTE	1	0,0441 ^{ns}	1	0,358 ^{ns}	1	0,8416*	
SISTEMA*FONTE	1	0,0014 ^{ns}	1	0,086 ^{ns}	1	0,0211 ^{ns}	
RESÍDUO 2	2	0,0185 ^{ns}	2	0,058 ^{ns}	2	0,0384 ^{ns}	
CONCENTRAÇÃO	4	0,0510*	4	0,024 ^{ns}	4	0,0714 ^{ns}	
SISTEMA*CONCENTRAÇÃO	4	0,0278*	4	0,032 ^{ns}	4	0,0581 ^{ns}	
FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0154 ^{ns}	4	0,065 ^{ns}	4	0,0972*	
SISTEMA*FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0201 ^{ns}	4	0,072 ^{ns}	4	0,0390 ^{ns}	
RESÍDUO 3	34	0,0093 ^{ns}	34	0,040 ^{ns}	34	0,0350 ^{ns}	
TOTAL	59		59		59		
CV 1 (%) =	45,14		24,25		34,78		
CV 2 (%) =	37,2		38,52		26,46		
CV 3 (%) =	26,47		31,96		25,25		

*significativo a 5% de probabilidade.

TABELA 2. Quadrado médio do resíduo da condutividade elétrica da solução do solo (CE_w) depois da fertirrigação.

Condutividade elétrica da solução do solo (CE_w)							
--	--	--	--	--	--	--	--

FV	Início		Meio		Final	
	GL	QMR	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	0,0554 ^{ns}	2	0,0892 ^{ns}	2	0,0185 ^{ns}
SISTEMA	1	0,0005 ^{ns}	1	0,1004 ^{ns}	1	0,0052 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	0,0087 ^{ns}	2	0,0084 ^{ns}	2	0,0118 ^{ns}
FONTE	1	0,0080 ^{ns}	1	0,0003 ^{ns}	1	0,1548*
SISTEMA*FONTE	1	0,0014 ^{ns}	1	0,0503 ^{ns}	1	0,0479 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	0,0255 ^{ns}	2	0,0264 ^{ns}	2	0,0033 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	0,0935*	4	0,0982*	4	0,0608*
SISTEMA*CONCENTRAÇÃO	4	0,0189 ^{ns}	4	0,0641*	4	0,0846*
FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0196 ^{ns}	4	0,0498 ^{ns}	4	0,1380*
SISTEMA*FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0086 ^{ns}	4	0,0145 ^{ns}	4	0,0188 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	0,0159 ^{ns}	34	0,0214 ^{ns}	34	0,0143 ^{ns}
TOTAL	59		59		59	
CV 1 (%) =	15,07		11,69		11,48	
CV 2 (%) =	25,88		20,7		6,03	
CV 3 (%) =	20,44		18,65		12,67	

*significativo a 5% de probabilidade.

Não foi observado efeito na CE_w entre as fontes de N e K ao longo das avaliações ($P > 0,05$), exceto no final do período seco, quando as fertirrigações com ureia + KCl obtiveram maiores valores da CE_w em comparação à fertirrigação com ureia + KNO_3 (Tabela 3). O efeito na CE_w nas áreas fertirrigadas com ureia + KCl se deram por conta do KCl ter maior tendência de elevar o potencial osmótico do solo, pois a condutividade elétrica de soluções equimolares de fertilizantes potássicos aumenta na seguinte ordem: $KH_2PO_4 < KNO_3 < KCl < K_2SO_4$ (MARQUES et al., 2010). De acordo com Silva et al. (2001), a aplicação do potássio na forma de KCl pode resultar em alta concentração de sais em solução do solo.

Tabela 3. Médias da Condutividade elétrica da solução do solo ($dS\ m^{-1}$) em duas fontes fertirrigantes em três épocas do período seco antes da fertirrigação.

Fonte fertirrigante	Época		
	Início	Meio	Final
KCl + ureia	0,392 a	0,704 a	0,859 a
KNO_3 + ureia	0,338 a	0,549 a	0,622 b

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na interação concentração x sistema de irrigação antes da fertirrigação, não houve tendência definida de efeito na CE_w em todo o período seco, com exceção do início do período seco para o sistema de irrigação por microaspersão (Figura 8). No sistema por microaspersão, foi encontrada tendência polinomial de grau dois, com valores médios da CE_w variando entre 0,203 e 0,456 $dS\ m^{-1}$ (Figura 8). Esse comportamento foi motivado

pelas chuvas causadas no mês de setembro/17, com precipitações de 156,2 mm e evapotranspiração da cultura de 102,95 mm (Gráfico 1).

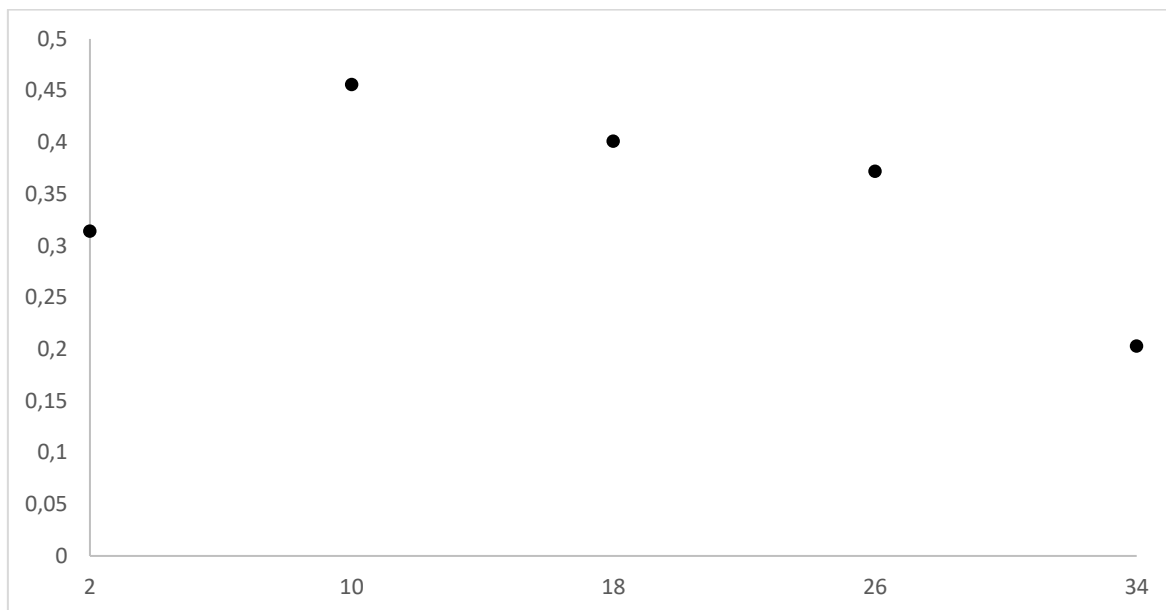


FIGURA 8. Valores médios da CE_w antes da fertirrigação no sistema por microaspersão (8a) submetido a diferentes concentrações da fonte fertirrigante.

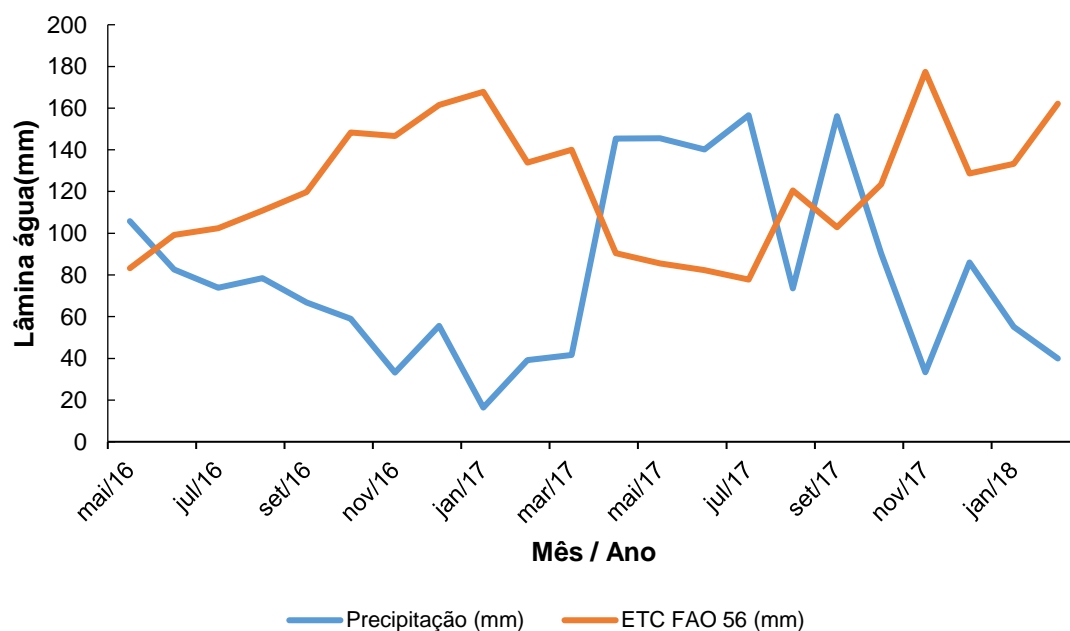


Gráfico 1. Precipitação (mm) e Evapotranspiração da cultura (mm) no período de maio/16 a fev/18.

A Figura 9 apresenta a análise de regressão para a interação concentração x fontes de N e K_2O antes da fertirrigação, onde não houve efeito na CE_w ao longo do tempo, exceto no final do período seco, onde se encontrou efeito na CE_w fertirrigado com ureia + KCl. Contudo, não foi observado tendência de elevação ou declínio da CE_w no final do período seco (março/18). As sucessivas fertirrigações ao longo do tempo em diferentes concentrações, a ausência de chuvas e a maior tendência de elevação dos íons no solo causado pelo KCl podem ter contribuído para o efeito na CE_w no final do período seco.

Os valores observados no final do período seco variaram entre 0,739 a 1,012 dS m^{-1} e 0,452 a 0,689 dS m^{-1} para as aplicações de ureia + KCl e ureia + KNO_3 , respectivamente. As fertirrigações ao longo do tempo realizadas a 34,0 g L^{-1} com ureia + KCl proporcionou níveis de CE_w de 1,012 dS m^{-1} no final do período seco. As bananeiras são sensíveis à salinidade, requerendo valores da CE do solo abaixo de 1,0 dS m^{-1} para apresentarem bom desenvolvimento (SILVA et al., 2002; GONDIM et al., 2009).

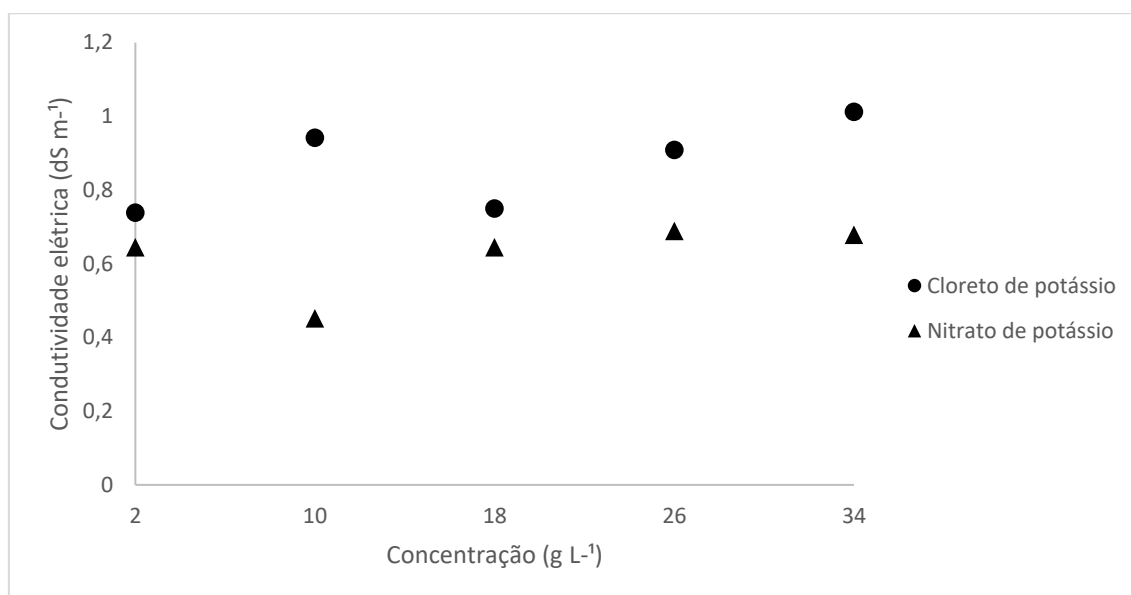


FIGURA 9. Valores médios da CE_w antes da fertirrigação das fontes de N e K em função das concentrações da solução fertilizante no final do período seco.

Após realizada a fertirrigação, observou-se igualdade entre os valores da CE_w no início e meio do período seco para as fontes de N e K (Tabela 4). Entretanto, os tratamentos se diferenciaram no final do período seco, onde foi obtido um maior acúmulo de sais no solo fertirrigado com KCl. O KCl apresenta maior índice salino em relação ao KNO_3 (CECÍLIO FILHO; GRANGEIRO, 2004), explicando os maiores valores de condutividade elétrica da solução do solo fertirrigados por essa fonte. Sangoi et al. (2009) observaram que, com a aplicação de KCl, houve um aumento da condutividade elétrica do solo ao longo do tempo em aproximadamente dez vezes comparado à testemunha, para a maioria dos solos, reduzindo a germinação e o crescimento inicial de plântulas de milho em solos com elevados teores salinos.

Tabela 4. Médias da condutividade elétrica da solução do solo (dS m^{-1}) depois da fertirrigação em duas fontes fertilizantes em três épocas do período seco.

Fonte fertilizante	Época		
	Início	Meio	Final
KCl + ureia	0,628	0,787	0,996 a

KNO ₃ + ureia	0,605	0,783	0,894	b
--------------------------	-------	-------	-------	---

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Foi observado efeito na CE_w das concentrações estudadas em todas as épocas avaliadas (Figura 10), porém não foi encontrado tendência de elevação ou declínio nas épocas de meio e final do período seco, onde os níveis de CE_w variaram de 0,689 a 0,878 $dS\ m^{-1}$ e 0,869 a 1,043 $dS\ m^{-1}$ para o meio e final do período seco, respectivamente. No início do período seco foi observado um comportamento linear da CE_w , em que há um aumento da CE_w com o aumento da concentração da solução de injeção, com variações da CE_w entre 0,497 e 0,743 $dS\ m^{-1}$, corroborando com os resultados observados por Coelho et al. (2014) trabalhando com diferentes concentrações da solução de injeção, onde houve um aumento da CE_w em razão da concentração da solução de injeção.

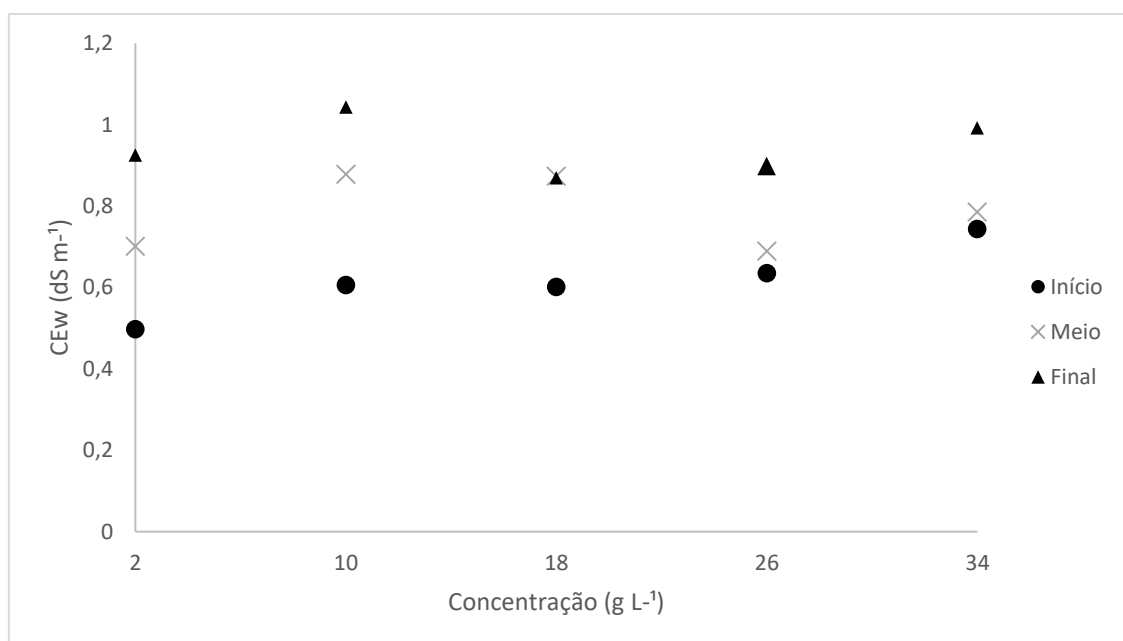


FIGURA 10. Valores da CE_w depois da fertirrigação em diferentes concentrações avaliadas em três épocas do período seco no cultivo da bananeira.

Houve efeito na CE_w para a interação concentração x sistema no sistema de irrigação por microaspersão depois da fertirrigação, exceto no início do período seco (Figura 11). Não foi observado tendência definida para as épocas de meio e final do período seco, com a CE_w variando entre 0,604 $dS\ m^{-1}$ e 0,820 $dS\ m^{-1}$ 0,946 $dS\ m^{-1}$ e 1,027 $dS\ m^{-1}$, respectivamente. A variação das concentrações de sais na água de irrigação afeta diretamente a condutividade elétrica do solo (ANDRADE NETO, 2009).

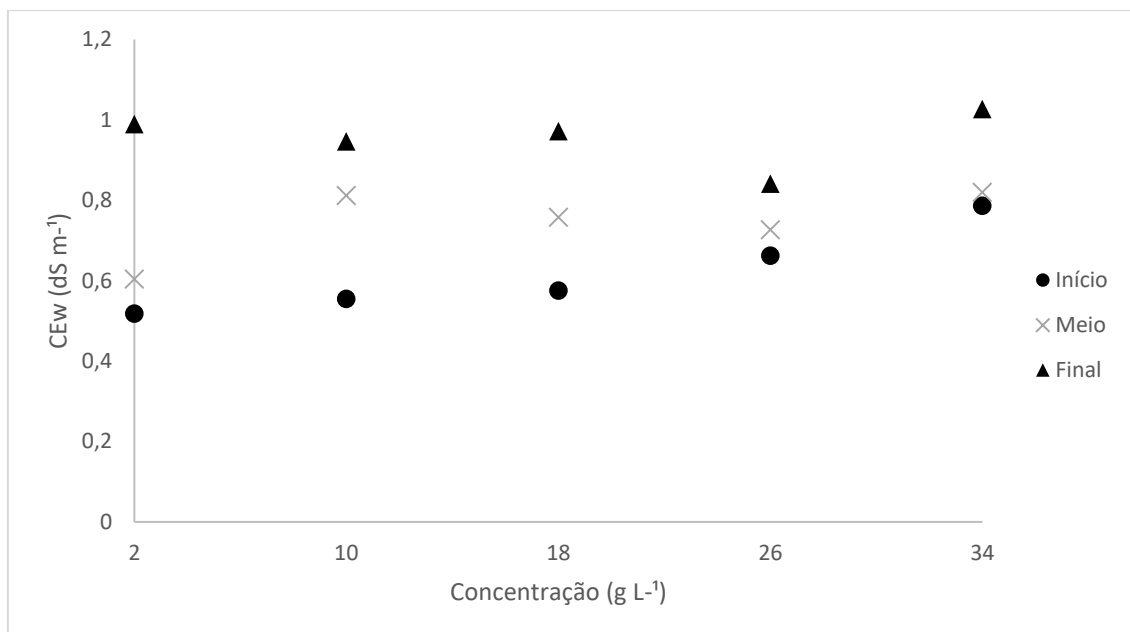


FIGURA 11. Valores médios da CE_w depois da fertirrigação no sistema por microaspersão submetido a de diferentes concentrações da fonte fertilizante.

Houve efeito na CE_w para a interação concentração x fonte no final do período seco depois da fertirrigação para a fonte ureia + KCl, sem tendência definida de elevação ou declínio da CE_w (Figura 12), elevando os íons na solução do solo a valores máximos de $1,22 \text{ dS m}^{-1}$ na concentração de $34,0 \text{ g L}^{-1}$. A salinidade pode acarretar em efeitos negativos dos processos fisiológicos das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2009; GONDIM et al., 2009). De acordo com Doorenbos & Kassam (1980), os níveis aceitáveis da condutividade elétrica do solo para o cultivo da bananeira é de até $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. Portanto, deve-se ter cautela com a concentração de $34,0 \text{ g L}^{-1}$ quando utilizado KCl na fertirrigação, que elevou a CE_w em valores acima de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. A fertirrigação com ureia + KNO_3 não obteve valores da CE_w acima do limite tolerado pela bananeira em todo o período seco para nenhuma das concentrações fertilizantes, com variações máximas da CE_w de $0,763$ a $0,981 \text{ dS m}^{-1}$.

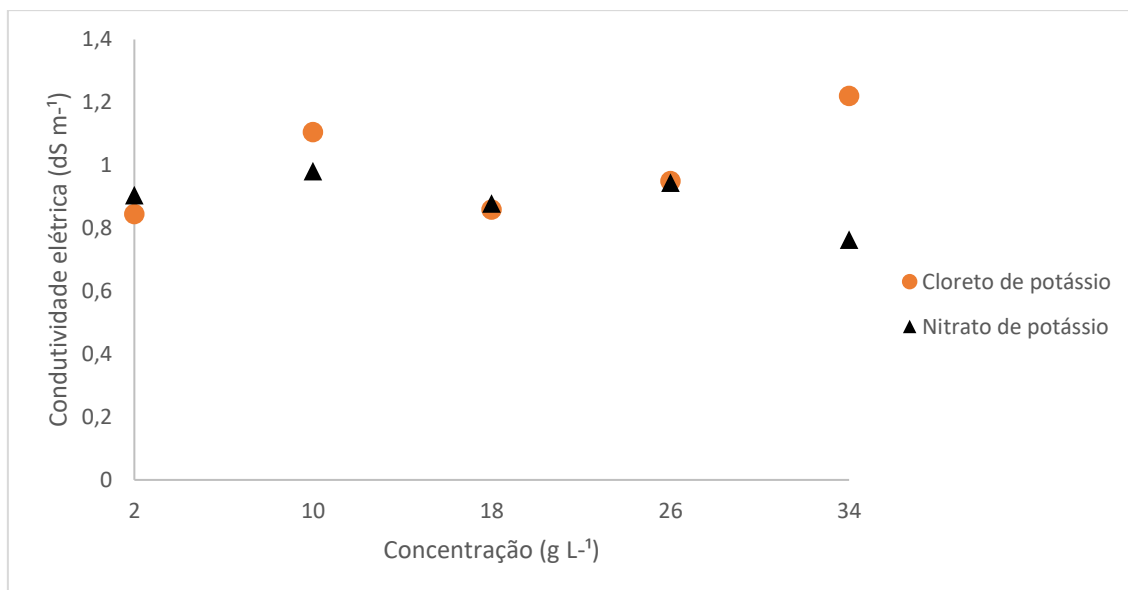


Figura 12. Valores médios da CE_w depois da fertirrigação no final do período seco com fontes de N e K em função das concentrações da solução fertirrigante.

Nitrato da solução do solo – NO_3^-

As análises de variância do nitrato da solução do solo (NO_3^-) são apresentadas nas tabelas 5 (antes da fertirrigação) e 6 (depois da fertirrigação). No momento antes da fertirrigação, houve efeito no NO_3^- da interação sistema de irrigação x fonte fertirrigante no início (outubro/17) e final (março/18) do período seco ($P < 0,05$). Para a interação concentração x sistema de irrigação foi encontrado efeito na concentração de NO_3^- no final do período seco pela análise de regressão.

Na condição depois da fertirrigação, a interação sistema de irrigação x concentração influenciou a concentração de NO_3^- na metade (dezembro/17) e no final (março/18) do período seco. Para a interação fonte fertirrigante x concentração houve efeito na concentração de NO_3^- em todo o período seco ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5. Quadrado médio do resíduo do Nitrato (NO_3^-) da solução do solo antes da fertirrigação.

FV	Nitrato da solução do solo (NO_3^-)					
	Início		Meio		Final	
	GL	QMR	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	25,80 ^{ns}	2	870,78 ^{ns}	2	754,33 ^{ns}
SISTEMA	1	2754,04 ^{ns}	1	20295,50*	1	11606,50 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	288,95 ^{ns}	2	941,87 ^{ns}	2	6501,05 ^{ns}
FONTE	1	155,20 ^{ns}	1	4602,50 ^{ns}	1	825,10*
SISTEMA*FONTE	1	3816,04*	1	3880,10 ^{ns}	1	113,70*

RESÍDUO 2	2	60,65 ^{ns}	2	1991,38 ^{ns}	2	33,28 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	1712,49 ^{ns}	4	5003,32 ^{ns}	4	3842,47 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	2819,61 ^{ns}	4	4091,24 ^{ns}	4	13512,04*
FONTE*CONC	4	615,02 ^{ns}	4	3788,58 ^{ns}	4	5978,64 ^{ns}
SISTEMA*FONTE*CONC	4	652,91 ^{ns}	4	1965,22 ^{ns}	4	9440,17*
RESÍDUO 3	34	1088,49 ^{ns}	34	2164,14 ^{ns}	34	3268,99 ^{ns}
TOTAL	59		59		59	
CV 1 (%) =	34,12		32,69		62,27	
CV 2 (%) =	15,63		47,69		4,45	
CV 3 (%) =	66,22		49,55		44,15	

*significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Quadrado médio do resíduo do Nitrato (NO_3^-) da solução do solo depois da fertirrigação.

FV	Nitrato da solução do solo (NO_3^-)					
	Início		Meio		Final	
	GL	QMR	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	13759,69 ^{ns}	2	93,35 ^{ns}	2	11408,75 ^{ns}
SISTEMA	1	333,70 ^{ns}	1	8449,06 ^{ns}	1	10140,00 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	429,65 ^{ns}	2	1312,26 ^{ns}	2	3601,25 ^{ns}
FONTE	1	4567,53 ^{ns}	1	7729,35 ^{ns}	1	26,66 ^{ns}
SISTEMA*FONTE	1	2035,83 ^{ns}	1	10244,26 ^{ns}	1	2041,66 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	955,23 ^{ns}	2	1424,26 ^{ns}	2	1890,41 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	3612,35 ^{ns}	4	5368,54 ^{ns}	4	10581,66 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	3331,97 ^{ns}	4	15976,64*	4	30869,16*
FONTE*CONC	4	8725,05*	4	8936,04*	4	17172,50*
SISTEMA*FONTE*CONC	4	3764,35 ^{ns}	4	7363,86*	4	15375,00*
RESÍDUO 3	34	1970,13 ^{ns}	34	2532,09 ^{ns}	34	4189,19 ^{ns}
TOTAL	59		59		59	
CV 1 (%) =	16,67		22,88		29,34	
CV 2 (%) =	24,86		23,83		21,26	
CV 3 (%) =	35,7		31,78		31,65	

*significativo a 5% de probabilidade.

Antes da fertirrigação, no desdobramento das fontes de N e K_2O fixando o sistema de irrigação, pode-se observar efeito na concentração de NO_3^- no início do período seco pelo sistema de irrigação por microaspersão, em que os teores de NO_3^- na área fertirrigada com ureia + KCl foram maiores do que quando aplicado ureia + KNO_3 (Tabela 7). Isso pode ser explicado pela menor percolação ou lixiviação do nitrato associado a dinâmica da ureia no solo quando a fertirrigação foi realizada utilizando ureia como fonte única de N. O KNO_3 , quando aplicado por fertirrigação, libera o íon NO_3^- diretamente na solução do solo (Alves et al., 2010), ficando disponível para a planta. Apesar disso, o uso de KNO_3 como fonte potássica adicionou ao solo 21,75% do N total utilizado na fertirrigação, onde

o restante do N foi aplicado com ureia, não sendo suficiente para haver efeito na concentração de NO_3^- em relação à fertirrigação com ureia + KCl.

Para o desdobramento dos sistemas de irrigação fixando a fonte fertirrigante, houve efeito na concentração do NO_3^- no início e final do período seco fertirrigado com ureia + KNO_3 . As concentrações de NO_3^- no sistema de irrigação por gotejamento foram superiores às do sistema por microaspersão. A aplicação da solução de injeção num menor volume molhado pode ter causado o aumento da concentração de NO_3^- . Os resultados foram condizentes com Coelho et al. (2014), que avaliaram a concentração de NO_3^- nos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento, onde foi verificada concentrações superiores de NO_3^- na irrigação por gotejamento.

Tabela 7. Médias de NO_3^- da solução do solo em 3 épocas do período seco submetido a diferentes fontes e sistemas de irrigação sob fertirrigação.

Nitrato da solução do solo - NO_3^- (mg L ⁻¹) antes da fertirrigação						
Sistema de irrigação	Período					
	Início		Meio		Final	
	KCl	KNO_3	KCl	KNO_3	KCl	KNO_3
Microaspersão	52,63 Aa	33,47 Bb	92,30	58,70	144,00 Aa	107,57 Ba
Gotejamento	50,23 Aa	62,87 Aa	113,00	111,57	142,80 Aa	123,60 Aa

*Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e minúsculas distintas na linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Foi observado efeito na concentração de NO_3^- na interação sistema x concentração da solução fertirrigante para o sistema de irrigação por microaspersão ($P < 0,05$) antes da fertirrigação no final do período seco (Figura 13). As concentrações do NO_3^- tiveram variações de 99,00 a 205,25 mg L⁻¹. Porém, não houve tendência definida de elevação ou declínio da concentração de NO_3^- . Os valores encontrados ficaram dentro da faixa encontrada por Alves et al. (2007) trabalhando com diferentes combinações de ureia e nitrato de cálcio, em que se obteve concentrações de NO_3^- entre 3,5 e 225,0 mg L⁻¹.

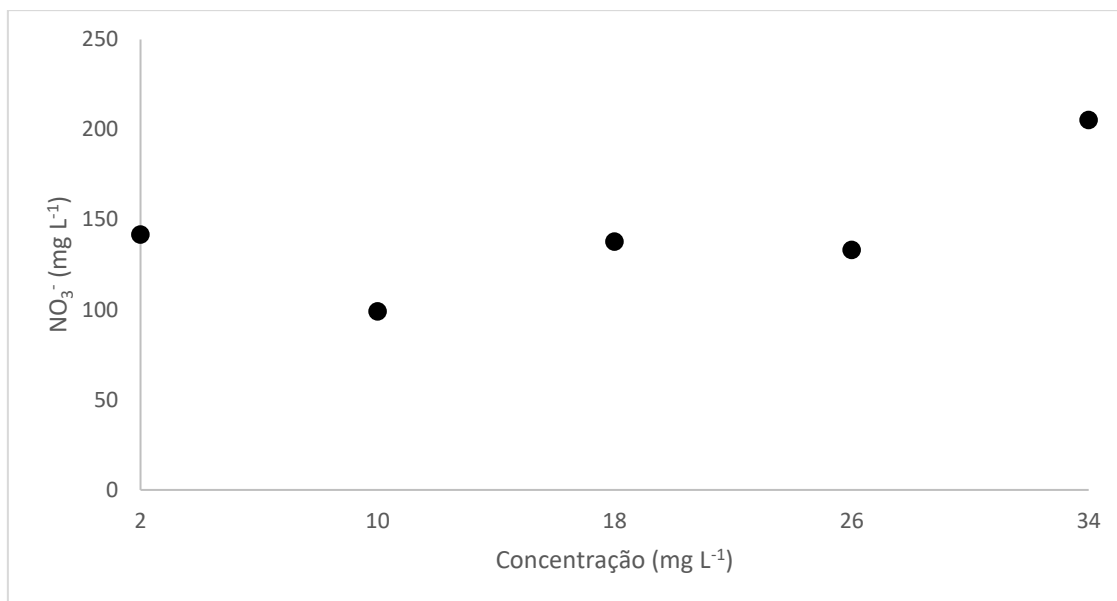


Figura 13. Médias de NO₃⁻ da solução do solo antes da fertirrigação no sistema de irrigação por microaspersão no final do período seco.

A análise de variância da interação tempo x concentração para análise de acúmulo de NO₃⁻ é apresentada na Tabela 8, onde se utilizou dois fatores: tempo e concentração da solução fertilizante, em que se considerou tempo como parcela e as concentrações da solução fertilizante como sub parcela. Foi observado efeito da interação tempo x concentração das soluções fertilizantes na concentração de NO₃⁻ ($P < 0,05$).

Tabela 8. Análise de variância de NO₃⁻ com tempo como fonte de variação.

FV	Bloco	Tempo	Resíduo 1	Concentração	Tempo x Con	Resíduo 2	Total
GL	2	2	4	4	8	69	89
QMR	518,2	54477,06*	2012,25	5213,51*	0,0207*	4132,53	
CV %			50,49			72,36	

Com as sucessivas aplicações dos fertilizantes via água de irrigação, observou-se um acúmulo de nitrato na zona radicular ao longo do tempo (outubro de 2017 a março de 2018) independente da concentração estudada (2,0 g L⁻¹ a 34,0 g L⁻¹) (Tabela 9). Apesar de ter avaliado numa faixa estreita de concentração da solução fertilizante (2,7 g L⁻¹ a 7,2 g L⁻¹), este comportamento foi encontrado por Coelho et al. (2014) em que, trabalhando com diferentes fontes nitrogenadas, observou acúmulo de NO₃⁻ na zona radicular ao longo do ciclo da bananeira para todas as concentrações da solução fertilizante avaliadas.

Tabela 9. Médias da concentração de NO_3^- (mg L^{-1}) nas concentrações da solução fertilizante em 3 épocas de avaliação.

Concentração	Período		
	Início	Meio	Final
2,0	38,00 b	130,83 a	98,75 ab
10,0	60,17 b	104,25 ab	103,25 a
18,0	38,67 b	69,39 ab	122,25 a
26,0	67,75 ab	67,25 b	149,00 a
34,0	36,50 c	90,00 b	192,75 a

*Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

As concentrações de NO_3^- na solução do solo antes da fertirrigação ficaram entre 38,83 e 139,75 mg L^{-1} para a fonte ureia + KCl (Figura 14a) e 31,25 e 192,75 mg L^{-1} para ureia + KNO_3 (Figura 14b). Esses valores encontrados estão próximos dos encontrados por Kelling et al. (1977) que, trabalhando com diferentes concentrações de solução de injeção, obtiveram níveis de NO_3^- na solução do solo de 78,0 a 225,0 mg L^{-1} e dentro da faixa obtida por Kaiser (2010), onde os níveis de NO_3^- se situaram entre 8,0 e 226,0 mg L^{-1} .

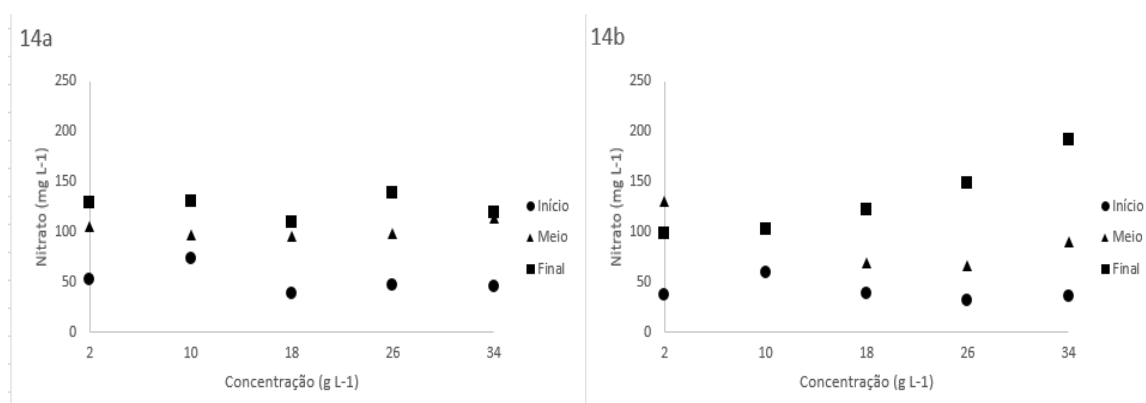


FIGURA 14. Médias do NO_3^- na solução do solo (mg L^{-1}) antes da fertirrigação aplicando ureia + KCl (14a) e ureia + KNO_3 (14b) em diferentes concentrações ao longo do tempo.

Na interação sistema x concentração depois da fertirrigação para o sistema por gotejamento, houve efeito na concentração de NO_3^- no meio e final do período seco (Figura 15). A concentração do nitrato variou de 94,5 a 232,83 mg L^{-1} com o comportamento seguindo uma função polinomial de grau dois no meio do período seco. No final do período seco, não foi encontrada tendência de aumento ou diminuição da concentração de NO_3^- na solução do solo, em que as médias de concentração do NO_3^- variaram entre 135,0 e 335,0 mg L^{-1} . As variações das concentrações obtidas aproximam-

se das encontradas por Andrade Neto (2009), que observou concentrações variando entre 115,0 e 312,5 mg L⁻¹ aplicando ureia como fonte nitrogenada via fertirrigação por gotejamento.

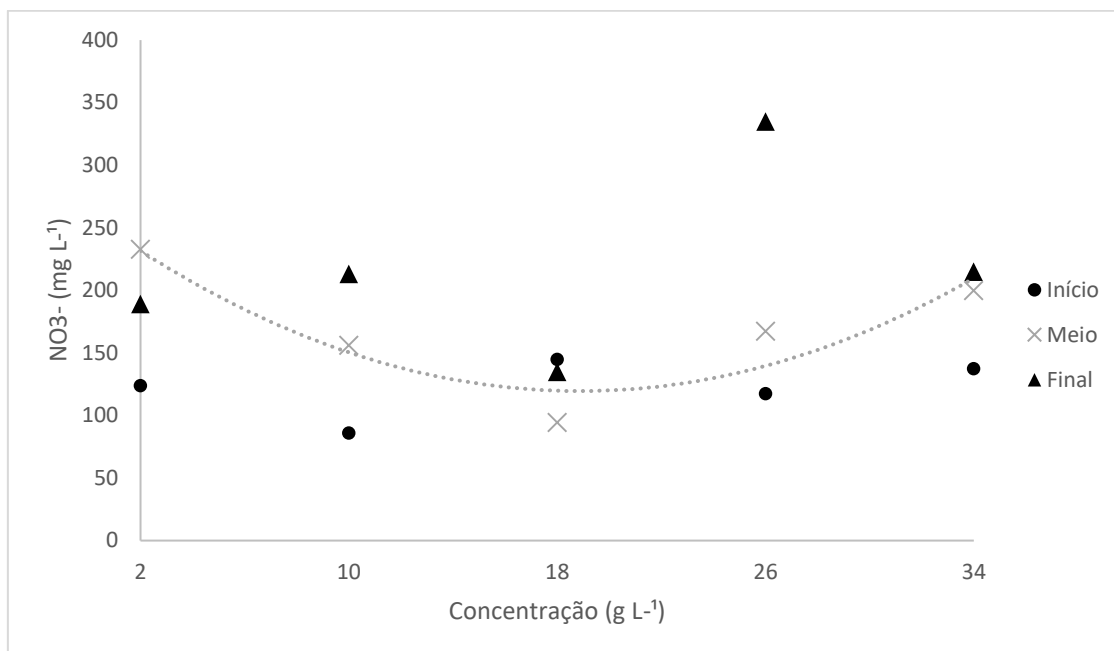


Figura 15. Médias das concentrações do NO₃⁻ no sistema de irrigação por gotejamento depois da fertirrigação submetido a diferentes concentrações da solução fertirrigante em três épocas.

No desdobramento das fontes de N e K para cada concentração da solução fertirrigante, houve efeito na concentração de NO₃⁻ em todo o período seco (Tabela 10). No início do período seco, observou-se efeito na concentração de NO₃⁻ para as concentrações da solução fertirrigante de 18,0 e 34,0 g L⁻¹, onde se encontrou maiores concentrações de NO₃⁻ quando aplicado KNO₃ + ureia.

No meio do período seco, a aplicação de KCl + ureia na concentração de 2,0 g L⁻¹ apresentou maior concentração de NO₃⁻ comparado à KNO₃ + ureia. Este comportamento foi inverso quando se aplicou a solução fertirrigante na concentração de 26,0 g L⁻¹, onde a fertirrigação com KNO₃ + ureia apresentou maiores concentrações de NO₃⁻.

Em relação ao final do período seco, encontrou-se maior concentração de NO₃⁻ quando a fertirrigação ocorreu com KCl + ureia na concentração de 10,0 g L⁻¹ da solução fertirrigante. Entretanto, a fertirrigação realizada com KNO₃ + ureia na concentração de 26,0 g L⁻¹ proporcionou maior concentração de NO₃⁻ na solução do solo quando comparado à aplicação com KCl + ureia.

Nas três épocas avaliadas, observou-se uma mesma tendência, onde a fertirrigação das fontes de N e K em concentrações menores (2,0 e 10,0 g L⁻¹) proporcionaram maiores concentrações de NO₃⁻ quando fertirrigado com KCl + ureia. Todavia, a fertirrigação com KNO₃ + ureia acarretou em maior concentração de NO₃⁻ quando se aplicou a solução fertirrigante nas concentrações de 18,0, 26,0 e 34,0 g L⁻¹. A fonte de N na fertirrigação com KCl + ureia vem exclusivamente da ureia, podendo explicar tal fato, pois a ureia necessita sofrer o processo da nitrificação para se obter o nitrato na forma livre na solução do solo, diferente da fertirrigação com KNO₃ + ureia, em que o N advém tanto do KNO₃ quanto da ureia, onde o N do KNO₃ entra na solução do solo na forma livre de nitrato, podendo ter percolado ou lixiviado para camadas abaixo da estudada nas concentrações mais diluídas da solução fertirrigante, enquanto que as maiores concentrações da solução fertirrigante proporcionaram menor descida do nitrato, fazendo com que o NO₃⁻ se encontrasse concentrado na camada de 0,30 m. A movimentação da forma livre de nitrato no solo se dá pelo fluxo de massa, acompanhando o fluxo de água no solo (KAISER et al., 2010). De acordo com Andrade et al. (2009), uma das causas da potencialização da lixiviação do nitrato da solução do solo é consequência da elevada dotação de água empregada na irrigação.

Tabela 10. Médias da concentração de nitrato (mg L⁻¹) depois da fertirrigação na solução do solo nas três épocas do período seco.

Início do período seco		
Concentração (g L ⁻¹)	Fonte fertirrigante	
	KCl + ureia	KNO ₃ + ureia
2,0	124,33 a	126,42 a
10,0	79,83 a	113,00 a
18,0	93,67 b	151,00 a
26,0	131,50 a	148,83 a
34,0	91,31 b	183,33 a
Meio do período seco		
Concentração (g L ⁻¹)	Fonte fertirrigante	
	KCl + ureia	KNO ₃ + ureia
2,0	225,00 a	139,17 b
10,0	196,25 a	150,00 a
18,0	147,25 a	107,00 a
26,0	127,50 b	185,50 a
34,0	152,50 a	153,33 a
Final do período seco		
Concentração (g L ⁻¹)	Fonte fertirrigante	
	KCl + ureia	KNO ₃ + ureia
2,0	217,50 a	189,17 a
10,0	263,33 a	160,00 b

18,0	155,00 a	155,00 a
26,0	180,00 b	285,00 a
34,0	210,00 a	230,00 a

*letras minúsculas distintas na linha diferem entre si a 5% de probabilidade.

Potássio na solução do solo – K

No momento antes da fertirrigação, não houve efeito na concentração de K ao nível de 5% de probabilidade em nenhuma das épocas estudadas (outubro/17 a março/18) para todas as fontes de variação. O quadrado médio do resíduo do potássio da solução do solo (K) para depois da fertirrigação é apresentada na Tabela 11.

Na condição depois da fertirrigação, não foi observado efeito da concentração de K no início (outubro/17) e meio (dezembro/17) do período seco para as fontes de variação estudadas. No final do período seco (março de 2018) apenas houve efeito da interação sistema de irrigação x concentração da solução fertirrigante na concentração de K ($P < 0,05$).

Tabela 11. Quadrado médio do resíduo do potássio da solução do solo (K) depois da fertirrigação.

FV	Potássio da solução do solo (K ₂ O)					
	Início		Meio		Final	
	GL	QMR	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	173,71 ^{ns}	2	5,66 ^{ns}	2	25,65 ^{ns}
SISTEMA	1	240,00 ^{ns}	1	248,06 ^{ns}	1	680,06 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	97,65 ^{ns}	2	47,12 ^{ns}	2	298,11 ^{ns}
FONTE	1	64,06 ^{ns}	1	64,06 ^{ns}	1	15,00 ^{ns}
SISTEMA*FONTE	1	180,26 ^{ns}	1	19,26 ^{ns}	1	160,06 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	192,61 ^{ns}	2	158,32 ^{ns}	2	27,11 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	277,39 ^{ns}	4	65,84 ^{ns}	4	369,64 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	251,95 ^{ns}	4	96,95 ^{ns}	4	434,8583*
FONTE*CONC	4	286,94 ^{ns}	4	103,11 ^{ns}	4	212,54 ^{ns}
SISTEMA*FONTE*CONC	4	159,64 ^{ns}	4	21,36 ^{ns}	4	178,52 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	175,90 ^{ns}	34	98,08 ^{ns}	34	156,65 ^{ns}
TOTAL	59		59		59	
CV 1 (%) =	40,22		39,23		59,74	
CV 2 (%) =	56,49		71,90		18,02	
CV 3 (%) =	53,99		56,59		43,41	

*significativo a 5% de probabilidade.

Não houve efeito na concentração de K para a interação sistema x fonte na condição antes da fertirrigação em nenhuma das épocas avaliadas. As concentrações de potássio encontradas estiveram dentro das faixas de 11,93 e 21,30 mg L⁻¹ (Tabela 12). Não foi encontrado indícios de acúmulo do K na solução do solo ao longo do tempo. O

K é o nutriente mais absorvido pela bananeira por produzir elevada quantidade de matéria seca (COSTA et al., 2012).

Tabela 12. Potássio da solução do solo (mg L^{-1}) antes da fertirrigação em diferentes sistemas e fontes no período seco.

Sistema de irrigação	Época					
	Início		Meio		Final	
	KCl	KNO ₃	KCl	KNO ₃	KCl	KNO ₃
Microaspersão	11,93	15,60	23,69	17,17	13,20	17,00
Gotejamento	13,60	15,67	14,07	16,50	21,30	19,00

Na interação sistema de irrigação x concentração depois da fertirrigação não foi observado efeito na concentração de K para as concentrações das soluções fertirrigantes por microaspersão em todo o período seco, com concentrações de K da solução do solo variando de 16,00 a 35,00 mg L^{-1} (outubro de 2017), 14,83 a 27,00 mg L^{-1} (dezembro de 2017) e 23,33 a 42,50 mg L^{-1} (março de 2018) (Figura 16a). Fixando a irrigação por gotejamento, não foi observado efeito na concentração de K no período seco, exceto no final do período seco (março de 2018), em que houve uma tendência quadrática, onde valores médios de K da solução do solo permaneceram entre 17,50 e 34,33 mg L^{-1} (Figura 16b). O efeito na concentração de potássio na solução do solo pode ter sido causado pela ausência de chuvas, principalmente entre o meio e o final período seco e a aplicação do fertilizante num menor volume molhado do solo. As concentrações de K encontrados nesse estudo estão de acordo com Tisdale et al., (1993), onde afirmam que a faixa de concentração ótima de K está entre 10,0 e 60,0 mg L^{-1} .

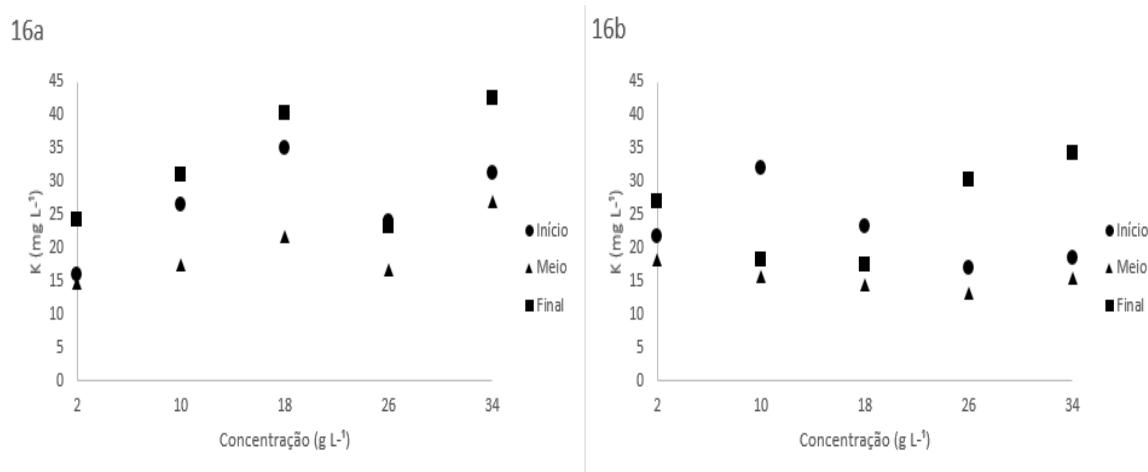


FIGURA 16. Médias de K da solução do solo depois da fertirrigação nos sistemas de irrigação por microaspersão (16a) e gotejamento (16b) submetido a diferentes concentrações de solução de injeção.

CONCLUSÕES

A fertirrigação realizada com ureia + KCl elevou a condutividade elétrica da solução do solo em relação à aplicação de ureia + KNO_3 independente da condição de solo no final do período seco.

A fertirrigação de KCl + ureia na concentração de $34,0 \text{ g L}^{-1}$ elevou os valores da CE_w ao limite tolerado para o cultivo da bananeira no final do período seco, devendo-se ficar atento à essa concentração.

A fertirrigação pelo sistema de irrigação por gotejamento proporcionou maiores concentrações de NO_3^- na solução do solo.

As sucessivas fertirrigações causaram acúmulo de NO_3^- na solução do solo para as fontes de N e K e concentrações das soluções fertirrigantes avaliadas.

A aplicação do cloreto de potássio e nitrato de potássio não elevaram a concentração de K na solução do solo.

Não houve efeito na concentração de K pelas concentrações da solução fertirrigante estudadas.

Recomenda-se utilizar KCl + ureia em comparação a KNO_3 + ureia em concentrações abaixo de $26,0 \text{ g L}^{-1}$ por ter apresentado valores da CE dentro da faixa permitida para o cultivo da bananeira e manter ótimos níveis de concentração de NO_3^- e K na solução do solo com menor custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998, 297p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVES, M. S.; COELHO, E. F.; LÊDO, C. A. S.; ANDRADE NETO, T. M.; SANTANA, J. A. V.; SANTANA JUNIOR, E. B. Concentração do íon NO₃⁻ no solo sob diferentes combinações de fontes nitrogenadas via fertirrigação em bananeira no segundo ciclo de produção. In: Workshop, Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, 2007, Recife, PE. **Anais**. Recife-PE: UFRPE e UFCG, 2007.
- ALVES, M. S.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; ANDRADE NETO, T. M. A. Crescimento e produtividade da bananeira cv. Grande Naine sob diferentes combinações de nitrato de cálcio e ureia. **Rev. Ceres**, v.57, n.1, p. 125-131, jan/fev, 2010.
- ANDRADE, E. M. DE; AQUINO, D. N. DE; CRISÓSTOMO, L. DE A.; RODRIGUES, J. DE O.; LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, v.39, p.88-95, 2009.
- ANDRADE NETO, T.M. **Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes Concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da terra**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
- BEN-GAL, A.; BOROCHOV-NEORI, H.; YERMIYAHU, U.; SHANI, U. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity? **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 2, p. 232-237, 2009.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V.; GHEY, H. R.; FERNANDES, P. D. Emergência e crescimento do milho e da soja sob estresse salino. **Sci. Agri.**, v.64, n.5, p. 451-459, 2007.
- BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação – banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F. Org. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.97-105, 2009.
- CARVALHO, G. C. ; COELHO, E. F. ; COSTA, F. S. ; BARBOSA, R. P. ; NASCIMENTO JUNIOR, A. L. ; AZEVEDO, N. F. . pH do solo no primeiro ciclo da bananeira da terra fertirrigada com diferentes concentrações de uréia e nitrato de potássio na água de irrigação. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza

- CE. **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo** - O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios, 2009.

CECÍLIO FILHO, A. B.; GRANGEIRO, L. C. Produtividade da cultura da melancia em função de fontes e doses de potássio. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.28, n.3, p. 561-569, 2004.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; TEXEIRA, A. H. C.. Irrigação. In: Ana Lúcia Borges; Luciano da Silva Souza. (Org.). **O cultivo da bananeira**. 1ed.Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004, v. 1, p. 132-145.

COELHO, E. F.; ANDRADE NETO, T. M.; BARROS, D. L. Concentration of injection solution and its effects on soil and on yield of fertirrigated banana cv Terra Maranhão. **Eng. Agric.**, v.34, n.6, p. 1104-1113, 2014.

COELHO, E. F.; COSTA, F. S.; SILVA, A. C. P.; CARVALHO, G. C. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p. 263-269, 2014.

COSTA, F. S.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L.; PAMPONET, A. J. M.; SILVA, A. A. S. M.; AZEVEDO, N. F. Crescimento, produção e acúmulo de potássio em bananeira 'Galil 18' sob irrigação e fertilização potássica. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.3, p. 409-416, 2012.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Réponse des rendements à l'eau. Rome: **FAO**, 1980. 235 p. (FAO. Bulletin D'Irrigation et de Drainage, 33).

FERREIRA, D. F. **SISVAR: Um programa para análise e ensino de estatística**. Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

GONDIM, A. R. O.; MEDEIROS, J. F.; LEVIEN, S. L. A.; CARMO, G. A.; FERREIRA SENHOR, R. Balanço hídrico e da salinidade do solo da bananeira irrigada com água de diferentes salinidades. **Acta Scientiarum**, v.31, n.1, p. 1-6, 2009.

GUIMARÃES, M. J. M.; LOPES, I. (2015). Análise da precipitação do município de Cruz das Almas através da técnica de quantis. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 25, 2015, São Cristóvão-SE. **Anais...** São Cristóvão: UFS, 2015.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; STRECK, C. A.; PELLEGRINI, A. Nitrate and ammonium in soil solution in tobacco management systems. **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, p. 379-387, 2010.

- KELLING, K. A.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R.; RYAN, J. A.; PETERSON, A. E. A field study of the agricultural use of sewage sludge: II. Effect on soil N and P. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.345-352, 1977.
- LAHAV, E.; TURNER, D. **Bananas nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1983. 62p. (Bulletin, 7).
- MARQUES, D. J.; BROETTO, F.; SILVA, E. C. Efeito do estresse mineral induzido por fontes e doses de potássio na produção de raízes em plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Caatinga**, v.23, p.7-12, 2010.
- MELO, A. S.; SOBRAL, L. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; VIÉGAS, P. R. A. Aspectos técnicos e econômicos da bananeira 'prata-anã' sob fertirrigação nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 564-571, maio/jun., 2010.
- MOTA, P. R. D.; VILLAS BÔAS, R. L.; SOUSA, V. F. Concentração de sais avaliada pela condutividade elétrica na zona radicular do crisântemo sob irrigação por gotejamento. **Irriga**, v.11, n.4, p.532-542, 2006.
- NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.25-32, 2009.
- OKUMURA F.; CAVALHEIRO, E. T. G.; NÓBREGA, J. A. Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica. **Quim. Nova**, v.27, n.5, p.832-836, 2004.
- OLIVEIRA, F. A. et al.; Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. **Rev. Eng. Agríc.**, v. 11, n. 3, p. 520-528, 2011.
- SANTOS, V. P.; FERNANDES, P. D.; MELO, A. S.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M.; BONFIM, L. V. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v. 31, n.2, p. 567-573, 2009.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V. P.; PICOLI, G. J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com textura contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 187-197, 2009.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; BOARETTO, R.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B. características químicas de um latossolo adubado com uréia e cloreto de potássio em ambiente protegido. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 561-566, 2001.

SILVA, J. T. A.; BORGES, A. L.; DIAS, M. S. C.; COSTA, E. L.; PRUDÊNCIO, J. M. **Diagnóstico nutricional da bananeira Prata-anã para o Norte de Minas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002, 16 p. (Boletim Técnico, 70).

SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Nativa**, v. 02, n. 03, p. 180-186, 2014.

SOUSA, V. F.; COELHO, E.F.; PINTO, J. M.; NOGUEIRA, L. C.; COELHO FILHO, M. A.; ARAÚJO, A. R. de. Manejo de fertirrigação em fruteiras e hortaliças. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.317-338, 2011.

SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; ALMEIRA, B. G.; MELO, D. V. M. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.17 n.5, p. 510-517, 2013.

PINTO, J. M.; FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; FEITOSA FILHO, J. C. Doses de nitrogênio e potássio aplicadas via fertirrigação em bananeira. **Irriga**, v. 10, n.1, p. 46-52, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 848p. 2009.

Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D.; Havlin, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: Macmillan Publishing, 1993. 634p.

ULISSES, C.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L.; ALBUQUERQUE, C. C.; MARTINS, L. S. S.; FREITAS, N. S. A. Caracterização isoenzimática de clones de bananeira nanicao submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p. 358-361, 2002.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: Macmillan Publishing, 1993. 634p.

CAPÍTULO 2

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA SOB FERTIRRIGAÇÃO

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO COM BANANEIRA SOB FERTIRRIGAÇÃO

Autor: Vítor Amâncio Cerqueira

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

RESUMO: A necessidade do manejo da fertirrigação se torna cada vez mais importante a fim de evitar o aumento excessivo de íons no solo e disponibilizar os nutrientes para a planta na quantidade e forma correta. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito das diferentes concentrações da solução fertirrigante de nitrato de potássio + ureia e cloreto de potássio + ureia sobre a condutividade elétrica da solução do solo, além dos teores de nitrato e potássio. O experimento foi montado em blocos casualizados num esquema fatorial de 2 x 2 x 5, dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento), duas fontes fertilizantes (cloreto de potássio e nitrato de potássio) combinadas com ureia e cinco concentrações na saída do emissor (2,0 g.L⁻¹; 10,0 g.L⁻¹; 18,0 g.L⁻¹; 26,0 g.L⁻¹ e; 34,0 g.L⁻¹), totalizando 20 tratamentos com três repetições, em parcelas subdivididas, com o sistema de irrigação na parcela, a fonte na sub parcela e a concentração na sub sub-parcela. As concentrações da solução de injeção não elevaram a CE_{es} da solução do solo a níveis críticos para produção da bananeira. As sucessivas aplicações dos fertilizantes via água de irrigação acarretou num acúmulo de K ao longo do tempo e lixiviação de NO₃⁻ para a profundidade de 60,0 cm.

Palavras-chave: Fertirrigação, Lixiviação, Solução do solo.

ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND NITRATE AND POTASSIUM CONCENTRATION IN THE SOIL SATURATION EXTRACT WITH BANANA UNDER FERTIGATION

Author: Vítor Amâncio Cerqueira

Adviser: Eugênio Ferreira Coelho

ABSTRACT: The need of fertigation management becomes increasingly important in order to avoid the excessive increase of ions in the soil and to make nutrients available to the plant in the correct quantity and form. The objective of this study was to evaluate the effect of the different concentrations of the fertirrigante solution of potassium nitrate + urea and potassium chloride + urea on the electrical conductivity of the soil solution, in addition to nitrate and potassium contents. The experiment was assembled in randomized block in a 2x2x5 factorial scheme, two irrigation systems (microaspersion and drip irrigation), two fertilizer sources (potassium chloride and potassium nitrate) combined with urea and five concentrations at the emitter output (2.0 g.L⁻¹, 10.0 g.L⁻¹, 18.0 g.L⁻¹, 26.0 g.L⁻¹ and 34.0 g.L⁻¹), totaling 20 treatments with three replicates, in a subdivided plots, with the irrigation system in the plot, the source in the sub plot and the concentration in the sub-plot. The concentrations of the injection solution did not elevate the CEs from the soil solution to critical levels for banana production. The successive applications of the fertilizers via irrigation water resulted in an accumulation of K over time and leaching of NO₃⁻ to the depth of 60.0 cm.

Key words: Fertigation, Leaching, Soil solution.

INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas do mundo e seu cultivo é realizado em mais de 120 países, na sua maioria países tropicais. Apesar de ser uma planta cultivada em vários tipos de solo, é recomendado o plantio da bananeira em solos profundos, bem drenados e ricos em matéria orgânica já que, por ser uma cultura de elevada exigência nutricional, solos de baixa fertilidade ou com níveis inadequados de nutrientes afetam negativamente o seu cultivo (BORGES; OLIVEIRA, 2000).

A bananeira é uma planta de alto consumo hídrico tendendo a aumentar sua eficiência agrônômica com a disponibilidade hídrica (COELHO et al., 2006a). O déficit hídrico pode afetar negativamente o seu cultivo, principalmente quando essa escassez ocorre no período da inflorescência ou no início da frutificação (TURNER et al., 2008) afetando, posteriormente, a sua produtividade e qualidade dos frutos. No Brasil, a produtividade da bananeira está abaixo do seu potencial por conta da exiguidade hídrica e de nutrientes (COSTA et al., 2012).

O uso de insumos, principalmente água, está cada vez mais escasso, ao passo que há um aumento na demanda por alimentos. O uso eficiente dos fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2016) e o aumento da eficiência do uso da água (LIU et al., 2016) são fatores extremamente importantes para a produção sustentável das culturas. Sendo assim, é necessário um uso racional dos insumos para que a eficiência na aplicação destes seja maximizada.

A fertirrigação é uma técnica em que os fertilizantes são aplicados via água de irrigação e vêm substituindo a aplicação de fertilizantes de forma tradicional (DOS SANTOS et al., 2009). O emprego da fertirrigação traz, dentre outras vantagens, o aumento da eficiência do uso dos fertilizantes. No entanto, a fertirrigação não se adapta em todos os métodos de irrigação, já que este necessita de sistemas com alta uniformidade de aplicação da água de irrigação. Sendo assim, o método mais adequado para fertirrigação é o localizado (MARTINS et al., 2007).

O nitrogênio é o nutriente mais aplicado via fertirrigação por ser um elemento de alta mobilidade. O fertilizante nitrogenado mais utilizado é a ureia por conta de ter custo baixo e apresenta menor índice salino por unidade. A sua aplicação em altas concentrações pode causar lixiviação do NO_3^- para camadas mais profundas. De acordo com Errebhi et al. (1998) a principal perda de N disponível às plantas é a lixiviação de NO_3^- . A lixiviação de nutrientes afeta negativamente a eficiência de aplicação da

fertirrigação, pois nutrientes lixiviados no perfil do solo tendem a serem alocados em profundidades não explorada pelas raízes.

Para o emprego da fertirrigação, é extremamente importante que o manejo da fertirrigação seja feito de forma correta, com conhecimentos técnicos, evitando o manejo de forma empírica. O uso irracional da fertirrigação pode elevar os teores de sais do solo, levando a um acúmulo de íons. Isso acarreta numa redução do potencial hídrico da planta que reflete na inibição e desuniformidade do crescimento e desenvolvimento da cultura (DOORENBOS & KASSAM, 1994), desbalanço nutricional e efeitos tóxicos dos íons, prejudicando a produtividade e a qualidade dos frutos (LACERDA et al., 2003).

A quantidade de fertilizante a ser aplicado por fertirrigação, bem como a concentração da solução podem ser influenciados pelo índice salino do fertilizante. Fertilizantes que contém, em sua composição, uma mesma quantidade de nutriente desejado, porém com menores índices salinos, podem ser utilizados como alternativas para a diminuição de íons tóxicos no solo (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010), mantendo-o em níveis agricultáveis.

Quando se trata de fertirrigação, não tem havido atenção a condição química do solo no que concerne ao seu estado salino. Entretanto a aplicação de fertilizantes via água implica na aplicação de água salina o que também importa o uso desse indicador. A condição iônica da solução do solo pode ser avaliada pela condutividade elétrica. A leitura da CE é uma das alternativas utilizadas para o manejo da fertirrigação. Para o conhecimento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, um método tido como referência principalmente em relação a estudos com solos propensos à contaminação (SOUZA et al., 2013) é o método da pasta de saturação do solo (RICHARDS, 1954; SOUZA et al., 2012), sobretudo em estudos relacionados a solos propensos à contaminação ambiental.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de fertilizantes nitrogenados e potássicos para fertirrigação no extrato de saturação do solo cultivado com bananeira da prata cv. Fhia 18.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizado em Cruz das Almas-BA (12°48'S;39°06'W; 225,87m). O clima da região é classificado como úmido a sub-úmido com pluviosidade média anual de 1138,0 mm, variando entre 900 e 1300,0 mm ano⁻¹ (GUIMARÃES & LOPES, 2015).

O experimento foi delineado inteiramente casualizado num esquema fatorial de 2x2x5, composto por cinco concentrações da solução fertirrigante na saída do emissor (2,0 g.L⁻¹; 10,0 g.L⁻¹; 18,0 g.L⁻¹; 26,0 g.L⁻¹ e; 34,0 g.L⁻¹), duas combinações de fertilizantes nitrogenados e potássicos (ureia + cloreto de potássio e ureia + nitrato de potássio) e dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento), totalizando 20 tratamentos e três repetições, com sistema de irrigação na parcela, a combinação de fertilizantes na sub parcela e as concentrações da solução fertirrigante na sub sub-parcela. Os valores das concentrações de solução fertirrigante foram definidos a partir de resultados de trabalhos executados em solo distrocoeso de tabuleiros costeiros (CARVALHO et al., 2009; COELHO et al., 2014).

Cada parcela experimental foi representada por 100 plantas de bananeira subgrupo prata CV. FHIA 18 (sistema de irrigação – microaspersão) com 50 plantas na sub parcela (fonte de fertirrigação) e 10 plantas na sub sub-parcela (concentração da solução de injeção na saída do emissor) com 6 plantas úteis. Para a parcela experimental composta com o sistema de irrigação por gotejamento, esta compunha de 50 unidades experimentais com 25 plantas na sub parcela (fonte de fertirrigação) e 5 plantas na sub sub-parcela (concentração da solução de injeção na saída do emissor). O espaçamento do plantio para ambos os sistemas de irrigação foi o mesmo, 2,0 x 2,5m, compondo 450 plantas em todo o experimento.

Os 20 tratamentos foram diferenciados por meio de linhas de PVC de derivação, com registros que permitiram o controle das fertirrigações realizadas por meio de um injetor de solução do tipo Venturi com vazão de 50 L h⁻¹.

O sistema de microaspersão foi constituído por um microaspersor para cada 4 plantas com vazão de 56 L h⁻¹. Para o sistema de irrigação por gotejamento, foi utilizado gotejadores com vazão de 9,6 L h⁻¹, espaçados de 0,60 m, totalizando 3 gotejadores por planta.

A necessidade hídrica da cultura foi determinada pela evapotranspiração da cultura (ETc), em milímetros, obtido pela equação de Penman-Monteith FAO 56

(ALLEN et al., 1998) e do coeficiente da cultura (K_c) (COELHO et al., 2004), com dados fornecidos de uma estação agrometeorológica automática.

Como fonte de nitrogênio (N) foram utilizados ureia e nitrato de potássio e, como fonte potássica (K), cloreto de potássio e nitrato de potássio. Com base na análise química do solo, utilizou-se $300 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em dois ciclos da cultura para o N e, para o K, $500 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em dois ciclos da cultura, de acordo a recomendação de Borges & Costa (2009). Os fertilizantes foram aplicados de forma parcelada de acordo o programa de fertirrigação com uma frequência de aplicação da solução injetora a cada 7 dias, via água de irrigação, com o auxílio de um injetor do tipo Venturi. Os nutrientes foram aplicados seguindo a marcha de absorção da bananeira (SOTO-BALLESTERO et al., 1992) para a máxima otimização dos fertilizantes, respeitando os critérios para o uso da técnica da fertirrigação.

Para a equação do volume de água para o preparo do fertilizante foi utilizado a equação de razão entre a vazão do dispositivo de injeção ($L.h^{-1}$) e a vazão do sistema de irrigação ($L.h^{-1}$). Sendo assim, a razão é encontrada de acordo a Equação (1):

$$r = \frac{Q_s}{Q_f} \quad (1)$$

Em que,

Q_s = Vazão do dispositivo de injeção da solução fertilizante no sistema de irrigação ($L h^{-1}$); e

Q_f = Vazão da linha de irrigação ($L h^{-1}$).

O volume de água para o preparo da solução fertilizante (V) foi encontrado de acordo a equação (2):

$$V = \frac{r \times M}{(r + Q_i) \times C_f} \quad (2)$$

Em que,

M = Massa do fertilizante (fonte do nutriente) (g);

Q_i = Volume de água que passa pelo sistema de irrigação (1L) para cada volume de água aplicado pela bomba injetora ($Q_i = 1,0L$); e

C_f = Concentração do fertilizante na saída do emissor ($g L^{-1}$).

Amostras de solos foram coletadas com o auxílio de um trado holandês, de 0,030 m de diâmetro em todos os tratamentos nas épocas de dezembro/17 e março/18 entre uma fertirrigação e outra radialmente ao microaspersor no sistema de microaspersão e entre a planta e o gotejador no sistema por gotejamento a 0,30 m da planta nas profundidades de

0,30 e 0,60 m para a realização do extrato de saturação. Logo após, foram encaminhadas para secagem em estufa a 65 °C até peso constante, destorroadas e peneiradas por uma peneira de malha a 0,002 m. Em seguida, foi processada a pasta de saturação de acordo a metodologia da Embrapa (2011) de onde foi extraído a solução do extrato de saturação para leituras da CE_{es} , NO_3^- , e K.

As amostras coletadas a partir da pasta de saturação foram encaminhadas para o laboratório de irrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura onde ocorreram as leituras da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) por um condutivímetro de bancada e do NO_3^- , em um equipamento de avaliação rápida (Horiba Cardy). As leituras do K foram realizadas no laboratório de química do solo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Campus Vitória da Conquista-BA, por meio de um fotômetro de chama (OKUMURA et al., 2004). Para melhor precisão dos resultados do K_2O , as amostras foram diluídas na escala de 5x para que estivesse numa faixa segura da curva padrão do aparelho.

Para avaliação das profundidades estudadas em relação aos sistemas de irrigação foi fixada a fonte ureia + KCl. Para profundidade em relação às fontes fertirrigantes, o sistema de irrigação fixado foi por gotejamento. Por fim, para a análise das variáveis do extrato de saturação em função do tempo, foram fixados o sistema de irrigação por gotejamento e a fonte ureia + KCl.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de probabilidade. Aplicação de teste F foi usada para dados qualitativos e análise de regressão para dados quantitativos, utilizando o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condutividade elétrica do extrato da saturação do solo - CE_{es}

As análises de variância da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) são apresentadas nas Tabelas 13 (profundidade e sistema de irrigação como fonte de variação), 14 (profundidade e fonte fertirrigante como fonte de variação) e 15 (tempo como fonte de variação).

Nenhuma das fontes de variação (profundidade, sistema de irrigação e concentração) influenciaram ou teve efeito na CE_{es} nas duas épocas avaliadas. A análise de variância conforme os quadrados médios do resíduo (QMR) das fontes de variação de profundidade, fontes fertirrigantes e concentração, demonstrou que apenas a profundidade do solo e a fonte de nutrientes tiveram efeitos isolados na CE_{es} no período de março de 2018 (Tabela 14). A análise de variância para as fontes de variação tempo, sistema e concentração, conforme o quadrado médio do resíduo, houve efeito na CE_{es} para a fonte de variação tempo na profundidade de 0,30 m. (Tabela 15).

Tabela 13. Quadrado médio do resíduo da condutividade elétrica (CE_{es}) com sistema de irrigação como fonte de variação nos períodos de dezembro de 2017 e março de 2018.

FV	dez/17		mar/18	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	0,0034 ^{ns}	2	0,0634 ^{ns}
PROFUNDIDADE	1	0,0236 ^{ns}	1	0,4244 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	0,0094 ^{ns}	2	0,0343 ^{ns}
SISTEMA	1	0,0448 ^{ns}	1	0,0001 ^{ns}
PROFUNDIDADE*SISTEMA	1	0,0189 ^{ns}	1	0,0448 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	0,0141 ^{ns}	2	0,0364 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	0,0314 ^{ns}	4	0,1405 ^{ns}
PROFUNDIDADE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0373 ^{ns}	4	0,1106 ^{ns}
SISTEMA*CONCENTRAÇÃO	4	0,0299 ^{ns}	4	0,0429 ^{ns}
PROFUNDIDADE*SISTEMA*CONCENTRAÇÃO	4	0,0347 ^{ns}	4	0,0362 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	0,0306 ^{ns}	34	0,0788 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	19,50		25,81	
CV 2 (%) =	23,90		26,58	
CV 3 (%) =	35,30		39,14	

*significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 14. Quadrado médio do resíduo da condutividade elétrica (CE_{es}) com fontes de N e K como fonte de variação nos períodos de dezembro de 2017 e março de 2018.

FV	dez/17		mar/18	
	GL	QMR	GL	QMR

BLOCO	2	0,0223 ^{ns}	2	0,1502 ^{ns}
PROFUNDIDADE	1	0,0646 ^{ns}	1	0,5845*
RESÍDUO 1	2	0,0143 ^{ns}	2	0,0017 ^{ns}
FONTE	1	0,0106 ^{ns}	1	0,1120*
PROFUNDIDADE*FONTE	1	0,0014 ^{ns}	1	0,0097 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	0,0093 ^{ns}	2	0,0010 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	0,0209 ^{ns}	4	0,0783 ^{ns}
PROFUNDIDADE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0432 ^{ns}	4	0,0361 ^{ns}
FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0577 ^{ns}	4	0,1249 ^{ns}
PROFUNDIDADE*FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	0,0285 ^{ns}	4	0,0739 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	0,0261 ^{ns}	34	0,0505 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	22,24		6,13	
CV 2 (%) =	17,90		4,71	
CV 3 (%) =	30,10		33,39	

*significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 15. Quadrado médio do resíduo referente a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) para as profundidades do solo de 30 e 60 cm.

FV	0,30 m		0,60 m	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	0,0604 ^{ns}	2	0,0271 ^{ns}
TEMPO	1	1,2221*	1	0,3765*
RESÍDUO 1	2	0,0368 ^{ns}	2	0,0156 ^{ns}
SISTEMA	1	0,0765 ^{ns}	1	0,0102 ^{ns}
TEMPO*SISTEMA	1	0,0052 ^{ns}	1	0,0198 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	0,0647 ^{ns}	2	0,0407 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	0,0965 ^{ns}	4	0,0198 ^{ns}
TEMPO*CONCENTRAÇÃO	4	0,0276 ^{ns}	4	0,0844 ^{ns}
SISTEMA*CONCENTRAÇÃO	4	0,0230 ^{ns}	4	0,0327 ^{ns}
TEMPO*SISTEMA*CONCENTRAÇÃO	4	0,0472 ^{ns}	4	0,0289 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	0,0521 ^{ns}	34	0,0598 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	29,12		21,65	
CV 2 (%) =	38,63		34,94	
CV 3 (%) =	34,67		42,40	

*significativo a 5% de probabilidade.

Houve diferença entre as profundidades para o final do período seco (mar/18), em que a CE_{es} na profundidade de 0,30 m obteve valor médio maior em relação à profundidade de 0,60 m (Tabela 16). Isso ocorreu pelo fato dos processos de infiltração e redistribuição dos íons serem mais intensos nas camadas mais próximas da superfície do solo (COELHO et al., 2014), principalmente no final do período seco, quando o volume do solo na zona radicular fica sujeito exclusivamente da irrigação e fertirrigação. Esse

comportamento foi encontrado por Silva Filho et al. (2000), Peixoto et al. (2006) e Gondim et al. (2009), em que observaram uma elevação da condutividade elétrica no extrato de saturação da solução do solo na camada superior.

Tabela 16. Médias da CE_{es} ($dS\ m^{-1}$) nas profundidades de 0,30 e 0,60 m avaliados em duas épocas.

Profundidade	dez/17	mar/18
30 cm	0,504 a	0,772 a
60 cm	0,569 a	0,574 b

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na última época avaliada (mar/2018), foi encontrado efeito das fontes fertirrigantes na CE_{es} com maiores médias presentes nos tratamentos fertirrigados com ureia + KCl. As médias da CE_{es} foram de 0,523 e 0,550 $dS\ m^{-1}$ para ureia + KCl e ureia + KNO_3 , respectivamente, em dezembro de 2017, no início do período seco. Para a avaliação em março de 2018, os valores encontrados da CE_{es} foram 0,716 (ureia + KCl) e 0,630 $dS\ m^{-1}$ (ureia + KNO_3) (Tabela 17). Este comportamento confirma que o índice salino do fertilizante causa efeito na CE_{es} , uma vez que a diferença das duas fontes fertirrigantes estão nas fontes de potássio onde o KCl apresenta maior tendência de elevação do potencial osmótico do solo em relação ao KNO_3 (MARQUES et al., 2010). O efeito da fonte na época de mar/18 pode ter sido causado por conta da umidade da zona radicular, dependente da fertirrigação e da irrigação, uma vez que não houve chuvas no período avaliado.

Tabela 17. Médias da CE_{es} ($dS\ m^{-1}$) das fontes fertirrigantes em duas épocas.

Fonte	dez/17	mar/18
Ureia + KCl	0,523 a	0,716 a
Ureia + KNO_3	0,550 a	0,630 b

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Quando avaliado as profundidades de 0,30 e 0,60 m considerando o tempo (época) como fonte de variação, houve diferença estatística entre as médias de CE_{es} nas duas profundidades estudadas. Em valores absolutos, as CE_{es} na profundidade de 0,30 m aumentaram de 0,516 para 0,801 $dS\ m^{-1}$ e na profundidade de 0,60 m, de 0,498 para 0,656 $dS\ m^{-1}$ (Tabela 18). As razões para esse acréscimo de CE_{es} pode ser devido às sucessivas fertirrigações, levando ao acúmulo de íons no perfil do solo ao longo do tempo (SILVA, 2014). Esse comportamento pode ser devido ao fato de não se considerar o fator lixiviação nos cálculos de irrigação com a fertirrigação, o que implica em não haver o excesso de

água de irrigação que possa lixiviar o excesso de sais decorrente da aplicação dos nutrientes. Gervásio et al. (2000), trabalhando com diferentes níveis de salinidade na água de irrigação, observaram acúmulo de sais ao longo do tempo.

Tabela 18. Médias da CE_{es} ($dS\ m^{-1}$) nas profundidades de 0,30 e 0,60 m em duas épocas.

Profundidade	Dezembro/17	Março/18
0,30 m	0,516 b	0,801 a
0,60 m	0,498 b	0,656 a

*Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Nitrato do extrato de saturação da solução do solo – NO_3^-

As análises de variância do nitrato no extrato de saturação do solo (NO_3^-) são apresentadas nas Tabelas 19, 20 e 21.

Considerando as fontes de variação profundidade, sistema e concentração nas duas épocas, apenas o sistema influenciou ou teve efeito no nitrato na primeira época (dez/17). Na segunda época, a interação sistema x concentração influenciou a concentração de nitrato. Para as fontes de variação profundidade, fontes e concentração, não houve efeito na concentração de nitrato na primeira época avaliada. Para a segunda época, a concentração da solução fertirrigante influenciou na concentração do nitrato. Considerando as fontes de variação tempo, sistema e fontes, foi observado efeito na CE_{es} na fonte de variação tempo para a profundidade de 0,60 m.

Tabela 19. Quadrado médio do resíduo do nitrato do extrato de saturação do solo (NO_3^-) com sistema de irrigação como fonte de variação nas épocas de dez/17 e mar/18.

FV	dez/17		mar/18	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	4497,20 ^{ns}	2	57,31 ^{ns}
PROFUNDIDADE	1	3503,70 ^{ns}	1	1083,75 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	984,50 ^{ns}	2	6724,55 ^{ns}
SISTEMA	1	11002,60*	1	9151,35*
PROFUNDIDADE*SISTEMA	1	418,70 ^{ns}	1	16,01 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	47,75 ^{ns}	2	297,61 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	7547,33 ^{ns}	4	3183,40 ^{ns}
PROFUNDIDADE*CONC	4	1490,93 ^{ns}	4	1008,16 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	4512,12 ^{ns}	4	5312,68*
PROFUNDIDADE*SISTEMA*CONC	4	4336,14 ^{ns}	4	3552,68 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	3731,39 ^{ns}	34	1996,12 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	19,16		70,46	
CV 2 (%) =	4,22		14,82	
CV 3 (%) =	37,29		38,39	

*significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 20. Quadrado médio do resíduo do nitrato do extrato de saturação do solo (NO_3^-) com fontes de N e K como fonte de variação nas épocas de dez/17 e mar/18.

FV	dez/17		mar/18	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	11412,80 ^{ns}	2	562,07 ^{ns}
PROFUNDIDADE	1	92,50 ^{ns}	1	877,83 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	975,35 ^{ns}	2	13405,92 ^{ns}
FONTE	1	108,00 ^{ns}	1	10,00 ^{ns}
PROFUNDIDADE*FONTE	1	254,20 ^{ns}	1	0,50 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	422,30 ^{ns}	2	874,52 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	5657,74 ^{ns}	4	11738,01*
PROFUNDIDADE*CONC	4	4481,17 ^{ns}	4	2100,77 ^{ns}
FONTE*CONCENTRAÇÃO	4	11326,04 ^{ns}	4	1300,15 ^{ns}
PROFUNDIDADE*FONTE*CONC	4	5795,53 ^{ns}	4	3675,52 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	6283,60 ^{ns}	34	2072,31 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	17,78		89,66	
CV 2 (%) =	11,70		22,90	
CV 3 (%) =	45,12		35,25	

*significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 21. Quadrado médio do resíduo referente ao nitrato do extrato para as profundidades do solo de 0,30 e 0,60 m.

FV	0,30 m		0,60 m	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	2661,02 ^{ns}	2	5649,31 ^{ns}
TEMPO	1	18921,50 ^{ns}	1	45320,02*
RESÍDUO 1	2	2121,37 ^{ns}	2	1476,51 ^{ns}
SISTEMA	1	11774,01 ^{ns}	1	11844,15 ^{ns}
TEMPO*SISTEMA	1	283,83 ^{ns}	1	84,01 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	648,91 ^{ns}	2	747,61 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	810,18 ^{ns}	4	4781,19 ^{ns}
TEMPO*CONC	4	2585,06 ^{ns}	4	2622,39 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	716,27 ^{ns}	4	3109,27 ^{ns}
TEMPO*SISTEMA*CONC	4	8077,44*	4	4202,97 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	2421,79 ^{ns}	34	2907,93 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	32,28		27,52	
CV 2 (%) =	18,41		19,58	
CV 3 (%) =	35,56		38,62	

*significativo a 5% de probabilidade.

Houve efeito dos sistemas de irrigação na concentração de nitrato em todo o período avaliado (Tabela 22). As médias do NO_3^- do extrato de saturação foram de 150,25 e 177,33 mg L⁻¹ para os sistemas de microaspersão e gotejamento, respectivamente, em

dezembro/17 e em março/18 104,03 (microaspersão) e 128,73 mg L⁻¹ (gotejamento). Isso se justifica pelo fato da solução de injeção ser aplicada num menor volume molhado via gotejamento, proporcionando um maior volume de água por volume do solo, concentrando esses íons na zona radicular. Esse resultado foi igualmente reportado por Andrade Neto (2009), encontrando maiores concentrações de NO₃⁻ quando a solução de injeção foi aplicada via gotejamento.

Tabela 22. Médias do nitrato do extrato de saturação (mg L⁻¹) em diferentes sistemas de irrigação avaliados em duas épocas.

Sistema de irrigação	dez/17	mar/18
Microaspersão	150,25 b	104,03 b
Gotejamento	177,33 a	128,73 a

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na interação entre sistema de irrigação x concentração em março/18 (Figura 17), não houve efeito nas concentrações de NO₃⁻ para as concentrações da solução fertirrigante estudadas no sistema de irrigação por microaspersão, em que os valores médios permaneceram entre 77,00 e 126,50 mg L⁻¹. Contudo, as concentrações das soluções fertirrigantes causaram efeito nas concentrações de NO₃⁻ do extrato de saturação quando a fertirrigação ocorreu no sistema de irrigação por gotejamento, encontrando uma tendência polinomial de grau 2, onde a maior concentração de NO₃⁻ encontrada foi aplicando a solução fertirrigação a 34,0 g L⁻¹ (171,6, mg L⁻¹). A aplicação da solução de injeção via água de irrigação por gotejamento é realizada num menor volume molhado do solo, fazendo com que as concentrações da solução fertirrigante causassem efeito na concentração de NO₃⁻.

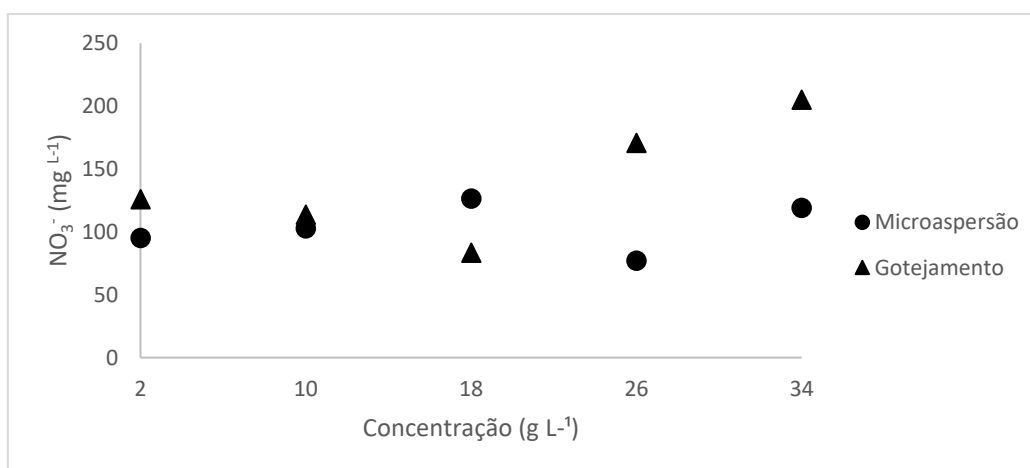


FIGURA 17. Médias do NO₃⁻ do extrato de saturação para microaspersão e gotejamento em março/18.

Considerando a profundidade, a fonte de nutrientes e a concentração (Figura 18), na primeira época (dezembro/17), não foi observado uma tendência definida de elevação ou decréscimo da concentração do NO_3^- do extrato de saturação com a variação das concentrações das soluções de injeção. Os teores de NO_3^- para esta época variaram entre 145,63 e 198,58 mg L^{-1} . No entanto, na segunda época avaliada (março/18), houve efeito nas concentrações de NO_3^- , seguindo uma tendência polinomial de grau 2, com variações de 84,83 a 170,79 mg L^{-1} . De acordo com Li et al. (2003), a aplicação da solução de injeção de forma mais diluída influencia diretamente numa menor concentração de nitrato no volume molhado do solo. As concentrações de NO_3^- obtidas ao longo do período seco foram condizentes com as encontradas por Kaiser (2010), onde as concentrações de NO_3^- se situaram entre 8,0 e 226,0 mg L^{-1} .

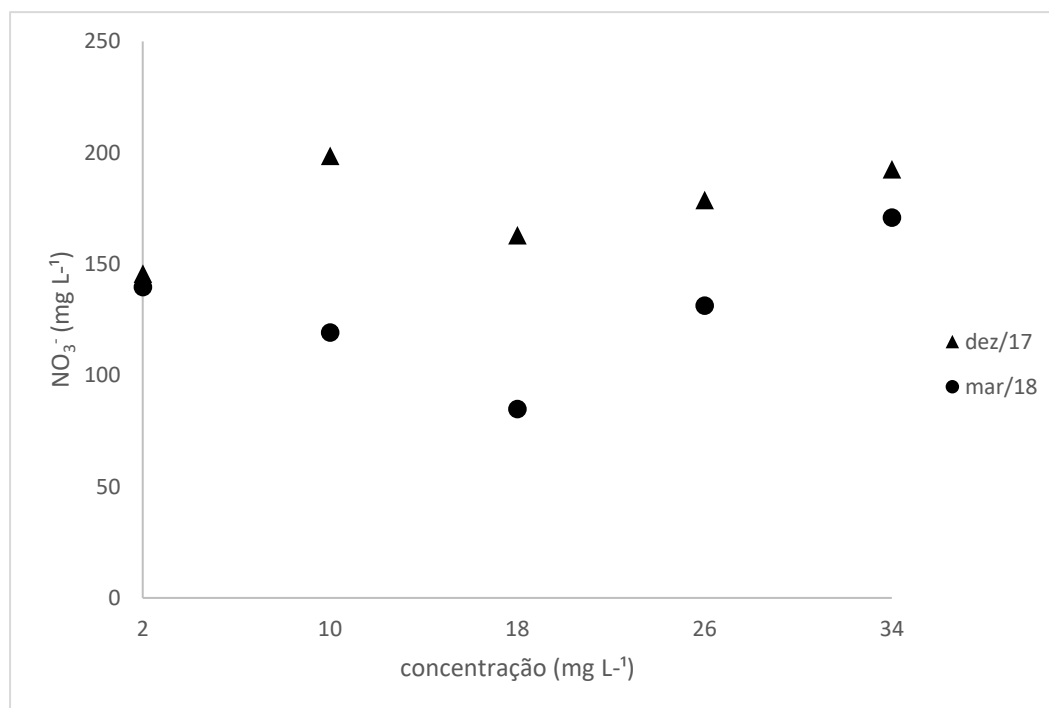


FIGURA 18. Médias do NO_3^- do extrato de saturação em função das concentrações em duas épocas.

Quando avaliado as concentrações de NO_3^- do extrato de saturação ao longo do tempo, foi constatado diferença entre as épocas avaliadas na profundidade de 0,60 m com redução das concentrações de nitrato nas duas profundidades do solo (Tabela 23). Sabe-se que a fertirrigação leva em consideração a marcha de absorção dos nutrientes pela planta, fazendo com que esse declínio das concentrações de NO_3^- nas profundidades de 0,30 e 0,60 m possa ter sido ocasionado pela absorção do N pela bananeira, pois o N é importante no início do desenvolvimento da planta até a inflorescência (ARAÚJO, 2008).

Tabela 23. Médias do NO_3^- do extrato de saturação da solução do solo em função do tempo nas profundidades de 0,30 e 0,60 cm.

Profundidade	Nitrato do extrato de saturação da solução do solo - NO_3^- (mg L ⁻¹)	
	0,30 m	0,60 m
dez/17	156,15 a	167,10 a
mar/18	120,63 a	112,13 b

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Potássio do extrato de saturação – K

As análises de variância do potássio do extrato de saturação da solução do solo (NO_3^-) são apresentadas nas tabelas 24 e 25.

. Observando o quadrado médio do resíduo da Tabela 24, constatou-se efeito na concentração de K quando avaliado as concentrações da solução fertirrigante em dez/17. Avaliando-se as profundidades estudadas, a fonte de variação tempo teve efeito na concentração do K do extrato saturado na profundidade de 0,60 m (Tabela 25).

Tabela 24. Análise de variância para o potássio do extrato de saturação para duas épocas avaliadas.

FV	dez/17		mar/18	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	292,67 ^{ns}	2	1121,51 ^{ns}
PROFUNDIDADE	1	1264,00 ^{ns}	1	2522,16 ^{ns}
RESÍDUO 1	2	281,45 ^{ns}	2	1721,11 ^{ns}
SISTEMA	1	1,20 ^{ns}	1	1188,15 ^{ns}
PROFUNDIDADE*SISTEMA	1	8,43 ^{ns}	1	2148,01 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	124,68 ^{ns}	2	416,11 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	466,52*	4	793,93 ^{ns}
PROFUNDIDADE*CONC	4	313,23 ^{ns}	4	730,75 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	109,39 ^{ns}	4	838,31 ^{ns}
PROFUNDIDADE*SISTEMA*CONC	4	99,45 ^{ns}	4	535,18 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	169,95 ^{ns}	34	1020,89 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =	73,77		101,15	
CV 2 (%) =	49,10		49,73	
CV 3 (%) =	57,33		77,90	

*significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 25. Análise de variância para o potássio do extrato de saturação para duas profundidades avaliadas.

FV	0,30 m		0,60 m	
	GL	QMR	GL	QMR
BLOCO	2	1009,27 ^{ns}	2	48,65 ^{ns}
TEMPO	1	6100,41 ^{ns}	1	4026,20*
RESÍDUO 1	2	2278,17 ^{ns}	2	80,65 ^{ns}
SISTEMA	1	1706,66 ^{ns}	1	63,03 ^{ns}

TEMPO*SISTEMA	1	1560,60 ^{ns}	1	15,50 ^{ns}
RESÍDUO 2	2	1221,38 ^{ns}	2	66,20 ^{ns}
CONCENTRAÇÃO	4	1183,70 ^{ns}	4	348,48 ^{ns}
TEMPO*CONC	4	572,37 ^{ns}	4	199,89 ^{ns}
SISTEMA*CONC	4	202,02 ^{ns}	4	185,85 ^{ns}
TEMPO*SISTEMA*CONC	4	842,62 ^{ns}	4	351,85 ^{ns}
RESÍDUO 3	34	688,21 ^{ns}	34	458,71 ^{ns}
TOTAL	59		59	
CV 1 (%) =		127,56		34,09
CV 2 (%) =		93,40		30,89
CV 3 (%) =		70,11		81,31

*significativo a 5% de probabilidade.

A análise de regressão mostrou efeito na concentração de K do extrato saturado com comportamento polinomial de grau 2 para as concentrações da solução fertirrigante em dezembro/17 (Figura 19). Os valores médios tiveram variações de 15,38 a 32,29 mg L⁻¹. Normalmente, a quantidade de íons K⁺ é maior do que o número de sítios de adsorção eletrostática nas proximidades dos grânulos dos fertilizantes potássicos no solo. Neste caso, o volume de água do solo deve ser o atributo que controla a mobilidade do K (NEVES et al., 2009), podendo explicar as menores concentrações de K nas concentrações da solução fertirrigante mais diluídas. Os valores médios obtidos em todo período avaliado ficaram dentro ou próximo da faixa de concentração do potássio na solução do solo considerada ótima, entre 10,0 e 60,0 mg L⁻¹ (TISDALE et al., 1993). Esse mesmo comportamento foi encontrado por Blanco et al. (2008) trabalhando com diferentes níveis de potássio via fertirrigação.

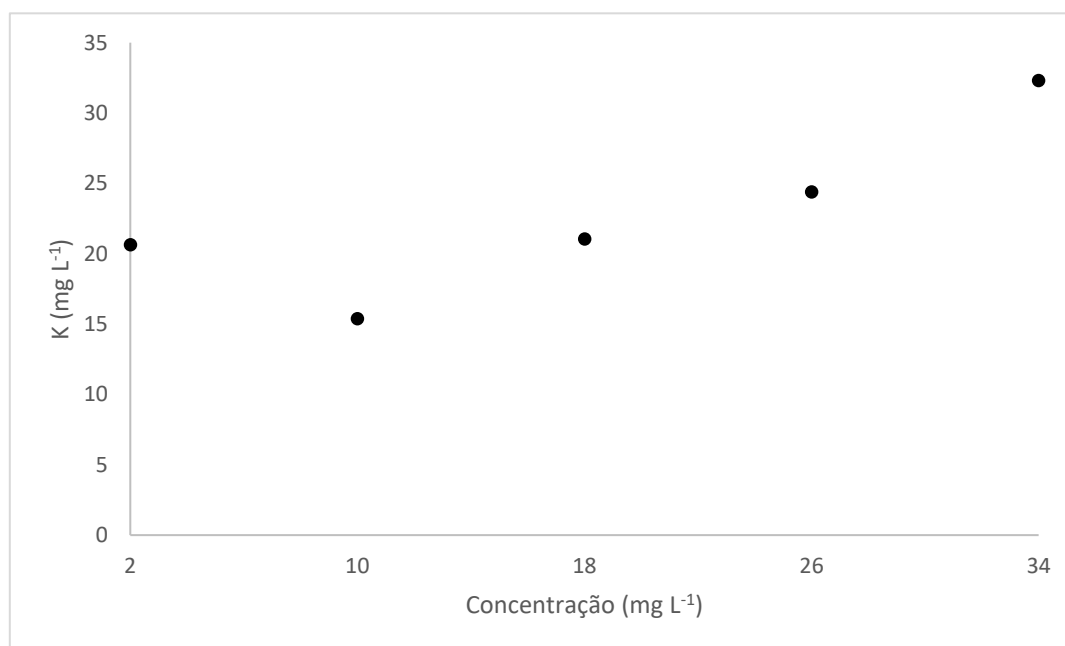


FIGURA 19. Médias do K do extrato de saturação submetidas a diferentes concentrações da solução de injeção.

As concentrações de K do extrato de saturação obtidos na primeira época (dez/2017) foram inferiores às obtidas na segunda época avaliada (mar/2018) na profundidade de 60,0 cm, ou seja, as concentrações de potássio aumentaram nessa profundidade ao longo do tempo (Tabela 26). O aumento dos valores de K na profundidade de 0,60 m se deve pelo aumento da concentração de K na solução do solo, causada pela aplicação dos fertilizantes potássicos no solo ao longo do tempo. À medida que a solução mais concentrada em K se desloca para uma camada mais profunda, estabelecem-se novos equilíbrios entre os cátions, e parte do K na solução percolante passa a ocupar algumas das cargas elétricas negativas dos constituintes sólidos do solo (ERNANI et al., 2007).

Tabela 26. Médias do K₂O do extrato de saturação da solução do solo em duas épocas submetidos a duas profundidades.

Profundidade	K ₂ O do extrato de saturação da solução do solo (mg L ⁻¹)	
	30 cm	60 cm
dez/17	27,33 a	18,15 b
mar/18	47,50 a	34,53 a

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

CONCLUSÕES

Houve aumento na CE_{es} ao longo do tempo em todas as profundidades avaliadas.

Não foi observado níveis da CE_{es} da solução do solo acima dos limites aceitáveis para o cultivo da bananeira ($1,0 \text{ dS m}^{-1}$).

Os valores da CE_{es} foram maiores no último período avaliado (março/18) utilizando a ureia + KCl como fonte da solução de injeção.

A aplicação da solução de injeção via sistema por gotejamento proporcionou maiores concentrações de NO_3^- do extrato de saturação do solo.

As concentrações da solução fertirrigante influenciaram na concentração de NO_3^- do extrato saturado.

Houve incremento da concentração de K no extrato de saturação nas profundidades estudadas ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998, 297p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE NETO, T.M. **Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes Concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da terra**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
- ARAÚJO, J. P. C.; **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes de bananeira (Musa sp. AAA), ‘Grande Naine’ no primeiro ciclo de produção**. 2008. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V.; HENRIQUE NETO, D. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: 1. Concentração de nutrientes no solo e na planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.1, p. 26-33, 2008.
- BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G. Nutrição, calagem e adubação. In: CORDEIRO, Z. Org. **Banana produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 47-59. (Frutas do Brasil, 1).
- BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação – banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F. Org. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.97-105, 2009.
- CARVALHO, G. C.; COELHO, E. F.; COSTA, F. S.; BARBOSA, R. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. L.; AZEVEDO, N. F. pH do solo no primeiro ciclo da bananeira da terra fertirrigada com diferentes concentrações de uréia e nitrato de potássio na água de irrigação. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009, Fortaleza - CE. **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo - O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**, 2009.
- COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; TEXEIRA, A. H. C.. Irrigação. In: Ana Lúcia Borges; Luciano da Silva Souza. (Org.). **O cultivo da bananeira**. 1ed.Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004, v. 1, p. 132-145.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; LEDO, C. A. S.; SILVA, S. O. Produtividade e eficiência do uso de água das bananeiras ‘Prata-anã’ e ‘ Grande Naine’ sob irrigação no terceiro ciclo no norte de Minas Gerais. **Irriga**, v.11, n.4, p. 460-468, 2006a.

COELHO, E. F.; COSTA, F. S.; SILVA, A. C. P.; CARVALHO, G. C. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p. 263-269, 2014.

COSTA, F. S.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L.; PAMPONET, A. J. M.; SILVA, A. A. S. M.; AZEVEDO, N. F. Crescimento, produção e acúmulo de potássio em bananeira ‘Galil 18’ sob irrigação e fertilização potássica. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.3, p. 409-416, 2012.

DOS SANTOS, V. P.; FERNANDES, P. D.; MELO, A. S.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M.; BONFIM, L. V. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v. 31, n.2, p. 567-573, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 2011. 230 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSO, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.392-402, 2007.

ERREBHI, M. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análise e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

GERVÁSIO, E. S.; CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. de. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de alface americana. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.125-128, 2000.

GONDIM, A. R. O.; MEDEIROS, J. F.; LEVIEN, S. L. A.; CARMO, G. A.; FERREIRA SENHOR, R. Balanço hídrico e da salinidade do solo da bananeira irrigada com água de diferentes salinidades. **Acta Scientiarum**, v.31, n.1, p. 1-6, 2009.

GUIMARÃES, M. J. M.; LOPES, I. (2015). Análise da precipitação do município de Cruz das Almas através da técnica de quantis. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 25, 2015, São Cristóvão-SE. **Anais...** São Cristóvão: UFS, 2015.

- KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; STRECK, C. A.; PELLEGRINI, A. Nitrate and ammonium in soil solution in tobacco management systems. **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, p. 379-387, 2010.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p. 107-120, 2003.
- LI, J.; ZHANG, J.; REN, L. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. **Irrig Sci** v.22, p.19-30, 2003.
- LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solo salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.3, p. 1-21, 2010.
- LIU, L.; HU, C.; OLESEN, J. E.; JU, Z.; ZHANG, X. Effect of warming and nitrogen addition on evapotranspiration and water use efficiency in a wheat-soybean/fallow rotation from 2010 to 2014. **Climatic change**, DOI 10,1007/s10584-016-1825-8.
- MARQUES, D. J.; BROETTO, F.; SILVA, E. C. Efeito do estresse mineral induzido por fontes e doses de potássio na produção de raízes em plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Caatinga**, v.23, p.7-12, 2010.
- MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*coffea Arabica* L.). **Biosci. J.**, v.23, n.2, p. 61-69, 2007.
- NEVES, L. S.; ERNANI, P. S.; SIMONETE, N. A.; Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p. 25-32, 2009.
- OKUMURA F.; CAVALHEIRO, E. T. G.; NÓBREGA, J. A. Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica. **Quim. Nova**, v.27, n.5, p.832-836, 2004.
- OLIVEIRA, F. S.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; SOUZA, M. S. Eficiência da fertirrigação nitrogenada e potássica na produção de pimentão cultivado em ambiente protegido. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 59, n.3, p. 293-301, 2016.
- PEIXOTO, J. F. S.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G. Alterações de atributos químicos do solo pela fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Rev. Agropecuária Técnica**, v.27, n.2, p.69-76, 2006.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA, Agriculture Handbook 60.

- SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. S.; LIMA, E. M.; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v. 5, n. 2, p. 112-25, 2000
- SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Nativa**, v. 02, n. 03, p. 180-186, 2014.
- SOTO BALLESTERO, M. **Cultivo y comercialización del banano**. 2. ed. Tibás: LIL, 1992. 649 p.
- SOUZA, E. R. DE; FREIRE, M. B. G. DOS S.; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; RUIZ, H. A., LINS, C. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p.20-27, 2012.
- SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; ALMEIRA, B. G.; MELO, D. V. M. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.17 n.5, p. 510-517, 2013.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: Macmillan Publishing, 1993. 634p.
- TURNER, D. W.; FORTESCUE, J. A.; THOMAS, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). **Braz. J. Plant. Physiol.**, v.19, n.4. p. 463-484, 2007.