

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x  
fertilizantes de eficiência aprimorada**

**Robson Mauri**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Ciências. Área de concentração:  
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba  
2016**

Robson Mauri  
Engenheiro Agrônomo

**Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x  
fertilizantes de eficiência aprimorada**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de  
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba  
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Mauri, Robson

Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x fertilizantes de eficiência aprimorada / Robson Mauri. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

92 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Coffea canephora* 2. Acidificação do bulbo 3. Salinização I. Título

CDD 633.73  
M454a

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

*Aos meus pais,*

*João Paulino Mauri e Rita de Cássia C. T. Mauri,*

**DEDICO**

*Ao meu afilhado Gabriel,*

*Aos sobrinhos, Miguel, Henrique e Ana Clara,*

**OFEREÇO**



## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a graça da vida e por ser luz em minha caminhada, permitindo alcançar meus objetivos.*

*Agradeço infinitamente aos meus pais, João Paulino Mauri e Rita de Cássia C. T. Mauri, pelo exemplo de vida e excepcional participação na minha formação, sempre presentes, me apoiando em todos os momentos da minha vida.*

*Aos meus irmãos e todos os demais familiares, agradeço muito pelo apoio e pelo carinho de cada um de vocês.*

*Um agradecimento especial também à minha noiva Eliete Nazaré Eduardo, pelo carinho, compreensão, acompanhamento e cooperação na elaboração deste trabalho.*

*À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela sólida formação, a qual permitiu continuidade nos meus estudos.*

*À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de continuar a minha formação.*

*Aos professores do Departamento de Engenharia de Biosistemas, pela confiança, orientação e pelos ensinamentos.*

*Ao professor Rubens Duarte Coelho, pela oportunidade, confiança, orientação, amizade e pelos ensinamentos que contribuíram valiosamente para a minha formação acadêmica e pessoal.*

*A todos os meus colegas e amigos, pela amizade e colaboração no desenvolvimento deste trabalho, especialmente Eusímio Fraga, Fernando Barbosa, Daniel Leal, Guilherme de Castro Franco e Renato Fonseca de Paiva.*

*Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas. Agradeço a todos pela ajuda e pelo companheirismo durante esse período.*

*Aos pesquisadores e extensionistas do INCAPER - Instituto Capixaba De Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural do Espírito Santo, especialmente ao Aldo Luiz Mauri, Abraão Carlos Verdin Filho e Carlos Lobo Teixeira, pela contribuição nas análises pós-colheita e fornecimento dos dados meteorológicos.*

*À Produquímica Indústria e Comércio S.A., em nome do Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento Ithamar Prada Neto, pela disponibilização de novas tecnologias para estudo neste projeto e o apoio técnico durante a implantação e condução do*

*experimento. Agradeço também à empresa por incentivar e disponibilizar tempo para a condução do trabalho.*

*À empresa NaanDanJain, em nome de Alfredo Mendes e Edson Zanon pela disponibilização dos equipamentos de irrigação utilizados no presente trabalho, bem como a orientação no processo de instalação e operação.*

*Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).*

*Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.*

*“Não seja empurrado por seus problemas. Seja conduzido por seus sonhos.”*

(Marcio Kühne)





## SUMÁRIO

RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	13
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	17
1 INTRODUÇÃO .....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1 Aspectos gerais .....	23
2.2 A cultura do café conilon .....	24
2.3 Irrigação e fertirrigação na cultura do café conilon .....	27
2.4 Fontes fertilizantes .....	31
2.4.1 Fertilizantes de liberação imediata .....	31
2.4.2 Produtos encapsulados ou recobertos - liberação controlada .....	32
2.5 Dinâmica do nitrogênio e potássio no solo e absorção pelas culturas .....	33
2.5.1 Nitrogênio .....	33
2.5.2 Potássio .....	42
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	45
3.1 Localização e caracterização da área experimental .....	45
3.2 Delineamento experimental .....	46
3.3 Medidas Meteorológicas .....	49
3.4 Preparo da área, correção do solo, plantio e condução da cultura .....	49
3.5 Manejo da irrigação e extratores de solução .....	52
3.6 Análises biométricas .....	55
3.7 Análise de produção .....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
4.1 Dados meteorológicos .....	59
4.2 Solução do Solo .....	61
4.2.1 pH da solução do solo até os 24 meses de cultivo .....	61
4.2.2 Condutividade elétrica da solução do solo até os 24 meses de cultivo .....	67
4.3 Respostas biométricas das plantas .....	71
4.4 Resposta em produção por planta e estimativa de produtividade .....	78
5 CONCLUSÕES .....	81
REFERÊNCIAS .....	83



## RESUMO

### **Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x fertilizantes de eficiência aprimorada**

O uso da irrigação em cafeeiro é uma tecnologia que vem se consolidando e mostrando-se economicamente viável ao longo dos tempos, trazendo junto com ela a técnica da fertirrigação. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de formas de aplicação e fontes de fertilizantes sobre a condutividade elétrica e pH da solução do solo, bem como no desenvolvimento e produção do café conilon irrigado por gotejamento. O trabalho foi desenvolvido em São Gabriel da Palha, Espírito Santo, utilizando o clone 12V da variedade INCAPER 8142. O experimento foi delineado em blocos ao acaso (DBC) com seis tratamentos e quatro blocos. Os tratamentos adotados foram: T1 - Controle - adubação nitrogenada e potássica aplicada via solo nas fontes ureia e cloreto de potássio; T2 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via solo nas fontes ureia e cloreto de potássio de liberação controlada; T3 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação nas fontes ureia e cloreto de potássio; T4 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação nas fontes nitrato de amônio e sulfato de potássio; T5 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação nas fontes nitrato de amônio e nitrato de potássio; T6 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via solo nas fontes ureia e cloreto de potássio de liberação controlada no período de outubro a março (período chuvoso) e adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação, nas fontes nitrato de amônio e sulfato de potássio no período de abril a setembro (período seco). Foi monitorado o pH e condutividade elétrica da solução do solo, avaliações biométricas das plantas tais como altura, comprimento do primeiro ramo plagiotrópico e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico, além da produção por planta e estimativa de produtividade. Os tratamentos T1 e T3 que utilizaram ureia e cloreto de potássio e o T4 - nitrato de amônio e sulfato de potássio disponibilizaram maior quantidade de nitrogênio na forma amoniacal, causando maior acidificação do bulbo. Em contrapartida os tratamentos T2, T5 e T6 apresentaram menor acidificação, com diferença estatística significativa na variação do pH nas duas profundidades analisadas a partir de 18 meses da aplicação dos tratamentos. Nos tratamentos T2 e T6 observou-se menor salinidade inicial na avaliação aos 90 dias após o plantio através da leitura da condutividade elétrica da solução do solo. Para as avaliações biométricas, os tratamentos T2, T4, T5 e T6 diferiram estatisticamente dos tratamentos T1 e T3, influenciando positivamente à altura de plantas, comprimento e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico.

Palavras-chave: *Coffea canephora*; Acidificação do bulbo; Salinização



## ABSTRACT

### **Fertilization of irrigated conilon drip coffee: fertigation x enhanced efficiency fertilizers**

Fertigation is a widespread technology in coffee cultivation; however, with the insertion of new fertilizers technologies, new studies are required. This study aims to evaluate the influence of application types and fertilizers sources on the electrical conductivity and pH of the soil solution in the wet bulb as well its influence in the development and production of drip irrigated conilon coffee. The study was conducted in São Gabriel da Palha, Espírito Santo (Brazil), using 12V clone variety INCAPER 8142. The experiment was designed in randomized blocks (DBC) with six treatments and four blocks. The adopted treatments were: T1 - Control / nitrogen and potassium fertilization applied via soil: urea and potassium chloride; T2 - Nitrogen and potassium fertilization applied via soil : urea and potassium chloride with release controlled; T3 - Nitrogen and potassium fertilization applied by fertigation: urea and potassium chloride; T4 - Nitrogen and potassium fertilization applied by fertigation: ammonium nitrate and potassium sulfate; T5 - Nitrogen and potassium fertilization applied by fertigation: ammonium nitrate and potassium nitrate; T6 - Nitrogen and potassium fertilization applied via soil: urea and potassium chloride with controlled release in the period from October to March (rainy season) and nitrogen and potassium fertilization applied by fertigation, ammonium nitrate and potassium sulphate in the period from April to September (dry season). The biometric evaluations of the plants were: height, length of the first branch and number of nodes in the first plagiotrophical in addition to production per plant and productivity estimate. T1 and T3 treatments using immediate solubility of urea and T4 - ammonium nitrate have provided large amount of nitrogen in the ammonium form, causing increased acidification in the bulb. In contrast the T2, T5 and T6 treatments had lower acidification, with statistically significant differences in the pH variation in two depths analyzed from 18 months of treatment application. In treatments T2 and T6 it was observed lower initial salinity in the evaluation at 90 days after planting through the EC reading. To biometric assessments, treatments T2, T4, T5 and T6 differ statistically from T1 and T3, influencing plant height, length and number of nodes in the first plagiotrophical.

Keywords: *Coffea canephora*; Acidification wet bulb; Salinization



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Ilustração de um fertilizante de liberação controlada (A); espectroscopia de energia dispersiva por raios X (EDS) de uma ureia de liberação controlada - Ureia + Enxofre + Polímeros (B) (CANCELLIER, 2013).....33
- Figura 2 - Croqui da área experimental com distribuição dos tratamentos .....47
- Figura 3 - Croqui da parcela experimental .....47
- Figura 4 - Preparação do sulco de plantio (A); cabeçal de controle (B) .....50
- Figura 5 - Detalhe dos registros para acionamento da irrigação/fertirrigação (A); detalhe do sistema de fertirrigação (B); instalação do sistema de irrigação nas linhas de plantio (C); tubo gotejador em funcionamento (D).....51
- Figura 6 - Plantio das mudas (A); cobertura com folha de Palmácea (B).....52
- Figura 7 - Profundidade de instalação e posicionamento dos extratores de solução e tensiômetros (A); Leitura do potencial mátrico com tensímetro digital (B).....54
- Figura 8 - Avaliação da altura da planta (h), comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (n) (A); Detalhe da formação da flor nos nós dos ramos plagiotrópicos (B) .....55
- Figura 9 - Colheita realizada com auxílio de peneira (A); separação dos frutos para determinação do percentual verde, maduro e seco (B); separação de amostras para determinação do rendimento e estimativa de produtividade (C).....56
- Figura 10 - Comportamento mensal das variáveis meteorológicas; temperatura média máxima (Tmax), temperatura média mínima (Tmín), temperatura média média (Tmed),), umidade relativa média (URmed), evapotranspiração de referência acumulada estimada (ET0) e precipitação acumulada, meses após o plantio .....60
- Figura 11 - Variação do pH da solução do solo para duas profundidades durante dois anos de cultivo de café conilon submetido a diferentes manejos de adubação. T1 - Ureia + KCl (Convencional); T2 - Ureia + KCl (Lib. Controlada); T3 - Ureia + KCl (Ferti); T4 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); T5 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti) e; T6 - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti).....63
- Figura 12 - A) Impacto da absorção de amônio ou nitrato pelas raízes no pH da rizosfera (MARSCHNER, 2012); B) Ilustração da variação do pH da



rizosfera em função do fornecimento de nitrato e amônio (RÖMHELD, 1986)..... 64

Figura 13 - Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e na solubilidade do alumínio no solo (MALAVOLTA, 1979) ..... 67

Figura 14 - Variação da condutividade elétrica da solução do solo para duas profundidades durante dois anos de cultivo de café conilon submetido a diferentes manejos de adubação. T1 - Ureia + KCl (Convencional); T2 - Ureia + KCl (Lib. Controlada); T3 - Ureia + KCl (Ferti); T4 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); T5 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti) e; T6 - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti) ..... 70

Figura 15 - Crescimento das plantas de café conilon nos dois primeiros anos de cultivo submetido a diferentes manejos de adubação. T1 - Ureia + KCl (Convencional); T2 - Ureia + KCl (Lib. Controlada); T3 - Ureia + KCl (Ferti); T4 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); T5 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti) e; T6 - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti) ..... 75

Figura 16 - Desenvolvimento das plantas de café conilon aos 12 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação. A - Ureia + KCl (Convencional); B - Ureia + KCl (Lib. Controlada); C - Ureia + KCl (Ferti); D -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); E -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti); F - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti) ..... 76

Figura 17 - Desenvolvimento das plantas de café conilon aos 24 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação. A - Ureia + KCl (Convencional); B - Ureia + KCl (Lib. Controlada); C - Ureia + KCl (Ferti); D -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); E -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti); F - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti) ..... 77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo .....	45
Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica do solo .....	45
Tabela 3 - Caracterização química da água de irrigação .....	46
Tabela 4 - Quantidade de nutrientes aplicados nos tratamentos durante os dois anos de cultivo do café conilon .....	48
Tabela 5 - Características dos fertilizantes utilizados no experimento .....	48
Tabela 6 - Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e residual ( $\theta_r$ ), e dos parâmetros empíricos ( $\alpha$ , $n$ e $m$ ) do modelo de van Genuchten (1980) .....	53
Tabela 7 - Resumo da análise de variância referente ao pH da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio submetida a diferentes manejos de adubação .....	61
Tabela 8 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação.....	61
Tabela 9 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação.....	61
Tabela 10 - Resumo da análise de variância referente ao pH da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio submetida a diferentes manejos de adubação .....	62
Tabela 11 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação.....	62
Tabela 12 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação.....	62
Tabela 13 - Resumo da análise de variância referente à condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio, submetida a diferentes manejos de adubação.....	68

Tabela 14 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo, submetida a diferentes manejos de adubação (dS m <sup>-1</sup> ).....	68
Tabela 15 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo, submetida a diferentes manejos de adubação (dS m <sup>-1</sup> ).....	68
Tabela 16 - Resumo da análise de variância referente à condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio, submetida a diferentes manejos de adubação .....	68
Tabela 17 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo, submetida a diferentes manejos de adubação (dS m <sup>-1</sup> ).....	69
Tabela 18 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação (dS m <sup>-1</sup> ).....	69
Tabela 19 - Resumo da análise de variância referente à altura das plantas de café conilon submetidas a diferentes manejos de adubação.....	72
Tabela 20 - Resumo da análise de variância referente ao comprimento do primeiro ramo plagiotrópico de plantas de café conilon submetidas a diferentes manejos de adubação.....	72
Tabela 21 - Resumo da análise de variância referente ao número de nós no primeiro ramo plagiotrópico de plantas de café conilon submetidas a diferentes manejos de adubação.....	72
Tabela 22 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 3 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação.....	72
Tabela 23 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 6 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação.....	73
Tabela 24 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico	

(Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 9 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação .....	73
Tabela 25 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 12 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação.....	73
Tabela 26 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 18 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação.....	74
Tabela 27 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 24 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação.....	74
Tabela 28 - Resumo da análise de variância referente à maturação dos frutos, produção por planta, rendimento e estimativa de produtividade do café conilon submetido a diferentes manejos de adubação .....	79
Tabela 29 - Análise de médias da maturação dos frutos, produção por planta, rendimento e estimativa de produtividade do café conilon submetido a diferentes manejos de adubação.....	79



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, responsável por 30% da produção total, sendo a cultura do café uma das atividades agrícolas mais importantes para o agronegócio brasileiro, pois gera riquezas aos produtores e divisas para o país. A safra de café beneficiado no país em 2014 atingiu produção de 45,3 milhões de sacas de 60 quilos, sendo 32,3 milhões de café arábica e 13,0 milhões de conilon, em área total plantada de 2,25 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

O gênero *Coffea* é representado por mais de 100 espécies, destacando-se a *C. arabica* e *C. canephora*, devido às suas características comerciais. Dentro da última espécie, destaca-se a variedade conilon, pelo seu volume de produção e valor industrial. Em função de sua menor acidez e maior quantidade de sólidos solúveis, o café conilon é largamente utilizado pela indústria na fabricação dos cafés solúveis e em misturas com o café arábica, chegando a participar com até 50% nos *blends*, sendo empregado para contrabalancear a acidez do arábica e conferir corpo ao produto industrializado (FERRÃO, 2004; BELING, 2005).

Em função desta crescente participação nos *blends* e do zoneamento agroclimático favorável para o plantio do conilon (baixas altitudes), há notadamente expansão da cultura no estado do Espírito Santo. Entretanto, muitas vezes a ampliação da fronteira cafeeira se dá em áreas consideradas marginais à cultura, principalmente no que diz respeito à disponibilidade hídrica. Para viabilizar o desenvolvimento do setor cafeeiro nestas áreas, é necessária a utilização da irrigação.

O uso da irrigação em cafeeiro é uma tecnologia que vem se consolidando e mostrando-se economicamente viável ao longo dos tempos, principalmente em regiões onde a distribuição das chuvas tem causado déficit moderado a severo no período que coincide com do abotoamento floral à granação. Isso ocorre, por exemplo, no norte do Estado do Espírito Santo, onde normalmente as chuvas se concentram nos meses de outubro a março (SILVA; REIS, 2007).

Dentre os métodos utilizados, destaca-se a irrigação localizada, tanto pela maior eficiência na aplicação de água, quanto pela possibilidade da aplicação conjunta dos fertilizantes. O sucesso das aplicações de nutrientes via fertirrigação está intimamente ligado ao correto dimensionamento do sistema e à implantação e

manutenção adequadas, que determinarão o nível de uniformidade de aplicação de água e dos nutrientes. Faria et al. (2009) mencionam que o gotejamento possibilita economia de água e fertilizantes, entretanto, limita a zona radicular da planta a um bulbo úmido restrito no solo que pode ser salinizado, se manejado inadequadamente.

De maneira geral, o sucesso da fertirrigação depende da distribuição de água às plantas e do balanço eletroquímico próximo ao sistema radicular, que está relacionado com as fontes fertilizantes e o manejo adotado. Para culturas perenes, como o caso do café, um manejo inadequado pode provocar a acidificação e a salinização do bulbo, reduzindo o potencial total da água do solo junto ao sistema radicular em decorrência do aumento do módulo do potencial osmótico da solução do solo, com conseqüente redução de absorção da solução pelas raízes.

Em relação à salinidade e ao crescimento das plantas de café, Figueirêdo et al. (2006) observaram que a salinidade da água a partir de  $1,2 \text{ dS m}^{-1}$  prejudicou o crescimento e, em alguns casos, provocou a morte das plantas.

A busca por fertilizantes com menor custo, às vezes, induz o produtor a utilizar fontes com maiores riscos de salinização e acidificação do bulbo, como no caso da utilização do cloreto de potássio e da ureia respectivamente, potencializando os efeitos descritos anteriormente. Uma alternativa para as áreas fertirrigadas é a utilização de adubos de liberação controlada, aplicado via solo, independente do sistema de irrigação. Uma das classes que apresentam maior potencial são os fertilizantes encapsulados ou recobertos, destacando-se a ureia; Shaviv (2005) menciona que a ureia encapsulada é fabricada comercialmente há quase 30 anos, sendo obtida pelo revestimento com enxofre elementar e polímeros.

Entretanto, por ser uma tecnologia relativamente nova quanto à sua utilização no Brasil, são necessários estudos para verificar a eficiência nos sistemas de produção em relação às fontes comumente utilizadas, e até mesmo, a utilização conjunta de tecnologias.

Fundamentando-se na hipótese de que as fontes de fertilizantes de liberação controlada podem reduzir a acidificação e salinização do bulbo em lavouras de café conilon irrigadas por gotejamento, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de formas de aplicação e fontes de fertilizantes sobre a condutividade elétrica e pH da solução do solo, assim como no desenvolvimento e produção de café conilon irrigado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, gerando desenvolvimento sustentável no campo, empregos e renda. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (SILVA; REIS, 2007).

O contínuo crescimento da população mundial demanda produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade. Para tanto, é necessária uma agricultura mais competitiva e mais tecnificada, que contribua com o aumento da produção, da produtividade e da rentabilidade da propriedade agrícola, de forma sustentável, sem que novas áreas sejam empreendidas. Neste contexto, a técnica da irrigação é uma estratégia, no foco do agronegócio, que gera emprego e permite o aumento da produção, enquanto que no passado, era vista apenas como técnica que visava basicamente a luta contra a seca (SILVA; REIS, 2007).

No Brasil, nos últimos 13 anos a área irrigada praticamente dobrou; enquanto que em 2002 era de aproximadamente 3,149 milhões de ha (CHRISTOFIDIS, 2002), estimativas da Agência Nacional de Águas mostram que o Brasil irriga cerca de 6 milhões de hectares, situados em regiões de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia e Goiás. Juntos, eles possuem cerca de 68% de toda a área irrigada atualmente (BRASIL, 2015).

A definição do potencial de área irrigada no Brasil depende de vários aspectos fundamentais, como a disponibilidade de água e a viabilidade da sua utilização, área realmente disponível dentro de uma análise de necessidade de preservação de ecossistemas, como é o caso de várzeas. Assim, a grande expansão da área irrigada deve ocorrer na substituição de áreas de agricultura de sequeiro e de pastos (MANTOVANI et al., 2007). Segundo Bernardo et al. (2006), o crescimento sustentável da irrigação necessita de um programa muito bem elaborado de pesquisa e desenvolvimento para o seu estabelecimento e consolidação, considerando a eficiência no uso da água, eficiência no uso da energia, eficiência no uso de insumos e respeito ao ambiente.

A cafeicultura, como importante atividade do setor agrícola, desempenha função de vital importância para o desenvolvimento social e econômico do Brasil,



garantindo a geração de postos de trabalho, tributos e contribuindo significativamente para a formação da receita cambial brasileira. É notório o destaque de todo o sistema agroindustrial do café em termos de uso de mão de obra e fixação do homem ao campo, geração de empregos nos setores à montante e à jusante da produção primária, bem como em termos de obtenção de divisas externas e arrecadação de impostos (FASSIO; SILVA, 2007).

## 2.2 A cultura do café conilon

O gênero *Coffea* é representado por mais de 100 espécies, destacando-se a *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (DAVIS et al., 2006), devido às suas características comerciais no mercado mundial.

A espécie *Coffea canephora* encontra-se distribuída nas regiões ocidental e centro-tropical e subtropical do continente africano, compreendendo grandes áreas da República da Guiné, Costa do Marfim, Libéria, Sudão e Uganda. É de ampla distribuição geográfica, é adaptada a regiões quentes e úmidas, e em áreas baixas da floresta tropical (CHARRIER; BERTHAAUD, 1985). No Brasil, é cultivado em regiões com menor altitude, normalmente abaixo de 500 m, temperatura mais elevada, com média anual entre 22° e 26° C e déficit hídrico anual não superior a 350 mm (FERRÃO et al., 2007b).

Registros históricos mostram que o primeiro cultivo comercial de *C. canephora* iniciou-se no Congo, em 1870, usando sementes de plantas silvestres coletadas às margens do Rio Lomani (ECCARDI; SANDALJ, 2002). No Brasil, foi introduzida por volta do ano de 1912, no Estado do Espírito Santo, com as primeiras sementes plantadas no município de Cachoeiro do Itapemirim, na região sul do Estado. Contudo, somente a partir da década de 60, em razão da crise do café, que levou à erradicação de grande parte da lavoura cafeeira estadual, constituída predominantemente por café arábica, o café conilon experimentou grande expansão. A partir de 1971, foram implantadas as primeiras lavouras tecnificadas de café conilon no município de São Gabriel da Palha, de onde se expandiram para todas as regiões do ES (SCHMIDT et al., 2004; GLAZAR, 2005). Nos primeiros plantios foram usadas sementes originárias, exclusivamente, da variedade kouillou (FONSECA et al., 2007).

Ocorreram algumas distorções ortográficas quando as plantas de café foram importadas da África para o Brasil. O termo Francês “kouillou” refere-se ao nome de um rio situado na costa atlântica da África, entre o Gabão e a embocadura do Rio Congo, onde a variedade de café foi observada em estado selvagem por botânicos franceses (CHEVALIER, 1947). A derivação para o nome Conilon veio da substituição da letra “u” por “n” do nome original “Kouillou” que passou a ser conhecida popularmente por Conilon (FERRÃO et al., 2007a).

Usualmente, a espécie *C. canephora* também é conhecida como “robusta”, que advém da expressão rusticidade e resistência às doenças das plantas, sendo, portanto, considerado como material resistente de café para ser cultivado em clima equatorial (FERRÃO et al., 2007a).

A oferta mundial de café robusta é proveniente principalmente da Indonésia, Costa do Marfim, Brasil, Uganda, Vietnã, Java e Índia (BRAGANÇA et al., 2001), sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial de café desde meados do século XIX, quando a cafeicultura passou a ser atividade expressiva no mundo econômico (MATIELLO, 1998). Dentre os estados brasileiros produtores de café, o Espírito Santo destaca-se como o maior produtor de café conilon (*C. canephora*), com cerca de 80% da produção nacional, sendo que esta produção se concentra na região Norte com destaque na produção agrícola da região, sendo uma das principais fontes de renda e emprego (BONOMO et al., 2013).

Segundo Ferrão (2012), a cafeicultura capixaba está presente em mais de 60 mil propriedades, distribuídas em 77 dos 78 municípios do Estado do Espírito Santo, envolvendo 131 mil famílias rurais, empregando 300 mil capixabas somente no setor de produção. O parque cafeeiro de conilon do estado é formado por 309.481 hectares. Destes, 283.052 hectares estão em produção e 26.429 hectares em formação (CONAB, 2015). O grande sucesso da espécie *C. canephora* no estado do Espírito Santo pode ser atribuído à adaptação a baixas altitudes e temperaturas elevadas, levando a considerar sua recomendação a regiões julgadas marginais para o café da espécie arábica (FERRÃO et al., 2007a).

A espécie *C. canephora* apresenta grande interesse mundial em função de algumas características particulares, entre elas destaca-se o maior rendimento do café torrado em termos de sólidos solúveis e pela possibilidade do seu uso misturado com o *C. arabica* (FERRÃO et al., 2007a; FONSECA et al., 2007); a sua maior tolerância a nematoides e à seca (FAZUOLI et al., 2007); a sua tolerância à

ferrugem asiática causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* (CAPUCHO et al., 2011), e a sua maior produtividade e menor custo de produção (MATIELLO et al., 2005).

Segundo Ferrão (2004), o surgimento e crescimento da indústria do café solúvel, bem como o emprego dessa espécie em misturas com o café arábica, foram fatores responsáveis pelo desenvolvimento da cultura. Além disso, o café conilon representava excelente alternativa aos cafeicultores das regiões mais quentes e secas do Estado do Espírito Santo, menos aptas ao cultivo do café arábica (DADALTO; BARBOSA, 1997; FONSECA et al., 2004).

No Espírito Santo, ao longo dos últimos dez anos, a cafeicultura de conilon passou por uma série de transformações, sendo a principal delas a evolução no nível técnico das lavouras. De um modo geral, o perfil empreendedor dos cafeicultores, aliado a condições favoráveis de temperatura e topografia, permitiu que uma cafeicultura altamente desenvolvida, inclusive com o uso de irrigação e variedades melhoradas, fosse praticada no norte do Estado. O resultado dessa conjugação de fatores foi o expressivo incremento da produtividade ou rendimento médio das lavouras, principal responsável pelo aumento da produção de café conilon verificada ao longo desses anos (FERRÃO et al., 2007a).

Segundo De Muner et al. (2003) e Seag (2003), a transferência e rápida adoção de tecnologias transformaram a lavoura cafeeira de café conilon do Estado em uma das mais competitivas do mundo, com custos compatíveis aos do Vietnã e Indonésia. Entretanto, devido sua exploração econômica ser relativamente recente, poucos estudos foram desenvolvidos com essa variedade e, portanto, o conhecimento sobre a fisiologia do café conilon é embrionário, se comparado com o do café arábica (FERRÃO et al., 2007a).

Para o cafeeiro conilon, as poucas informações disponíveis sobre as taxas de crescimento da parte aérea foram obtidas na região de Linhares, norte do Espírito Santo. Em razão da ocorrência frequente de veranicos durante a estação chuvosa e de período seco relativamente longo, que se estende geralmente de maio a setembro, os cafezais da região nordeste são normalmente cultivados sob irrigação, prática que afeta o crescimento da parte aérea (SILVEIRA, 1996; SILVEIRA; CARVALHO, 1996).

Assim como ocorre na grande maioria das regiões produtoras de café no mundo, a taxa de crescimento da parte aérea do cafeeiro (crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, formação de nós, expansão foliar, etc.) varia

sazonalmente, em virtude das condições climáticas, particularmente dos regimes de chuva e de temperatura, apesar do fotoperíodo também ter alguma influência. Dessa forma, nas regiões não equatoriais, o crescimento da parte aérea geralmente é lento no outono/inverno, durante o período seco e frio e de dias curtos, e rápido na primavera/verão, coincidindo com o início do período chuvoso e com o aumento das temperaturas e do comprimento do dia (CANNELL, 1976).

Em relação aos aspectos nutricionais, o café conilon é uma variedade que apresenta potencial produtivo elevado, particularmente aqueles germoplasmas oriundos de seleções feitas de melhoramento genético. Dessa forma, os genótipos assim selecionados apresentam alta exigência nutricional e acumulam grande quantidade de nutrientes em seus órgãos. As quantidades de nutrientes acumuladas pelo conilon aumentam progressivamente com a idade, notadamente a partir da primeira colheita. Entre os 24 e 30 meses, época da primeira produção comercial, as quantidades de N, P e K na planta podem aumentar em até 1,53; 1,55; 1,24 vezes, respectivamente (FERRÃO et al., 2007a). Em trabalho realizado por Bragança (2005), a sequência de acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon foi N > Ca > K > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu.

### **2.3 Irrigação e fertirrigação na cultura do café conilon**

No passado, a utilização da irrigação era uma opção técnica de aplicação de água, que visava principalmente a luta contra a seca. Hoje, a irrigação, no foco do agronegócio, se insere em um conceito mais amplo de agricultura irrigada, sendo uma estratégia para aumento da produção, da produtividade e da rentabilidade da propriedade agrícola, de forma sustentável, preservando o ambiente e criando condições para manutenção do homem no campo através da geração de empregos permanentes e estáveis (SILVA; REIS, 2007).

A irrigação é uma técnica tão significativa para o cafeeiro, que já permite situá-lo entre as principais culturas irrigadas do Brasil. A cafeicultura irrigada representa cerca de 10% da área total da cafeicultura nacional e em torno de 20% a 25% de sua produção anual (FERNANDES et al., 2008) e está concentrada principalmente no norte do Espírito Santo, no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, e no oeste da Bahia (SILVA; REIS, 2007).

O uso da irrigação no cafeeiro é uma tecnologia que vem se mostrando viável, principalmente em regiões onde a distribuição das chuvas tem causado déficit moderado a severo no período que coincide do abotoamento floral à granação. Isso ocorre, por exemplo, no norte do Espírito Santo, onde normalmente as chuvas se concentram nos meses de outubro a março (SILVA; REIS, 2007).

Eugenio et al. (2014), em um estudo de levantamento agroclimático para o estado do Espírito Santo, considerando temperatura e deficiência hídrica, concluíram que o estado possui 3.179,66 km<sup>2</sup> de terras plenas (100% aptas), 11.241,40 km<sup>2</sup> de boas (75% aptas), 17.182,42 km<sup>2</sup> de regulares (50% aptas), 13.900,38 km<sup>2</sup> de restritas (25% aptas) e 444,36 km<sup>2</sup> de terras totalmente inaptas ao cultivo do café conilon, representando, respectivamente, 6,92%; 24,47%; 37,40%, 30,25% e 0,97% do território.

Para o município de São Gabriel da Palha, a classificação da área de aptidão é: 0 km<sup>2</sup> de terras plenas; 71,86 km<sup>2</sup> de boas; 0,49 km<sup>2</sup> de regulares; 362,48 km<sup>2</sup> de restritas; e 0 km<sup>2</sup> de inaptas, ou seja; 83,36% da área do município são classificadas como restritas ao cultivo do café conilon, considerando o fator agroclimático (EUGENIO et al., 2014).

Pezzopane et al. (2010) apresentaram um zoneamento de risco climático, fundamentado no atendimento hídrico para o café conilon no estado do Espírito Santo. Os autores identificaram que 58% da área do estado, concentrada principalmente na região norte, apresentam alto risco climático nas fases vegetativa do florescimento, granação e crescimento vegetativo. Diante desse cenário, a utilização da irrigação é fator fundamental na produção do café, principalmente no norte do estado do Espírito Santo.

O cultivo do café conilon irrigado no Norte Capixaba apresenta-se com destaque na produção agrícola nacional, sendo uma das principais fontes de renda e emprego (BONOMO et al., 2013). Dentre os sistemas de irrigação comumente empregados na cafeicultura nesta região, destacam-se os sistemas localizados (gotejamento convencional, gotejamento com “microjet” e microaspersão) e por aspersão (pivô central, aspersão convencional e fixa) (BONOMO et al., 2014). Mantovani et al. (2007) destacam a irrigação localizada, pelo fato de menor consumo de energia elétrica, menor necessidade de mão de obra para o manejo do sistema e apresenta valores de eficiência de aplicação da ordem de 85 a 95%.

A introdução de sistemas de irrigação por gotejamento em escala comercial na cultura do café no país ocorreu no início da década de 90. Na segunda metade desta década, os sistemas de gotejamento se popularizaram e sua aplicação em lavouras de café cresceu de forma significativa (SILVA et al., 2003).

Para que a irrigação seja uma ferramenta viável, torna-se necessário adotar práticas que contribuam para o aumento da produtividade e do lucro. Uma destas práticas é a fertirrigação, que tem sido utilizada com frequência pelos cafeicultores irrigantes, em especial por aqueles que dispõem de sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento (FERNANDES et al., 2007).

A fertirrigação é uma prática de adubação em que os nutrientes são aplicados nos cultivos de forma parcelada, juntamente com a água de irrigação. Desde que realizada com critério, apresenta uma série de vantagens técnicas e econômicas em relação aos métodos tradicionais de adubação. Isso em razão do parcelamento permitir manter a fertilidade no solo próxima ao nível ótimo durante todo o ciclo da cultura, possibilitar ganhos de produtividade e reduzir as perdas de nutrientes (MAROUELLI; SOUSA, 2011).

A utilização da fertirrigação oferece diversas vantagens em comparação ao método convencional de aplicação de fertilizantes. Entre elas, pode-se destacar a não compactação do solo e o fim de injúrias mecânicas nas plantas, causadas pela entrada de equipamentos pesados nas áreas de cultivo para promover a adubação pelos métodos tradicionais; menor quantidade de equipamento exigido e menor gasto de energia; a dosagem de nutrientes pode ser mais cuidadosamente regulada, monitorada, distribuída e parcelada no perfil do solo, conforme as necessidades da cultura ao longo de seu ciclo fenológico (COELHO; SILVA, 2005).

Na cafeicultura irrigada, a elevação dos níveis de fertilidade é extremamente importante para aumentar a produtividade e a qualidade da produção agrícola. O uso da irrigação por gotejamento, associado à fertirrigação, é uma prática que vem sendo notadamente adotada pelos cafeicultores que cultivam o conilon no Espírito Santo. Embora venha apresentando resultados promissores em nível de campo, esta prática de manejo ainda tem sido utilizada de forma empírica, devido à existência limitada de resultados científicos relacionados à nutrição desta cultura em condições fertirrigadas, principalmente no que se refere a doses e épocas de aplicação (BRAGANÇA et al., 2007).

O grande desafio da fertirrigação é conciliar a aplicação dos fertilizantes, sem interferir nas propriedades químicas dos solos. Sobral e Nogueira (2008) citam que a aplicação de fertilizantes via água de irrigação pode influenciar os atributos químicos do solo, principalmente aqueles com baixos teores de argila e matéria orgânica. De maneira geral, quando ocorre maior absorção de cátions que ânions, as raízes tendem a compensar o balanço eletroquímico excretando prótons, que acidificam a rizosfera. Por outro lado, se ocorre maior absorção de ânions, há uma alcalinização da rizosfera.

Soares et al. (2000), trabalhando com fertirrigação em café arábica variedade Catuaí com 8 anos, no município de Viçosa - MG, encontraram diferentes respostas para diferentes fontes de fertilizantes utilizadas. Os melhores resultados de crescimento vegetativo foram obtidos com a utilização de nitrato de cálcio e potássio. Para a produção, houve melhor resposta com formulado à base de nitrato, corroborando com a hipótese de que os fertilizantes nítricos podem melhorar a rizosfera, favorecendo a absorção dos demais nutrientes. Entretanto, neste trabalho não foram avaliados os atributos do solo.

De acordo com Souza et al. (2006), nas condições de solos tropicais, a acidificação do solo é um ponto de estrangulamento, pois poderá comprometer a sustentabilidade do sistema de fertirrigação. Villas Bôas et al. (1999) também alertaram para os perigos da acidificação do solo com a fertirrigação em solos tropicais. A acidificação do solo é inversamente proporcional à área de aplicação, portanto quanto mais localizada for a aplicação do fertilizante, maior será a acidificação, como no caso do gotejamento (COSTA et al., 1986; LAURINDO, 2005).

Souza et al. (2006) alertam a experiência em fertirrigação mundial, uma vez que boa parte dos trabalhos estão localizados em clima mediterrânico, em solos originados de substrato calcário, nos quais a acidificação é apontada como uma das vantagens da fertirrigação. Os autores aludem à necessidade de desenvolver tecnologia própria para as condições brasileiras, pois existe pouca informação disponível na literatura nacional sobre a eficiência desse método de aplicação de fertilizantes em relação à adubação convencional sólida.

## 2.4 Fontes fertilizantes

### 2.4.1 Fertilizantes de liberação imediata

As plantas absorvem nutrientes a partir da solução do solo, um sistema complexo que envolve um número amplo de espécies químicas, relacionadas entre si pelos diferentes sistemas de equilíbrio químico presentes (ALCARDE, 2007). O mesmo autor menciona que quando se aplica um fertilizante, pretende-se que ele consiga estabelecer uma concentração adequada de nutrientes na solução do solo, para suprir as necessidades dos vegetais. Entretanto, a fácil dissolução deixa os nutrientes sujeitos às perdas, como por exemplo, lixiviação, volatilização e escoamento superficial.

A maior parte dos fertilizantes nitrogenados comumente utilizados na agricultura é solúvel em água e têm o N prontamente disponível para os vegetais. Cantarella (2007) cita que no Brasil, os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia, nitrato e sulfato de amônio. A ureia contém de 44 a 46% de N, na forma amídica, a qual é hidrolisada rapidamente no solo em amônio, pela ação da enzima urease. Além do alto teor de N, o que reduz custos com transportes e logísticas, a ureia apresenta baixa corrosividade e alta solubilidade. O nitrato de amônio contém 33% de N, sendo metade na forma nítrica e a outra metade na forma amoniacal. O sulfato de amônio apresenta 21% de N, mas apresenta o maior preço por unidade de N em relação à ureia e nitrato de amônio.

Em relação às fontes potássicas, Ernani et al. (2007) citam que o cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante mais utilizado no mundo, simplesmente por ser o mais barato. É obtido a partir de jazidas naturais, contendo cerca de 60% de  $K_2O$ . Como o Brasil dispõe de poucas reservas, praticamente todo consumo desse nutriente provém do exterior. É um fertilizante com elevado índice salino, que pode prejudicar o crescimento inicial das plantas, principalmente em solos com baixa CTC.

A segunda fonte mais utilizada é o sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), que contém cerca de 50% de  $K_2O$ . Possui alta solubilidade e apresenta índice salino menor que o do KCl. Uma terceira fonte é o nitrato de potássio ( $KNO_3$ ), um fertilizante misto que contém cerca de 13% de N e 44% de  $K_2O$ . É pouco utilizado em função do custo ser superior às demais fontes. Apresenta índice salino baixo quando comparado às demais fontes (ERNANI et al., 2007).



### 2.4.2 Produtos encapsulados ou recobertos - liberação controlada

Os fertilizantes mais comuns dessa classe são formados por grânulos recobertos com polímeros orgânicos termoplásticos ou resinas, ou com materiais inorgânicos, como por exemplo, o enxofre elementar. Os fertilizantes resinados são normalmente preparados por polimerização, resultando na formação de um polímero reticulado, hidrofóbico, que degrada com o aquecimento. As duas principais famílias de resinas comuns no uso prático são as resinas do tipo alquídicas e revestimentos de poliuretano (SHAVIV, 2005).

A ureia recoberta com enxofre é o produto mais antigo dessa classe. Shaviv (2005) menciona que ela é fabricada comercialmente há quase 30 anos. Sua elaboração é baseada em grânulos de ureia que recebem pulverizações de enxofre elementar, fundido a 156 °C. O produto contém entre 31 a 38% de nitrogênio. Após o revestimento da ureia com enxofre, uma cera é pulverizada para selar fissuras no revestimento e reduzir a degradação microbiana do revestimento de enxofre. Finalmente, uma terceira camada (normalmente Atapulgita) é adicionada, que serve como um condicionador.

Trenkel (1997) cita algumas razões que favorecem a combinação de ureia e enxofre. Uma delas é que a ureia é altamente concentrada, e mesmo com o revestimento, ainda apresenta 30 a 40% de nitrogênio. Destaca também que o enxofre é um produto de baixo custo e um nutriente secundário importante para as plantas.

Estes fertilizantes recobertos não se restringem apenas aos nitrogenados, podendo ser utilizados em diversas formulações, que contenham um ou mais nutrientes no interior dos grânulos (CANTARELLA, 2007). No caso do potássio, existem produtos com 51% de  $K_2O$ , obtidos a partir do cloreto de potássio, enxofre elementar e polímeros. Na Figura 1 é possível observar a constituição destes produtos com liberação controlada dos fertilizantes.

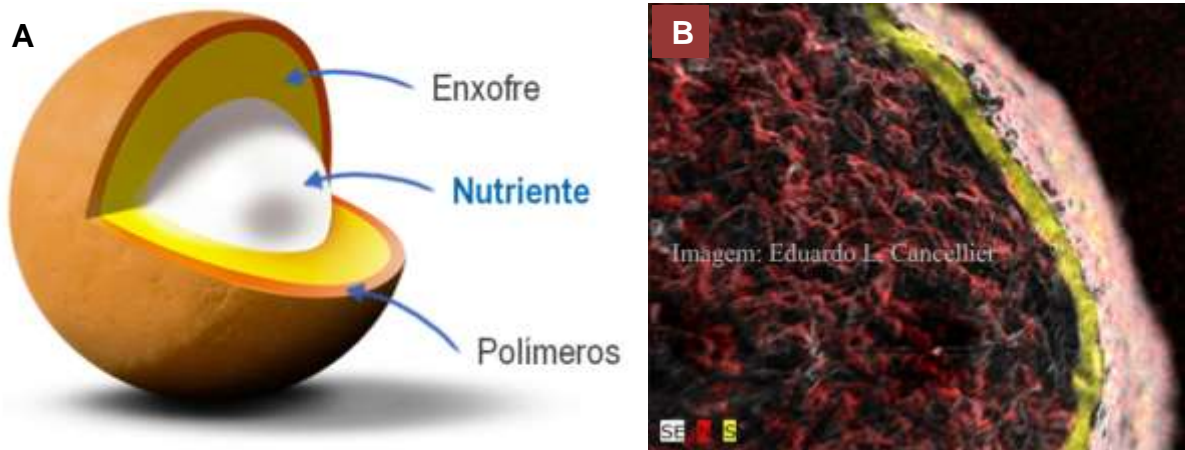


Figura 1 - Ilustração de um fertilizante de liberação controlada (A); espectroscopia de energia dispersiva por raios X (EDS) de uma ureia de liberação controlada - Ureia + Enxofre + Polímeros (B) (CANCELLIER, 2013)

O padrão de liberação do nutriente desses fertilizantes depende da espessura e da qualidade do recobrimento. Geralmente, o modo de liberação envolve a difusão do fertilizante solúvel do interior do grânulo para o solo. A água penetra por microporos através do material de cobertura, aumentando a pressão osmótica no interior do grânulo, que provoca o esticamento da membrana de cobertura e o aumento dos poros, facilitando a difusão do fertilizante para o solo (CANTARELLA, 2007). É possível regular a taxa de liberação alterando a espessura e composição do material utilizado. O mesmo autor menciona que existe no mercado ureias recobertas com resina termoplástica, que liberam 80% do nitrogênio de 70 a 400 dias após a aplicação.

Por apresentarem liberação gradual e contínua, esses fertilizantes causam menor salinidade próximo ao sistema radicular da planta, além dos benefícios ambientais, na medida em que proporcionam menores perdas de N por diminuir a lixiviação de nitrato, emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia (ALCARDE, 2007).

## 2.5 Dinâmica do nitrogênio e potássio no solo e absorção pelas culturas

### 2.5.1 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos elementos minerais requeridos em maiores quantidades pelas plantas e o que mais limita o crescimento. Faz parte de proteínas,

ácidos nucleicos e muitos outros importantes constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais. Sua deficiência resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento da planta, sendo que inicialmente, em detrimento das reservas da parte aérea, a planta promove um alongamento do sistema radicular, como tentativa de buscar o nutriente (SOUZA; FERNANDES, 2006).

As principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos envolvem a presença do N. Além disso, o N apresenta grande versatilidade nas reações de oxirredução e está presente em vários estados de oxidação, desde formas bastante reduzidas (-3), como o  $\text{NH}_4^+$ , até oxidadas (+5), como o  $\text{NO}_3^-$ , o que lhe confere especial importância nos ciclos bioquímicos e no metabolismo das plantas (CANTARELLA, 2007).

No cenário agrícola em pleno crescimento, este elemento é empregado em grandes quantidades na forma de fertilizantes, representando para a maioria das culturas, o nutriente mais caro. Com o domínio dos processos industriais para a conversão do  $\text{N}_2$  atmosférico em  $\text{NH}_3$ , no começo do século XX, teve início a fabricação de fertilizantes nitrogenados sintéticos, que vêm sendo utilizados em larga escala. Entretanto, quando utilizado em quantidades excessivas ou condições desfavoráveis, o N pode ser perdido e, ao ser transferido para outros locais ou ecossistemas, converter-se em poluente de águas superficiais ou subterrâneas e da atmosfera. Dessa forma, o entendimento das principais reações que regem o comportamento do N no sistema solo-planta é, portanto, fundamental para o adequado manejo da agricultura moderna (CANTARELLA, 2007).

O nitrogênio está disponível no solo em diversas formas, incluindo amônio, nitrato, aminoácidos, peptídeos e formas complexas insolúveis. As espécies vegetais diferem na sua preferência por fontes de N, mas o absorvem principalmente sob formas inorgânicas como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (WILLIAMS; MILLER, 2001).

A absorção do  $\text{NH}_4^+$  é passiva, e acontece através de um transportador do tipo uniporte, enquanto a absorção do  $\text{NO}_3^-$  é um processo ativo secundário, em simporte com 2  $\text{H}^+$ . Evidências indicam que o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é a forma absorvida pelas plantas e não o gás amônia (LUDEWIG et al., 2002). A amônia ( $\text{NH}_3$ ) é uma base fraca ( $\text{pK} = 9,25$ ), deste modo, como o citossol tem em média pH 7,2, aproximadamente todo o N-amoniaco neste compartimento está na forma protonada

de  $\text{NH}_4^+$ . Já a absorção de  $\text{NO}_3^-$  é ativa ou seja, contra um gradiente de potencial eletroquímico (SOUZA; FERNANDES, 2006).

As plantas absorvem o  $\text{NO}_3^-$  e o  $\text{NH}_4^+$  em processos dependentes de energia. Geralmente, o N amoniacal no solo é rapidamente absorvido por microrganismos e incorporado à biomassa microbiana, se houver C disponível. No entanto, é mais comum que haja, em solos, limitação de C e de energia; nessas condições, o  $\text{NH}_4^+$  é consumido pelos nitrificadores e rapidamente oxidado a  $\text{NO}_2^-$  e posteriormente, a  $\text{NO}_3^-$  de modo que o N-nítrico predomina nos solos em condições aeróbias. A nitrificação ocorre em duas etapas. Na primeira, o  $\text{NH}_4^+$  é convertido em  $\text{NO}_2^-$  por bactérias do gênero *Nitrosomonas*. Na segunda etapa, o  $\text{NO}_2^-$  é oxidado a  $\text{NO}_3^-$  por bactérias do gênero *Nitrobacter* (CANTARELLA, 2007).

A reação de nitrificação envolve a transferência de oito elétrons e a valência do N passa de -3 ( $\text{NH}_4^+$ ) para +5 ( $\text{NO}_3^-$ ). Para cada mol de  $\text{NH}_4^+$  oxidado, há a liberação de dois moles de  $\text{H}^+$ . Essa reação representa importante contribuição para a acidificação de solos agrícolas, especialmente aqueles adubados com fertilizantes nitrogenados amoniacais (CANTARELLA, 2007).

Durante a oxidação de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$ , pode haver pequena produção de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) por dismutação química do nitroxil (NOH) ou por ação da redutase de nitrito (SCHIMDT, 1982; BREMNER, 1997). O  $\text{N}_2\text{O}$  é normalmente produzido no solo em condições anaeróbias no processo de desnitrificação; porém, nesse caso, sua formação pode ocorrer também em condições aeróbias, durante a nitrificação. A importância desse processo como mecanismo de perda de N do solo por volatilização ainda não está bem estabelecida, mas parece ser o principal meio pelo qual  $\text{N}_2\text{O}$  é produzido em solos aeróbios adubados com fertilizantes amoniacais (BREMNER, 1997).

Vários fatores interferem na taxa de nitrificação, entre eles, destacam-se a disponibilidade de N-amoniacal, de  $\text{O}_2$ , acidez e temperatura do solo e ocorre em condições de solo, temperatura e umidade bastante variadas. A nitrificação praticamente não ocorre em temperaturas abaixo de 4 °C e é máxima entre 25 e 40 °C, dependendo da região e tipo de solo (SCHIMDT, 1982). O pH do solo também afeta a nitrificação. De acordo com Crusciol et al. (2011), as taxas de nitrificação reduzem abaixo de pH 6,0 em água. Um limite arbitrário de pH 4 tem sido sugerido, abaixo do qual a nitrificação é inibida (SCHIMDT, 1982; CRUSCIOL et al., 2011).

Cantarella (2007) menciona que o efeito da acidez sobre a nitrificação é bastante complexo. Hayatsu e Kosuge (1993), utilizando amostras de solo do Cerrado brasileiro, observaram que a adição de calcário estimulou a nitrificação em solos adubados com ureia. Em outro estudo com solos brasileiros (BA e MG), Silva e Vale (2000) notaram que, de modo geral, a taxa de nitrificação aumentou com o aumento do pH e do teor de MOS.

Outro processo na dinâmica do N no solo é a desnitrificação, que é definida como um processo respiratório, que acontece na ausência de  $O_2$ , no qual óxidos de N servem como receptores finais de elétrons. Esse é o principal processo biológico pelo qual o N reativo retorna à atmosfera na forma de  $N_2$ . Do ponto de vista agrícola, a desnitrificação representa perda de um nutriente importante, mas esse processo é parte crucial do ciclo global do N, especialmente porque representa uma das maneiras de despoluir sistemas com excesso de  $NO_3^-$  (ROBERTSON, 2000).

Em termos globais, as perdas de N por desnitrificação atingem valores de 6 a 65 Tg ano<sup>-1</sup> (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A agricultura é considerada uma das atividades que mais contribuem para as emissões de  $N_2O$ . Devido à forte vocação agrícola do Brasil, a percentagem de emissões de  $N_2O$  atribuível à agricultura pode chegar a 94% (CERRI; CERRI, 2007). Além do uso intensivo da terra, ao longo do ano, as doses de N aplicadas ao solo são mais elevadas devido ao baixo teor de matéria orgânica encontrada em regiões tropicais (MORO et al., 2014).

As perdas de N-fertilizantes por desnitrificação nos sistemas agrícolas são extremamente variáveis e suas quantificações pouco precisas e exatas. De modo geral, estima-se que variem de 5 a 30% do N aplicado como fertilizante. A maior parte das interferências provém de ensaios em que são realizados os balanços do N aplicado e o contabilizado, no final do ciclo da cultura, nos solos e nas plantas (CANTARELLA, 2007).

Outros processos importantes no ciclo do N são os relacionados com as suas perdas no sistema solo-planta, destacando a lixiviação de nitrato e a volatilização de amônia. O ânion nitrato tem baixa interação química com os minerais do solo. A predominância de cargas negativas no solo, ou pelo menos nas camadas superficiais nos solos tropicais, e a baixa interação química do  $NO_3^-$  com os minerais do solo, fazem com que o  $NO_3^-$  esteja sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas, podendo atingir águas superficiais ou o lençol freático. Problemas associados ao excesso de  $NO_3^-$  no ambiente têm levado à regulamentação e ao

controle de práticas agrícolas nos Estados Unidos e na Europa, com o estabelecimento de limitações nas dosagens de adubos nitrogenados orgânicos e minerais em áreas sensíveis (CANTARELLA, 2007).

A lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  tem estreita dependência da quantidade de água que percola no perfil do solo (CANTARELLA, 2007). Estimativas da movimentação de  $\text{NO}_3^-$  têm sido apresentadas por alguns autores. Valores encontrados no Brasil variaram de aproximadamente 1,0 a 1,5 mm  $\text{mm}^{-1}$  de chuva (SUHET et al., 1986).

Esses valores dão ideia de quanto a chuva ou a irrigação podem provocar a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$ , porém, essa relação entre caminamento do N e quantidade de chuva ou de água que passa pelo perfil do solo não é tão simples, porque a água e o soluto não se movem uniformemente por causa das interações físicas e químicas com o solo e, se o solo estiver seco, parte da água ficará retida na matriz do solo. A textura do solo também afeta a lixiviação, que é maior em solos arenosos, que, por apresentarem menor microporosidade, têm movimentação mais rápida de água no sentido descendente (CANTARELLA, 2007).

A maior parte da água que percola não flui através dos agregados do solo, mas ao redor deles, assim a água ao redor dos agregados tem mobilidade maior do que aquela no interior dos mesmos (CANTARELLA, 2007). O  $\text{NO}_3^-$  e outros solutos se movem por difusão entre o interior dos agregados e a solução externa (ADDISCOTT, 2004).

A velocidade da difusão do  $\text{NO}_3^-$  afeta a taxa de lixiviação. Solos arenosos com pouca agregação apresentam maior difusão do  $\text{NO}_3^-$ , enquanto solos argilosos ou com agregados de maior tamanho apresentam difusão do  $\text{NO}_3^-$  reduzida. Quanto menor a taxa de difusão e maior o tamanho dos agregados, menor a lixiviação. Isso, porém, ocorre quando a maior parte do  $\text{NO}_3^-$  está ou é produzida no interior dos agregados, como é o caso do N mineralizado a partir da MOS ou N do fertilizante que esteve em contato com o solo por um tempo longo e suficiente para atingir algum equilíbrio e migrar para o interior dos agregados. Nesse caso, o  $\text{NO}_3^-$  é lixiviado mais lentamente. Por outro lado, o  $\text{NO}_3^-$  pode ser rapidamente lixiviado e caminhar uma distância maior do que a altura da coluna de água da chuva, mesmo em solo argiloso, se em alta concentração na solução do solo (região adubada, por exemplo) (CANTARELLA, 2007).

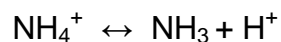
Há intensa competição por N no solo entre plantas e entre plantas e microrganismos, a qual pode prevenir as perdas por lixiviação, pelo fato de os

nitrificadores geralmente não levarem vantagem na disputa com as plantas e com outros microrganismos pelo  $\text{NH}_4^+$  (GROFFMAN, 2000). Assim, somente os solos que recebem doses de N em excesso em relação às necessidades das plantas e dos microrganismos são fontes de  $\text{NO}_3^-$  para o ambiente. Isso pode ocorrer também em solos revolvidos por arações e gradagens, ou em períodos em que as plantas não absorvem grandes quantidades de N, como após as colheitas, estádios iniciais de crescimento, etc (CANTARELLA, 2007).

Os dados disponíveis no Brasil indicam que, com as doses de N atualmente utilizadas e com o manejo da adubação adotado, envolvendo o parcelamento das aplicações, o risco de contaminação ambiental com o  $\text{NO}_3^-$  na agricultura brasileira é baixo, exceto talvez em bolsões de produção de olerícolas em torno das cidades. Há poucas informações disponíveis sobre o assunto (CANTARELLA, 2007).

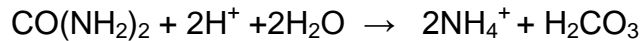
O outro processo importante no ciclo do N relacionados com as suas perdas no sistema solo-planta é a volatilização de amônia. As emissões atmosféricas de N na forma de  $\text{NH}_3$  são estimadas em cerca de  $54 \text{ Tg ano}^{-1}$ , das quais 75% são emissões provocadas pela ação do homem. A principal fonte de  $\text{NH}_3$  no mundo ( $22 \text{ Tg ano}^{-1}$  de N) é a criação de animais e seus dejetos, em virtude das altas perdas de N da urina e das fezes por volatilização. As contribuições dos fertilizantes ( $9 \text{ Tg ano}^{-1}$  de N) e da queima de vegetação ( $6 \text{ Tg ano}^{-1}$ ) são também relevantes (CANTARELLA, 2007).

As perdas por volatilização de amônia em solos dependem do pH. O equilíbrio entre o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e a forma gasosa, amônia ( $\text{NH}_3$ ), é dada pela expressão:



Em solos alcalinos ou com  $\text{pH} > 7$ , qualquer fertilizante nitrogenado que contém N amoniacal está sujeito a perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização; todavia, é muito baixa no Brasil a ocorrência de solos com essas características (CANTARELLA, 2007). Por outro lado, pouca ou nenhuma perda de  $\text{NH}_3$  ocorre quando fertilizantes amoniacais de reação ácida ou neutra, como o sulfato ou o nitrato de amônio, são aplicados a solos neutros ou ácidos, como demonstram resultados de vários estudos (CANTARELLA et al., 2001, 2003; COSTA et al., 2003), visto que o  $\text{NH}_3$  permanece na forma iônica e estável.

No entanto, quando aplicada ao solo, a ureia passa por hidrólise enzimática liberando N amoniacal. Em solos com pH menor do que 6,3, maioria dos solos brasileiros, a reação predominante é (KOELLIKER; KISSEL, 1988):



A reação de hidrólise consome prótons ( $\text{H}^+$ ) e provoca a elevação do pH ao redor das partículas; assim, mesmo em solos ácidos, a ureia está sujeita a perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA, 2007).

A volatilização de  $\text{NH}_3$  é a principal reação que diminui a eficiência de utilização pelas plantas do N proveniente da ureia, quando ela é aplicada sobre a superfície do solo (TASCA et al., 2011). Vários autores brasileiros têm relatado altas perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$ , quando a ureia é aplicada na superfície dos solos: 20 a 40% do N aplicado em cana-de-açúcar (CANTARELLA et al., 1999, 2003, 2008; VITTI, 2003), 16 a 44% do N em citros (CANTARELLA et al., 2003), podendo chegar a 78% na cultura do milho (MIYAZAWA et al., 2012). Em condições de laboratório, Tasca et al. (2011) encontraram perdas máximas de 50 % do N aplicado, nas condições mais favoráveis à volatilização, ou seja, quando os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo e a temperatura do ambiente foi mantida em 35 °C.

Plantas e resíduos vegetais apresentam atividade de urease maior do que os solos. Barreto e Westerman (1989) observaram que a atividade de urease em resíduos de culturas era cerca de trinta vezes maior e, em solos sob plantio direto, quatro vezes maior do que em solos sob cultivo tradicional. Dessa forma, solos com restos de culturas (plantio direto, áreas manejadas com resíduos de plantas na superfície dos solos) tendem a apresentar maior atividade de urease e maiores perdas de  $\text{NH}_3$  do que solos descobertos (CANTARELLA et al., 2003).

A atividade de urease também está relacionada com a umidade do solo (CANTARELLA et al., 2003), sendo sua aplicação preferível em solo úmido (LARA CABEZAS et al., 1992). Vários estudos têm mostrado a estreita relação da umidade com o pico da volatilização (CANTARELLA, 2007; PEREIRA et al., 2009; TASCA et al., 2011; NASCIMENTO et al., 2013). Cantarella et al. (2001) observaram em área com pastagem de capim coast cross, que o pico de perdas de  $\text{NH}_3$  ocorreu já no primeiro dia após a aplicação da ureia. A hidrólise da ureia é relativamente rápida



em solos com umidade e temperatura adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas na primavera e verão brasileiro (CANTARELLA et al., 2003).

De forma geral, a hidrólise mais lenta contribui para a redução das perdas de  $\text{NH}_3$  por terem a ureia ou  $\text{NH}_3$  produzidas mais tempo para difundir para o interior do solo e reagir com os colóides do mesmo (CANTARELLA et al., 2003). Porém, se a atividade de urease do solo não for limitante, doses mais elevadas ou aplicações localizadas (faixas estreitas) tendem a resultar em maiores perdas de  $\text{NH}_3$  do que a mesma dose aplicada a lanço (VITTI et al., 2005), uma vez que o pH do solo tende a se manter mais alto no local onde se concentra o adubo. Segundo Tasca et al. (2011), a incorporação ao solo dos fertilizantes amídicos foi a maneira mais eficaz de minimizar as perdas de N por volatilização.

Aproximadamente 60% dos fertilizantes nitrogenados empregados na agricultura brasileira são utilizados na forma de ureia (ABRANCHES et al., 2014), com destaque para as culturas de grãos (STAFANATO et al., 2013). A adubação nitrogenada é um dos principais componentes na formação do custo de produção, por causa do elevado preço e da baixa eficiência dos fertilizantes (NASCIMENTO et al., 2013). Dessa forma, novas tecnologias com o intuito de minimizar as perdas de N devem ser desenvolvidas, aumentando a eficiência de utilização do nitrogênio pelas culturas, e assim proporcionando maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas (MORO et al., 2014). De acordo com Abranches et al. (2014), uma possibilidade de aumentar a eficiência no aproveitamento dos fertilizantes, minimizar as perdas na produtividade e diminuir o risco de contaminação ambiental é a utilização de fertilizantes revestidos por polímeros.

A indústria de fertilizantes procura alternativas desenvolvendo fertilizantes de liberação lenta ou controlada, uso de inibidores da urease, tais como o NBPT (tiofosfato de N-butiltriamida), revestimento da ureia com micronutrientes, especialmente cobre (Cu) e boro (B) e de polímeros que interferem na hidrólise e, ou, solubilização da ureia no solo (VITTI et al., 2002; CANTARELLA, 2007; CANTARELLA; MARCELINO, 2008). Neste contexto, Abranches et al. (2014) destacam que os fertilizantes de liberação controlada atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes, estendendo assim o acesso dos nutrientes para as culturas por maior período e otimizando a absorção pelas plantas, reduzindo perdas. Este tipo de

fertilizante é caracterizado pelo recobrimento do grânulo por películas de enxofre, ou polímeros de natureza diversa.

Rodrigues et al. (2012) destacam que algumas destas substâncias já estão sendo bastante usadas na cafeicultura capixaba, sem estudos aprofundados dos benefícios e malefícios ecológicos e econômicos de sua utilização. Vários pesquisadores têm realizado trabalhos para quantificar a eficiência das tecnologias agregadas à ureia e na redução das perdas de N pela volatilização. Vitti et al. (2002) e Cantarella (2007) destacam que a utilização de fertilizantes de eficiência aumentada pode ocasionar diminuição da volatilização da ureia em até 80 %, sendo essas tecnologias as principais comercializadas para as culturas de grãos, cana-de-açúcar e fibras.

Carvalho et al. (2015), avaliando perdas de nitrogênio por volatilização de amônia proveniente da aplicação de ureia comum e ureia com tecnologias agregadas, concluíram que as tecnologias agregadas à ureia reduziram entre 41 e 63% as perdas por volatilização de  $N-NH_3$ , na cultura do arroz de terras altas. Nascimento et al. (2013) também relatam que a integração de novas tecnologias em fertilizantes de ureia resultou na redução das perdas nitrogênio por volatilização. Segundo os autores, estas perdas foram menores com o uso de nitrato e sulfato de amônio. Esses resultados corroboram com os encontrados por Cantarella et al. (2008).

Considerando todas as espécies mundialmente cultivadas, o cafeeiro está no grupo daquelas que mais utilizam o nitrogênio. Dessa forma, o uso e o manejo correto de fertilizantes têm impacto direto no fornecimento de N, sendo essencial para a obtenção de altas produtividades na cultura do café (ABRANCHES et al., 2014).

Rodrigues et al. (2012) avaliaram as perdas por volatilização de diferentes adubos nitrogenados no cultivo do cafeeiro Conilon. Os autores verificaram que o nitrato de amônio obteve a menor perda total de N por volatilização, concluindo-se que a utilização de fertilizantes com eficiência aumentada proporciona menores perdas de N para a atmosfera, reduzindo possíveis impactos ambientais, assim como aumenta o aproveitamento de N pelas lavouras cafeeiras. Para Zavaschi (2010), o uso de polímeros no revestimento da ureia vem sendo apresentado como nova opção na redução de perdas de N. Assim, presume-se que existe a possibilidade de que o uso dessa tecnologia apresente maior eficiência para

fornecimento de N aos cafeeiros, que a ureia convencionalmente utilizada (ABRANCHES et al., 2014).

A principal fonte de N utilizada nas lavouras de café é a ureia que, por suas características, aliadas às condições de aplicação desse adubo na cafeicultura, favorecem grandes perdas ou mesmo poluição do ambiente. Entre as diversas soluções apresentadas para esses problemas, teoricamente, o uso de polímeros no revestimento da ureia apresenta bom potencial. Porém, os resultados a campo, com as diversas culturas, ainda são incipientes e divergentes. Dessa forma, a necessidade de trabalhos a campo se faz presente, em especial em culturas como o café, onde grandes economias e ganhos ambientais são prováveis (ABRANCHES et al., 2014).

### **2.5.2 Potássio**

O potássio (K) tem inúmeras funções na planta, destacando-se principalmente a ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração. O K atua na síntese de proteínas, de carboidratos e da adenosina trifosfato (ATP), na regulação osmótica, na manutenção de água na planta por meio do controle da abertura e fechamento dos estômatos, na resistência da planta à incidência de pragas e doenças e na permeabilidade das membranas plasmáticas (MARSCHNER, 2012).

A deficiência de K normalmente reduz o tamanho dos internódios, a dominância apical e o crescimento das plantas, retarda a frutificação e origina frutos de menor tamanho e com menor intensidade de cor. Como o K é um nutriente móvel no floema, os sintomas de deficiência, normalmente caracterizados por clorose nas bordas das folhas seguida de necrose, surgem inicialmente nas folhas mais velhas das plantas (ERNANI et al., 2007).

No solo, a maior parte do K (98%) encontra-se na estrutura dos minerais primários e secundários (K estrutural), e só uma pequena fração encontra-se em formas mais prontamente disponíveis às plantas, seja ligado às cargas elétricas negativas (K trocável) seja na solução do solo (K solução) (SPARKS, 2000). Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, o K trocável pode constituir a reserva mais importante disponível às plantas (RAIJ, 1991). A maneira com que o K

se liga aos componentes sólidos do solo, assim como a energia dessas ligações, dá origem às várias formas de K no solo. Cada uma dessas formas mantém um equilíbrio específico com a solução do solo, razão por que afetam a disponibilidade de K aos vegetais com diferentes magnitudes (ERNANI et al., 2007).

A disponibilidade de K para as plantas é influenciada por fatores relacionados com os solos, com a própria planta e com o clima. Os principais fatores do solo são: a atividade de K na solução, o restabelecimento da mesma por formas trocáveis e não-trocáveis, à medida que ele é absorvido pelas plantas ou lixiviado, e o transporte do nutriente até a superfície das raízes.

Nos sistemas de cultivos sem mobilização do solo, nos quais os fertilizantes não são incorporados, a mobilidade vertical no perfil também exerce alguma influência (ERNANI et al., 2007). Werle et al. (2008) estudaram a dinâmica do K no perfil do solo, em função da sua textura e do teor do nutriente, fornecido por diferentes doses de  $K_2O$  aplicadas durante seis anos na cultura da soja. Os autores concluíram que a passagem de K considerado não trocável para trocável é rápida com o aumento do efeito residual, influenciando na lixiviação.

As propriedades da planta que influenciam a disponibilidade de K são: a morfologia do sistema radicular, a taxa de demanda de cada espécie, os parâmetros cinéticos de absorção (velocidade máxima,  $I_{máx}$ , constante de Michaelis-Menten, Km, e concentração na solução onde o influxo deixa de existir,  $C_{mín}$ ) (ERNANI et al., 2007).

Em relação aos fatores relacionados ao clima, destaca-se a temperatura e a umidade. A elevação da temperatura ambiente e do solo aumenta a absorção de K pelas plantas, porque favorece tanto a difusão de K no solo quanto o processo de absorção. O aumento do teor de água no solo também favorece a absorção de K, porque aumenta o transporte de K até as raízes pelos diferentes mecanismos (ERNANI et al., 2007).

A atividade de K na solução do solo é uma propriedade que determina as reações químicas do K com outros elementos ou entidades químicas, assim como sua absorção pelas plantas. A atividade depende, portanto, da concentração de K e dos demais íons e moléculas na solução do solo, os quais, em conjunto, determinam a força iônica da solução. Em baixas concentrações, a atividade e a concentração são praticamente iguais; em determinadas microrregiões do solo, entretanto, como acontece próxima aos grânulos dos fertilizantes, a atividade é bem menor que a

concentração (ERNANI et al., 2007). Segundo Meurer e Anghinoni (1994), a concentração de K na solução do solo foi a propriedade que mais influenciou a absorção de K em solos do Rio Grande do Sul.

O fluxo de massa e a difusão são os principais mecanismos de suprimento de K às raízes. Ernani et al. (2007) cita que a interceptação radicular contribui com menos de 5% da demanda de K pelas plantas, considerando o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular da maioria das espécies.

A morfologia do sistema radicular e os parâmetros cinéticos de absorção são os fatores relacionados com as plantas que determinam a absorção de K, e conseqüentemente, influenciam seu transporte na solução do solo em direção às raízes. O aumento da área do sistema radicular resulta na exploração de maior volume de solo pelas plantas e, como conseqüência, maior interceptação de K e diminuição no caminho a ser percorrido pelo nutriente em direção às raízes, tanto por difusão quanto por fluxo de massa. Sendo assim, plantas que se desenvolvem em solos onde há limitação ao crescimento das raízes (presença de Al tóxico, compactação ou presença de outros impedimentos físicos), absorverão menos K do que plantas cujo sistema radicular cresce adequadamente e necessitarão, portanto, de dose maior de fertilizantes potássicos (ERNANI et al., 2007).

A partir do momento em que o K está em contato com as raízes, a absorção passa a ser determinada pelos parâmetros cinéticos de absorção. Eles determinam a taxa de absorção e, por conseqüência, a exaustão da concentração de K na zona de depleção ao redor da raiz que, por sua vez, influencia a difusão de K no solo (ERNANI et al., 2007).

A exigência do café conilon desse nutriente aumenta com a idade, sendo particularmente intensa quando a planta atinge a fase de produção. O papel do K na biossíntese de amido, através da ativação da sintase do amido, é fundamental na obtenção de altos “índices de colheita”. Durante a formação dos frutos, há decréscimo no teor de amido dos ramos e das folhas, sendo tanto mais intenso quanto maior a produção, podendo esgotar-se antes do amadurecimento dos frutos (BRAGANÇA et al., 2007). A correlação entre o teor de amido e a produção mostra a importância do K na fisiologia do cafeeiro (RENA; CARVALHO, 2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido no município de São Gabriel da Palha, região norte do estado do Espírito Santo, em uma propriedade agrícola cuja atividade principal é o cultivo do café conilon. A altitude da área é de 116 m; latitude de 18° 54' 33" Sul; longitude de 40° 25' 09" Oeste, sendo o clima classificado como Cwa (clima tropical úmido com inverno seco e verão quente), segundo a classificação climática de Köppen-Geiger.

Para a instalação do experimento, utilizou-se uma área de renovação de lavoura com aproximadamente 1.500 m<sup>2</sup>. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco arenosa. A caracterização química e físico-hídrica do solo foram realizadas em junho de 2012 e estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Caracterização química do solo

Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	P <sup>1</sup> ---(mg dm <sup>-3</sup> )---	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
			----- (cmolc dm <sup>-3</sup> ) -----									
0 - 25	6,11	19,9	29,4	6,3	0,32	1,59	0,48	0,00	2,08	2,4	4,5	54
25 - 50	5,88	7,3	10,1	7,0	0,22	0,86	0,29	0,00	2,13	1,4	3,5	39

<sup>1</sup> Método Melich

Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica do solo

Camada (cm)	CC	PMP	CAD	Ds	Frações granulométricas		
					Areia	Silte	Argila
		g g <sup>-1</sup>	(mm)	g cm <sup>-3</sup>	%		
0 - 25	0,253	0,151	16,12	1,58	66,2	1,30	32,5
25 - 50	0,247	0,103	23,18	1,61	73,3	1,70	25,0

CC: umidade do solo com base em peso seco na capacidade de campo (correspondente ao potencial mátrico ( $\psi_m$ ) de -4,85 kPa). PMP: umidade do solo com base em peso seco no ponto de murcha permanente (correspondente ao potencial mátrico ( $\psi_m$ ) de -1.500 kPa). CAD: capacidade de água disponível. Ds: densidade do solo.

A estrutura da propriedade rural provia energia elétrica e o fornecimento de água dado pela captação em reservatório com capacidade de aproximadamente 5.000 m<sup>3</sup> de água. A qualidade da água utilizada para irrigação é apresentada na Tabela 3. De acordo com as recomendações descritas por Fernandes et al. (2008),

estas características permitem a utilização da água sem risco potencial para sistemas localizados.

Tabela 3 - Caracterização química da água de irrigação

pH	R.A.S	C.E. dS m <sup>-1</sup>	Ca	Mg	Na	P	K	Fe	B	Mn
			meq L <sup>-1</sup>							
6,80	1,96	0,18	0,13	0,14	0,72	0,37	5,80	0,31	0,04	0,04

### 3.2 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso (DBC) com seis tratamentos e quatro blocos, totalizando 24 unidades experimentais (Figura 2). Cada unidade continha nove plantas, sendo utilizadas as cinco plantas centrais para avaliação (Figura 3). Para todas as análises estatísticas, foram considerados os valores resultantes da média dessas cinco plantas. Os parâmetros avaliados durante o experimento foram analisados, utilizando-se o programa estatístico R, versão 2.13 (R, 2011), adotando-se significância de 5% de probabilidade, para o teste F. A partir da detecção de diferenças significativas entre tratamentos, as médias de todas as características avaliadas foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott.

Os tratamentos adotados foram:

*T1 - Controle - adubação nitrogenada e potássica aplicada via solo:* nas fontes de ureia e cloreto de potássio;

*T2 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via solo:* nas fontes de ureia e cloreto de potássio de liberação controlada;

*T3 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação:* nas fontes de ureia e cloreto de potássio;

*T4 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação:* nas fontes de nitrato de amônio e sulfato de potássio;

*T5 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação:* nas fontes de nitrato de amônio e nitrato de potássio;

*T6 - Adubação nitrogenada e potássica aplicada via solo:* nas fontes de ureia e cloreto de potássio de liberação controlada no período de outubro a março (período

chuvoso) e adubação nitrogenada e potássica aplicada via fertirrigação, nas fontes de nitrato de amônio e sulfato de potássio no período de abril a setembro (período seco).

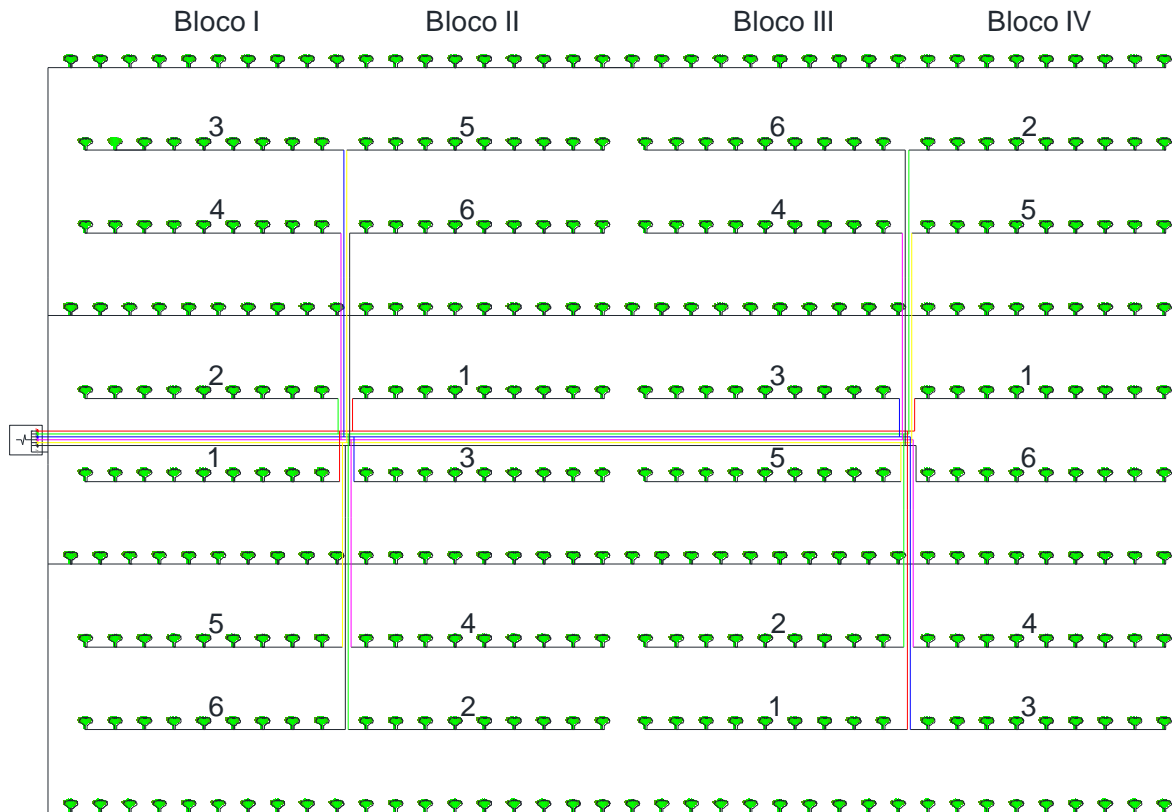


Figura 2 - Croqui da área experimental com distribuição dos tratamentos

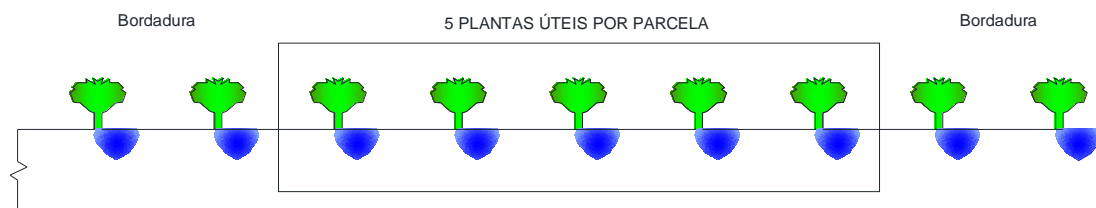


Figura 3 - Croqui da parcela experimental

As quantidades de nitrogênio e potássio aplicadas seguiram a recomendação descrita por Prezotti et al. (2007) e são apresentadas na Tabela 4. Em função de algumas fontes utilizadas apresentarem enxofre, os teores deste nutriente foram corrigidos, utilizando-se enxofre elementar pastilhado (90% de S).



Tabela 4 - Quantidade de nutrientes aplicados nos tratamentos durante os dois anos de cultivo do café conilon

Nutrientes	0 a 12 meses	13 a 24 meses	Total
	Kg ha <sup>-1</sup>		
Nitrogênio (N)	115	260	375
Potássio (K <sub>2</sub> O)	65	230	295

As concentrações e principais características dos fertilizantes utilizados no experimento são apresentadas na Tabela 5. Para os fertilizantes de liberação controlada, não estão descritas na literatura e no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) as características e informações de índice salino e poder acidificante e alcalinizante desses fertilizantes.

Tabela 5 - Características dos fertilizantes utilizados no experimento

Fertilizante	Característica <sup>(1)</sup>	Teor <sup>(1)</sup>	Índice salino <sup>(2)</sup>	Equivalente CaCO <sub>3</sub> (kg t <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>
Ureia	N-amídico	45% N	75,4	840
Nitrato de Amônio	50% N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 50% N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32% N	104,7	600
Nitrato de Potássio	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> K <sub>2</sub> O solúvel em H <sub>2</sub> O	12% N 44% K <sub>2</sub> O	73,6	-260
Producote N <sup>(3)</sup>	N-amídico liberação até seis meses	37% N 16% S	-	-
Cloreto de Potássio	K <sub>2</sub> O solúvel em H <sub>2</sub> O	58% K <sub>2</sub> O 45-48% Cl	116,3	0
Sulfato de Potássio	K <sub>2</sub> O solúvel em H <sub>2</sub> O	48% K <sub>2</sub> O 15% S	46,1	0
Producote K <sup>(3)</sup>	K <sub>2</sub> O liberação até quatro meses	51% K <sub>2</sub> O 14% S	-	-

<sup>(1)</sup> Fonte: Brasil (2007).

<sup>(2)</sup> Fonte: Adaptado de Tisdale et al. (1985)

<sup>(3)</sup> Fonte: Informado pela empresa Produquímica Ind. e Com S.A.

A aplicação dos fertilizantes para o tratamento 1 (T1) foi realizada a cada 2 meses (6 parcelamentos anuais), iniciando 30 dias após o plantio. Para o tratamento 2 (T2), a aplicação foi realizada a cada 6 meses (2 parcelamentos anuais), iniciando no dia do plantio. Para ambos os tratamentos citados acima (T1 e T2), os fertilizantes foram aplicados sobre a projeção da copa da planta.

Para os tratamentos 3, 4 e 5 (T3; T4; T5), a adubação foi realizada a cada 15 dias (24 parcelamentos anuais), iniciando 30 dias após o plantio. Para estes três tratamentos, os fertilizantes foram aplicados via fertirrigação.

A aplicação dos fertilizantes para o tratamento 6 (T6) foi alternada entre as duas formas citadas acima. Uma aplicação no dia do plantio com fertilizante de liberação controlada e após 6 meses, 12 parcelamentos realizados a cada 15 dias via fertirrigação (totalizando 13 aplicações anuais). Após um ano, retornou-se com uma aplicação de fertilizante de liberação controlada sob a projeção da copa, e após seis meses, novamente 12 parcelamentos a cada 15 dias via fertirrigação, totalizando os 24 meses de cultivo.

### **3.3 Medidas Meteorológicas**

Os dados de precipitação foram coletados em um pluviômetro de inox instalado na área experimental, sendo as leituras realizadas às 09h00min. Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e estimativa da evapotranspiração de referência foram obtidos junto ao Sistema de Informações Meteorológicas do INCAPER - Instituto Capixaba De Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural do Espírito Santo. Este sistema concentra informações das instituições públicas que atuam com meteorologia e recursos hídricos no Estado do Espírito Santo. Sua função é monitorar as condições do tempo e do clima, realizar previsão do tempo e alertas meteorológicos e monitorar os recursos hídricos no Estado do Espírito Santo, fornecendo subsídios para a tomada de decisão dos órgãos governamentais e não governamentais.

A estação meteorológica monitorada pelo INCAPER de São Gabriel da Palha - ES está localizada na latitude 19° 01' 44" Sul; longitude de 40° 31' 40" Oeste a uma altitude de 108 metros. A distância geodésica da estação até a área de do experimento é de 17.511 metros e a variação de altitude é de 8 metros. Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), o INCAPER utiliza o método de Blaney e Criddle (1950).

### **3.4 Preparo da área, correção do solo, plantio e condução da cultura**

Após a colheita de café da safra 2011/2012, realizada no mês de junho de 2012, a lavoura de café conilon com aproximadamente 8 anos de idade foi removida

e iniciou-se o preparo da área. De acordo com a caracterização química do solo (Tabela 1) e a recomendação descrita por Prezotti et al. (2007), foi realizada calagem em área total, visando elevar a saturação por bases do solo para 60%. A calagem foi realizada com calcário dolomítico apresentando PRNT 88%, no mês de julho de 2012, aproximadamente 90 dias antes da instalação da cultura. Posteriormente, com auxílio de um subsolador, a área foi sulcada, demarcando as linhas de plantio.

O sistema de irrigação foi instalado de forma independente para cada tratamento, permitindo a aplicação diferenciada dos fertilizantes. Utilizou-se uma derivação do sistema de irrigação existente na área da fazenda, ligando-o a um cabeçal de controle. Neste cabeçal de controle foram instalados seis registros de esfera, sendo um para cada tratamento. Anterior a estes registros, foram instalados manômetros para controle da pressão, filtro para evitar entupimentos dos gotejadores e o sistema de fertirrigação, constituído de uma moto bomba de 1/4 cv e um recipiente para adição dos fertilizantes. Nas linhas de plantio, foram instalados tubos gotejadores autocompensantes, modelo AmnonDrip PC AS, fabricante NAANDANJAIN, com vazão nominal de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  espaçados 50 cm entre si. Maiores detalhes podem ser visualizados nas Figuras 4 e 5.



Figura 4 - Preparação do sulco de plantio (A); cabeçal de controle (B)

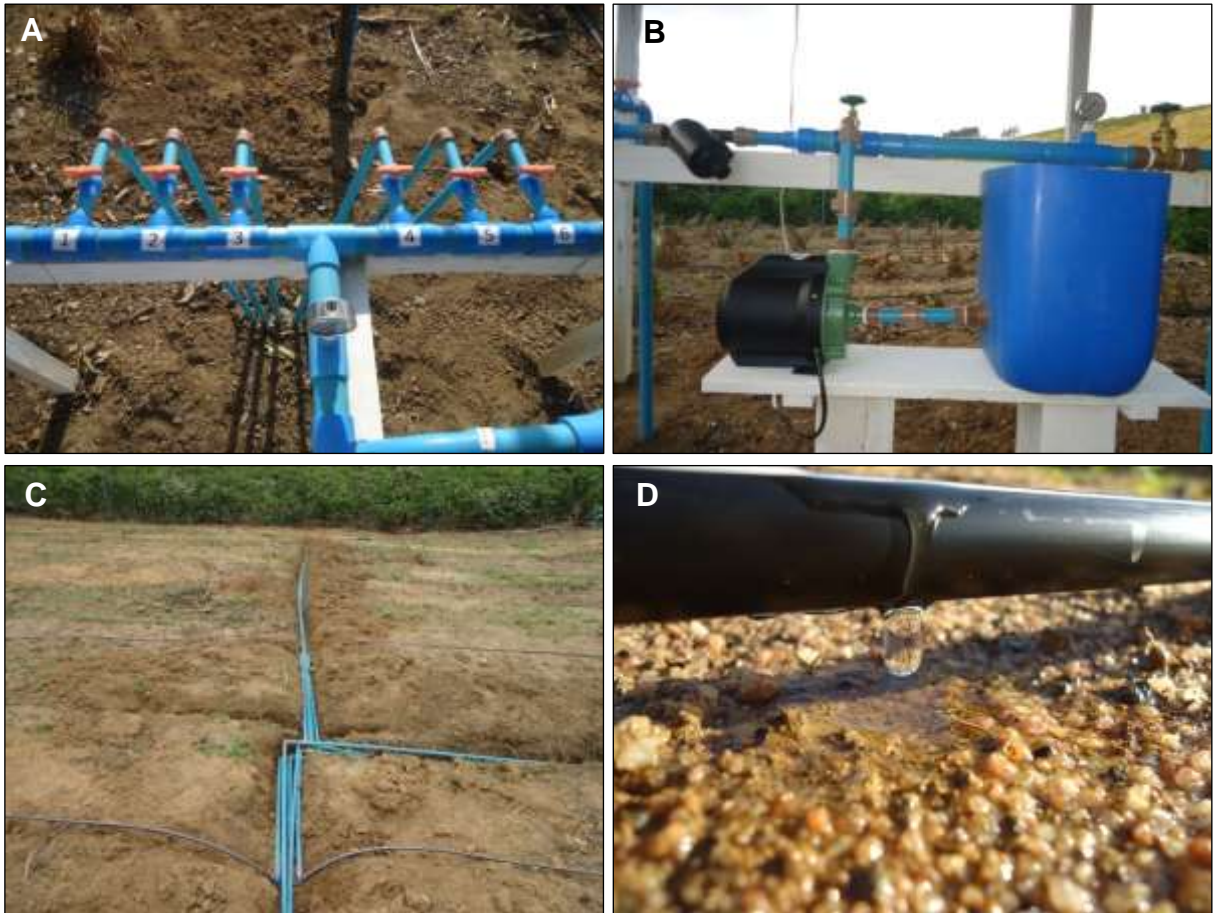


Figura 5 - Detalhe dos registros para acionamento da irrigação/fertirrigação (A); detalhe do sistema de fertirrigação (B); instalação do sistema de irrigação nas linhas de plantio (C); tubo gotejador em funcionamento (D)

A variedade utilizada no experimento foi a INCAPER 8142, também conhecida como “Conilon Vitória”, em específico o clone 12V por ser um dos principais cultivados no estado do Espírito Santo. As mudas foram obtidas no viveiro da Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel - COOABRIEL, sendo todas padronizadas com 4 pares de folhas. O espaçamento utilizado para o plantio foi de 3,0 x 1,0 m.

A adubação fosfatada para todos os tratamentos ocorreu por ocasião do plantio, de acordo com a caracterização química do solo (Tabela 1) e a recomendação descrita por Prezotti et al. (2007), sendo adicionado 40 g de  $P_2O_5$  por cova na forma de superfosfato simples granulado. O plantio foi realizado no dia 5 de outubro de 2012, sendo posteriormente as mudas cobertas com folhas de Palmácea, para evitar exposição direta ao sol durante um período de aclimação, que foi de 30 dias (Figura 6).



Figura 6 - Plantio das mudas (A); cobertura com folha de Palmácea (B)

### 3.5 Manejo da irrigação e extratores de solução

O manejo da irrigação foi realizado por meio do monitoramento da tensão da água no solo, utilizando-se tensiômetros de punção, instalados em cada tratamento em duas profundidades: 12,5 cm representando a camada de 0 a 25 cm e a 37,5 cm, representando a camada de 25 a 50 cm.

As leituras de tensão foram realizadas com um tensímetro digital de punção, em intervalos de 2 a 3 dias, de forma que a tensão da água no solo não excedesse 30 kPa. A partir das leituras dos tensiômetros, a umidade do solo foi estimada pela equação de van Genuchten (1980) eq.(1), com os parâmetros apresentados na Tabela 6.

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

onde:

$\theta$  ( $\Psi_m$ ) - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em  $m^3 m^{-3}$ ;

$\theta_r$  - umidade volumétrica residual do solo, em  $m^3 m^{-3}$ ;

$\theta_s$  - umidade volumétrica do solo saturado, em  $m^3 m^{-3}$ ;

$m$  e  $n$  - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;

$\alpha$  - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em  $kPa^{-1}$ ; e

$\Psi_m$  - potencial mátrico, em kPa.

Tabela 6 - Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e residual ( $\theta_r$ ), e dos parâmetros empíricos ( $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ ) do modelo de van Genuchten (1980)

Camada (cm)	$\theta_s(m^3 m^{-3})$	$\theta_r(m^3 m^{-3})$	$\alpha (kPa^{-1})$	$m$	$n$
0-25	0,415	0,237	0,0834	0,377	1,606
25-50	0,421	0,161	0,0896	0,357	1,556

Estimados os valores de umidade do solo, foi calculado para a camada correspondente à leitura, o volume de água necessário para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Os somatórios dos volumes de cada camada corresponderam ao volume total aplicado. O monitoramento do potencial mátrico da solução do solo foi realizado no bloco 2 para todos os tratamentos. Os volumes de água aplicados nas outras repetições foram iguais ao da parcela monitorada.

Foram instalados coletores de solução com cápsulas para extrair a solução do solo nas profundidades de 12,5 e 37,5 cm, distanciadas 20 cm das plantas. Para obter a solução do solo, 12h após a irrigação era aplicado um vácuo, de aproximadamente 80 kPa, nos extratores de cápsula porosa, momento este em que também foi aferida a tensão de cada parcela, conhecendo-se assim a umidade do solo no momento da aplicação do vácuo (Figura 7).

Decorridas 12 horas da aplicação do vácuo, a solução foi coletada, utilizando-se uma seringa acoplada a um tubo de silicone flexível; em seguida, as amostras de solução foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados e transportados para o Laboratório de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, onde foram efetuadas as análises da solução do solo.

As coletas de solução do solo foram realizadas a cada 90 dias e as análises de condutividade elétrica (CE), realizadas por meio de um condutivímetro de bancada com compensação automática de temperatura. Além da condutividade elétrica, também foi avaliado o pH da solução do solo.

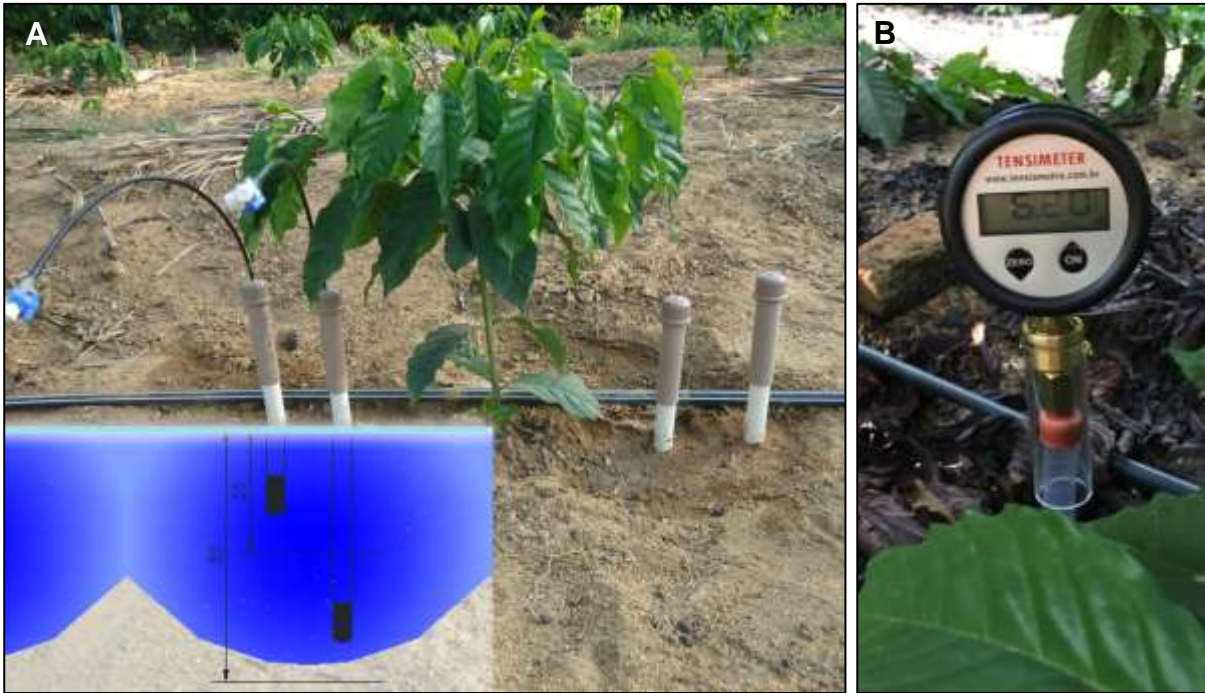


Figura 7 - Profundidade de instalação e posicionamento dos extratores de solução e tensiômetros (A);  
Leitura do potencial mátrico com tensiômetro digital (B)

Os valores de CE obtidos a partir da solução extraída por meio das cápsulas porosas foram corrigidos para a CE do extrato saturado, considerando a umidade no momento da coleta e a umidade no ponto de saturação eq. (2).

$$C_{\text{estimada cp}} = \frac{C_{\text{cp}} \times U_{\text{cp}}}{U_{\text{ps}}} \quad (2)$$

onde:

$C_{\text{estimada cp}}$  - condutividade elétrica ou concentração de íons no extrato de saturação, estimada a partir dos valores medidos na solução do solo, obtidos com extrator de cápsula,  $\text{dS m}^{-1}$  ou  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ;

$C_{\text{cp}}$  - condutividade elétrica ou concentração de íons na solução do solo, obtida com extrator de cápsula porosa,  $\text{dS m}^{-1}$  ou  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ;

$U_{\text{cp}}$  - umidade do solo estimada pelo potencial mátrico no momento da aplicação do vácuo no extrator de cápsula porosa,  $\text{g g}^{-1}$ ;

$U_{\text{ps}}$  - umidade do solo na pasta saturada,  $\text{g g}^{-1}$ .

### 3.6 Análises biométricas

As avaliações biométricas das plantas no primeiro ano foram realizadas a cada 90 dias, sendo avaliada a altura das plantas, comprimento do primeiro ramo plagiotrópico e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico. No segundo ano, estas avaliações foram realizadas a cada 180 dias.

Para a altura da planta, considerou-se a distância do solo até a inserção da folha mais nova na haste principal, sendo obtido com auxílio de uma fita métrica. Para o comprimento do primeiro ramo plagiotrópico, considerou-se a distância da inserção deste na haste principal até a inserção da folha mais nova neste mesmo ramo, também sendo obtido com auxílio de uma fita métrica. Por último, através da contagem, determinou-se o número de nós no primeiro ramo plagiotrópico, considerando as folhas totalmente expandidas. O número de nós está diretamente relacionado com a produtividade, uma vez que as gemas reprodutivas são formadas nestes pontos. Estas avaliações são ilustradas na Figura 8.

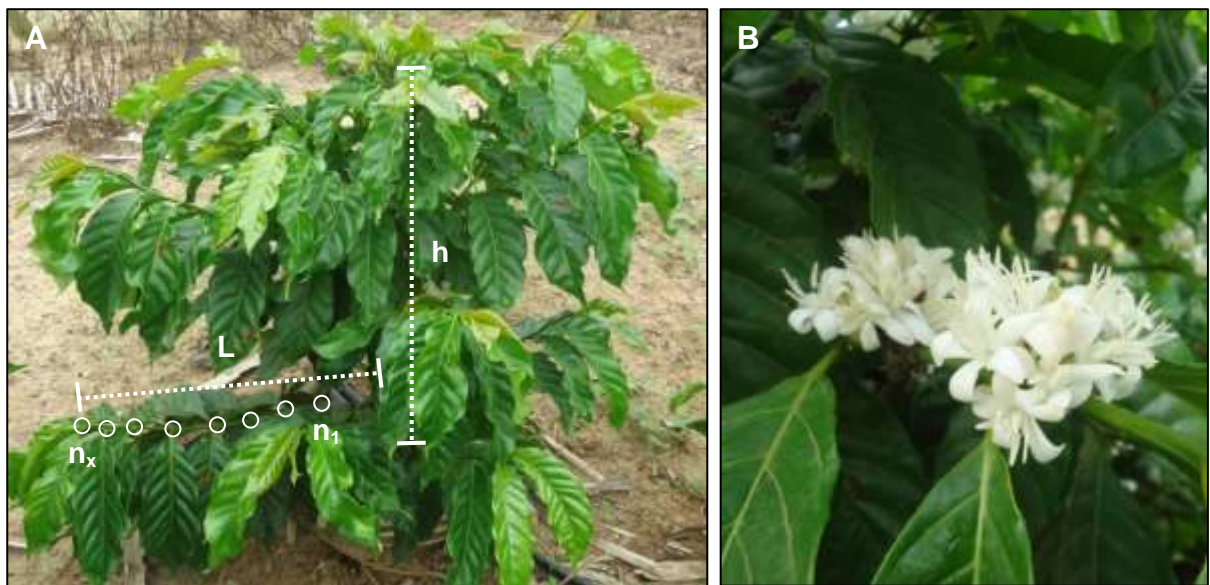


Figura 8 - Avaliação da altura da planta ( $h$ ), comprimento do primeiro ramo plagiotrópico ( $L$ ) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico ( $n$ ) (A); Detalhe da formação da flor nos nós dos ramos plagiotrópicos (B)

### 3.7 Análise de produção

A colheita foi realizada com auxílio de peneiras, retirando manualmente todos os frutos das cinco plantas centrais de cada parcela, passando pelo processo de



abanação manual para retirada das impurezas grosseiras, como folhas e ramos. Na sequência, obteve-se o peso médio por planta de frutos colhidos.

As amostras foram homogeneizadas, retirados 200 gramas e separados os frutos verdes, maduros e secos, procedendo-se sua contagem para o cálculo percentual. Também foi coletada uma amostra de 2,0 kg de cada parcela, acondicionados em sacos pequenos de malha “tipo rede” para secagem e posterior determinação de renda e rendimento. Estas amostras foram encaminhadas para a Fazenda Experimental do INCAPER, localizado no município de Marilândia - ES, onde foram secadas em terreiro suspenso coberto e posteriormente beneficiadas, determinando o rendimento, ou seja, peso beneficiado em relação ao peso colhido. O processo de colheita com as posteriores avaliações são ilustrados na Figura 9.

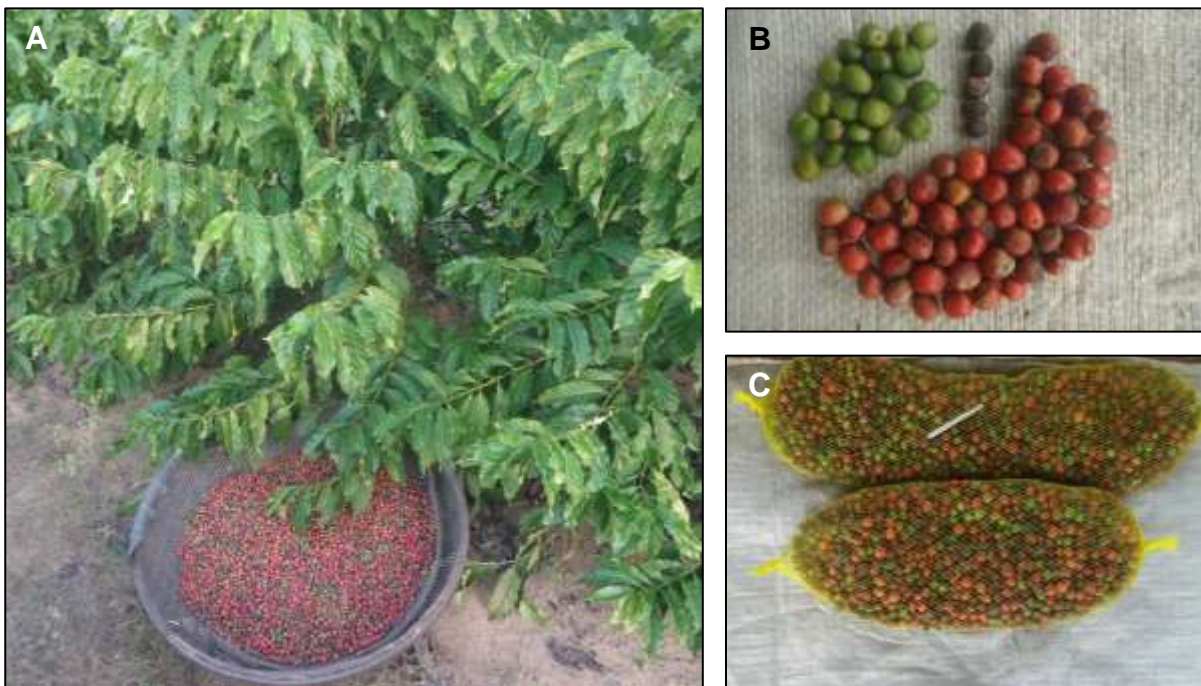


Figura 9 - Colheita realizada com auxílio de peneira (A); separação dos frutos para determinação do percentual verde, maduro e seco (B); separação de amostras para determinação do rendimento e estimativa de produtividade (C)

A estimativa de produtividade foi realizada de acordo com a eq (3).

$$P = \frac{P_L \times R \times N}{6000} \quad (3)$$

onde:

P - Estimativa de produtividade, em sacas por hectare;

$P_L$  - Peso por planta obtido na lavoura, em Kg;

R - Rendimento no beneficiamento, expresso em %;

N - Número de plantas por hectare;



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Dados meteorológicos**

O experimento foi conduzido durante o período de 05/10/2012 até 05/10/2014, totalizando 24 meses. A variação dos dados meteorológicos durante o experimento é apresentada na Figura 10.

De acordo com os valores observados, o período apresentou condições de temperaturas favoráveis à cultura, uma vez que o intervalo de temperatura média anual ideal para o café conilon situa-se entre 22 e 26°C (DADALTO; BARBOSA, 1995).

Foram registrados dois meses com precipitação acima da média anual, sendo eles em novembro de 2012 com 316 mm e dezembro de 2013 com 581 mm. No ano de 2013, a precipitação do mês de dezembro representou 44,7% de toda a precipitação anual que foi de 1299 mm.

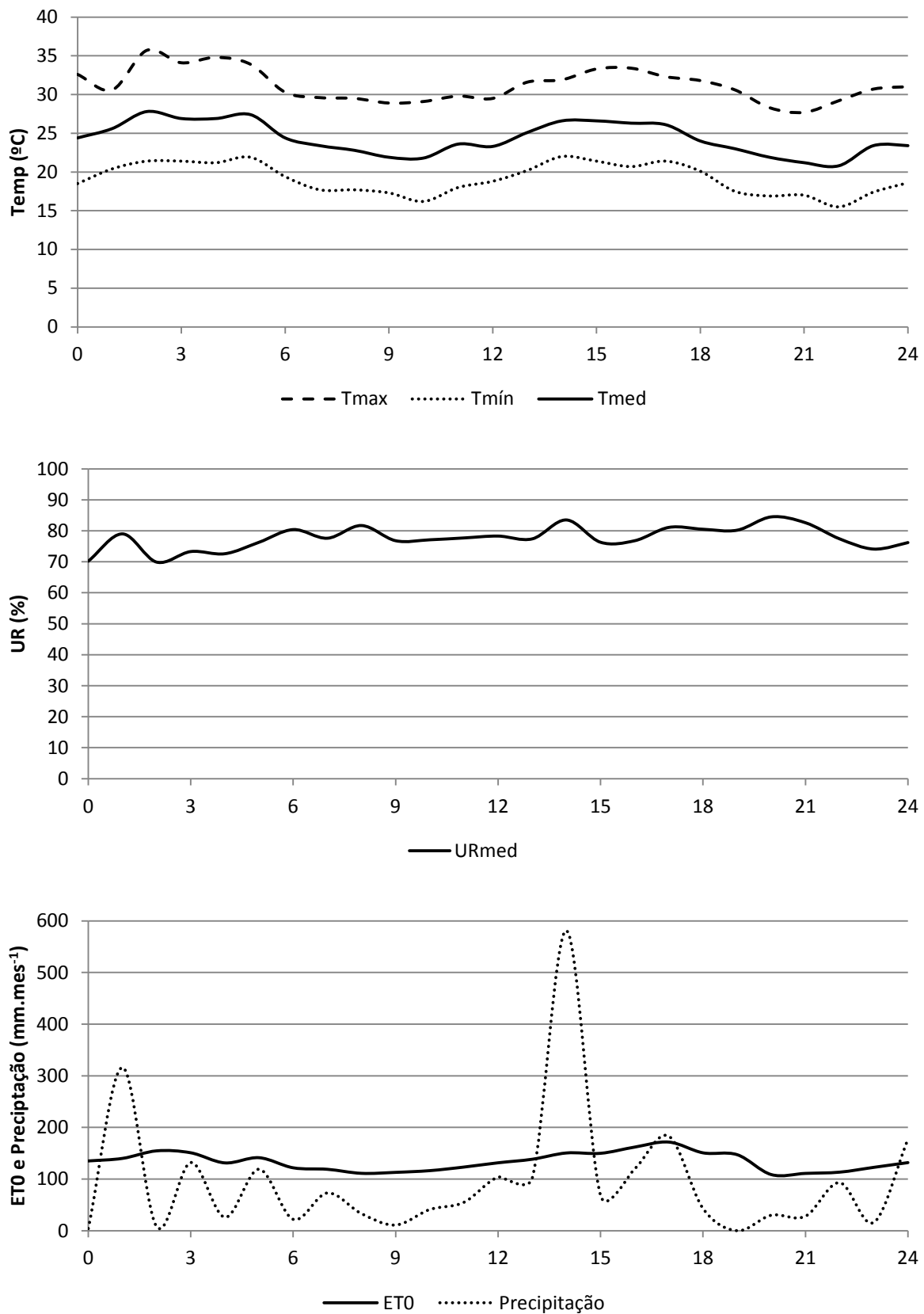


Figura 10 - Comportamento mensal das variáveis meteorológicas; temperatura média máxima (Tmax), temperatura média mínima (Tmín), temperatura média média (Tmed),), umidade relativa média (URmed), evapotranspiração de referência acumulada estimada (ET0) e precipitação acumulada, meses após o plantio

## 4.2 Solução do Solo

### 4.2.1 pH da solução do solo até os 24 meses de cultivo

A análise de variância e os dados de pH da solução do solo são apresentados nas tabelas 7 a 12. Para todos os tratamentos, observa-se uma redução do pH da solução do solo com o tempo, resultado da adição dos fertilizantes e da absorção de nutrientes pelas culturas.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância referente ao pH da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio submetida a diferentes manejos de adubação

FV	GL	Estatística F							
		Meses após o plantio							
		3	6	9	12	15	18	21	24
Tratamento	5	1,183 <sup>ns</sup>	1,091 <sup>ns</sup>	1,099 <sup>ns</sup>	0,628 <sup>ns</sup>	1,278 <sup>ns</sup>	3,369*	5,216*	7,419*
Bloco	3	1,497 <sup>ns</sup>	0,290 <sup>ns</sup>	3,467*	0,193 <sup>ns</sup>	0,555 <sup>ns</sup>	1,156 <sup>ns</sup>	1,778 <sup>ns</sup>	0,838 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		7,05	10,25	15,27	23,04	20,27	12,07	9,21	9,02

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 8 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação

Tratamento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Ureia + KCl (Convencional)	6,47	5,98	5,12	4,70
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	6,73	6,23	5,87	5,69
Ureia + KCl (Ferti)	6,35	5,62	4,83	4,56
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	6,05	5,43	4,91	4,61
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	6,38	5,98	5,65	5,26
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	6,67	6,18	5,54	5,26

\* De acordo com o teste F a 5% de probabilidade, as médias desses fatores são estatisticamente iguais.

Tabela 9 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação

Tratamento	15 meses	18 meses	21 meses	24 meses
Ureia + KCl (Convencional)	4,38	4,37 b	4,35 b	4,22 c
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	5,48	5,40 a	5,28 a	5,23 a
Ureia + KCl (Ferti)	4,29	4,24 b	4,20 b	3,85 c
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	4,31	4,17 b	4,00 b	3,80 c
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	5,30	5,09 a	4,84 a	4,54 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	5,18	5,06 a	4,86 a	4,65 b

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância referente ao pH da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio submetida a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F								
	GL	Meses após o plantio							
		3	6	9	12	15	18	21	24
Tratamento	5	1,683 <sup>ns</sup>	0,953 <sup>ns</sup>	2,590 <sup>ns</sup>	0,838 <sup>ns</sup>	1,418 <sup>ns</sup>	5,532*	6,562*	11,539*
Bloco	3	2,880 <sup>ns</sup>	1,490 <sup>ns</sup>	1,085 <sup>ns</sup>	1,282 <sup>ns</sup>	1,888 <sup>ns</sup>	3,400*	1,577 <sup>ns</sup>	0,933 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		3,60	8,86	12,54	18,27	12,40	7,50	8,03	7,53

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 11 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação

Tratamento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Ureia + KCl (Convencional)	6,56	6,13	4,92	4,58
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	6,70	6,26	5,73	5,37
Ureia + KCl (Ferti)	6,39	5,71	4,55	4,40
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	6,26	5,75	5,22	4,75
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	6,52	6,31	5,89	5,32
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	6,52	6,19	5,77	5,17

\* De acordo com o teste F a 5% de probabilidade, as médias desses fatores são estatisticamente iguais.

Tabela 12 - Análise de médias do pH da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação

Tratamento	15 meses	18 meses	21 meses	24 meses
Ureia + KCl (Convencional)	4,76	4,59 b	4,47 b	4,39 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	5,41	5,29 a	5,17 a	5,20 a
Ureia + KCl (Ferti)	4,51	4,33 b	4,24 b	3,95 b
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	4,73	4,51 b	4,28 b	3,88 b
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	5,35	5,26 a	5,28 a	5,05 a
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	5,14	5,16 a	5,18 a	5,02 a

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

As variações de pH da solução do solo durante os dois anos de cultivos para as duas profundidades analisadas são apresentadas na Figura 11.

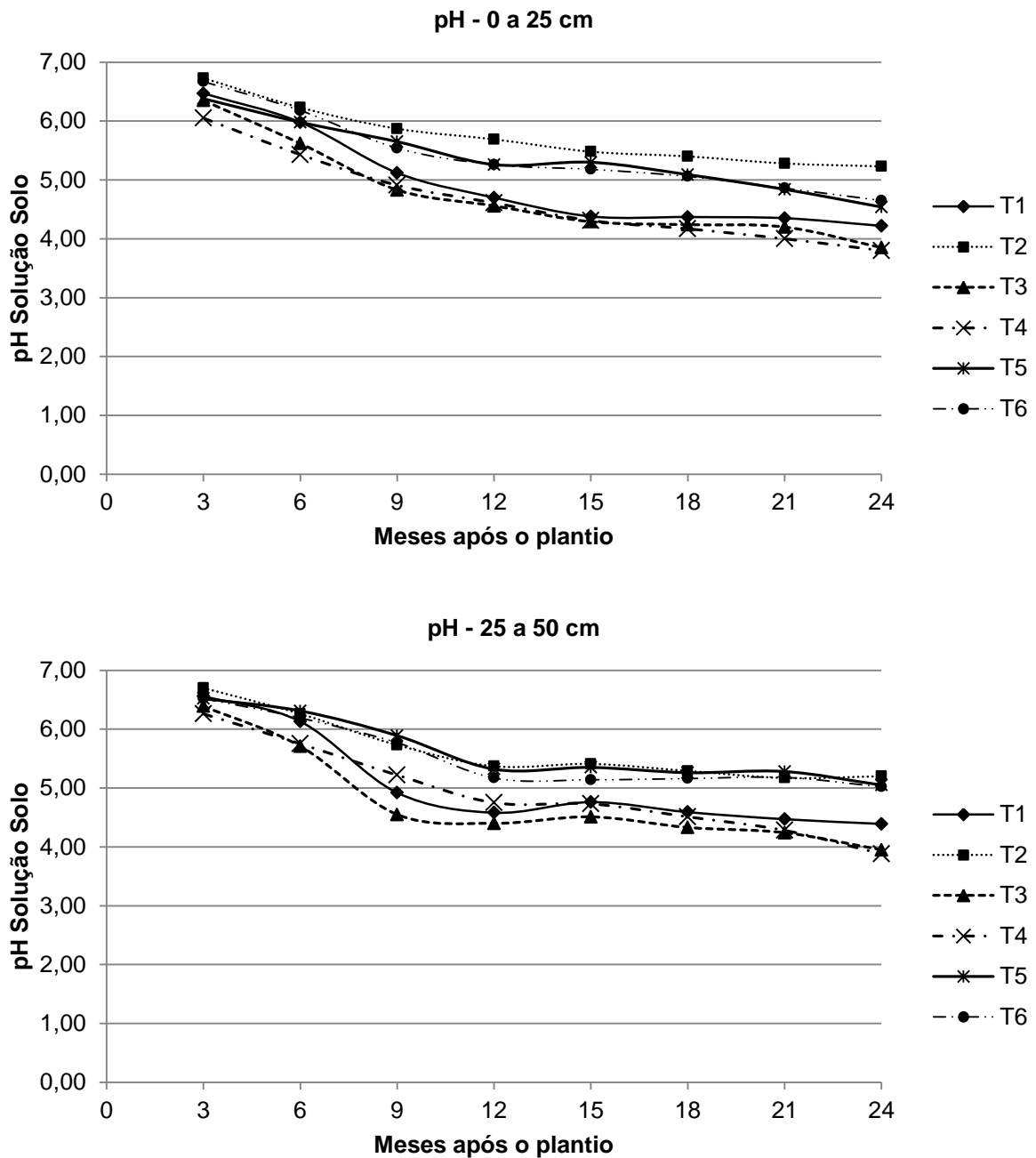


Figura 11 - Variação do pH da solução do solo para duas profundidades durante dois anos de cultivo de café conilon submetido a diferentes manejos de adubação. T1 - Ureia + KCl (Convencional); T2 - Ureia + KCl (Lib. Controlada); T3 - Ureia + KCl (Ferti); T4 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); T5 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti) e; T6 - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti)

Marschner (2012) menciona que o fator mais importante para induzir mudanças na rizosfera é a absorção de nutrientes, destacando que quando ocorre maior absorção de cátions em relação aos ânions, ocorre simultaneamente a extrusão de prótons ( $\text{H}^+$ ), causando a acidificação do meio. O autor ilustra o



processo de acidificação ou alcalinização do meio em função da absorção de nutrientes na Figura 12 - A.

Esta variação de pH na rizosfera em função da absorção de nutrientes também foi evidenciada por Römheld (1986), quando trabalhou com fonte nítrica e amoniacal e observou o pH da rizosfera, conforme pode-se observar na Figura 12 - B.

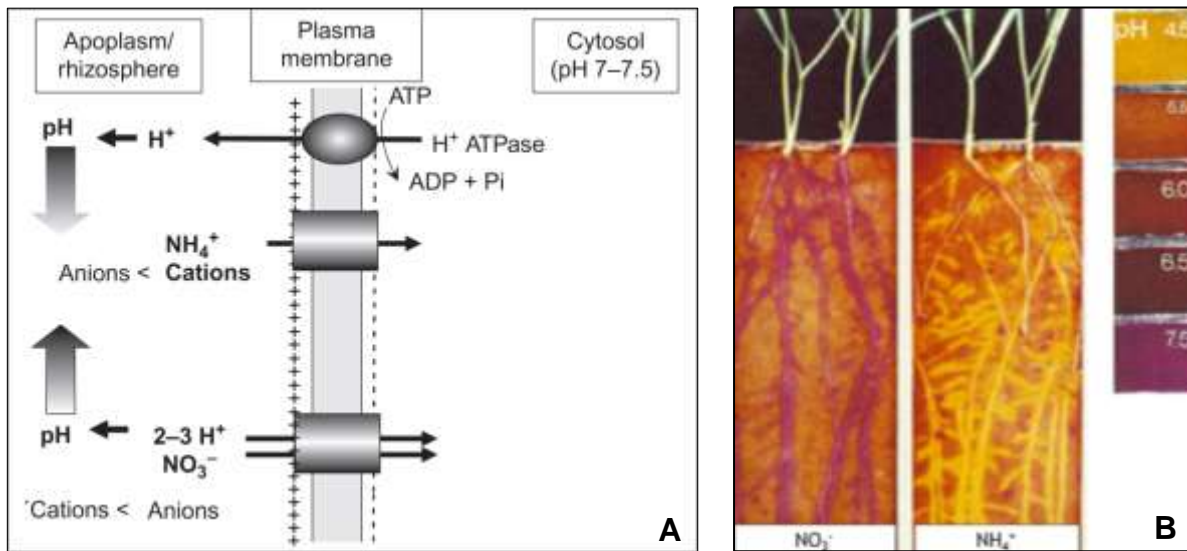


Figura 12 - A) Impacto da absorção de amônio ou nitrato pelas raízes no pH da rizosfera (MARSCHNER, 2012); B) Ilustração da variação do pH da rizosfera em função do fornecimento de nitrato e amônio (RÖMHELD, 1986)

Quando a ureia é adicionada ao solo, ela é transformada em  $\text{NH}_4^+$  através da enzima urease, e posteriormente pode ser oxidada a  $\text{NO}_3^-$  através de bactérias quimioautotróficas, conforme citado no item 2.1.4.1. Meisinger et al. (1992) reportaram que o  $\text{NH}_4^+$  representa no mínimo 30% do N mineral do solo ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ), dependendo da fonte e quantidade aplicadas.

Para os tratamentos 1 e 3 (T1 e T3), que utilizaram ureia, e o tratamento 4 (T4) - nitrato de amônio, disponibilizaram maiores quantidades de nitrogênio na forma amoniacal. Dessa forma, para estes tratamentos, houve maior absorção de nitrogênio amoniacal pela cultura, influenciando significativamente a variação do pH nas duas profundidades analisadas a partir de 18 meses da aplicação dos tratamentos.

O potencial de acidificação do solo pelos fertilizantes nitrogenados amoniacais pode levar a diferenças de eficiência entre fontes. O risco maior é para culturas perenes, que recebem altas doses de N em adubações localizadas (CANTARELLA,

2007). Moraes et al. (1976) observaram que o pH original de um solo cultivado com café abaixou de 6,2 para 4,3 ou 4,4 na camada superficial (0-8 cm) com o uso de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N anualmente, por 12 anos, nas formas de ureia ou de sulfato de amônio. Já para as parcelas tratadas com nitrocálcio e com nitrato de sódio, o pH do solo apresentou valores de 5,0 e 5,8 respectivamente.

Pode-se observar que a partir dos 6 meses, embora sem diferença estatística significativa, os tratamentos que utilizaram fontes amoniacais de liberação imediata já apresentam valores absolutos de pH inferiores aos demais tratamentos. A redução de pH interfere no processo de nitrificação (reduz oxidação do N amoniacal a N nitrato), o que aumenta a proporção de N na forma amoniacal sobre o N na forma nítrica (SCHIMDT, 1982; HAYATSU; KOSUGE, 1993; SILVA; VALE, 2000; CRUSCIOL et al., 2011). Dessa forma, para estes tratamentos, houve maior absorção de N amoniacal, o que foi induzindo cada vez mais a acidificação do solo, conforme podemos verificar nas Tabelas 8,9, 11 e 12 e Figura 11.

Embora a fonte nitrato de amônio apresente também 50% do N na forma nítrica, vários trabalhos evidenciam o poder acidificante deste fertilizante. Moraes (1974), trabalhando com quatro fontes de nitrogênio em experimento com cafeeiros em vaso, verificou, com exceção ao nitrato de potássio, que todas as fontes possuem ação acidificante, cuja intensidade obedeceu à seguinte ordem: sulfato de amônio > nitrato de amônio > ureia. Resultados estes também encontrados por Kiehl et al. (1981), em ensaio em laboratório.

Os tratamentos que utilizaram as fontes nitrato de amônio associado ao nitrato de potássio, ureia de liberação controlada e ureia de liberação controlada associada a nitrato de amônio e sulfato de potássio (T2, T5 e T6) apresentaram menor redução de pH. A partir de 18 meses, essas diferenças foram estatisticamente significativas em relação aos demais tratamentos, conforme apresentado na Tabela 12. Para o tratamento 5 (nitrato de potássio + nitrato de amônio), essas diferenças em relação ao tratamento 4 (nitrato de amônio), tratamento 1 e 3 (ureia), devem-se ao menor poder acidificante do fertilizante, conforme evidenciado por Moraes (1974) e Kiehl et al. (1981).

Para os fertilizantes de liberação controlada, a disponibilização da ureia para o solo não ocorre imediatamente após a aplicação. Na presença de umidade, ocorre a difusão do fertilizante solúvel do interior do grânulo para o solo, processo esse que é controlado pela espessura do recobrimento. No caso do fertilizante utilizado neste

experimento, a liberação da ureia para o solo ocorre durante um período de seis meses.

O tempo maior de liberação do fertilizante utilizado nos tratamentos 2 e 6 evita grandes concentrações de ureia no local aplicado, o que torna o processo de sua hidrólise também mais lento. Dessa forma, a planta não absorve grandes quantidades de nitrogênio na forma amoniacal, tendo este mais tempo para passar pelo processo de nitrificação e ser absorvido posteriormente na forma nítrica. Isso justifica, em parte, a menor acidificação da solução do solo causada por estes fertilizantes.

Outro ponto a ser considerado é que a menor acidificação, embora não significativa estatisticamente, já observada a partir dos seis meses para os tratamentos 2, 5 e 6, mantém o processo de nitrificação em velocidades maiores que os demais tratamentos, uma vez que este é diretamente influenciado pelo pH. Assim sendo, maior disponibilidade de nitrato ocorrerá para as plantas, atenuando o processo de acidificação comumente causando pelas fontes fertilizantes utilizadas na nutrição do cafeeiro.

Aos 24 meses após o plantio, observa-se para a profundidade de 0 a 25 cm, diferença de pH significativa para o tratamento 2, que utilizou fertilizantes de liberação controlada durante todo o período analisado. Estes dados confirmam a hipótese de que estes fertilizantes reduzem a acidificação do bulbo em lavouras de café conilon irrigadas por gotejamento.

Em relação aos tratamentos 1 e 3, ambos utilizaram a fonte amídica (ureia) para o fornecimento de nitrogênio, diferenciando apenas na forma de aplicação, sendo um aplicado via solo na projeção da copa e o outro via fertirrigação. Observa-se que a forma de aplicação do fertilizante não influenciou de forma significativa a acidificação do solo para a mesma fonte utilizada.

A acidez do solo é um fator que influencia fortemente a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Como efeito indireto do pH está a atividade de  $H^+$ , que altera a solubilidade dos nutrientes no solo, principalmente a dos micronutrientes catiônicos, que, em concentrações elevadas, podem ser tóxicos para as plantas. De acordo com Malavolta (1979), a forma como o pH interfere na disponibilidade dos nutrientes é indicada na Figura 13.

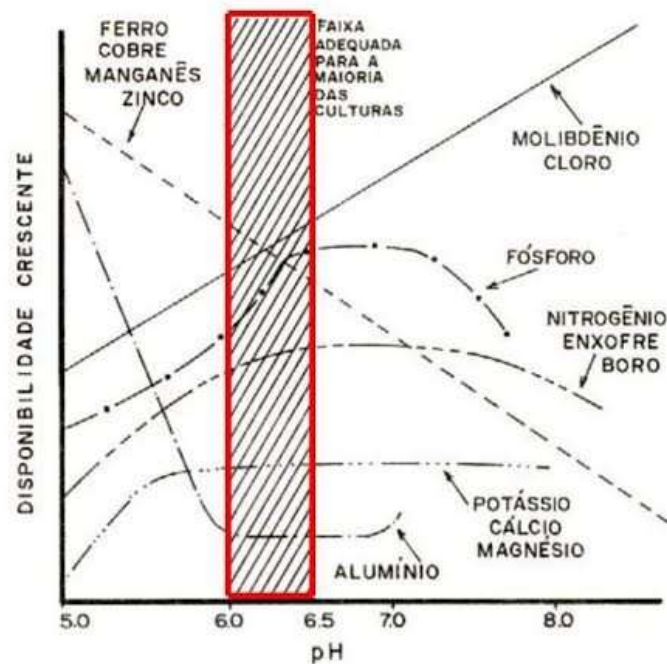


Figura 13 - Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes e na solubilidade do alumínio no solo (MALAVOLTA, 1979)

O aumento do pH tende a aumentar a disponibilização de N para as plantas; embora ocorra em ampla gama de condições de acidez, a mineralização da matéria orgânica é favorecida em pH próximo à alcalinidade (6-7), devido à maior atividade de microrganismos. Além do pH, a umidade, a temperatura e outros fatores também interferem nestas transformações.

Outra situação importante que pode ocorrer em casos de pH baixo, é uma maior concentração do íon  $Al^{+++}$ ; dependendo da concentração do elemento, irá competir com cátions, principalmente potássio, na ocupação dos pontos de trocas catiônicas do solo (CTC). Esta situação, aliada a um solo de textura mais arenosa e também ao fornecimento de água via irrigação, são fatores que podem potencializar a movimentação de nutrientes, principalmente potássio, cálcio e magnésio, para as camadas mais profundas do solo.

#### 4.2.2 Condutividade elétrica da solução do solo até os 24 meses de cultivo

A análise de variância e os dados de condutividade elétrica da solução do solo são apresentados nas Tabelas 13 a 18.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância referente à condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio, submetida a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F								
	GL	Meses após o plantio							
		3	6	9	12	15	18	21	24
Tratamento	5	5,518*	2,377 <sup>ns</sup>	2,683 <sup>ns</sup>	7,105*	15,888*	4,358*	3,418*	2,422 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,012 <sup>ns</sup>	2,017 <sup>ns</sup>	1,673*	1,508 <sup>ns</sup>	1,446 <sup>ns</sup>	1,138 <sup>ns</sup>	1,983 <sup>ns</sup>	0,596 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		33,07	19,72	15,33	17,15	17,27	26,27	28,12	27,96

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 14 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo, submetida a diferentes manejos de adubação (dS m<sup>-1</sup>)

Tratamento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Ureia + KCl (Convencional)	0,529 a	0,137	0,151	0,060 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	0,312 b	0,169	0,191	0,217 a
Ureia + KCl (Ferti)	0,602 a	0,188	0,136	0,097 b
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	0,657 a	0,200	0,149	0,134 b
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	0,746 a	0,216	0,144	0,083 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	0,237 b	0,172	0,147	0,129 b

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 15 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 0 a 25 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo, submetida a diferentes manejos de adubação (dS m<sup>-1</sup>)

Tratamento	15 meses	18 meses	21 meses	24 meses
Ureia + KCl (Convencional)	0,128 b	0,174 b	0,215 b	0,249
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	0,355 a	0,346 a	0,326 a	0,382
Ureia + KCl (Ferti)	0,180 b	0,233 b	0,281 b	0,291
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	0,309 a	0,328 a	0,337 a	0,331
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	0,265 a	0,247 b	0,215 b	0,220
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	0,334 a	0,377 a	0,415 a	0,379

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância referente à condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon até os 24 meses após o plantio, submetida a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F								
	GL	Meses após o plantio							
		3	6	9	12	15	18	21	24
Tratamento	5	5,057*	5,805*	2,619 <sup>ns</sup>	5,204*	8,352*	6,139*	2,797 <sup>ns</sup>	2,196 <sup>ns</sup>
Bloco	3	2,492 <sup>ns</sup>	0,257 <sup>ns</sup>	0,919 <sup>ns</sup>	0,301 <sup>ns</sup>	0,650 <sup>ns</sup>	2,351 <sup>ns</sup>	4,260*	1,073 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		24,99	22,49	15,18	20,04	21,12	17,56	23,42	24,21

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 17 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no primeiro ano de cultivo, submetida a diferentes manejos de adubação ( $\text{dS m}^{-1}$ )

Tratamento	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Ureia + KCl (Convencional)	0,577 a	0,147 b	0,133	0,072 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	0,372 b	0,233 b	0,169	0,151 a
Ureia + KCl (Ferti)	0,573 a	0,280 a	0,159	0,141 a
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$ (Ferti)	0,685 a	0,305 a	0,168	0,120 a
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KNO}_3$ (Ferti)	0,692 a	0,346 a	0,189	0,138 a
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$ (Ferti)	0,338 b	0,227 b	0,188	0,147 a

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 18 - Análise de médias da condutividade elétrica da solução do solo na profundidade de 25 a 50 cm em lavoura de café conilon no segundo ano de cultivo submetida a diferentes manejos de adubação ( $\text{dS m}^{-1}$ )

Tratamento	15 meses	18 meses	21 meses	24 meses
Ureia + KCl (Convencional)	0,135 b	0,185 b	0,245	0,237
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	0,277 a	0,305 a	0,292	0,285
Ureia + KCl (Ferti)	0,218 b	0,276 a	0,314	0,309
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$ (Ferti)	0,343 a	0,355 a	0,366	0,335
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KNO}_3$ (Ferti)	0,223 b	0,317 a	0,401	0,387
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$ (Ferti)	0,326 a	0,366 a	0,416	0,382

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

A variação da condutividade elétrica da solução do solo durante os dois anos de cultivos para as duas profundidades analisadas são apresentados na Figura 14.

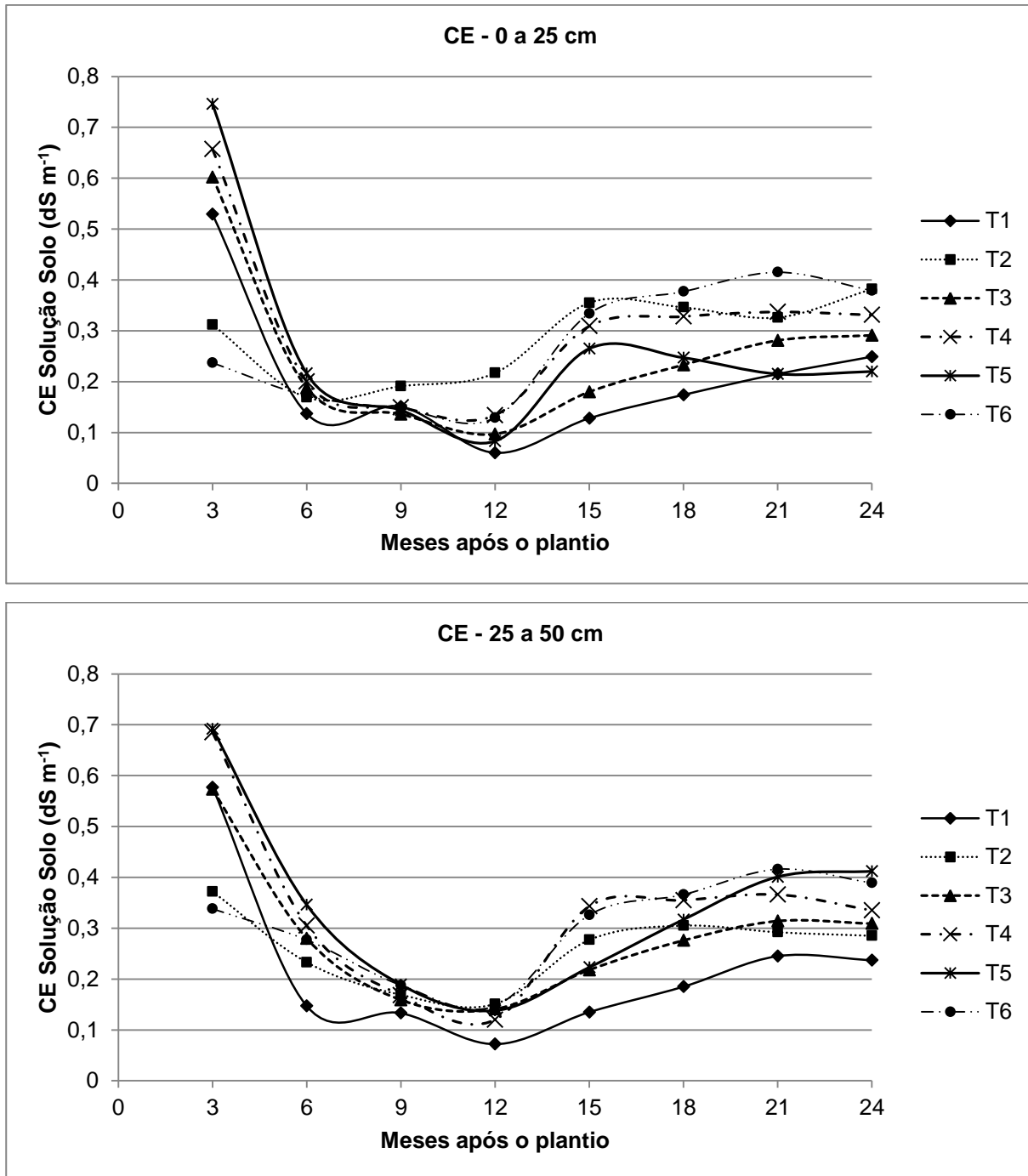


Figura 14 - Variação da condutividade elétrica da solução do solo para duas profundidades durante dois anos de cultivo de café conilon submetido a diferentes manejos de adubação. T1 - Ureia + KCl (Convencional); T2 - Ureia + KCl (Lib. Controlada); T3 - Ureia + KCl (Ferti); T4 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); T5 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti) e; T6 - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti)

Ao observar a primeira avaliação de CE (90 dias após o plantio) em ambas as profundidades do solo (Tabela 14 e 17), observa-se uma diferença estatística significativa entre os tratamentos de liberação controlada e as demais fontes

prontamente solúveis; isto indica que os fertilizantes de liberação controlada reduzem a salinidade inicial próximo ao sistema radicular das plantas, podendo favorecer o crescimento inicial das mesmas.

Figueirêdo et al. (2006), ao avaliarem o efeito da salinidade da água sobre o crescimento de mudas de café arábica em casa de vegetação, observaram que o diâmetro do caule das plantas a partir dos 57 dias após estabelecimento (DAE), a área foliar e altura das plantas a partir de 78 DAE, tiveram redução no crescimento dessas variáveis, com o aumento da salinidade da água de irrigação.

Aos 6 meses após o plantio, observamos que os tratamentos fertirrigados (T3, T4 e T5) apresentavam valores de CE superiores, sem diferença estatística para a camada do solo de 0 a 25 cm e com diferença estatística significativa para a camada de solo de 25 a 50 cm, em tratamentos que receberam aplicação do fertilizante sobre a projeção da copa.

Aos 9 meses, não houve diferenças estatísticas para os valores de CE entre os tratamentos avaliados; entretanto, começamos a observar uma redução nos valores de CE do T1, que se manteve inferior a todos os demais tratamentos, durante o restante do período em que foi avaliado.

A aplicação dos fertilizantes para o tratamento 1 (T1) foi realizada a cada 2 meses (6 parcelamentos anuais), com fontes prontamente disponíveis (ureia e cloreto de potássio), em um solo com baixa CTC e uma área irrigada; isto provavelmente pode ter ocasionado maiores perdas dos nutrientes aplicados, apresentando portanto os menores valores de CE durante todo o ciclo, nas duas profundidades analisadas.

Com exceção dos 6 primeiros meses, observa-se que no período de 12 a 24 meses os valores de CE foram superiores, o que se deve às maiores doses de fertilizantes aplicadas nesse período, conforme citado na Tabela 4.

### **4.3 Respostas biométricas das plantas**

Os resultados da biometria das plantas até os 24 MAP (meses após o plantio) são apresentados nas tabelas de 19 a 27. As diferenças significativas entre os tratamentos começaram a ser observadas a partir dos 9 MAP.



Tabela 19 - Resumo da análise de variância referente à altura das plantas de café conilon submetidas a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F							
	GL	0 MAP	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	18 MAP	24 MAP
Tratamento	5	0,378 <sup>ns</sup>	1,945 <sup>ns</sup>	1,809 <sup>ns</sup>	3,034*	3,236*	4,296*	5,889*
Bloco	3	1,747 <sup>ns</sup>	0,919 <sup>ns</sup>	0,924 <sup>ns</sup>	2,427 <sup>ns</sup>	4,117*	0,992 <sup>ns</sup>	1,992 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		3,98	4,83	5,49	5,81	5,71	5,13	5,97

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância referente ao comprimento do primeiro ramo plagiotrópico de plantas de café conilon submetidas a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F							
	GL	0 MAP	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	18 MAP	24 MAP
Tratamento	5	-	1,048 <sup>ns</sup>	1,304 <sup>ns</sup>	1,816 <sup>ns</sup>	3,648*	2,934*	4,221*
Bloco	3	-	0,054 <sup>ns</sup>	0,113 <sup>ns</sup>	1,446 <sup>ns</sup>	4,615*	1,047 <sup>ns</sup>	0,842 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)			11,32	6,52	5,40	4,14	4,76	5,48

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância referente ao número de nós no primeiro ramo plagiotrópico de plantas de café conilon submetidas a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F							
	GL	0 MAP	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	18 MAP	24 MAP
Tratamento	5	-	1,202 <sup>ns</sup>	1,501 <sup>ns</sup>	1,795 <sup>ns</sup>	1,413 <sup>ns</sup>	4,187*	3,618*
Bloco	3	-	2,890 <sup>ns</sup>	0,735 <sup>ns</sup>	0,318 <sup>ns</sup>	1,002 <sup>ns</sup>	1,532 <sup>ns</sup>	0,323 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)			7,35	4,93	5,71	5,78	6,59	7,95

\* Significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>: não significativo.

Tabela 22 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 3 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Altura (cm)	L 1º RP (cm)	Nó 1º RP (nº)
Ureia + KCl (Convencional)	34,15	18,35	3,65
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	37,45	21,00	4,05
Ureia + KCl (Ferti)	35,80	17,95	3,70
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	37,15	20,10	3,95
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	36,45	19,65	3,75
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	37,05	19,60	3,85

\* De acordo com o teste F a 5% de probabilidade, as médias desses fatores são estatisticamente iguais.

Tabela 23 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 6 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Altura (cm)	L 1º RP (cm)	Nó 1º RP (nº)
Ureia + KCl (Convencional)	50,80	39,25	9,05
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	53,30	42,05	9,70
Ureia + KCl (Ferti)	52,45	38,45	9,00
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	56,50	41,55	9,00
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	55,00	41,95	9,25
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	53,65	41,20	9,40

\* De acordo com o teste F a 5% de probabilidade, as médias desse fator são estatisticamente iguais.

Tabela 24 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 9 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Altura (cm)	L 1º RP (cm)	Nó 1º RP (nº)
Ureia + KCl (Convencional)	66,15 b	51,75	12,60
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	73,80 a	55,65	13,80
Ureia + KCl (Ferti)	67,10 b	51,65	12,45
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	73,10 a	55,65	12,70
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	74,00 a	55,85	13,15
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	73,30 a	54,35	13,15

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 25 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 12 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Altura (cm)	L 1º RP (cm)	Nó 1º RP (nº)
Ureia + KCl (Convencional)	78,80 b	56,40 b	14,25
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	89,25 a	60,25 a	15,60
Ureia + KCl (Ferti)	83,90 b	57,22 b	15,10
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	87,30 a	60,30 a	14,50
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	89,95 a	62,87 a	15,15
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	90,05 a	60,05 a	15,35

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 26 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 18 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Altura (cm)	L 1º RP (cm)	Nó 1º RP (nº)
Ureia + KCl (Convencional)	113,15 b	75,45 b	17,75 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	125,90 a	81,02 a	20,32 a
Ureia + KCl (Ferti)	118,20 b	74,55 b	18,07 b
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	127,75 a	81,10 a	20,40 a
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	128,60 a	81,80 a	20,75 a
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	129,20 a	80,85 a	20,30 a

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

Tabela 27 - Análise de médias da altura (Altura); comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (L 1º RP) e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (Nó 1º RP) de plantas de café conilon aos 24 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Altura (cm)	L 1º RP (cm)	Nó 1º RP (nº)
Ureia + KCl (Convencional)	140,80 b	79,00 b	18,35 b
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	165,85 a	89,15 a	21,25 a
Ureia + KCl (Ferti)	150,45 b	80,65 b	18,85 b
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	168,40 a	88,75 a	21,55 a
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	165,45 a	90,00 a	21,70 a
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	168,75 a	88,50 a	21,80 a

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

O crescimento das plantas de acordo com os tratamentos aplicados pode ser visualizado nas Figuras 15 a 17.

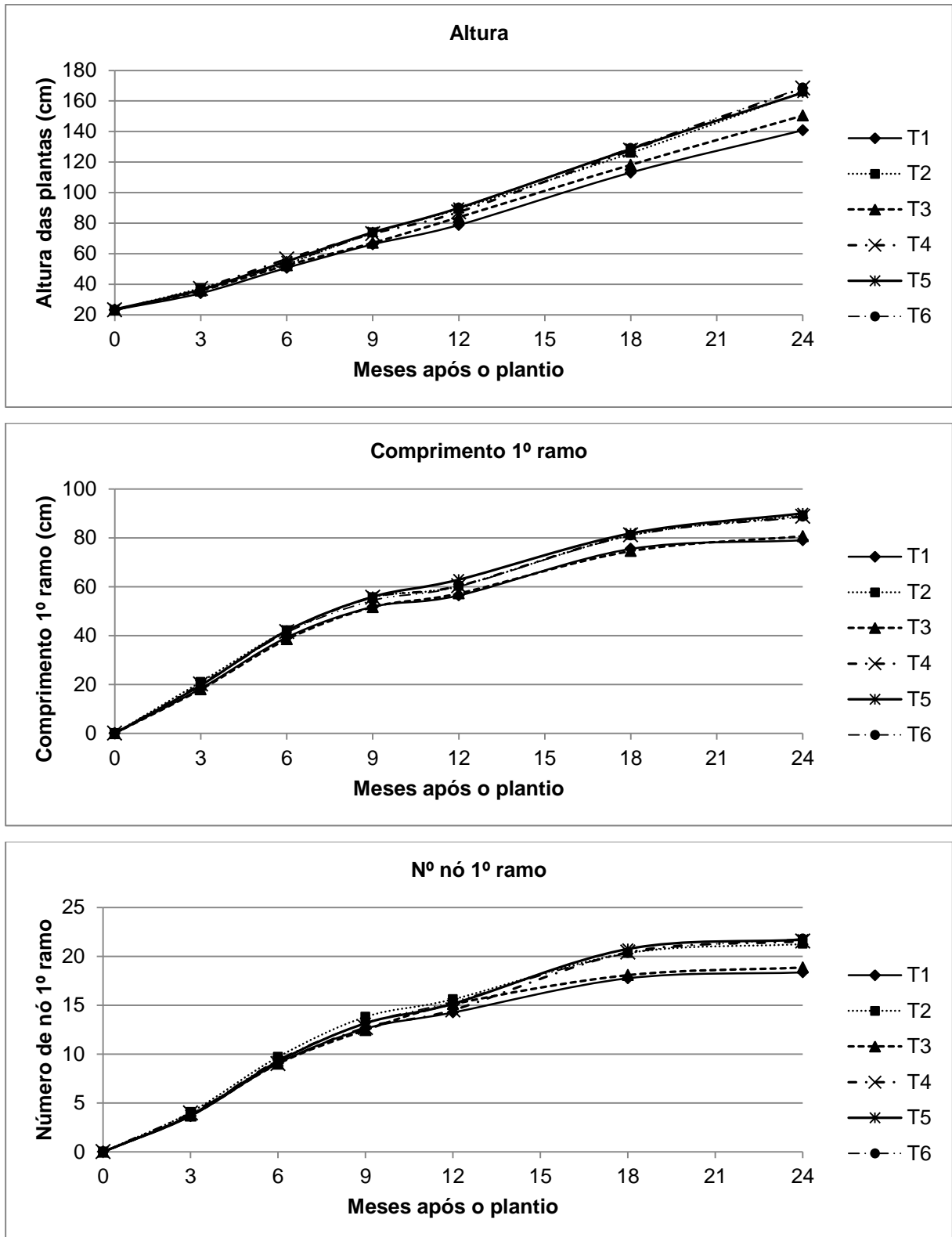


Figura 15 - Crescimento das plantas de café conilon nos dois primeiros anos de cultivo submetido a diferentes manejos de adubação. T1 - Ureia + KCl (Convencional); T2 - Ureia + KCl (Lib. Controlada); T3 - Ureia + KCl (Ferti); T4 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); T5 -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti) e; T6 - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti)

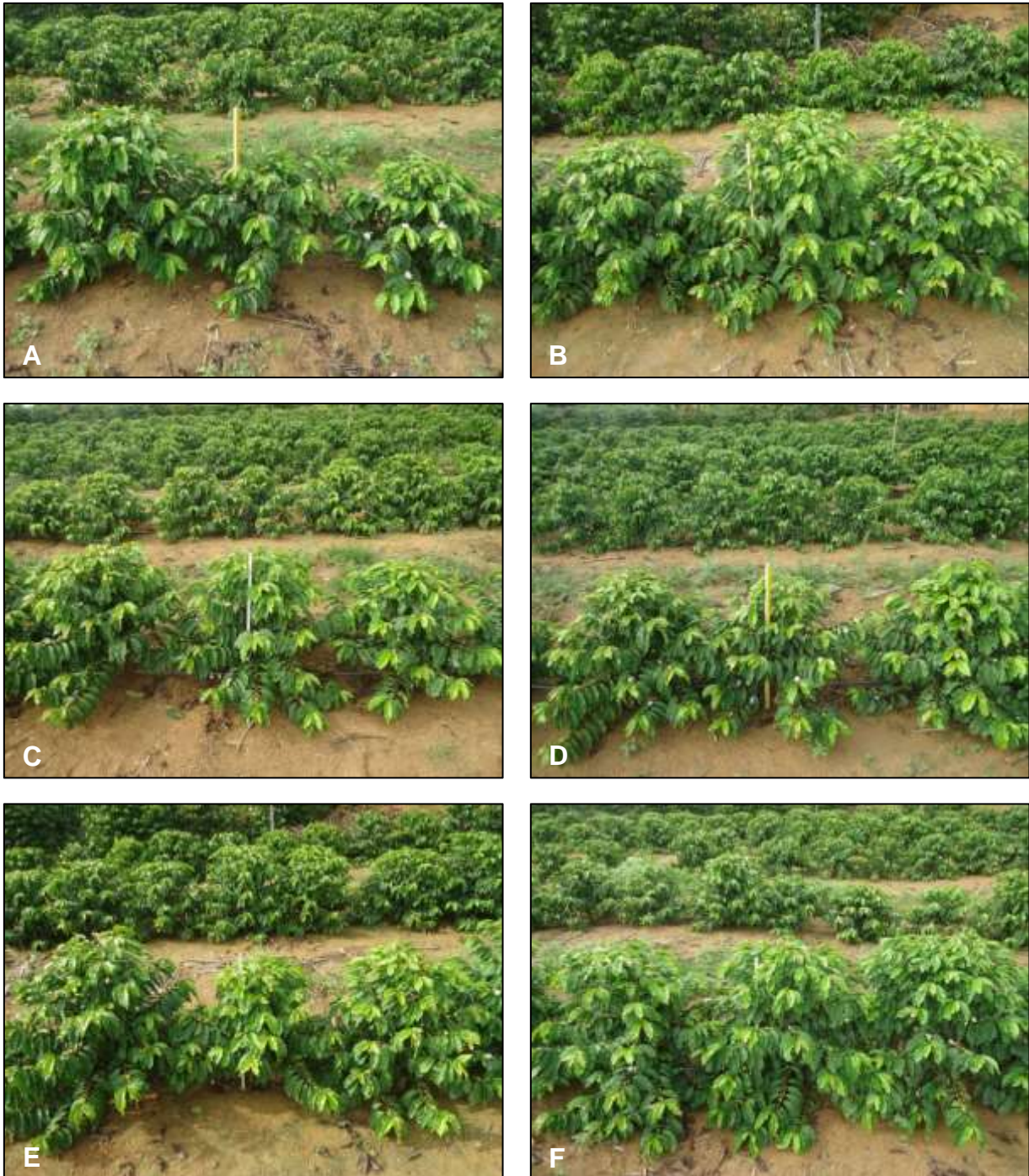


Figura 16 - Desenvolvimento das plantas de café conilon aos 12 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação. A - Ureia + KCl (Convencional); B - Ureia + KCl (Lib. Controlada); C - Ureia + KCl (Ferti); D -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); E -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti); F - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti)



Figura 17 - Desenvolvimento das plantas de café conilon aos 24 MAP submetidas a diferentes manejos de adubação. A - Ureia + KCl (Convencional); B - Ureia + KCl (Lib. Controlada); C - Ureia + KCl (Ferti); D -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti); E -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{KNO}_3$  (Ferti); F - Ureia + KCl (Lib. Controlada) +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  +  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (Ferti)

Em relação ao crescimento das plantas de café conilon, observa-se que houve diferenças estatísticas significativas para a altura de plantas a partir dos 9 MAP, com resultados inferiores para os dois tratamentos que receberam ureia e cloreto de potássio solúveis, independente da forma de aplicação (T1 – aplicação via

solo sobre a projeção da copa e T3 – aplicação via fertirrigação). Resultados semelhantes também ocorreram para as variáveis comprimento do primeiro ramo plagiotrópico a partir dos 12 MAP e para número de nós no primeiro ramo plagiotrópico a partir dos 18 MAP.

O crescimento inferior das plantas que receberam a aplicação de ureia e cloreto de potássio solúvel pode ser atribuído a maiores perdas dos nutrientes, especialmente do nitrogênio. Tasca et al. (2011) mencionam que a volatilização de  $\text{NH}_3$  é a principal reação que diminui a eficiência de utilização pelas plantas do N proveniente da ureia, quando ela é aplicada sobre a superfície do solo (TASCA et al., 2011).

Em relação às fontes de liberação controlada, que também utilizam ureia como fonte de N, Sousa et al. (2013) evidenciaram que as perdas por volatilização destes fertilizantes são bem inferiores em relação às fontes de disponibilidade imediata. Os autores conduziram o experimento em condições controladas de laboratório, em câmaras de volatilização de  $\text{NH}_3$  e concluíram que o tratamento com ureia revestida com enxofre elementar e polímero praticamente não apresentou perdas de  $\text{NH}_3$  até os 16 dias de avaliação, apresentando valores de 0,4% em relação aos 26% de volatilização encontrados com a utilização de ureia convencional.

Ao liberar lentamente o N na forma de ureia, o fertilizante de liberação controlada faz com que a hidrólise da ureia seja gradual e não eleve tanto o pH do solo ao redor do grânulo, devido ao efeito de dose de N-ureia; quanto maior a dose de ureia, maior a proporção de perda de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA, 2007). A hidrólise mais lenta contribui para a redução das perdas de  $\text{NH}_3$  por terem a ureia ou  $\text{NH}_3$  produzidas mais tempo para difundir para o interior do solo e reagir com os colóides do solo (CANTARELLA et al., 2003).

#### **4.4 Resposta em produção por planta e estimativa de produtividade**

A colheita da primeira produção foi realizada no dia 19 de junho de 2014, cerca de 622 dias ou 20,7 meses após o plantio. A análise de variância da maturação dos frutos, produção por planta, rendimento e estimativa de produtividade

são apresentados nas Tabelas 28 a 29. Não houve diferença significativa dos parâmetros citados entre os tratamentos na primeira colheita dos frutos.

Tabela 28 - Resumo da análise de variância referente à maturação dos frutos, produção por planta, rendimento e estimativa de produtividade do café conilon submetido a diferentes manejos de adubação

FV	Estatística F						
	GL	Maturação			Produção		
		Verde	Cereja	Seco	Produção	Rendimento	Produtividade
Tratamento	5	1,422 <sup>ns</sup>	1,996 <sup>ns</sup>	1,187 <sup>ns</sup>	0,132 <sup>ns</sup>	2,718 <sup>ns</sup>	0,181 <sup>ns</sup>
Bloco	3	1,191 <sup>ns</sup>	1,905 <sup>ns</sup>	0,685 <sup>ns</sup>	1,283 <sup>ns</sup>	1,062 <sup>ns</sup>	1,275 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	-	-	-	-	-	-
CV (%)		10,49	6,40	9,67	8,02	2,68	10,45

<sup>ns</sup>: não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 29 - Análise de médias da maturação dos frutos, produção por planta, rendimento e estimativa de produtividade do café conilon submetido a diferentes manejos de adubação

Tratamento	Maturação			Produção		
	Verde (%)	Cereja (%)	Seco (%)	Produção (Kg planta <sup>-1</sup> )	Rendimento (%)	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )
Ureia + KCl (Convencional)	18,00	74,75	7,25	1,88	27,88	29,09
Ureia + KCl (Lib. Controlada)	19,50	72,25	8,25	2,02	28,05	31,54
Ureia + KCl (Ferti)	23,75	66,75	9,50	1,91	27,18	28,89
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	17,75	72,50	9,75	2,03	28,27	31,92
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + KNO <sub>3</sub> (Ferti)	22,00	68,50	9,50	1,99	26,65	29,49
Ureia + KCl (Lib. Controlada) + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Ferti)	23,00	67,75	9,25	2,08	27,37	31,79

\* De acordo com o teste F a 5% de probabilidade, as médias desses fatores são estatisticamente iguais.

O café conilon é uma planta perene, apresentando concomitantemente crescimento das estruturas vegetativas e reprodutivas. Dessa forma, enquanto a planta adquire arquitetura, gemas reprodutivas são formadas para gerar as futuras flores da planta. Normalmente, as gemas formadas em um ano serão as frutificações do ano seguinte.

Ao observar o crescimento das plantas até os 9 MAP, verifica-se que não houve diferenças estatísticas significativas para altura das plantas, comprimento do primeiro ramo plagiotrópico e para número de nós no primeiro ramo plagiotrópico, parâmetros estes que influenciam diretamente na produtividade. Neste mesmo período ocorreu a primeira florada, que resultou na produtividade do ano seguinte, apresentada na Tabela 29. Dessa forma, pode-se esperar diferenças de produtividade a partir da segunda safra, uma vez que no florescimento, as plantas



apresentaram diferenças significativas de crescimento, em função dos tratamentos aplicados.

Outro fator importante a ser considerado refere-se à mão de obra para aplicação dos fertilizantes. Enquanto o tratamento 2, que utilizou apenas fertilizante de liberação controlada, demandou 4 aplicações durante 2 anos, os tratamentos fertirrigados demandaram 24 aplicações durante o mesmo período.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente estudo foi conduzido para a cultura do café conilon irrigado por gotejamento até os dois anos de cultivo e a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os fertilizantes de liberação controlada reduzem a acidificação e salinização do bulbo em lavouras de café conilon irrigadas por gotejamento;
- A aplicação dos fertilizantes de liberação controlada e nitrato de amônio associado a nitrato de potássio via fertirrigação provocaram menor acidificação do bulbo em relação aos tratamentos com ureia e cloreto de potássio, comumente utilizados nos sistemas de cultivo desta cultura;
- A aplicação dos fertilizantes de liberação controlada proporcionou menor salinidade inicial do bulbo em relação aos tratamentos com ureia e cloreto de potássio, nitrato de amônio associado a sulfato de potássio e nitrato de amônio associado a nitrato de potássio;
- Os tratamentos com fertilizantes de liberação controlada e nitrato de amônio associado a sulfato de potássio ou nitrato de potássio diferiram dos demais tratamentos, influenciando positivamente a altura de plantas, comprimento e número de nós no primeiro ramo plagiotrópico após o primeiro ano de cultivo;
- Não houve diferença significativa de produtividade entre os tratamentos durante o período analisado. Entretanto, as diferenças de crescimento das plantas e as condições do bulbo após dois anos de cultivo indicam que as fontes ureia e cloreto de potássio, aplicadas via solo ou via fertirrigação, podem afetar as produtividades futuras desta cultura quando comparadas às demais fontes utilizadas;
- Os fertilizantes de liberação controlada reduzem o número de aplicações de fertilizantes quando comparados à aplicação dos mesmos via fertirrigação ou sobre a projeção da copa.



## REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, J.L.; PERDONÁ, M.J.; NAKAYAMA, F.T. Ureia revestida por polímeros e a adubação nitrogenada do cafeeiro (*Coffea arabica*). In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 10., 2014, Tupã. **Anais...** Tupã: ANAP, 2014. p. 100-112.
- ADDISCOTT, T.M. **Nitrate, agriculture and the environment**. Wallingford: CABI Publ., 2004. 279 p.
- ALCARDE, J.C. Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 737-768.
- BARRETO, H.J.; WESTERMAN, R.L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 10, p. 1455-1458, 1989.
- BELING, R.R. (Ed.). **Anuário brasileiro do café 2005**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W. O. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. Washington: USDA, 1950. 48 p.
- BONOMO, D.Z.; BONOMO, R.; PARTELLI, F.L.; SOUZA, J.M.; MAGIERO, M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.
- BONOMO, D.Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J.R.M.; SOUZA, J.M. Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 537-545, 2014.
- BRAGANÇA, S.M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro Conilon (*Coffea canephora Pierre*)**. 2005. 99 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- BRAGANÇA, S.M.; CARVALHO, C.H.S.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G. Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 765-770, 2001.
- BRAGANÇA, S.M.; PREZOTTI, L.C.; LANI, J.A.; Nutrição do cafeeiro conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. da; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 296-327.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 05**, de 23 de fevereiro de 2007. Coordenação de fertilizantes, inoculantes e corretivos. Brasília, 2007. 43 p.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/06/area-irrigada-pode-crescer-em-ate-10-vezes-diz-estudo>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

BREMNER, J.M. Sources of nitrous oxide in soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, p. 7-16, 1997.

CANCELLIER, E.L. **Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 41, p. 245-253, 1976.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.122, p.12-14, 2008.

CANTARELLA, H.; MATTOS JUNIOR, D. de; QUAGGIO, J.A.; RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 67, p. 215-223, 2003.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J; RESENDE, L.C.L. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R.; SILVA, A.G. Ammonia losses by volatilization from coastcross pasture fertilized with two nitrogen sources. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Sao Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 190-192.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008.

CAPUCHO, A.S.; ZAMBOLIM, L.; ROSADO, A.W.C.; FERRÃO, R.G.; FERRAO, M. A.G.; FONSECA, A.F.A. da; ZAMBOLIM, E.M.; CAIXETA, E.T. Resistência do conilon vitória 8142 à raça I de *Hemileia vastatrix*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2011. p. 1-6.

CARVALHO, M.C.S.; NASCENTE, A.S.; ALMEIDA, L.N.; FERREIRA, K.M.; FERREIRA, L. C. Volatilização de amônia proveniente de ureia comum e ureia com tecnologias agregadas em arroz de terras altas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 1-4.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 40-44, 2007.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Herm, 1985. p. 13-47.

CHEVALIER, A. Systematique des caféiers et faux-caféiers. Maladies et insects nuisibles. In: ENCICLOPÉDIE Biologique XXVIII. **Les caféiers du globe**. 3. ed. Lechevalier, 1947. p. 257.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Revista ITEM**, Brasília, n. 54, p. 46-55, 2002.

COELHO, G.; SILVA, A.M. da. O efeito da época de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro em três safras consecutivas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 400-408, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015, primeira estimativa**. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 17 maio 2015.

COSTA, E.E.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 12, p. 63-68, 1986.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 631-637, 2003.

CRUSCIOL, C.A.C.; GARCIA, R.A.; CASTRO, G.S.A.; ROSOLEM, C.A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1975-1984, 2011.

DADALTO, G.G.; BARBOSA, C.A. **Zoneamento agroecológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG, 1997. 28p.

\_\_\_\_\_. Macrozoneamento agroecológico. In: COSTA, E.B.; SILVA, A.E.S.; ANDRADE NETO, A.P.M.; DAHER, F.A. (Coord.). **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG, 1995. p. 11-14.

DAVIS, A.P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D.M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.

DE MUNER, L.H.; TEIXEIRA, M.M.; FORNAZIER, M.J.; FAVORETO, O.S.; SALGADO, J.S. Cafeicultura sustentável. In: **Planejamento estratégico da agricultura capixaba**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2003. 63 p.

ECCARDI, F.; SANDALJ, V. **Coffee: a celebration of diversity**. Trieste: Sandalj Eccardi, 2002. 228 p.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. de; SANTOS, F.C. dos. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

EUGENIO, F.C.; PELUZIO, T.M.O.; PEREIRA, A.A.B.; SANTOS, A.R.; PELUZIO, J.B.E.; BRAGANÇA, R.; FIEDLER, N.C.; PAULA, E.N.S.O. Zoneamento agroclimatológico do *Coffea canephora* para o Espírito Santo mediante interpolação espacial. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 319-328, 2014.

FARIA, F.H.S.; LIMA, L.A.; RIBEIRO, M.S.; RESENDE, F.C.; CARVALHO, J.G. Efeito de parcelamento da fertirrigação com N e K e salinidade do solo no crescimento inicial de cultivares de cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n.2, p. 145-157, 2009.

FASSIO, L.H.; SILVA, A.E.S.. Importância econômica e social do café Conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. da; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 37-49.

FAZUOLI, L.C.; BRAGHINI, M.T.; SILVAROLLA, M.B., OLIVEIRA, A.C.B. A ferrugem alaranjada do cafeeiro e a obtenção de cultivares resistentes. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 48-53, 2007.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L.C.D.; OLIVEIRA, C.B. de. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 159-166, 2007.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008. 476 p.

FERRÃO, R.G. Programa de pesquisa, revigoração e melhoramento da qualidade do café do Espírito Santo. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ CONILON, 2012, Vitória. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/cafeicultura/palestra-romrio-pesquisas-de-cafe-do-incaper-agrocaf-conjuntura-es>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. **Biometria aplicada ao melhoramento genético do café conilon**. 2004. 256 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.C. Origem, dispersão, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007a. p. 64-91.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; MARQUES, E.M.G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. 3. ed. Vitória: INCAPER, 2007b, 60p. (INCAPER. Circular Técnica, 03-I).

FIGUEIRÊDO, V.B.; FARIA, M.A.; SILVA, E.L. Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com e água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 50-57, 2006.

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; ZUCATELI, F. **Conilon Vitória – INCAPER 8142: variedade clonal de café conilon**. Vitória: INCAPER, 2004. 24 p.

FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; LANI, J.A.; FERRÃO, M.A.G.; VOLPI, P.S.; VERDIN FILHO, A.C.; RONCHI, C.P.; MARTINS, A.G. Manejo da cultura do café conilon: espaçamento, densidade de plantio e podas. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 259-277.

GENUCHTEN, M.Th. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

GLAZAR, E. **Brava gente polonesa: memórias de um imigrante, formação histórica de São Gabriel da Palha e expansão do café conilon no Espírito Santo**. Vitória: Flor & Cultura, 2005. 207 p.

GROFFMAN, P.M. Nitrogen in the environment. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 190-200.

HAYATSU, M.; KOSUGE, N. Effects of urea fertilization and liming on nitrification in Cerrado soils (Brazil). **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 39, p. 367-371, 1993.

KIEHL, J.C.; MELLO, F.A.F.; ARZOLLA, S. Efeito acidificante de alguns adubos nitrogenados em solos de diferentes texturas. **O Solo**, Piracicaba, v. 73, n. 2, p. 19-24, 1981.

KOELLIKER, J.K.; KISSEL, D.E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B.R. KISSEL, D.E. (Ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center, 1988. p. 37-52.



LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da ureia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 409-413, 1992.

LAURINDO, V. T. **Interferência da fertirrigação, de lâminas e modos de aplicação localizada de água nos atributos químicos do solo e na produtividade da laranja Valência**. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2005.

LUDEWIG, U.; VON WIRÉM, N.; FROMMER, W.B. Uniport of  $\text{NH}_4^+$  by the root hair plasma membrane ammonium transporter LeAMT1;1. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 27, p. 13548-13555, 2002.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 255 p.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2007. 358 p.

MAROUELLI, W.A.; SOUSA, V.F. Irrigação e fertirrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 23-26.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed London: Elsevier, 2012. 643 p.

MATIELLO, J.B. **Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162 p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Varginha: Fundação PROCAFÉ; MAPA; SARC; PROCAFÉ – SPAE; DECAF. 2005. 438 p.

MEISINGER, J.J.; BANDEL, V.A.; ANGLE, J.S.; O'KEEFE, B.E.; REYNOLDS, C.M. Presidedress soil nitrate test in Maryland. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1527–1532, 1992.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Utilização de modelo mecanístico para avaliação da disponibilidade de potássio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 73-80, 1994.

MIYAZAWA, M.; COSTA, A.; REIS, R.A.; TISKI, I.; PEREIRA, L.R. Eficiência da Adubação nitrogenada com ureia revestida por polímero na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 1 CD-ROM.

MORAES, F.R.P. Efeito de alguns fertilizantes nitrogenados sobre o pH do solo e a concentração de alumínio e manganês nas folhas de cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas.

**Resumos...** Brasília: EMBRAPA, 1974. p. 279-280.

MORAES, F.R.P.; LAZZARINI, W.; TOLEDO, S.V.; CERVELLINI, G.S.; FUJIWARA, M. Fontes e doses de nitrogênio na adubação química do cafeeiro. I. Latossolo roxo transição para latossolo vermelho amarelo, orto. **Bragantia**, Campinas, v. 35, p. 63-77, 1976.

MOREIRA, F.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 726 p.

MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; CANTARELLA, H. Nitrification inhibition in tropical soil under no-tillage system. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 57, n. 2, p. 199-206, 2014.

NASCIMENTO C.A.C.; VITTI, G.C.; FARIA, L.A.; LUZ, P.H.C.; MENDES, F.L. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1057-1063, 2013.

PEREIRA, H.S.; LEÃO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1685-1694, 2009.

PEZZOPANE, J.R.M.; CASTRO, F.S.; PEZZOPANE, J.E.M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.

PREZOTTI, L.C.; BRAGANÇA, S.M.; GUARÇONI-MARTINS, A.; LANI J.A.; Calagem e adubação. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. DA; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 329-343.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RENA, A.B.; CARVALHO, C.H.S. Causas abióticas da seca de ramos e morte de raízes em Café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UFV, 2003. p. 197-222.

ROBERTSON, G.P. Denitrification. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 181-190.

RODRIGUES, J.O.; MONTE, J.A.; OLIOSI, G.; APARECIDA DIAS, M.; PARTELLI, F. L.; PIRES, F.R.; ESPINDULA, M.C. Perdas por volatilização de diferentes adubos nitrogenados aplicados no cafeeiro Conilon. In: FERTBIO 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 1-4.

RÖMHELD V. pH changes in the rhizosphere of various crop plants, depending on nutrient supply. **Kali-Briefe**, Buntehof, v. 18, p. 13-30, 1986.

SCHIMDT, E. Nitrification in soil. In: STEVENSON, F.J.; BREMNER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENED, D.R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. 940 p.

SCHMIDT, H.C.; DE MUNER, L.H.; FORNAZIER, M.J. (Ed.) **Cadeia produtiva do café arábica da agricultura familiar no Espírito Santo**. Vitória: INCAPER, 2004. 52 p.

Secretaria de Estado da Agricultura do Espírito Santo - SEAG. **Plano estratégico de desenvolvimento da agricultura capixaba**. Vitória, 2003. 1 CD-ROM.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, A.L. da; FARIA, M.A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, J.G.F.; REIS, E.F. Irrigação do cafeeiro conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 344-373.

SILVEIRA, J.S.M.; Irrigação em café: café conilon irrigado no Espírito Santo. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ, 1., 1996, Vitória. **Anais...** Vitória: Cetcaf, 1996. p. 66-83.

SILVEIRA, J.S.M.; CARVALHO, C.H.S. Efeito da época de irrigação sobre o crescimento do ramo plagiotrópico e da longevidade foliar do café conilon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Trabalhos apresentados...** Águas de Lindóia: SDR; Procafé; Embrapa, 1996. p. 99-100.

SOARES, A.R.; MANTOVANI, E.C.; RENA, A.B.; SOARES, A.A.; BONOMO, R. Estudo comparativo de fontes de nitrogênio e potássio empregados na fertirrigação do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2000. v. 2, p. 852-855.

SOBRAL, L.F.; NOGUEIRA, L.C. Influência de Nitrogênio e Potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1675-1682, 2008.

SOUSA, R.M.; CANTARELLA, H.; SOARES, J.R.; MORAES, J.G. de. Volatilização de NH<sub>3</sub> de ureia recoberta por polímero não hidrossolúvel aplicada na superfície do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1-6.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

SOUZA, T.R. de; QUAGGIO, J.A.; SILVA, G.O. Dinâmica de íons e acidificação do solo nos sistemas de fertirrigação e adubação sólida na citricultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 501-505, 2006.

SPARKS, D.L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 38-53.

STAFANATO, J.B.; GOULART, R.S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C.G.; SOUZA, H.N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 726-732, 2013.

SUHET, A.R.; PERES, J.R.R.; VARGAS, M.A.T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa, DDT, 1986. p. 119-144.

TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 493-502, 2011.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York, Macmillan Publishing, 1985. 754p.

TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 151 p.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L.T.; FERNANDES, D.M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLLEGATTI, M.V. (Ed.). **Fertirrigação: citros, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados sobre a palha. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 5, p. 30-35, 2005.

VITTI, G.C.; TAVARES Jr., J.R.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 663-671, 2002.

WERLE, R.; GARCIA, A.R.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WILLIAMS, L.E.; MILLER, A.J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 52, p. 659-688, 2001.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.